ISSN 2225-7551

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ



В І С Н И К

ЧЕРНІГІВСЬКОГО ДЕРЖАВНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ

СЕРІЯ «ТЕХНІЧНІ НАУКИ»

НАУКОВИЙ ЗБІРНИК

№ 2 (78)

Чернігів 2015

УДК 62/69+004
ББК 30/35
В53

Друкується за рішенням вченої ради університету (протокол № 2 від 23.02.2015 р.). «Вісник Чернігівського державного технологічного університету. Серія “Технічні науки”» включено до нового переліку наукових фахових видань України, затвердженого постановою Президії ВАК України від 01.07.2010 р. № 1-05/5 (Бюлетень ВАК України № 7, 2010).

З 2013 року «Вісник Чернігівського державного технологічного університету. Серія “Технічні науки”» входить до міжнародної наукометричної бази даних eLIBRARY.RU (ліцензійний договір № 246-04/2013 від 29 квітня 2013 року).

Вісник Чернігівського державного технологічного університету. Серія “Технічні науки” : науковий збірник / В53 Черніг. нац. технол. ун-т. – Чернігів : Черніг. нац. технол. ун-т, 2015. – № 2 (78). – 242 с.

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

«Вісник Чернігівського державного технологічного університету. Серія “Технічні науки”» буде корисним для науковців різних галузей технічних наук, науково-технічних працівників, аспірантів, магістрантів та студентів вищих технічних навчальних закладів.

УДК 62/69+004
ББК 30/35

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

Заступник головного редактора:
Пилипенко О.І., доктор технічних наук, професор.

Члени редакційної колегії:
Болотов Г.П., доктор технічних наук, професор;
Вархола Міхал, професор, Президент Академічного співтовариства Михайла Балудянського, Словаччина;
Волков І.В., доктор технічних наук, професор;
Денисов Ю.О., доктор технічних наук, професор;
Дубенець В.Г., доктор технічних наук, професор;
Дудла І.О., доктор технічних наук, професор;
Кальченко В.І., доктор технічних наук, професор;
Кальченко В.В., доктор технічних наук, професор;
Литвинов В.В., доктор технічних наук, професор;
Сенько В.І., доктор технічних наук, професор;
Сиза О.І., доктор технічних наук, професор;
Скоробогатова В.І., доктор технічних наук, професор;
Харченко Г.К., доктор технічних наук, професор;
Чередніченко П.І., доктор технічних наук, професор;
Dmitri Vinnikov, Doctor of Science, Senior Researcher, Head of Power Electronics R&D Group, Tallinn University of Technology, Tallinn, Estonia;
Enrique Romero-Cadaval, Doctor of Science, Professor, Main Researcher in Power Electrical & Electronic Systems R&D Group, University of Extremadura, Badajoz, Spain;
Ilya Galkin, Doctor of Science, Professor, Editor in-Chief of the Scientific Journal “Electrical, Control and Communication Engineering”, Riga Technical University, Riga, Latvia;
John N. Davies, Professor, Department of Computer Science, Glyndwr University, Wrexham, U.K.;
Zheleznyak Mark, Professor, Institute of Environmental Radioactivity, Fukushima University, Japan.

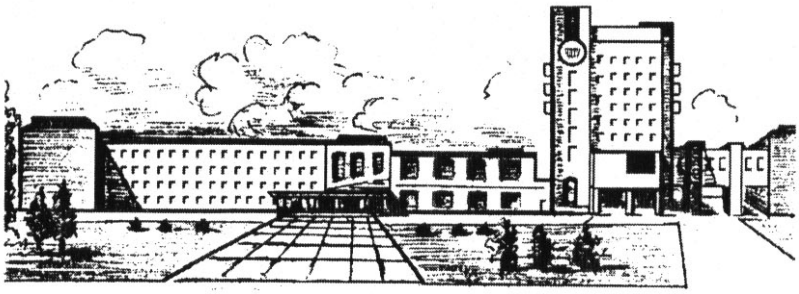
Заснований у 1996 році. Свідоцтво про державну реєстрацію КВ № 14994-3966 ПР від 27.02.2009 р.

© Чернігівський національний технологічний університет, 2015

ISSN 2225-7551

ISSN 2225-7551

MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF UKRAINE



VISNYK

CHERNIHIV STATE TECHNOLOGICAL UNIVERSITY

SERIES "TECHNICAL SCIENCES"

SET OF SCIENTIFIC WORKS

ISSUE № 2 (78)

Chernihiv 2015

UDC 62/69+004
LBC 30/35

Published by the decision of the Academic Council of the University (protocol № 2 of dated 23.02.2015). Visnyk of Chernihiv State Technological University. Series "Technical sciences" is included in the new list of academic editions of Ukraine, approved by the Resolution of the Presidium of the HAC of Ukraine of 01.07.2010 № 1-05/5 (Bulletin of HAC of Ukraine № 7, 2010).

Since 2013 Visnyk of Chernihiv State Technological University. Series "Technical sciences" has been included in the international scientometric database eLIBRARY.RU (license agreement № 246-04\2013 of April 29, 2013).

Visnyk of Chernihiv State Technological University. Series "Technical sciences" : scientific collection / Chernihiv National University of Technology. – Chernihiv : Chernihiv National University of Technology, 2015. – № 2 (78). – 242 p.

This issue of Visnyk of Chernihiv State Technological University. Series "Technical sciences" contains the articles on theoretical and experimental research in the field of Engineering science: mechanics, mechanochemistry, integrated technologies of machinebuilding and motor transport, welding technologies, information and computer technologies, power engineering, technologies of woodworking, light and food industry and technologies of labor protection and natural resource management. The articles are written by the scientists, postgraduates, masters students, students and reviewed by the higher technical educational establishments and the institutions of the National Academy of Sciences of Ukraine (NAS).

Visnyk of Chernihiv State Technological University. Series "Technical sciences" will be useful for the scientists in different fields of technical sciences, scientific and technical workers, postgraduates, master students and students of the higher technical educational establishment.

UDC 62/69+004
LBC 30/35

Editor in chief:
Kazymyr V.V., Vice-rector for scientific work, Doctor of Technical Sciences, Professor.

Deputy Editor in chief:
Pilipenko O.I., Doctor of Technical Sciences, Professor.

Members of the Editorial Board:
Bolotov H.P., Doctor of Technical Sciences, Professor;
Varchola Michel, Professor, President of the Academic society of Michal Baludansky, Slovakia;
Volkov I.V., Doctor of Technical Sciences, Professor;
Denysov Yu.A., Doctor of Technical Sciences, Professor;
Dubenets V.H., Doctor of Technical Sciences, Professor;
Dudla I.O., Doctor of Technical Sciences, Professor;
Kalchenko V.I., Doctor of Technical Sciences, Professor;
Kalchenko V.V., Doctor of Technical Sciences, Professor;
Lytvynov V.V., Doctor of Technical Sciences, Professor;
Senko V.I., Doctor of Technical Sciences, Professor;
Syza O.I., Doctor of Technical Sciences, Professor;
Skorobohatova V.I., Doctor of Technical Sciences, Professor;
Kharchenko H.K., Doctor of Technical Sciences, Professor;
Cherednichenko P.I., Doctor of Technical Sciences, Professor;
Dmitri Vinnikov, Doctor of Science, Senior Researcher, Head of Power Electronics R&D Group, Tallinn University of Technology, Tallinn, Estonia;
Enrique Romero-Cadaval, Doctor of Science, Professor, Main Researcher in Power Electrical & Electronic Systems R&D Group, University of Extremadura, Badajoz, Spain;
Ilya Galkin, Doctor of Science, Professor, Editor in-Chief of the Scientific Journal "Electrical, Control and Communication Engineering", Riga Technical University, Riga, Latvia;
John N. Davies, Professor, Department of Computer Science, Glyndwr University, Wrexham, U.K.;
Zheleznyak Mark, Professor, Institute of Environmental Radioactivity, Fukushima University, Japan.

Founded in 1996. Certificate of State registration
KV № 14994-3966 PR of 27.02.2009.

© Chernihiv National University of Technology, 2015

ЗМІСТ

РОЗДІЛ І. МЕХАНІКА

Кузнєцов Ю.М., Придальний Б.І., Хамуйела Г.Ж.А. Новий підхід до опису і синтезу приводів механізмів маніпулювання об'єктами в технологічному обладнанні 9

Анастасенко С.М., Григурко І.О., Ошовський В.Я. Забезпечення довговічності поверхонь зубців шестерні і впадин шліців на вал-шестерні методом поверхневого зміцнення деталі чеканкою 17

Барилюк Є.І., Зайончковський Г.Й. Зменшення динамічних навантажень та інтенсивності процесів зношування елементів малогабаритних електромагнітних клапанів 20

РОЗДІЛ ІІ. МЕХАНОХІМІЯ

Буря А.И., Ерёмина Е.А. Влияние содержания бронзы на износостойкость ароматического полиамида фенилон 27

Буря А.И., Набережная О.А., Перемитько В.В. Влияние содержания органического волокна на трибологические свойства композитов на основе фенилона 33

Королёв А.А. Интенсификация процесса этерификации глицерина 38

Filonenko S., Nimchenko T. Simulation of acoustic emission in composite material machining with regard to its physical and mechanical characteristics 44

РОЗДІЛ ІІІ. ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ МАШИНОБУДУВАННЯ ТА АВТОТРАНСПОРТУ

Кальченко В.И., Кальченко В.В., Веремей Г.А., Следникова Е.С. Модульное 3D-моделирование инструментов, процесса съема припуска и формообразования при растачивании седел клапанов ориентированной пластинкой 51

Тихенко В.Н., Старцев В.И., Анисимов А.А., Пчелинский С.В. Вибродиагностика станка для обработки колесных пар 60

Федориненко Д.Ю. Енергоефективність обробних верстатів 64

Федориненко Д.Ю., Космач О.П. Інформаційно-вимірювальний комплекс визначення електричного споживання асинхронних двигунів верстатів 70

Хімічева Г.І., Куриляк В.В. Збільшення ресурсу опорно-упорних підшипників на основі кваліметричного підходу 76

Гусарев В.С., Яровой Ю.В. Энергетические критерии в технологии машиностроения 80

Космач О.П., Товстуха О.Д. Дослідження кінематики пристроїв для машинобудування та деревообробки в SolidWorks 85

Михайлов М.И. Оптимизация емкости накопителей инструментов станков с ЧПУ для гибких производственных систем 92

Онищук С.Г., Тулупов В.И., Миранцов С.Л. Новые подходы в конструкторско-технологической подготовке производства изделий с учетом жизненного цикла 100

Сапон С.П. Дослідження точності оброблення на токарному верстаті зі шпинделем на гідростатичних опорах 104

Степаненко О.О., Манжола М.Ю., Кузнєцов Ю.М. Дослідження впливу компонувань настільних фрезерних верстатів з ЧПК на якість оброблення деталей 113

Пугач Р.С. Модифицирование поверхности деталей машин с целью получения высоких трибологических параметров 118

Юхимчук В.М. Шляхи оптимізації вибору інструментального забезпечення оброблення отворів 122

Майданюк С.В. Визначення кута контакту відрізних фрез з різнонаправленими зубцями 128

РОЗДІЛ ІV. ТЕХНОЛОГІЇ ЗВАРЮВАННЯ

Жигуц Ю.Ю. Термітне зварювання чавунних деталей 134

РОЗДІЛ V. ІНФОРМАЦІЙНО-КОМП'ЮТЕРНІ ТЕХНОЛОГІЇ

Казимир В.В., Харченко М.В. Технологія побудови вбудованих програмних моделей бізнес-процесів на основі їх XML-описів 139
Точилин С.Д. Анализ производительности SOAP и RESTful Java Web-служб поиска в данных СУБД PostgreSQL 147
Трейтяк В.В. Технологія обміну даними між користувачами різних інтегрованих автоматизованих систем виробничого призначення 152
Козьяков С.В. Експериментальна апробація підсистеми управління мотивацією ІТ-фахівців у виробничих умовах 158
Сосса Б.Р. Порівняльне оцінювання точності координат точкових марок, отриманих способом наземного лазерного сканування 165
Топал А.В., Сергієнко О.А., Вислоух С.П. Вирішення задач технологічної підготовки виробництва засобами штучних нейронних мереж 171

РОЗДІЛ VI. ЕНЕРГЕТИКА

Білокінь С.О., Бондаренко М.О., Бондаренко Ю.Ю., Антонюк В.С. Дослідження фізичних характеристик діелектричних поверхонь за допомогою діагностичного стенда на базі атомно-силового мікроскопа 176
Зайцев Р.В., Кириченко М.В. Разработка системы автоматизации измерений параметров полупроводниковых приборов 181
Іванець С.А., Красножон О.В. Отримання аналітичного опису поверхні керування для системи відстеження точки максимальної потужності фотоелектричного перетворювача 187

РОЗДІЛ VII. ТЕХНОЛОГІЇ ДЕРЕВООБРОБНОЇ, ЛЕГКОЇ ТА ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

Дейниченко Г.В., Золотухіна І.В., Федак В.І. Дослідження технологічних властивостей УФ-похідних білково-вуглеводної молочної сировини 197
Вежлівцева С.П. Дослідження мікробіологічного стану нових м'яких маргаринів підвищеної біологічної цінності 202
Залета О.М. Моделювання послідовності функціонування технологічної машини для пакування сипких речовин 207
Миськів Є.М., Копинець З.П., Маєвський В.О. Обґрунтування використання обладнання зі стругальними валами зі спіральним розміщенням ножових пластинок 213
Михайлов В.І., Михайлов С.В. Оцінювання впливу гребенів барабана на якість машинного прання 218
Челябієва В.М., Савченко О.М., Сиза О.І. Вплив технологічних факторів на вміст вітаміну С у фруктових соках 224

РОЗДІЛ VIII. ТЕХНОЛОГІЇ ОХОРОНИ ПРАЦІ ТА ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ

Семко В.В. Моделювання турбулентності приземного шару атмосфери 230

ОСНОВНІ ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ ТА ПОДАЧІ РУКОПИСІВ НАУКОВИХ СТАТЕЙ 235

CONTENT

SECTION I. MECHANICS

Kuznetsov Yu., Prydalnyi B., Hamuiela H.J.A. New approach to the description and synthesis of drives of mechanism of manipulating objects in technological equipment....9
Anastasenko S., Hryhurko I., Oshovskyi V. Ensuring durability of surfaces of teeth of the pinion gear and hollows of splines on the shaft – pinion gears by the method of surface strengthening of the detail by stamping....17
Baryliuk Ye., Zaionchkovskyi H. Decreasing dynamic loads and wear intensity of elements of compact-sized electromagnetic valves....20

SECTION II. MECHANOCHEMISTRY

Burya A., Yeremina Ye. Effect of the content of bronze on the wear resistance of the aromatic polyamide phenylone....27
Burya A., Naberezhnaya O., Peremitko V. Effect of organic fibers content on the tribological properties of composites based on phenylone....33
Korolev A. Intensification of the esterification of glycerol....38
Filonenko S., Nimchenko T. Simulation of acoustic emission in composite material machining with regard to its physical and mechanical characteristics....44

SECTION III. INTEGRATED TECHNOLOGIES OF MACHINEBUILDING AND MOTOR TRANSPORT

Kalchenko V., Kalchenko V., Veremey G., Slednikova E. Modular 3D-modeling tools, the process of removing allowances and formation of valve seat oriented plate....51
Tikhenko V., Startsev V., Anisimov A., Pchelinskiy S. Vibrodiagnostics of a machine tool for processing of wheel pairs....60
Fedorynenko D. The energy efficiency of machine tools....64
Fedorynenko D., Kosmach O. Information and measuring complex for determination of power consumption of machine tools asynchronous motors....70
Khimicheva H., Kuryliak V. The increase of resources of thrust and radial bearings on the basis of qualimetrical approach....76
Gusarev V., Yarovoy Yu. Energy criteria in mechanical engineering technology....80
Kosmach O., Tovstukha O. Study of devices kinematic for mechanical engineering and woodworking in SolidWorks....85
Mikhailov M. Optimization of machine tools with CNC storage capacity for flexible manufacturing systems....92
Onishchuk S., Tulupov V., Mirantsov S. New approaches in the design and technological preparation of products manufacture, considering the life cycle....100
Sapon S. The research of a machining accuracy on turning lathe with spindle on hydrostatic bearings....104
Stepanenko O., Manzhola M., Kuznetsov Yu. Rresearch of the effect of configurations of desktop CNC milling machines on the quality of processing parts....113
Pugach R. Modification of machine elements surface for obtaining high tribological characteristics....118
Yukhymchuk V. Approaches to optimize the cutting tool selection for holes machining....122
Maidaniuk S. Determination of the contact angle of cut-off milling cutters with alternate teeth....128

SECTION IV. WELDING TECHNOLOGIES

Zhyhuts Yu. The thermit welding of cast irons....134

SECTION V. INFORMATION AND COMPUTER TECHNOLOGIES

Kazymyr V., Kharchenko M. The technology of creating embedded software models of business-processes based on their XML descriptions 139
Tochilin S. Performance analysis of SOAP and RESTful Java Web services for data search in PostgreSQL DBMS 147
Treitiak V. Technology of data exchange between users of different integrated automated systems of production purposes 152
Koziakov S. Experimental approbation of management subsystem of motivation of IT specialists in the production environment 158
Sossa B. Comparative estimation of the accuracy of point-based targets coordinates, obtained with terrestrial laser scanning 165
Topal A., Serhiienko O., Vysloukh S. Solving problems of technological preproduction by methods of neural networks 171

SECTION VI. POWER ENGINEERING

Bilokin S., Bondarenko M., Bondarenko Yu., Antoniuk V. Research of physical characteristics of dielectric surfaces by means of diagnostic stand on the base of atomic-Force microscope 176
Zaytsev R., Kirichenko M. The development of the semiconductor devices parameters automation measurement system 181
Ivanets S., Krasnozhon O. Obtaining of an analytical description of the control surface for the system tracking maximum power point of a photovoltaic cell 187

SECTION VII. TECHNOLOGIES OF WOODWORKING, LIGHT AND FOOD INDUSTRY

Deinychenko H., Zolotukhina I., Fedak V. Research of technological properties of buttermilk UV-derivatives 197
Vezhlivtseva S. The microbiological study of the state of new soft margarines of high biological value 202
Zaleta O. Sequence modeling of technological machine functioning for packing of bulk substances 207
Myskiv Ye., Kopynets Z., Maievskyi V. Grounding of using equipment with knife cutterblock and spiral location of knife blades 213
Mykhailov V., Mykhailov S. Evaluation of the impact of the drum ridges on the machine wash quality 218
Cheliabiieva V., Savchenko O., Syza O. Influence of technological factors on the content of vitamin C in fruit juices 224

SECTION VIII. TECHNOLOGIES OF LABOR PROTECTION AND NATURAL RESOURCE MANAGEMENT

Semko V. Simulation of atmospheric boundary turbulence 230

BASIC REQUIREMENTS FOR EXECUTION AND SUBMISSION OF MANUSCRIPTS SCIENTIFIC ARTICLES 235

РОЗДІЛ І. МЕХАНІКА

УДК 621.941

Ю.М. Кузнєцов, д-р техн. наук
Національний технічний університет України «КПІ», м. Київ, Україна
Б.І. Придальний, канд. техн. наук
Луцький національний технічний університет, м. Луцьк, Україна
Г.Ж.А. Хамуйела, канд. техн. наук
Національний технічний університет України «КПІ», м. Київ, Україна

НОВИЙ ПІДХІД ДО ОПИСУ І СИНТЕЗУ ПРИВОДІВ МЕХАНІЗМІВ МАНІПУЛЮВАННЯ ОБ'ЄКТАМИ В ТЕХНОЛОГІЧНОМУ ОБЛАДНАННІ

Ю.М. Кузнецов, д-р техн. наук
Национальный технический университет Украины «КПИ», г. Киев, Украина
Б.И. Придальный, канд. техн. наук
Луцкий национальный технический университет, г. Луцк, Украина
Г.Ж.А. Хамуйела, канд. техн. наук
Национальный технический университет Украины «КПИ», г. Киев, Украина

НОВЫЙ ПОДХОД К ОПИСАНИЮ И СИНТЕЗУ ПРИВОДОВ МЕХАНИЗМОВ МАНИПУЛИРОВАНИЯ ОБЪЕКТАМИ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ОБОРУДОВАНИИ

Yurii Kuznetsov, Doctor of Technical Sciences
National Technical University of Ukraine «KPI», Kyiv, Ukraine
Borys Prydalnyi, PhD in Technical Sciences
Lutsk National Technical University, Lutsk, Ukraine
Herra J. A. Hamuiela, PhD in Technical Sciences
National Technical University of Ukraine «KPI», Kyiv, Ukraine

NEW APPROACH TO THE DESCRIPTION AND SYNTHESIS OF DRIVES OF MECHANISM OF MANIPULATING OBJECTS IN TECHNOLOGICAL EQUIPMENT

Захватний пристрій механізмів маніпулювання за однією з функцій, яку він виконує, відноситься до певного виду затискних механізмів, і зокрема, затискних патронів, оскільки повинен забезпечувати надійне утримання об'єкта під час маніпулювання. Тому в захватних пристроях існують силові потоки від джерела енергії та привода, які подібні до тих, що існують у механізмах затиску заготовки металорізальних верстатів. Запропоновано застосовувати при описі та синтезі захватних пристроїв теорію генетичного та еволюційного синтезу на різних рівнях структурної організації: хромосомному, об'єктному, видовому. Представлено передумови до синтезу та опису приводів механізмів маніпулювання об'єктами в технологічному обладнанні. Показано, що передача до захоплюючих елементів переміщень, сил та енергії може бути описана на хромосомному рівні у вигляді морфологічної моделі елементарних силових потоків.

Ключові слова: *захватний пристрій, привод механізму маніпулювання, генетично-морфологічний синтез, силові потоки, морфологічна модель.*

Захватное устройство механизмов манипулирования за одной из функций, которую оно выполняет, относится к определенному виду зажимных механизмов, и в частности, зажимных патронов, поскольку должно обеспечивать надежное удержание объекта во время манипулирования. Поэтому в захватывающих устройствах существуют силовые потоки от источника энергии и привода, которые подобны тем, что существуют в механизмах зажима заготовки металлорежущих станков. Предложено применять при описании и синтезе захватывающих устройств теорию генетического и эволюционного синтеза на разных уровнях структурной организации: хромосомном, объектном, видовом. Представлены предпосылки к синтезу и описанию приводов механизмов манипулирования объектами в технологическом оборудовании. Показано, что передача к захватывающим элементам перемещений, сил и энергии может быть описана на хромосомном уровне в виде морфологической модели элементарных силовых потоков.

Ключевые слова*: захватное устройство, привод механизма манипулирования, генетически-морфологический синтез, силовые потоки, морфологическая модель.*

Gripping mechanisms of manipulation device according to one of the functions, which it performs, refers to a certain type of clamping mechanisms, and in particular to the clamping chuck, because they must provide reliable maintenance of object during manipulation. Therefore, there are power flows in the gripping devices, which run from the sources of energy and drive, which are similar to those that exist in the workpiece clamping mechanisms of machine tools. The theory of genetic and evolutionary synthesisis proposed to be used in the description and synthesis of devices of gripping on different levels of structural organization, chromosomal, object, species. Preconditions of synthesis and description of drive mechanisms for manipulating objects in technological equipment are presented. It is shown, that the transfer to the gripping elements of movement, strength and energy can be described at chromosomal level in the form of basic morphological patterns of power flows.

Key words*: gripper mechanism, the drive mechanism of manipulation, genetic-morphological synthesis, power flows, morphological model.*

Постановка проблеми. У затискних механізмах (ЗМ) металорізальних верстатів приводи затиску (ПрЗ) класифікують за джерелами та перетворювачами енергії, за характером замикання силового контуру [10]. Залежно від джерела енергії та способу її перетворення ПрЗ поділяють на: механічні, гідравлічні, пневматичні, вакуумні, електричні, відцентрової дії та їх комбінації (електрогідравлічні та інші). За характером замикання існують ПрЗ з: 1) непружним силовим; 2) пружним силовим; 3) геометричним; 4) фрикційним; 5) комбінованим.

Природно, що у приводах захватних пристроїв (ЗП), де основна функція – забезпечення необхідної сили затиску для надійного захвату об'єкта маніпулювання, можливе використання приводів, аналогічних до тих, що використовуються у ЗМ при конструктивних обмеженнях їх розташування. У роботах привод ЗП повинен розташовуватися на маніпулюючому органі – механічній руці, яка оснащена на кінцевій (вихідній) ланці однозахватним або двозахватним пристроєм з різними функціональними можливостями [5; 6; 7]. Крім забезпечення надійного захвату об'єкта, маніпулювання під час виконання допоміжних рухів у складі робототехнічного комплексу важливою є швидкодія, що накладає додаткові вимоги на приводи ЗП. Тому не всі з можливих приводів, що використовуються в ЗМ, доцільно застосовувати у маніпуляторах для ЗП. Нині існує значна кількість виконань ЗП, які можна розподілити за такими ознаками: спосіб утримання об'єкта; принцип дії; характер базування об'єкта; ступінь спеціалізації; робочий діапазон розмірів об'єкта, який захоплюється; наявність додаткових пристроїв та механізмів; число робочих позицій (захватних органів); вид керування; характер кріплення ЗП до руки промислового робота або маніпулятора.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Таким чином, у ЗП існують силові потоки від джерела енергії та привода, які подібні до тих, що існують у ЗМ [3]. Це дозволяє застосовувати при описі та синтезі ЗП теорію генетичного та еволюційного синтезу [1; 9] на різних рівнях структурної організації (рис. 1). Відповідно до генетико-морфологічного підходу до опису та синтезу ЗМ передача захоплюючим елементам переміщень, сил та енергії може бути описана на хромосомному рівні у вигляді морфологічної моделі (матриці) елементарних силових потоків – батьківських хромосом (пара вхідного та вихідного зусиль) для об'єктів типу тіл обертання у циліндричній системі координат [3; 4] представлено у вигляді (1). З рис. 1 видно, що ЗП та його привод відповідно до теоретичних положень генетико-морфологічного підходу можна описувати на різних рівнях складності: генетичному, хромосомному, об'єктному, видовому, популяційному, системному, міжсистемному [3; 9; 10].

$$M_{in} = \begin{vmatrix} F_{a1} \\ \underline{F_{a1}} \\ F_{r1} \\ \underline{F_{r1}} \\ F_{t1} \\ \underline{F_{t1}} \\ M_{a1} \\ \underline{M_{a1}} \\ M_{r1} \\ \underline{M_{r1}} \\ M_{t1} \\ \underline{M_{t1}} \end{vmatrix} \Rightarrow M_{EX} \begin{vmatrix} F_{a2} \\ \underline{F_{a2}} \\ F_{r2} \\ \underline{F_{r2}} \end{vmatrix} \qquad (1)$$

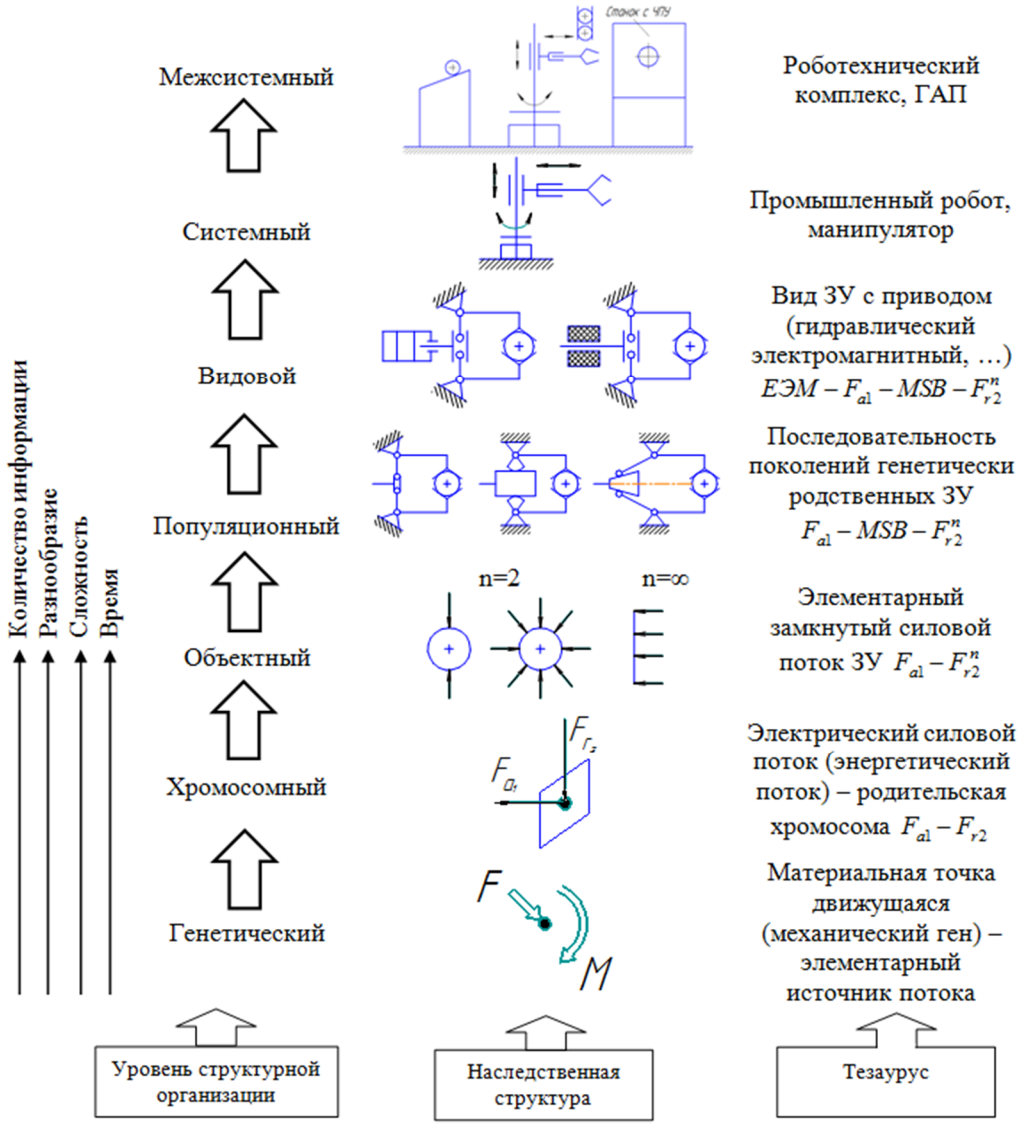


Рис. 1. Генетична модель структурної організації та еволюції складних робототехнічних систем та комплексів у гнучкому автоматизованому виробництві

Для опису привода ЗП на хромосомному рівні необхідно використовувати елементарний силовий потік [10], враховуючи, що:

1. Силових (енергетичних) потоків може бути кілька за входами і виходами.

2. Вхідні та вихідні силові потоки можуть бути однаковими та різними і складатися з обмеженої кількості їх видів та обмеженого набору варіантів просторового розташування (координатних рухів).

3. Силові потоки бувають переважно із зовнішнім джерелом енергії.

4. З'єднання окремих силових потоків може бути послідовним, паралельним, паралельно-послідовним.

5. Між входом і виходом силового потоку є різні перетворювачі, але їх кількість обмежена (наприклад, до механічних перетворювачів безпосередньо в ЗП відносяться важільні, клинові, плунжерні, спіральні, зубчасті, гвинтові, пружні).

6. Можлива комбінація перетворювачів силових потоків ЗП, а можливий один перетворювач, коли функції привода виконує сам ЗП.

7. Передача та перетворення (трансформація) силових потоків може відбуватися у різних середовищах (твердих, плинних, сипучих, рідинних, повітряних, електромагнітних, магнітострикційних, біологічних та інших, поки нам невідомих).

Як і в ЗМ, привод захвата Прз є проміжним перетворювачем силових (енергетичних) потоків між джерелом і ЗП (рис. 2, *а*).

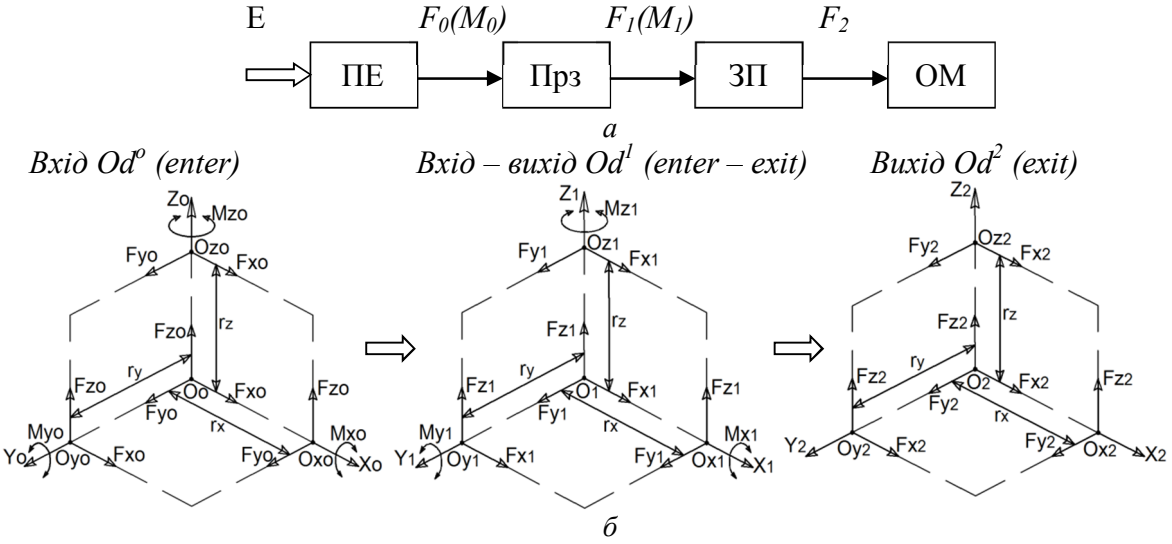


Рис. 2. Узагальнені структура (а) і модель силових (енергетичних) потоків (б) у маніпуляторі промислового робота: Е – джерело енергії; ПЕ – перетворювач енергії; Прз – привод механізму захвата; ЗП – захватний пристрій; ОМ – об'єкт маніпулювання

Метою дослідження є розроблення передумов нового підходу до створення та опису захватних пристроїв механізмів маніпулювання об'єктами в технологічному обладнанні на основі генетико-морфологічного синтезу. Умовно кажучи, якщо абстрактно уявити маніпулятор, якого ще не існує, але який треба створити, то модель силових (енергетичних) потоків буде складатися з двох елементарних потоків: один у Прз $F_0(M_0) – F_1(M_1)$, а другий у ЗП $F_1(M_1) – F_2$ без зазначення координатного напрямку сил (моментів) на вході і виході. Тоді повний потік від джерела енергії Е через перетворювачі ПЕ до об'єкта маніпулювання (ОМ) запишеться у вигляді генетичної формули – взаємодії трьох матеріальних точок О, O_1, O_2 (рис. 2, *б*)

$$F_0(M_0) – F_1(M_1) – F_2,$$

де на хромосомному рівні для маніпулятора генетичний код Прз буде $F_0(M_0) – F_1(M_1)$, а ЗП – $F_1(M_1) – F_2$.

Виклад основного матеріалу. Графічне зображення силових потоків у ЗП наведено на рис. 3, а позначення силових контурів у табл. 1.

Для опису Прз і ЗП в маніпуляторах промислових роботів доцільно використати породжувальну систему ЗМ [10] і такі позначення:

MSB (mechanical solid body) – механічні передачі і перетворювачі за допомогою твердих тіл;

EMF (electromagnetic field) – електромагнітні поля, що діють безпосередньо або в складі (структурі) електромеханічних систем передачі і перетворення;

LFM (liquid flowing medium) – рідинно-плинні та в'язкі середовища для передачі та перетворення (зміни параметрів потоку);

AVM (air and vacuum medium) – газові (повітряні) середовища для передачі і перетворення, в тому числі вакуум;

CMF (constant magnetic field) – магнітні поля притягання та відштовхування;

TRF (thermal field) – теплові потоки, що спричиняють сили теплового розширення (звуження) речовини;

CFF (centrifugal force) – відцентрові сили під час обертання незрівноважених мас.

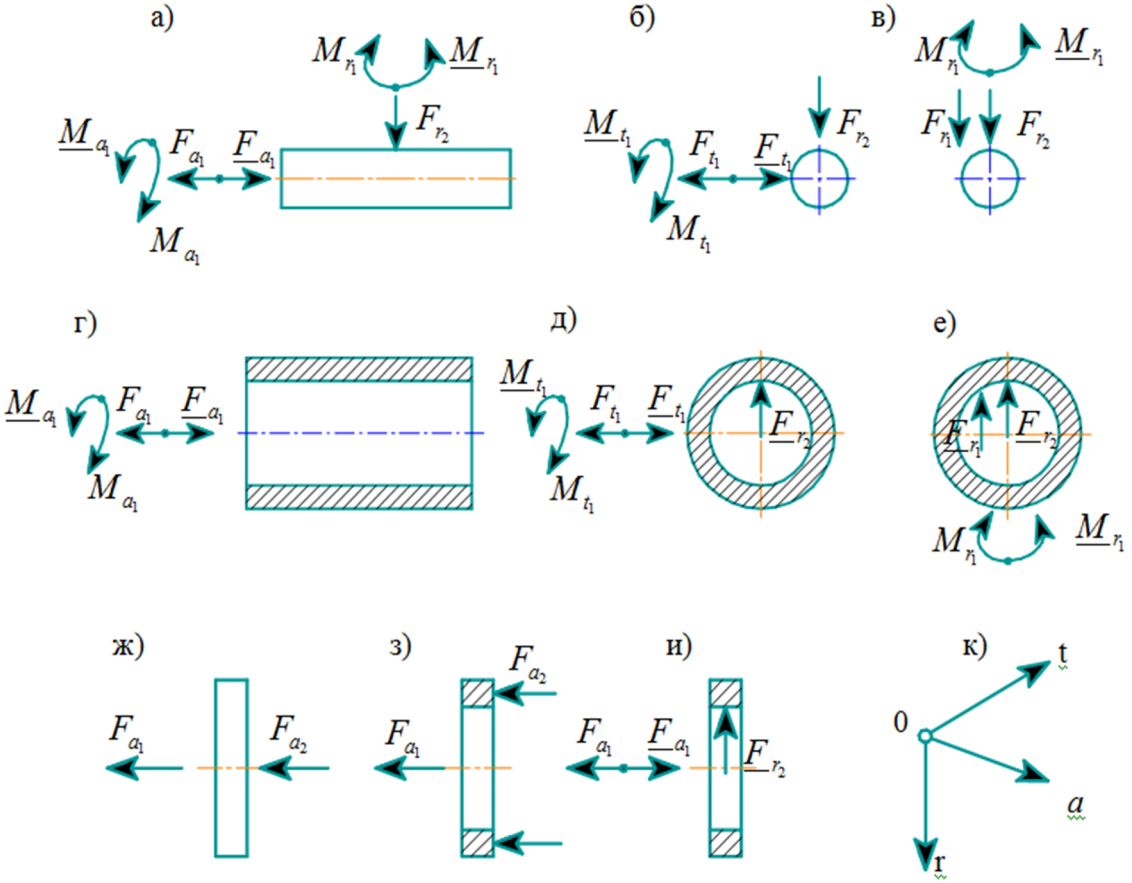


Рис. 3. Варіанти можливих силових потоків у захватних пристроях для маніпулювання суцільними циліндричними (а-в) та пустотілими циліндричними (г-е) деталями, суцільними дисками (ж) та кільцями (з-и) у циліндричній системі координат art (к)

Таблиця 1

Позначення силового контуру

Захватний пристрій (ЗП)		**Привод (Прз) для ЗП**	
Вид контуру	*Позначення*	*Вид замикання*	*Позначення*
замкнений закритий	[1]	геометричне	[1]
замкнений відкритий	1	фрикційне	1
розімкнений	0	силове непружне	0
комбінований: замкнено-розімкнений	[1],0 1,0	силове пружне	[0]
комбінований: розімкне-но-замкнений	0,1 0,[1]	комбіноване: геометричне - си-лове непружне	[1],0 0,[1]
		комбіноване: геометричне-фрикційне	[1],1 1,[1]
		комбіноване: геометричне-силове пружне	[1],[0] [0],[1]
		комбіноване: фрикційне-силове пружне	1,[0] [0],1
		комбіноване: фрикційне-силове непружне	1,0 0,1

Для маніпуляторів з Прз і ЗП, зображеними на рис. 4, наведені (табл. 2) формули опису на хромосомному, об’єктному і популяційному рівнях згідно з рис. 1.

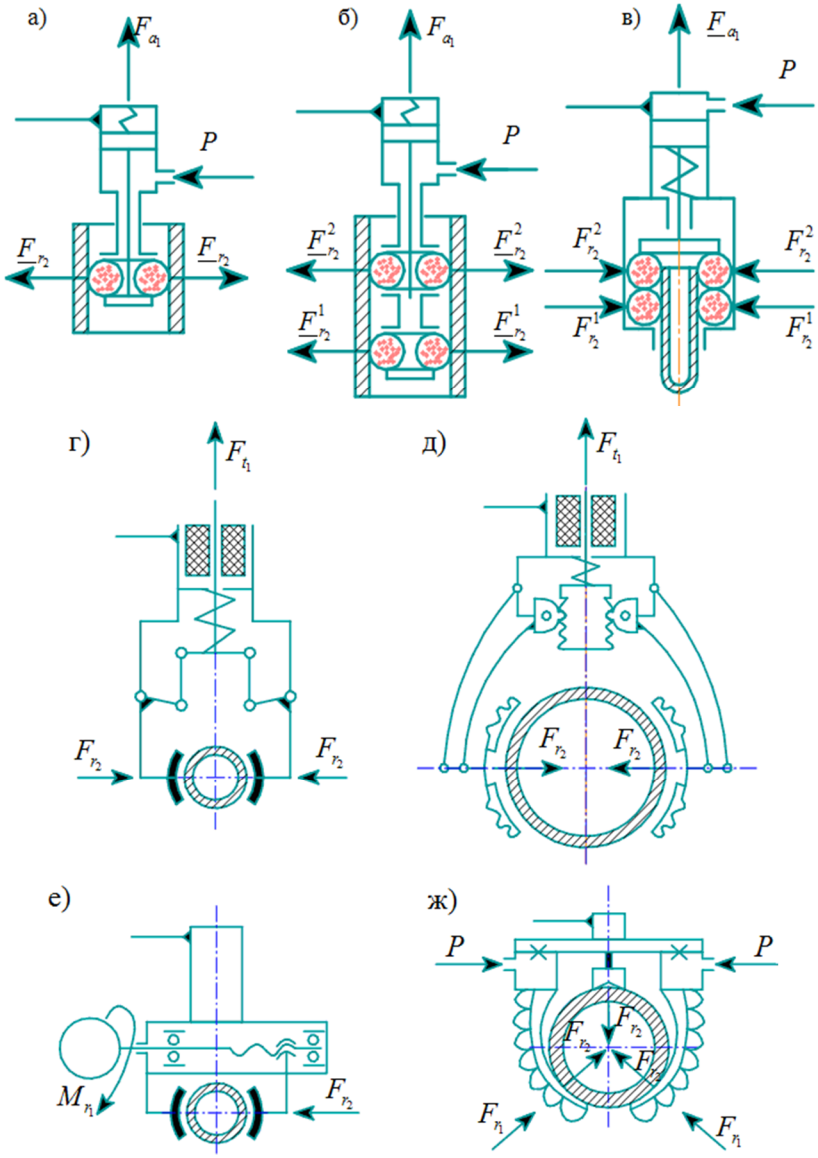
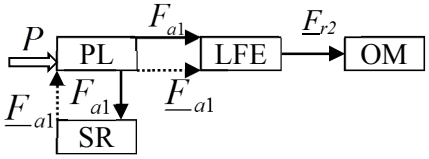


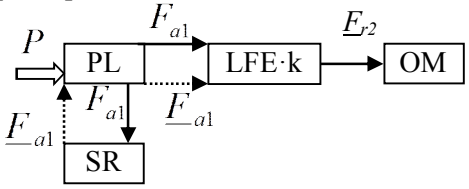
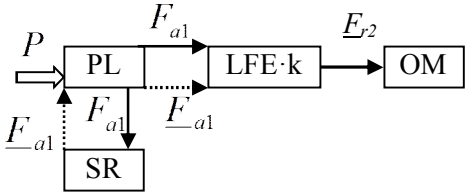
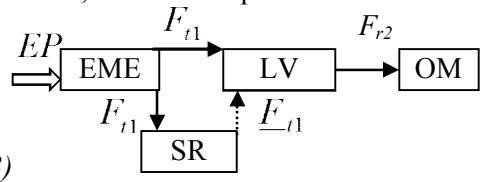
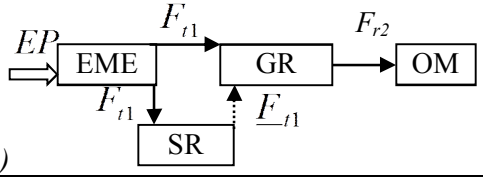
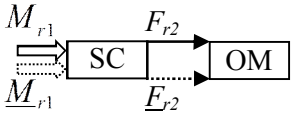
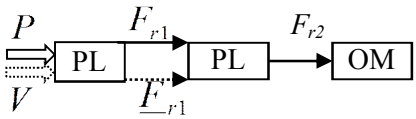
Рис. 4. Принципова схема захоплюючих пристроїв для жорстких, крихких, нежорстких об'єктів та відповідні їм батьківські хромосоми а, б – $F_{a1} - \underline{F}_{r2}$ *; в –* $\underline{F}_{a1} - F_{r2}$ *; г, д –* $F_{t1} - F_{r2}$ *; е –* $M_{r1} - F_{r2}$ *;*
ж – $F_{r1} - F_{r2}$

Таблиця 2

Запис структурних (генетичних) формул маніпуляторів відповідно до рис. 4

№ рисунка	Структурні (генетичні) формули маніпуляторів на хромосомному (батьківські хромосоми)-1), об'єктному-2) і популяційному-3) рівнях
1	2
Рис. 4, *а*	*1)* $\left\|\left(F_{a1} - \underline{F}_{r2}\right)\right\|^{[0]}$; *2)* $AVM\left(P - PL - F_{a1}\right) \cdot MSB\left(F_{a1} - LFE - \underline{F}_{r2}\right)$, де LFE – liquid flowing element, P – pressure;  *3)* , де OM – object of manipulation

Закінчення табл. 2

1	2
Рис. 4, *б*	*1)* $\left\|\left(F_{a1}-\underline{F}_{r2}\right)\right\|^{[0]}$; *2)* $AVM\left(P-PL-F_{a1}\right)\cdot MSB\left(F_{a1}-\left(LFE-\underline{F}_{r2}\right)\cdot k\right)$, де k – кількість однакових перетворюючих елементів;  *3)*
Рис. 4, *в*	*1)* $\left\|\left(\underline{F}_{a1}-F_{r2}\right)\right\|^{[0]}$; *2)* $AVM\left(P-PL-\underline{F}_{a1}\right)\cdot MSB\left(\underline{F}_{a1}-\left(LFE-F_{r2}\right)\cdot k\right)$;  *3)*
Рис. 4, *г*	*1)* $\left\|\left(F_{t1}-F_{r2}\right)\right\|^{[0]}$ *2)* $EMF\left(EP-EME-F_{t1}\right)\cdot MSB\left(F_{t1}-LV-F_{r2}\right)$, де EME – electromagnetic element; EP – electropower.  *3)*
Рис. 4, *д*	*1)* $\left\|\left(F_{t1}-F_{r2}\right)\right\|^{[0]}$; *2)* $EMF\left(EP-EME-F_{t1}\right)\cdot MSB\left(F_{t1}-GR-F_{r2}\right)$, EP – electropower;  *3)*
Рис. 4, *е*	*1)* $\left\|\left(M_{r1}-F_{r2}\right)\right\|^{1}$ *2)* $MSB\left(M_{r1}-SC-F_{r2}\right)$  *3)*
Рис. 4, *ж*	*1)* $\left\|\left(F_{r1}-F_{r2}\right)\right\|^{[0]}$ *2)* $AVM\left(P-PL-F_{r1}\right)\cdot MSB\left(F_{r1}-PL-F_{r2}\right)$  *3)* , де P – pressure, V – vacuum

Висновки. Показано, що генетико-морфологічний підхід можна застосовувати не лише для опису та синтезу затискних механізмів, але і для захватних пристроїв промислових роботів і маніпуляторів. При цьому як батьківські хромосоми доцільно використовувати силові (енергетичні) потоки між двома матеріальними точками [3].

Список використаних джерел

1. *Балашов Е. П.* Эволюционный синтез систем / Е. П. Балашов. – М. : Радио и связь, 1985. – 328 с.

2. *Кузнєцов Ю. М.* Робототехнічні системи і комплекси фармацевтичного та біотехнологічного виробництв : навч. посіб. / Ю. М. Кузнєцов, В. Ю. Шибецький ; під заг. ред. Ю. М. Кузнєцова. – К., 2012. – 335 с.

3. *Кузнецов Ю. Н.* Генетико-морфологический подход к созданию и прогнозированию развития зажимных механизмов для вращающихся деталей / Ю. Н. Кузнецов, А. Г. Хамуйела Жоакин, А. Попаров // Journal of the Technical University – Sofia Plovdiv branch, Bulgaria „Fundamental Sciences and Applications". – 2013. – Vol. 19, Book 2. – P. 7–13.

4. *Кузнецов Ю. Н.* Морфологический синтез станков и их механизмов : монография / Ю. Н. Кузнецов, Герра Ж.А. Хамуйела, Т. О. Хамуйела ; под ред. Ю. Н. Кузнецова. – К., 2012. – 416 с.

5. *Павленко І. І.* Конструктивно-кінематична структура двозахватних пристроїв промислових роботів / І. І. Павленко, В. А. Мажора // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем : зб. наук. праць. – Краматорськ : ДДМА, 2006. – Вип. 19. – С. 104–109.

6. *Павленко І. І.* Промислові роботи: основи розрахунку та проектування / І. І. Павленко. – Кіровоград : КНТУ, 2007. – 420 с.

7. *Робототехніка* : підручник / В. І. Костюк, Г. О. Спину, Л. С. Ямпольский, М. М. Ткач. – К. : Вища школа, 1994. – 447 с.

8. *Челманов И. Б.* Схваты промышленных роботов / И. Б. Челманов, С. Н. Колпашников. – Л. : Машиностроение, 1989. – 285 с.

9. *Шинкаренко В. Ф.* Основи теорії еволюції електромеханічних систем / В. Ф. Шинкаренко. – К. : Наукова думка, 2002. – 288 с.

10. *Hamuyela J. A. Guerra*, Kuznetsov Y.N., Ibrahim Al-Refo Farhan. Creation of new clamping mechanisms using genetic-morphological method // Journal of mechanical engineering NTUU «Kyiv Polytechnic Institute». – 2013. – № 67. – P. 155–162.

УДК 621.914.02

С.М. Анастасенко, канд. техн. наук
І.О. Григурко, доцент
В.Я. Ошовський, канд. техн. наук
Первомайський політехнічний інститут Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Первомайськ, Україна

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ ПОВЕРХОНЬ ЗУБЦІВ ШЕСТЕРНІ І ВПАДИН ШЛІЦІВ НА ВАЛ-ШЕСТЕРНІ МЕТОДОМ ПОВЕРХНЕВОГО ЗМІЦНЕННЯ ДЕТАЛІ ЧЕКАНКОЮ

С.Н. Анастасенко, канд. техн. наук
И.А. Григурко, доцент
В.Я. Ошовский, канд. техн. наук
Первомайский политехнический институт Национального университета кораблестроения имени адмирала Макарова, г. Первомайск, Украина

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ПОВЕРХНОСТЕЙ ЗУБЬЕВ ШЕСТЕРНИ И ВПАДИН ШЛИЦОВ НА ВАЛ-ШЕСТЕРНЕ МЕТОДОМ ПОВЕРХНОСТНОГО УПРОЧНЕНИЯ ДЕТАЛИ ЧЕКАНКОЙ

Serhii Anastasenko, PhD in Technical Sciences
Ivan Hryhurko, Associate Professor
Viktor Oshovskyi, PhD in Technical Sciences
Pervomaisk Polytechnical Institute of National Shipbuilding University named after admiral Makarov, Pervomaisk, Ukraine

ENSURING DURABILITY OF SURFACES OF TEETH OF THE PINION GEAR AND HOLLOWS OF SPLINES ON THE SHAFT – PINION GEARS BY THE METHOD OF SURFACE STRENGTHENING OF THE DETAIL BY STAMPING

Розглянуто конструкцію установки для віброзміцнення впадин зубців шестерні та шліців на валах методом наклепування чеканкою. Така конструкція установки застосовується для зміцнення поверхонь шпонкових пазів, галтелей, шліців, бічних поверхонь зубчастих коліс, шестерень, які є концентраторами напружень. У результаті використання цього пристрою підвищується якість обробленої поверхні деталі, збільшується мікротвердість і втомна міцність поверхневого шару матеріалу деталі, що збільшує надійність і довговічність її роботи.

Ключові слова: *зміцнення, гартування, чеканка, пневматичний ударник, поверхневий наклеп, шестерня, глибина наклепу, довговічність.*

Рассмотрена конструкция установки для виброупрочнения впадин зубьев шестерни и шлицов на валах методом наклёпывання чеканкой. Данная конструкция установки применяется для упрочнения поверхностей шпоночных пазов, галтелей, шлицов, боковых поверхностей зубчатых колес, шестерень, которые являются концентраторами напряжений. В результате использования данного устройства повышается качество обрабатываемой поверхности детали, увеличивается микротвердость и усталостная прочность поверхностного слоя материала детали, что увеличивает надёжность и долговечность ее работы.

Ключевые слова: *упрочнение, закалка, чеканка, пневматический ударник, поверхностный наклёп, шестерня, глубина наклёпа, долговечность.*

The considered installation design for vibrohardening of hollows of teeths of a pinion gear and shlits on shaft by a rivet method stamping. This design of installation is applied to hardening of surfaces the shponochnykh of chases, galtel, shlits, side faces of tooth gears, a pinion gear which are concentrators of tension. As a result of use of this device quality of the processing detail surface increases, the microhardness of a blanket is strengthened threw details and the term of durability of its work increases.

Key words: *hardening, training, stamping, pneumatic drummer, superficial peening, pinion gear, peening depth, durability.*

Постановка проблеми: Зміцнення поверхонь шпонкових пазів, галтелей, шліців, бічних поверхонь зубчастих коліс, шестерень здійснюється за допомогою гартування з нагріванням, що підвищує контактну і згинальну міцність шліців, але у межах загартованої зони міцність, як і у випадку із зубчастими колесами, є заниженою. Поверхневе наклепування чеканкою усуває цей недолік, певною мірою доповнюючи гартування. Напруження розтягнення, які виникають під час гартування, ліквідуються чеканкою.

Аналіз останніх досліджень та публікацій показав, що у відомих матеріалах [1; 2], що висвітлюють цю проблему, для довговічності поверхонь зубців шестерні і западин

шліців на вал-шестерні використовують гартування з нагріванням, що підвищує контактну і згинальну міцність шліців, але у межах загартованої зони міцність стає заниженою, що не ефективно.

Не вирішена раніше частина проблеми. Застосування гартування з нагріванням, яке підвищує контактну і згинальну міцність впадин шліців та бічних поверхонь зубців, але у межах загартованої зони міцність, як і у випадку із зубчастими колесами, стає заниженою, що не ефективно. За допомогою поверхневого наклепування чеканкою усувається цей недолік, якби доповнюючи загартування. Напруження розтягнення, які виникають під час гартування, ліквідуються чеканкою за допомогою установки для віброзміцнення поверхонь зубців і шліців.

Метою статті є висвітлення можливостей застосування методу чеканки поверхонь деталей за допомогою установки для віброзміцнення впадин зубців та шліців для забезпечення довговічності та міцності поверхонь зубців шестерні і западин шліців на вал-шестерні.

Виклад основного матеріалу. Одним із методів підвищення довговічності та міцності поверхонь деталей є чеканка. Запропоновано і застосовано чеканку для зміцнення поверхонь шпонкових пазів, галтелей, шліців, бічних поверхонь зубчастих коліс, шестерень, які є концентраторами напружень. За цим методом твердість поверхні підвищилася з 250 до 340 НВ, а межа витривалості – на 40 %.

Чеканка здійснювалася за допомогою пневматичного ударника з енергією удару 0,34 і 0,21Нм і нанесенням 10…20 ударів на 1мм довжини шлиця. Особливо результативними у цьому випадку були установки з вібруючими роликами.

Малі розміри бойка дозволяють досягнути більшої енергії удару на одиницю поверхні. Ефект зміцнення при цьому може бути дуже високим: залишкові напруження становлять 600…800 МПа, ступінь наклепу – 30…50 %, глибина – декілька міліметрів, довговічність деталей збільшується в 1,5 рази і більше. Чеканку можна також застосувати для утворення зовнішнього рельєфу поверхні з метою кращого утримання на ній мастила, підвищення опору відносного переміщення, відновлення щільності нерухомих посадок та зменшення впливу контактної корозії.

Під час вибору режиму зміцнення чеканкою вихідними даними є глибина та ступінь наклепу згідно з технологічними вимогами, а також шорсткість поверхні. Професор І.В. Кудрявцев ступінь наклепу оцінює коефіцієнтом ε, що являє собою відношення діаметра відбитка d, який виникає під час удару сферичним бойком (роликом), до діаметра D самого ролика, за формулою:

$$\varepsilon = \frac{d}{D}. \qquad (1)$$

Для маловуглецевих сталей рекомендується $0{,}3 \le \varepsilon \le 0{,}5$, а для конструкційних – $0{,}3 \le \varepsilon \le 0{,}7$.

При менших значеннях ε ефект зміцнення, який оцінюється за приростом твердості, незначний, при більших – сильно підвищується шорсткість поверхні та уповільнюється приріст твердості.

Динамічне прикладання навантаження (d_{MAX}) при зрівнюванні зі статичним навантаженням збільшує діаметр відбитка в 1,25…1,58 рази, тобто $\frac{d_{MAX}}{d} = 1{,}25 \ldots 1{,}58$ або в загальному вигляді:

$$\frac{d_{MAX}}{d} = 1{,}54 - \frac{\text{НВ}}{1000}.$$

Глибина наклепу задається залежно від перерізу деталі та задач зміцнення. Її залежність від межі текучості сталі при розтягуванні $\sigma_т$ і діаметра одержаного відбитку визначається за формулою:

$$\alpha = \sqrt{\frac{F}{2 \cdot \sigma_T}} \approx 1{,}5 d_{MAX}, \quad (2)$$

де F – зусилля, що прикладається до бойка, Н.

Для більшості конструкційних сталей справедливе співвідношення: σ_T=НВ/6.

Пристосування для чеканки впадин шліців оснащено двома роликами. Діаметр ролика може бути вибраний залежно від бажаної глибини D наклепу в межах $\alpha \leq D \leq 2{,}2\alpha$.

При орієнтовних розрахунках потенційної енергії пристосування для чеканки, призначеного для оброблення наклепом конструкційних сталей середньої твердості (210...217 НВ), можна користуватися формулою:

$$E \cdot n \approx 1{,}2 \cdot E_y = \frac{HB \cdot d^4}{6 \cdot D}, \quad (3)$$

де Е – енергія удару, кг·м.

У розглянутій методиці ефективність наклепу оцінювалась тільки згідно з приростом твердості. Здебільшого не менш важливою характеристикою є рівень отриманих залишкових напружень стискання. Закономірність їх зміни може не збігатися зі зміною твердості. Пристосування для чеканки з механічним приводом (рис.) закріплюється на станині токарного верстата або використовується як окремий спеціальний пристрій.

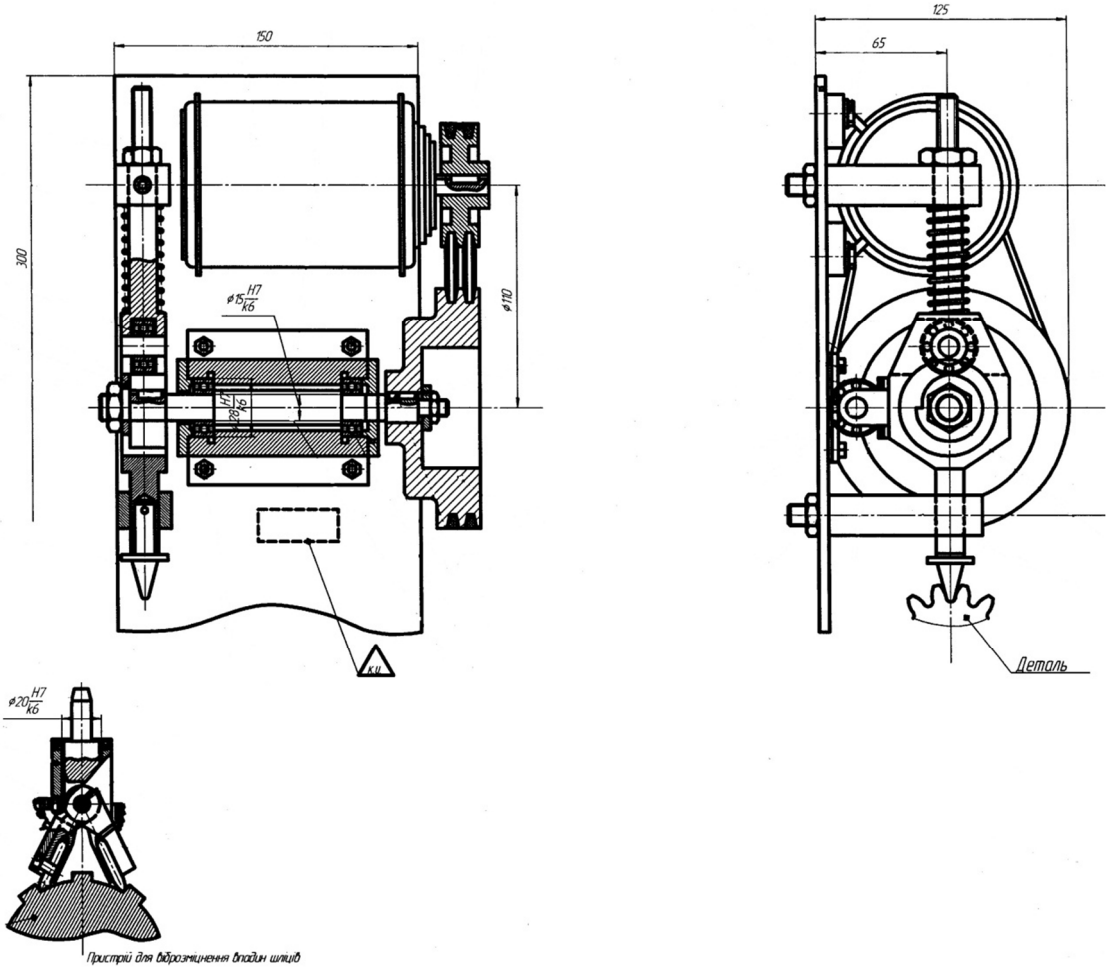


Рис. Установка для віброзміцнення впадин зубців та шліців

Визначення режимів оброблення.

Чеканку впадин шліців проводимо за один прохід на дві одночасно оброблювані впадини шліців. Не слід використовувати зворотний хід як робочий хід, тому що повторні проходи у протилежних напрямках можуть призвести до зайвого деформування поверхневого шару, крім того, робочий профіль роликів призначений для роботи тільки в один бік. Швидкість не впливає на якість оброблення та знаходиться в межах 30...150 м/хв. Приймали V = 120 м/хв. Подачу під час обкатування призначають не більше як 0,1...0,5 мм/об. Приймали S=0,15 мм/об. При розрахунковій довжині шліца $L_р = \ell_д + \ell_{вх} = 94 + 3 = 97$ мм, основний час на чеканку впадин шліців у кількості Z=22 шт становить $T_{осн}$= 8,9 хв.

Висновок. У результаті використання запропонованого у роботі пристрою для віброзміцнення впадин зубців та шліців підвищується якість обробленої поверхні деталі, підвищується мікротвердість і втомна міцність поверхневого шару деталі та збільшується її експлуатаційна довговічність.

Список використаних джерел

1. *Андрианов А. М.* Прогрессивные методы технологии машиностроения / А. М. Андрианов. – М. : Машиностроение, 1978. – 240 с.

2. *Мальцев В. М.* Пристосування для наклепування деталей / В. М. Мальцев, В. П. Киніч. – К. : Техніка, 1986. – 90 с.

3. *Скловський А. С.* Пристосування і інструменти верстатників-новаторів / А. С. Скловський, Г. А. Андрощук. – К. : Техніка, 1986. – 110 с.

УДК 621.891:621.646

Є.І. Барилюк, асистент
Г.Й. Зайончковський, д-р техн. наук
Національний авіаційний університет, м. Київ, Україна

ЗМЕНШЕННЯ ДИНАМІЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ ТА ІНТЕНСИВНОСТІ ПРОЦЕСІВ ЗНОШУВАННЯ ЕЛЕМЕНТІВ МАЛОГАБАРИТНИХ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ КЛАПАНІВ

Е.И. Барилюк, ассистент
Г.И. Зайончковский, д-р техн. наук
Национальный авиационный университет, г. Киев, Украина

УМЕНЬШЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЗОК И ИНТЕНСИВНОСТИ ПРОЦЕССОВ ИЗНОСА ЭЛЕМЕНТОВ МАЛОГАБАРИТНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ КЛАПАНОВ

Yevhen Baryliuk, assistant
Hennadii Zaionchkovskyi, Doctor of Technical Sciences
National Aviation University, Kyiv, Ukraine

DECREASING DYNAMIC LOADS AND WEAR INTENSITY OF ELEMENTS OF COMPACT-SIZED ELECTROMAGNETIC VALVES

Показано, що одним з ефективних шляхів зменшення динамічних навантажень та інтенсивності процесів зношування елементів малогабаритних електромагнітних клапанів є введення штучного демпфірування в рухомій частині електромагнітного привода клапана. Наведено результати розрахунків напружень в елементах затвора клапана типу «метал – метал» при його закритті за відсутністю та за наявністю спеціального демпфірувального елементу в рухомій частині електромагнітного привода. Експериментально підтверджено зменшення інтенсивності процесів зношування елементів затвора клапана за рахунок введення штучного демпфірування.

Ключові слова: *електромагнітний клапан, динамічні навантаження, затвор, демпфірувальний елемент, зношування, ресурс.*

Показано, что одним из эффективных путей уменьшения динамических нагрузок и интенсивности процессов износа элементов малогабаритных электромагнитных клапанов есть введение штучного демпфирования в подви-

жной части электромагнитного привода клапана. Приведены результаты расчетов напряжений в элементах затвора клапана типа «металл – металл» при его закрытии при отсутствии и при наличии демпфирущего элемента в подвижной части электромагнитного привода. Экспериментально подтверждено уменьшение интенсивности процессов износа элементов затвора клапана за счет введения штучного демпфирования.

Ключевые слова: *электромагнитный клапан, динамические нагрузки, затвор, демпфирующий элемент, износ, ресурс.*

This article shows, that one of the effective ways for reducing dynamic loads and decreasing the intensiveness of small-sized solenoid valve elements wear is implementation of damping in the valve moving assembly. The article gives results of tension calculation in the valve metal-to-metal sealing elements. It was experimentally proven that there is a decrease of wear intensiveness in valve sealing elements due to the influence of damping.

Key words: *solenoid valve, dynamic loads, breechblock, damping element, slider, service life.*

Постановка проблеми. Малогабаритні електромагнітні клапани (ЕМК) знайшли широке використання в системах обладнання виробів авіакосмічної техніки, автомобілебудування, інших галузях господарства завдяки низькому рівню енергії, необхідній для забезпечення їх тривалої експлуатації.

Окреме місце в номенклатурі малогабаритних ЕМК посідають клапани з запірним вузлом типу «метал – метал», які використовуються в системах з агресивним робочим середовищем або в умовах підвищених температур, які не прийнятні для запірних вузлів з гумовими ущільненнями. Особливістю роботи таких клапанів є циклічність спрацьовування при ударному характері контактування металевого затвора із сідлом. Через підвищену швидкодію у процесі функціонування клапана елементи його запірного вузла багаторазово піддаються дії інтенсивних ударних навантажень. Це приводить до того, що у зоні контактування деталі клапана зазнають динамічних навантажень великої інтенсивності, внаслідок яких у матеріалі деталей виникають значні динамічні напруження. Такий характер навантаження сприяє розвитку різних процесів утомленості та зношування в елементах запірного вузла клапана і значно зменшує його надійність і ресурс [1]. Це обумовлює актуальність досліджень, направлених на зменшення динамічних навантажень та інтенсивності процесів зношування елементів запірного вузла таких клапанів, збільшуючи таким чином їх ресурс.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз літературних джерел показує, що існує декілька підходів до демпфірування ударних процесів в ущільнюючій парі запірно-регулювальної арматури.

Одним із методів демпфірування є використання полімерного золотника, який, крім функції герметизації, виконує роль демпфера. Здатність гуми та полімерів до високоеластичної деформації є головною відмінною особливістю, яка дозволяє широко використовувати гуму як конструкційний матеріал для ущільнень [2]. Однак у разі зміни температури герметизуюча здатність гумових ущільнень зазвичай змінюється, оскільки із пониженням температури гума та полімери частково або повністю втрачають еластичність. Також у деяких клапанах як демпфер використовується метод дроселювання рідини у спеціальній камері. Як робоче тіло дроселя може виступати як середовище, що перепускає клапан, так і спеціально додана до конструкції клапана рідина [3]. Однак таке рішення має конструктивні недоліки через ускладнення конструкції. Додавання до конструкції плунжера з камерою гідравлічного демпфера збільшує масу клапана, а наявність гідравлічної рідини, внаслідок зміни температури навколишнього середовища чи нагрівання рідини у процесі роботи, призводить до зміни її в'язкості. Як результат – суттєво змінюється час закриття клапана. Крім того, наявність гідравлічного демпфера збільшує ще і час відкриття клапана, тому така конструкція не є універсальною.

Деякі автори [4; 5] вважають ефективним шляхом подолання вищеназваних негативних явищ введенням до конструкції рухомої системи клапана пружного елементу. Згідно з [6] для багатократного зниження величин максимальних ударних навантажень при тарелі клапана рекомендовано використовувати еластичний елемент, який розміщено між сідлом і корпусом клапана. Найчастіше демпфування досягалось завдяки введенню в конструкцію елемента з меншою, ніж у сідла та золотника, жорсткістю [7]. Однак такий

підхід має обмеження по максимальному ступеню демпфування, оскільки деформація пружного елементу повинна бути пружною.

Невирішені частини проблеми. Наявні рекомендації щодо використання демпфірування в ЕМК показують, що ефективним методом вирішення проблеми створення конструкцій ЕМК з високими характеристиками дисипації кінетичної енергії рухомої системи клапана є використання додаткових демпферів, які сприймають на себе значну частину енергії удару при спрацьовуванні ЕМК, зменшуючи кількість розсіяної в деталях арматури енергії. Тим не менш, попри багаторічні дослідження явища демпфірування в запірно-регулювальній арматурі, недостатньо вивченим залишається питання про фізичні властивості демпфірувальних матеріалів; потребують подальшого розвитку математичні моделі роботи ЕМК з урахуванням демпфірування; на початковому етапі знаходиться розвиток методів оптимального проектування конструкцій ЕМК з урахуванням демпфірування.

Метою дослідження є виявлення впливу штучного демпфірування в рухомій частині електромагнітного привода ЕМК з жорстким ущільненням у запірному вузлі типу «метал – метал» на величину динамічних навантажень елементів запірного вузла та інтенсивність процесів їх зношування. Для досягнення поставленої мети в роботі вирішувались такі завдання:

1. Розрахувати напруження в елементах запірного вузла ЕМК під дією динамічних ударних навантажень, що виникають під час закриття клапана, за відсутності та наявності демпфірувального елементу в рухомій частині електромагнітного привода ЕМК.

2. Провести спеціальні ресурсні випробування ЕМК з металевим запірним вузлом для оцінювання впливу штучного демпфірування на процеси зношування затвора та сідла клапана.

3. Розробити рекомендації щодо підвищення ресурсу та експлуатаційної надійності малогабаритних клапанів із затворами типу «метал – метал».

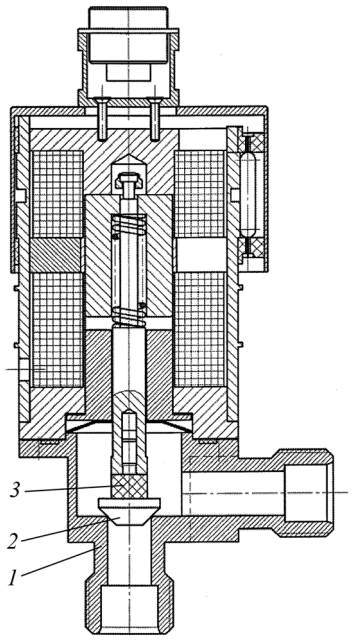


Рис. 1. Конструктивна схема експериментального зразка клапана з жорстким ущільненням запірного вузла типу «метал – метал»: 1 – стальний затвор; 2 – стальний корпус з сідлом; 3 – демфірувальний елемент

Виклад основного матеріалу. Як об’єкт досліджень було вибрано експериментальний зразок малогабаритного пневматичного клапана з поляризованим двопозиційним електромагнітним приводом, який має запірний вузол з жорстким ущільненням типу «метал – метал» (рис. 1).

Аналіз напруженого стану елементів запірного вузла клапана. Під час проектування ЕМК обов’язково проводяться розрахунки напруженого стану його конструктивних елементів і виявляються «слабкі» місця конструкції виробу, що лімітують його ресурс. Для перекривних клапанів із жорстким запірним вузлом такими «слабкими елементами» є елементи запірного вузла типу «метал – метал».

Найбільш ефективним методом для таких розрахунків є метод кінцевих елементів (МКЕ), застосування якого для малогабаритних ЕМК має свої особливості [8]. Слід зазначити, що за допомогою МКЕ знайшла свій успішний розв’язок велика кількість досить складних у своїй постановці та важливих для сучасної науки прикладних задач. Перевагами цього методу є: простота формулювання основних принципів методу, ясність фізичної інтерпретації, свобода розміщення вузлових

точок, симетрія матриць жорсткості елементів та систем рівнянь, широке розповсюдження автоматизованих систем інженерних розрахунків на основі МКЕ [9].

Розв'язок задач за МКЕ включає в себе таку послідовність окремих підзадач:

– побудова функціонала;
– розділення системи на кінцеві елементи (КЕ) та вибір координатних функцій;
– побудова матриць жорсткості;
– побудова канонічних рівнянь;
– розв'язок канонічних рівнянь (визначення степенів свободи системи);
– визначення компонентів напружено-деформованого стану (НДС) (переміщення, напруження) по області КЕ.

Для побудови розподілу напружень в елементах запірного вузла ЕМК під час їх контактної взаємодії під час закриття клапана, а також визначення зон із залишковими пластичними деформаціями (зони з потенційною небезпекою виникнення тріщин) була розроблена кінцевоелементна модель клапана, процес створення якої складався з таких основних етапів:

– побудова наближеної параметричної тривимірної моделі робочих елементів клапана;
– визначення граничних умов;
– кінцевоелементне розбиття;
– визначення контактних зон та присвоєння їм відповідного статусу;
– постановка та визначення динамічних характеристик складових елементів моделі.

Для реалізації вищезазначених етапів створення кінцевоелементної розрахункової моделі було розроблено програми, написані на мові програмування APDL (Ansys Parametric Dialog Language) системи кінцевоелементного аналізу ANSYS [10; 11; 12]. Ці програми повністю автоматизують процес розрахунку НДС елементів клапана від введення вхідних даних до отримання необхідних числових результатів.

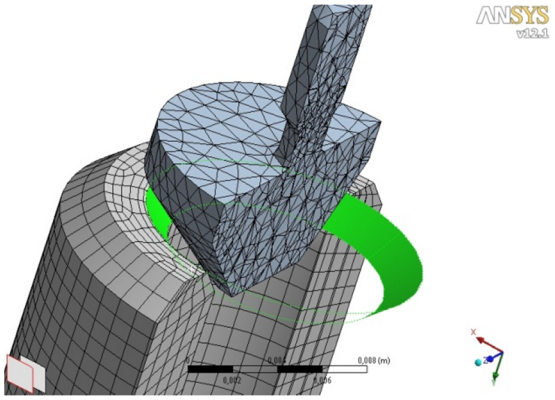
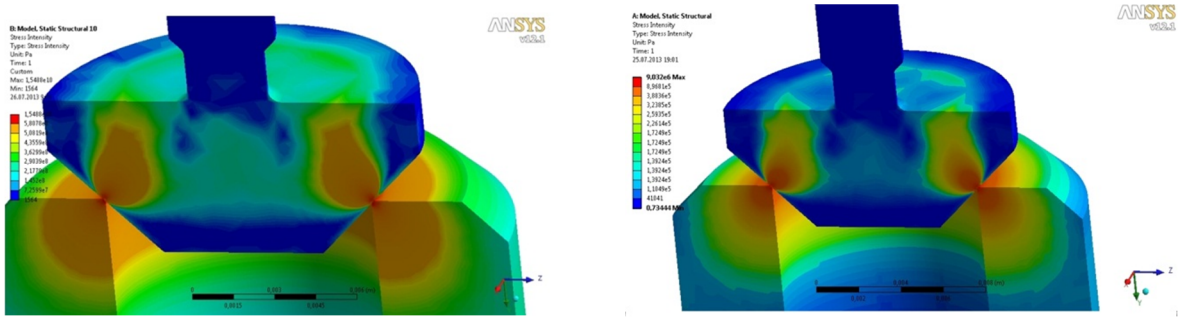


Рис. 2. Розрахункова сітка та зона контакту в запірному вузлі клапана

Щоб візуально показати деформаційну картину поверхонь ущільнення, було проведено чисельне моделювання тривимірних моделей зразків у програмному пакеті Ansys. Розрахункову сітку зразків елементів запірного вузла клапана з матеріалу 08Х18Н10Т показано на рис. 2. Результати розрахунків наведено на рис. 3.



а *б*

Рис. 3. Визначення напружень в елементах запірного вузла клапана з ущільненням типу «метал – метал» за відсутністю (а) та за наявності (б) демпфірувального елементу в кінематичній схемі електромагнітного привода клапана

Аналіз отриманих результатів показує, що найбільші напруження під час закриття клапана з жорстким запірним вузлом виникають по площині контакту сталевого затвора з сідлом, що є частиною сталевого корпусу. Це призводить до появи кільцевої виробітки (поглиблення) на поверхні сталевого затвора (рис. 4). Величина цього поглиблення збільшується з ростом напрацювання клапана у процесі експлуатації, що призводить до зменшення зусилля ущільнення та втомного руйнування матеріалу затвора та сідла.

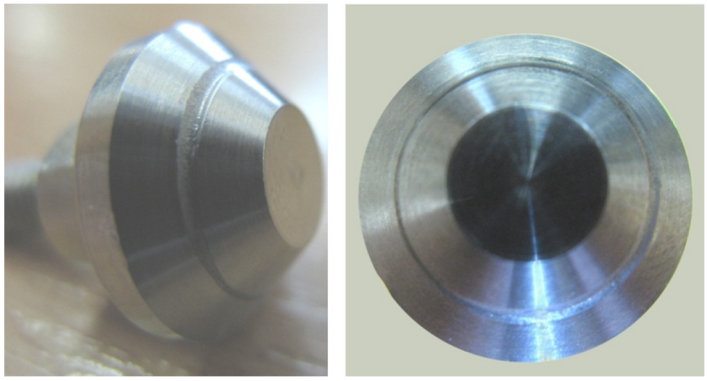


Рис. 4. Фотографії затвора клапана зі сталі 08Х18Н10Т після напрацювання 3·105 циклів

Ефективним засобом зменшення динамічних навантажень в елементах ЕМК є введення демпферного елементу в кінематичній схемі електромагнітного привода клапана. Під час пошуку шляхів для підвищення надійності та ресурсу запірної арматури було встановлено, що ефективним методом є розсіювання кінетичної енергії рухомої системи клапана, що забезпечується використанням у конструкції клапана демпфірувального елементу. Про ефективність цього методу говорять дослідження угорських учених [7], які випробували чотири типи силіконових матеріалів для демпферного пристрою.

Проведені ресурсні випробування клапанів без демпфера та з демпфером у кінематичній схемі електромагнітного привода ЕМК підтвердили результати розрахунків, виконаних із застосуванням МКЕ. У ході експерименту зразки з нержавіючої сталі 08Х18Н10Т напрацьовували певну кількість циклів «відкрито-закрито». Через регулярні інтервали часу замірявся витік газу через клапан у закритому положенні. Результати замірів показали, що величина витоку збільшується з напрацюванням (рис. 5).

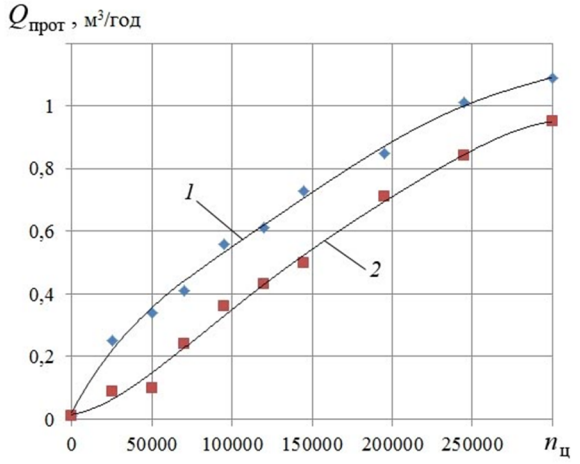


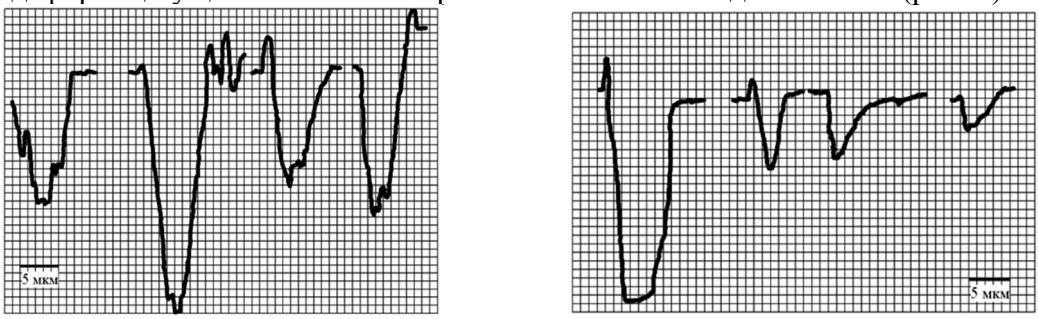
Рис. 5. Залежність збільшення витоку газу через клапан у закритому положенні від його наробітку: 1 – без демпфера; 2 – з демпфером

Експериментальні дослідження показали, що застосування демпфірувального елементу в кінематичній схемі електромагнітного привода клапана приводить до зменшення кінетичної енергії контактної взаємодії елементів клапана, зменшення напружень у

конструкційному матеріалі деталей клапана (рис. 3, *а*) і зменшення витоку газу в клапані із жорстким запірним вузлом у закритому положенні (рис. 5).

Було встановлено також, що демпфірування дозволяє зменшити швидкість зносу деталей запірного вузла клапана – затвора та сідла. Про це свідчить швидкість зміни витоку газу в ущільненні клапана із збільшенням кількості напрацьованих циклів (рис. 5). Вид отриманих експериментальних залежностей свідчить про позитивний вплив демпфірувального елементу на ресурс клапана.

Проведені дослідження мікронерівностей поверхні зразків підтверджують зменшення деформації ущільнюючих поверхонь золотника та сідла клапана (рис. 6).



а *б*

Рис. 6. Профілограма поверхні контакту елементів запірного вузла клапана після напрацювання 300 тис. циклів: а – без демпфування, б – з демпфером

Висновки. Узагальнення результатів проведених досліджень технічного стану елементів і вузлів ЕМК з двопозиційним електромагнітним приводом дозволяють зробити такі висновки:

1. Розроблено кінцевоелементну модель розрахунків напружень у деталях малогабаритного ЕМК з двопозиційним поляризованим електромагнітним приводом, яка враховує особливості його конструктивного виконання.

2. З використанням методу кінцевих елементів проведено розрахунки напруженого стану деталей запірного вузла клапана з жорстким ущільненням типу «метал – метал» під час його закриття.

3. Для зменшення напружень у затворі й сідлі ЕМК, зносу деталей запірного вузла клапана з жорстким ущільненням типу «метал – метал» та витоку газу через запірний вузол у закритому положенні клапана рекомендується застосування демпфірувального елементу в кінематичній схемі електромагнітного привода ЕМК.

Ефективність застосування демпфірувального елементу в кінематичній схемі електромагнітного привода ЕМК підтверджена експериментально.

Список використаних джерел

1. *Изменение* технического состояния контактирующих деталей электромагнитных клапанов при эксплуатации / Ю. Н. Рыкунич, А. Е. Ситников, Г. Й. Зайончковский, В. Ф. Лабунец // Вибрации в технике и технологиях. – 2003. – № 3(59). – С. 46–52.

2. *Кармугин Б. В.* Современные конструкции малогабаритной пневмоарматуры / Б. В. Кармугин, В. Л. Кисель, А. Г. Лазебник ; под общ. ред. Б. В. Кармугина. – К. : Техника, 1980. – 295 с.

3. *Zaionchkovskyi G.* Ways to improve the reliability and operating life of small-size electromagnetic valve / G. Zaionchkovskyi, E. Barilyuk, Yu. Golovko // Proceedings of the National Aviation University. – 2015. – № 1(62). – P. 36–41.

4. *Долотов А. М.* Исследование динамических явлений, возникающих в конических парах с упругим седлом : дис. … канд. техн. наук : спец. 01.02.06 / А. М. Долотов. – Львов, 1981. –187 с.

5. *Рутковский А. Ю.* Динамические испытания кольцевых канатных виброизоляторов / А. Ю. Рутковский, Д. В. Мулов // Сборник научных трудов Донбасского государственного технического университета. – 2010. – Вып. 30. – С. 43–52.

6. *Абдюкова Р. Я.* Моделирование удара тарели клапана бурового насоса при ее посадке на седло / Р. Я. Абдюкова, Н. Я. Багаудинов, А. Н. Зотов // Нефтегазовое дело. – 2012. – № 2. – С. 52–67.

7. *Molnar Szabolcs.* Damping of dynamic effects with elastomers in instrumented impact testing / Szabolcs Molnar, Akos Bezeredi, Gyorgy Voros, Bela Pukanszky // International Journal of Fracture. – 2001. – Volume 109. – P. 153–168.

8. *Метод* конечных элементов : учеб. пособие для вузов / под ред. П. М. Варвака. – К. : Вища школа, 1981. – 176 с.

9. *Сегерлинд Л.* Применение метода конечных элементов : пер. с англ. / Л. Сегерлинд. – М. : МИР, 1979. – 392 с.

10. *Басов К. А.* ANSYS в примерах и задачах / К. А. Басов ; под общ. ред. Д. Г. Красковского. – М. : Компьютер Пресс, 2002. – 224 с.

11. *Аналіз* напруженого стану робочих елементів пневматичних клапанів з електромагнітним приводом / Ю. М. Рикуніч, О. Є. Ситніков, Я. Б. Федоричко та ін. // Промислова гідравліка і пневматика. – 2005. – № 4 (10). – С. 55–62.

12. *Барилюк Є. І.* Визначення напруженого стану робочих елементів малогабаритних клапанів з електромагнітним приводом / Є. І. Барилюк, Я. Б. Федоричко, Г. Й. Зайончковський // Промислова гідравліка та пневматика. – 2014. – № 3(45). – С. 23–34.

РОЗДІЛ ІІ. МЕХАНОХІМІЯ

УДК 678.01:539.53:539.21

А.И. Буря, канд. техн. наук
Е.А. Ерёмина, аспирант
Днепродзержинский государственный технический университет, г. Днепродзержинск, Украина

ВЛИЯНИЕ СОДЕРЖАНИЯ БРОНЗЫ НА ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ АРОМАТИЧЕСКОГО ПОЛИАМИДА ФЕНИЛОН

О.І. Буря, канд. техн. наук
К.А. Єрьоміна, аспірант
Дніпродзержинський державний технічний університет, м. Дніпродзержинськ, Україна

ВПЛИВ ВМІСТУ БРОНЗИ НА ЗНОСОСТІЙКІСТЬ АРОМАТИЧНОГО ПОЛІАМІДУ ФЕНІЛОН

Aleksandr Burya, PhD in Technical Sciences
Yekaterina Yeremina, PhD student
Dneprodzerzhinsk State Technical University, Dneprodzerzhinsk, Ukraine

EFFECT OF THE CONTENT OF BRONZE ON THE WEAR RESISTANCE OF THE AROMATIC POLYAMIDE PHENYLONE

В связи с возросшей актуальностью проблемы повышения износостойкости машин и механизмов, связанной с развитием их конструкций и увеличением долговечности, большое внимание уделяется разработке новых антифрикционных материалов. К таким материалам относятся разработанные металлополимеры на основе ароматического полиамида фенилон С-1 и мелкодисперсного порошка бронзы. Показано, что введение в фенилон частичек бронзы увеличивает его износостойкость в 1,8 раз в режиме трения без смазки и в 9,5 раз – при смазке маслом «Индустриальное-50».

Ключевые слова: *ароматический полиамид, фенилон, бронза, дисперсный наполнитель, износостойкость, металлополимер.*

У зв'язку з підвищенням актуальності проблеми підвищення зносостійкості машин і механізмів, пов'язаної з розвитком їх конструкцій і збільшенням довговічності, велика увага приділяється розробленню нових антифрикційних матеріалів. До таких матеріалів відносяться розроблені металополімери на основі ароматичного поліаміду фенілон С-1 і дрібнодисперсного порошку бронзи. Показано, що введення у фенілон часточок бронзи збільшує його зносостійкість у 1,8 раза у режимі тертя без змащування і в 9,5 раза – при змащуванні маслом «Індустріальне-50».

Ключові слова: *ароматичний поліамід, фенілон, бронза, дисперсний наповнювач, зносостійкість, металополімер.*

Much attention is paid to the development of new anti-friction materials, due to the increased urgency of the problem of increasing wear resistance machines and mechanisms related to the development of their designs and increase durability. Developed metallopolymers based on an aromatic polyamide phenylone C-1 containing a fine powder of bronze, refers to such materials. It is shown that introduction into phenylone bronze particles increases the wear resistance in 1,8 times in the mode of friction without lubrication and in 9,5 times – when lubricating oil „Industrial-50".

Key words: *aromatic polyamide, phenylone, bronze, particulate filler, wear resistance, metallopolymer.*

Постановка проблемы. Исследованиями украинских ученых установлено [1], что только 10–15 % деталей машин и механизмов выходят из строя из-за недостаточной прочности, а остальные – из-за износа, поэтому задача повышения износостойкости движущихся деталей и их частей занимает ведущее место при решении проблемы увеличения надежности и долговечности современной техники. Перспективным направлением решения данной проблемы является изготовление деталей из специальных композиционных материалов, сочетающих высокие износостойкость и прочность с необходимыми конструкционными свойствами.

Анализ последних исследований и публикаций. В машиностроении широко применяются композиционные полимерные материалы с более высокими эксплуатационными свойствами, чем у исходных пластмасс. Свойства композиционных материалов можно изменять, подбирая компоненты с целью получить системы с необходимыми свойствами. Примером подобных систем могут служить полимеры, наполненные мелкодисперсными частицами металлов [2–5]. В таких металлополимерах в качестве свя-

зующего используют эпоксидные смолы, фторопласт, каучуки и другие полимеры, обладающие высокой технологичностью переработки в изделия и высоким комплексом физико-механических свойств. Однако при введении в пластические массы наполнителей они в значительной мере теряют свою прочность и ударную вязкость. Авторы отмечают, что наполнители распределяются в структуре материала неравномерно из-за агрегации частиц, что вызывает перенапряжение и приводит к преждевременным поломкам изделий из них.

Интенсивное развитие современной техники содействовало расширению применения тепло- и термостойких полимеров, которые имеют высокие деформационно-прочностные свойства, длительную работоспособность в широком интервале температур, стойкость к влиянию агрессивных сред. Ароматический полиамид фенилон – один из перспективных термостойких полимеров, который работоспособен до температуры 533 К и уступает по прочности только лучшим маркам армированных пластиков, что вызывает к нему особый интерес как к связующему для металлополимеров. Однако переработка фенилона в изделия вызывает сложности из-за повышенной жесткости макромолекул и сильного межмолекулярного взаимодействия, которые сужают температурный интервал его переработки и вызывают необходимость прикладывания больших давлений (до 100 МПа при горячем прессовании), что приводит к ограничению размеров изделий.

Выделение не решенных ранее частей общей проблемы. В связи с вышеизложенным становится очевидным, что для улучшения прочностных свойств металлополимеров есть два пути. Первый – использование в качестве связующего, сложноперерабатываемого в изделия полимера с максимально высокими прочностными характеристиками. В этом случае необходимо разрабатывать новые методы и технологии переработки полимеров в изделия, которые позволили бы облегчить трудоемкость технологического процесса. Второй – улучшение равномерности распределения наполнителя в полимерной матрице, что так же требует поиска новых способов и технологий.

Цель статьи. Главной целью этой работы является разработка металлополимеров с повышенными антифрикционными свойствами и изучение влияния режимов трения и содержания наполнителя на их износостойкость.

Изложение основного материала. Рассмотрим двухкомпонентные системы на основе термостойкого полимера фенилон С1 (ТУ 6-05-221-101-71) и мелкодисперсного порошка бронзы (Бр О5Ц5С5, ГОСТ 613-79), основные свойства которых приведены в табл. 1.

Таблица 1

Основные свойства пресспорошков

Символ	Цвет пресспорошка	Плотность, кг/м^3	Насыпная плотность, кг/м^3	Температура плавления, К	Размер частиц, мкм
С-1	розовый	1350	200 – 300	543*	35-50
Бр	золотистый	8800	3700 – 4700	1203 – 1373	60-150

Примечание: *температура размягчения по Вика.

В связи с трудоемкостью переработки ароматического полиамида в изделия нами был разработан оригинальный метод его переработки [6]. Прессмпозиции состава фенилон С-1 + 5 – 20 масс. % мелкодисперсного порошка бронзы изготавливали путем смешивания компонентов во вращающемся электромагнитном поле в присутствии неравноосных ферромагнитных частиц, за счет вращения которых металлический наполнитель равномерно распределялся в полимерной матрице. После смешивания частицы извлекались из состава композиции магнитной сепарацией. Приготовленные таким образом смеси таблетировали на гидравлическом прессе при комнатной темпера-

туре и давлении – 4 МПа, после чего оттаблетированные образцы сушили в термошкафу при температуре 473–523 К, т. к. переработка невысушенного фенилона ухудшает его прочностные характеристики и приводит к поверхностным дефектам. Высушенные заготовки перерабатывали в образцы (10х8 мм) методом компрессионного прессования при температуре 593 К и давлении – 4 МПа, выдержка при этой температуре составляла 10 минут.

Исследование трибологических свойств в режиме трения без смазки определяли на дисковой машине трения (диск из стали 45, термообработанной до твердости 45-48 HRC, имеющий шероховатость поверхности Ra = 0,16–0,32 мкм) [7]. Путь трения в опытах составлял 1000 м. Удельная нагрузка – 0,6 МПа, скорость скольжения – 1 м/с.

Испытания при смазке маслом «Индустриальное-50» проводили на машине МИ-1М по схеме ролик – колодочка (ролик изготовлен из стали 45, термообработанной до твердости 45–48 HRC; колодочка – из композитов). Износ образцов определяли по потере массы. До взвешивания (аналитические весы, погрешность +0,0002 г) осуществляли одинаковую предварительную приработку образцов.

Тонкую структуру поверхности трения изучали с помощью микроскопа УЭМВ-100, используя метод реплик. Получали желатиновый отпечаток с поверхности, на который наносили углеродную реплику методом термического распыления угольных электродов в вакууме (10-5 мм рт. ст. на установке ТНП-1). Оттенение реплики осуществляли платиной.

Микроструктуру поверхности трения изучали с помощью оптического микроскопа NEOFOT 32.

Исследования показали, что в процессе трения, в условиях механических и тепловых воздействий, наблюдаются изменения в морфологии полиамидной матрицы в зоне контакта. Свидетельством тому являются электронно-микроскопические снимки (рис. 1).

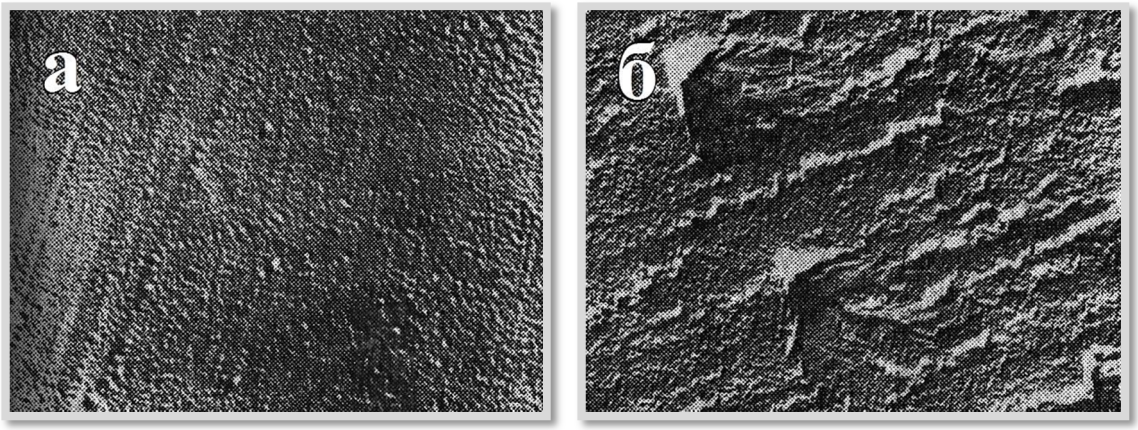
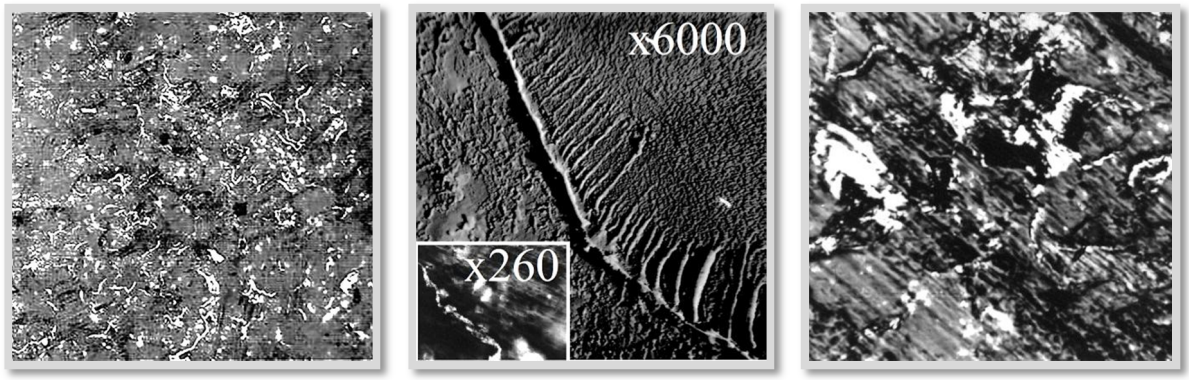


Рис. 1. Электронно-микроскопические снимки с поверхности полиамида до (а) и после (б) истирания без смазки (Р = 0,6 МПа, v = 0,3 м/с). Увеличение х33 000 (а), х12 000 (б)

Если для поверхности образца полиамида, не подвергавшегося испытанию на износ, характерны глобулярные образования, то после испытаний отчетливо проявляются цепочечные структуры и зоны, деформированные по направлению трения, которые можно рассматривать как микроочаги схватывания. Образование их обусловлено дискретностью касания контактирующих микровыступов, приводящего к механическому разрушению полимера под действием тангенциальной силы при истирании. Чтобы избежать деформации фенилона в зоне трения, в него был введен мелкодисперсный порошок бронзы в количестве 5–20 масс.%.

Наполненные полимеры относятся к многофазным материалам. Их прочностные свойства во многом зависят от прочности граничного слоя. Большое значение имеет фактор химической совместимости наполнителя и матрицы, однако не менее значимым фактором является равномерность распределения наполнителя в связующем. Как известно [4], введение в полиамиды наполнителей ведет к ухудшению физико-механических свойств полимеров из-за агрегации частиц, связанной с различиями их природы. Однако наполнители способны влиять на процессы структурирования полиамида при формировании композиции из расплава полимера. В присутствии наполнителя наблюдается тенденция к образованию упорядоченных структур, т. к. они выступают в качестве инициаторов образования зародышей кристаллизации. Формирование более совершенных структур упрочняет композиционный материал и тормозит развитие деструктивных процессов в матрице при истирании, что повышает его износостойкость [8].

Благодаря разработанному оригинальному методу переработки полиамида в изделия нам удалось достичь равномерного распределения наполнителя в полиамидной матрице, о чем свидетельствует рис. 2, *а*.

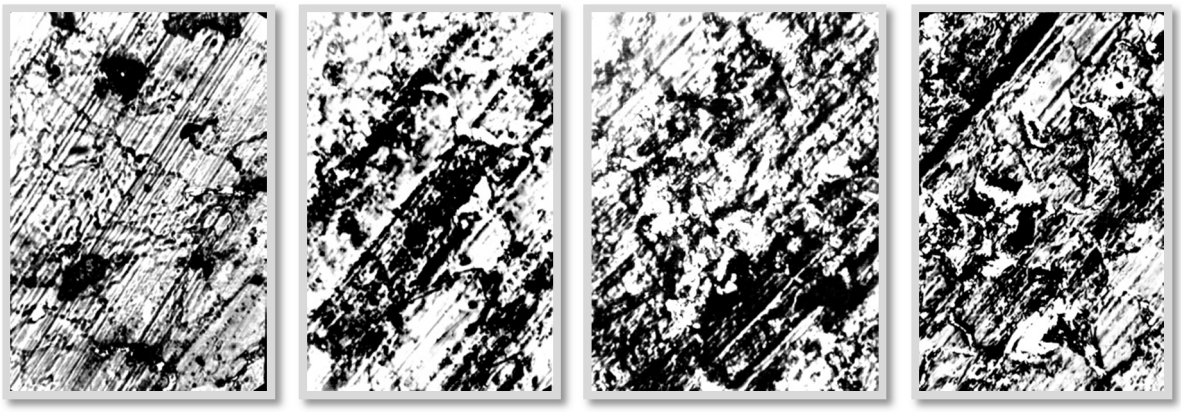


а *б* *в*

Рис. 2. Микроструктура композитов на основе полиамида: а – распределение мелкодисперсного порошка бронзы Бр О5Ц5С5 в полиамидной матрице (содержание наполнителя – 15 масс.%, увеличение – х100); б – надмолекулярная структура связующего на границе раздела (увеличение – х6000) и фрагмент непрерывной пространственной сетки из частиц бронзы (увеличение – х260); в – сегрегация частиц наполнителя (увеличение – х100)

Анализ микрофотографий показывает, что частички бронзы уже при содержании 10 масс.% образуют в объеме непрерывную пространственную сетку (рис. 2, *б*). Этому, возможно, способствует, прежде всего, строение частичек бронзы, имеющих чрезвычайно развитую волокнистую структуру. При этом с увеличением процентного содержания более 15 масс.%, наблюдается сегрегация частиц наполнителя (рис. 1, *в*), что, как известно [8], отрицательно сказывается на физико-механических свойствах композиций.

Поверхности трения металлополимеров имеют бороздчатую структуру, образующуюся в результате пропахивания (рис. 3). На поверхности трения не наблюдаются микротрещины, что свидетельствует о пластичном разрушении материала. Так же на поверхности трения видны следы схватывания в виде областей материала, смещенных по направлению трения, но их значительно меньше, чем у чистого фенилона, причем, чем выше степень наполнения, тем меньше их становится. В процессе трения металлополимеров происходит образование частиц изнашивания. Частицы износа представляют собой мелкодисперсный порошок и по цвету близки к цвету исходной композиции, морфология их характерна для хрупкого разрушения материала.



а *б* *в* *г*

Рис. 3. Поверхности трения металлополимеров, содержащих: а – 5; б – 10; в – 15; г – 20 масс.% наполнителя (увеличение – х100)

Результаты изучения влияния процентного содержания наполнителя и условий трения на износостойкость композиций приведены в табл. 2.

Таблица 2

Износ полиамида и металлополимеров на его основе

Содержание наполнителя, масс.%	**Износ, мкм/км в условиях**		
	без смазки Р = 0,6 МПа, v = 1 м/с, S = 1 км	**смазки маслом при нагрузке, МПа**	
		7,5	**12,5**
–	39,5	106,0	160,5
5	29,8	14,9/7,11	42,8
10	23,8	11,9	34,2
15	22,4	11,2/9,46	32,3
20	28,0	14,0	40,4

Как видно из табл. 2, композиции, содержащие в качестве наполнителя бронзу, характеризуются значительно меньшим износом, чем чистый полиамид. Введение наполнителей способствует структурированию системы и подавляет развитие деструктивных процессов. Бронзовый наполнитель, имея плоские частички, в полимере выстраивается в виде непрерывной пространственной сетки, через которую отводится тепло с поверхности трения. Так, у чистого фенилона температура на поверхности трения при смазке маслом составляет 358 К, а у композиции, содержащей 15 % бронзы – 321 К, это, в свою очередь, приводит к увеличению износостойкости композита за счет лучшей диссипации тепла из зоны трения.

С другой стороны, присутствие химически отличного наполнителя в полиамиде увеличивает пористость композиций на границе раздела фенилон – бронза. Поры, как известно, оказывают весомое влияние на трибологические свойства композиций. Это можно объяснить следующим образом. Наличие в материалах поверхностных пор обусловливает свободные объемы, которые играют двоякую роль при испытаниях на износостойкость. Во-первых, эти поры заполняются смазкой, обеспечивая более легкое скольжение в паре трения; во-вторых, в них перемещаются поверхностные частицы износа, удаляемые контртелом в процессе испытаний. Закрытые поры внутри материалов являются своеобразными релаксаторами напряжений, поскольку обладают значительно большей сжимаемостью, чем основной материал. Поэтому поры внутри материала играют роль демпферов, обеспечивающих длительную износостойкость [9].

Таким образом, при смазке маслом картина кардинально меняется и износостойкость металлополимеров увеличивается. Так, при трении без смазки введение бронзы

увеличивает износостойкость фенилона в 1,3–1,8 раз, а при смазывании маслом – в 7–9,5 раз (при нагрузке 7,5 МПа) и в 3,8 – 5 раз (при нагрузке 12,5 МПа)

Выводы и предложения. Результаты исследований процесса износа разработанных металлополимеров на основе ароматического полиамида фенилон и мелкодисперсного порошка бронзы О5Ц5С5 указывают на сложный процесс механохимических превращений, протекающих при внешнем трении композитов. Под действием деформационных и развивающихся тепловых нагрузок происходит изменение морфологической структуры поверхности в контактной зоне, а также деструкция макромолекул рабочего слоя полимера. Введение в качестве наполнителя порошка бронзы возвращает устойчивость поверхностным слоям полимера за счет структурирования полимера и отвода тепла с поверхности трения, что значительно улучшает его антифрикционные свойства. В ходе исследований было установлено оптимальное содержание наполнителя. При введении 15 масс.% бронзы в фенилон износостойкость системы увеличивается в 1,8 раз при трении без смазки и в 9,5 раз при смазывании маслом. Таким образом, полученные металлополимеры могут быть использованы в узлах трения машин и механизмов.

Список использованных источников

1. *Костецкий Б. И.* Трение и износ деталей машин / Б. И. Костецкий // Труды I научно-техн. конференции. – М., 1956. – С. 149–153.

2. *Оптические* характеристики композита, полученного имплантацией ионов серебра в полиэтилентерефталат / [Ю. А. Бумай, В. С. Волобуев, В. Ф. Валеев и др.] // Журнал прикладной спектроскопии. – 2012. – Т. 79, № 5. – С. 781–787.

3. *Андреев М. Н.* Газоструйный метод осаждения металлических наночастиц во фторполимерную матрицу / М. Н. Андреев, И. С. Беспалов, А. И. Сафонов // Теплофизика и аэромеханика. – 2013. – № 3. – С. 383–387.

4. *Стукач А. В.* Исследование свойств металлополимерных и фуллеренсодержащих композитов при трении / А. В. Стукач // Технико-технологические проблемы сервиса. – 2010. – № 13. – С. 10–19.

5. *Жариков В. В.* Безотходная технология производства высоконаполненных металлополимерных композитных материалов / В. В. Жариков, Н. А. Чайников, И. А. Анкудимова // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2003. – Т. 9, № 3. – С. 503–514.

6. *Буря А. И.* Разработка способа получения и исследование свойств армированных пластиков / А. И. Буря, О. И. Пилипенко, Т. И. Рыбак // VI Konferencja Naukowo-Techiczna [“Nowe kierunki modyfikacji i zastosowan tworzyw sztucznych”], (Rydzyna, 15–17 мая 1995 г.). – 1995. – С. 44–53.

7. *Трофимович А. Н.* Машина для изучения свойств полимерных материалов / А. Н. Трофимович, О. Г. Приходько, И. А. Фомичев // Машиностроитель. – 1970. – № 3. – С. 43–45.

8. *Ерёмина Е. А.* Металлополимеры – перспективные конструкционные материалы современности / Е. А. Ерёмина, А. И. Буря // Композитные материалы : Международный научно-технический сборник. – 2015. – Т. 9, № 1. – С. 3–20.

9. *Кульментьев А. И.* Структура и свойства нанокристаллических покрытий из нитрида титана, полученных при непрерывном осаждении или ионно-плазменной имплантации / А. И. Кульментьев, О. П. Кульментьева, А. М. Махмуд // Компрессорное и энергетическое машиностроение. – 2011. – № 2 (24). – С. 36–39.

УДК 539.621:530.096:678.01

А.И. Буря, канд. техн. наук
О.А. Набережная, аспирант
В.В. Перемитько, д-р техн. наук
Днепродзержинский государственный технический университет, г. Днепродзержинск, Украина

ВЛИЯНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ОРГАНИЧЕСКОГО ВОЛОКНА НА ТРИБОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ФЕНИЛОНА

О.І. Буря, канд. техн. наук
О.О. Набережна, аспірант
В.В. Перемітько, д-р техн. наук
Дніпродзержинський державний технічний університет, м. Дніпродзержинськ, Україна

ВПЛИВ ВМІСТУ ОРГАНІЧНОГО ВОЛОКНА НА ТРИБОЛОГІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ КОМПОЗИТІВ НА ОСНОВІ ФЕНІЛОНУ

Aleksandr Burya, PhD in Technical Sciences
Olga Naberezhnaya, PhD student
Valeriy Peremitko, Doctor of Technical Sciences
Dneprodzerzhinsk State Technical University, Dneprodzerzhinsk, Ukraine

EFFECT OF ORGANIC FIBERS CONTENT ON THE TRIBOLOGICAL PROPERTIES OF COMPOSITES BASED ON PHENYLONE

Исследовано влияние содержания волокна фенилон на трибологические свойства органопластиков на основе ароматического полиамида фенилон С-1. Испытания при трении без смазки показали, что с увеличением содержания волокна в органопластике коэффициент трения и износ резко снижаются, достигая минимальных значений в интервале от 5 до 10 мас.%. Изменение трибологических свойств хорошо коррелирует с прочностными характеристиками. Показано, что минимальный износ органопластиков как в режиме трения без смазки, так и при смазке водой наблюдается при содержании волокна 5 мас. %. Установлено, что при оптимальном содержании волокон органопластики превосходят базовый полимер в 2 раза.

***Ключевые слова**: ароматический полиамид, органическое волокно, износ, смазка – дистиллированная вода.*

Досліджено вплив вмісту волокна фенілон на трибологічні властивості органопластиків на основі ароматичного поліаміду фенілон С-1. Дослідження під час тертя без змащування показали, що зі збільшенням вмісту волокна в органопластику коефіцієнт тертя та знос різко знижуються, досягаючи мінімальних значень в інтервалі від 5 до 10 мас.%. Зміна трибологічних властивостей добре корелює з характеристиками міцності. Показано, що мінімальний знос органопластиків як у режимі тертя без змащування, так і при змащуванні водою спостерігається при вмісті волокна 5 мас. %. Встановлено, що при оптимальному вмісті волокон органопластики перевершують базовий полімер у 2 рази.

***Ключові слова:** ароматичний поліамід, органічне волокно, знос, змащування – дистильована вода.*

The effect of fiber content on the tribological properties of phenylone organic plastics based on aromatic polyamide phenylone C-1. Test friction without lubrication showed that an increase in fiber content organoplastics coefficient of friction and wear are dramatically reduced, reaching minimum values in the range of from 5 to 10 wt.%. Changing tribological properties correlate well with the strength characteristics shown that the minimum wear organic plastics in both friction without lubrication and under lubrication with water observed when fiber content is 5 wt. %. It is found that for optimum fiber content, the base polymer organoplastics exceed 2 times.

***Key words:** aromatic polyamide, organic fiber, wear, lubrication - distilled water.*

Постановка проблемы. Современные композиционные материалы на основе полимеров позволяют решить задачу повышения эксплуатационного ресурса и надежности машин, обеспечив при этом значительные материальные выгоды и экономический эффект [1]. За годы существования промышленности химических волокон в нашей стране было создано значительное число оригинальных видов волокон, технологических процессов и их аппаратурного оформления, новых видов волокнистых материалов [2].

Анализ последних исследований и публикаций. Прорыв в области знаний, технологий, создание изделий с требуемыми свойствами, резкое увеличение экологических показателей – все это возможно благодаря полимерным композиционным материалам (ПКМ). Особое место среди ПКМ занимают высокоэффективные ПКМ, армированные

химическими волокнами. Введение волокнистого наполнителя в полимерную матрицу способствует значительному увеличению прочности и жесткости композиции, изменению физических характеристик [3]. При этом появляется возможность рационального расположения армирующего наполнителя, т. е. получения оптимальной по выбранным критериям конструкции. Указанные преимущества композиционных материалов предопределяют тенденцию внедрения их в современном машиностроении.

Выделение не решенных ранее частей общей проблемы. Однако осталось еще много невыясненных вопросов, решение которых возможно только при достаточном знании свойств волокон и их структурной зависимости. В связи с практической важностью и большим научным интересом к волокнам как наиболее ориентированной и упорядоченной форме полимерных материалов, растет число и объем экспериментальных исследований и публикаций в области изучения их структуры и свойств. Среди них все большую долю составляют работы по физико-механическому материаловедению волокон и изучению возможности использования их для армирования термостойких полимеров [3]. Накопленный опыт разработки, изготовления и эксплуатации позволяет подойти к рассмотрению процесса создания новых изделий из композитов с учетом их специфики и уровня развития отраслей науки [4].

Цель работы. Учитывая вышеизложенное, цель данной работы заключалась в возможности создания новых самоармированных полимерных композиционных материалов на основе ароматического полиамида фенилона, армированного волокном фенилон.

Изложение основного материала. ***Объекты и методы исследования.*** В качестве связующего для органопластиков использовался ароматический полиамид фенилон С-1 (ТУ 6-05-221-101-71), который представляет собой мелкодисперсный порошок с насыпной плотностью 0,2–0,3 г/см^3 и удельной вязкостью 0,5%-ного раствора в диметилформамиде с 5 % хлористого лития не менее 0,75, характеризующийся следующими свойствами: ударная вязкость – 20 кДж/м^2, твердость – 18 HRB, разрушающее напряжение при растяжении – 100 МПа.

Для армирования фенилона С-1 было выбрано термостойкое органическое волокно фенилон (длинной 2–3мм, прочностью 69 кгс/мм^2, удлинение 15–20 %, модуль упругости 900–1200 кгс/мм^2, плотность 1,37–1,38 г/см^3).

Пресскомпозиции из указанных компонентов готовили во вращающемся электромагнитном поле (0,12 Тл), интенсивное хаотическое движение обеспечивало идеальное распределение волокна. Переработку приготовленной таким образом смеси в блочные изделия, осуществляли методом компрессионного прессования при давлении 30 МПа и температуре 325 ^{0}С. Готовые изделия подвергали механической обработке, которая главным образом заключалась в зачистке изделий – удалении облоя. При необходимости с помощью различных методов обработки можно изменять форму изделий, повышать точность размеров [5].

Исследование трибологических свойств в режиме сухого трения осуществляли при комнатной температуре на дисковой машине трения. Износ образца оценивали по схеме диск (сталь 45, HRC$_э$ 50, R_a 0,08) – пальчик из композита (Ø 10 мм, высота 10 мм) при удельной нагрузке 0,4–1МПа, скорости скольжения 1–2,5 м/с, пути трения – 1000 м. Износ образцов определяли на аналитических весах ВЛР-200 с точностью 0,0002 г. Исследование износа армированного пластика при смазке дистиллированной водой (ГОСТ 6769-72) проводили на машине трения МИ-1М по схеме ролик-колодка (ролик – сталь 45, HRC 45–48, колодка – из армированного пластика) при скорости 1 м/с. Величины износа подсчитывали по трем и более испытуемым образцам одного и того же материала. Путь трения при смазке водой составлял 400 м. Удельную ударную вязкость, которая является динамическим испытанием полимеров однократным ударом

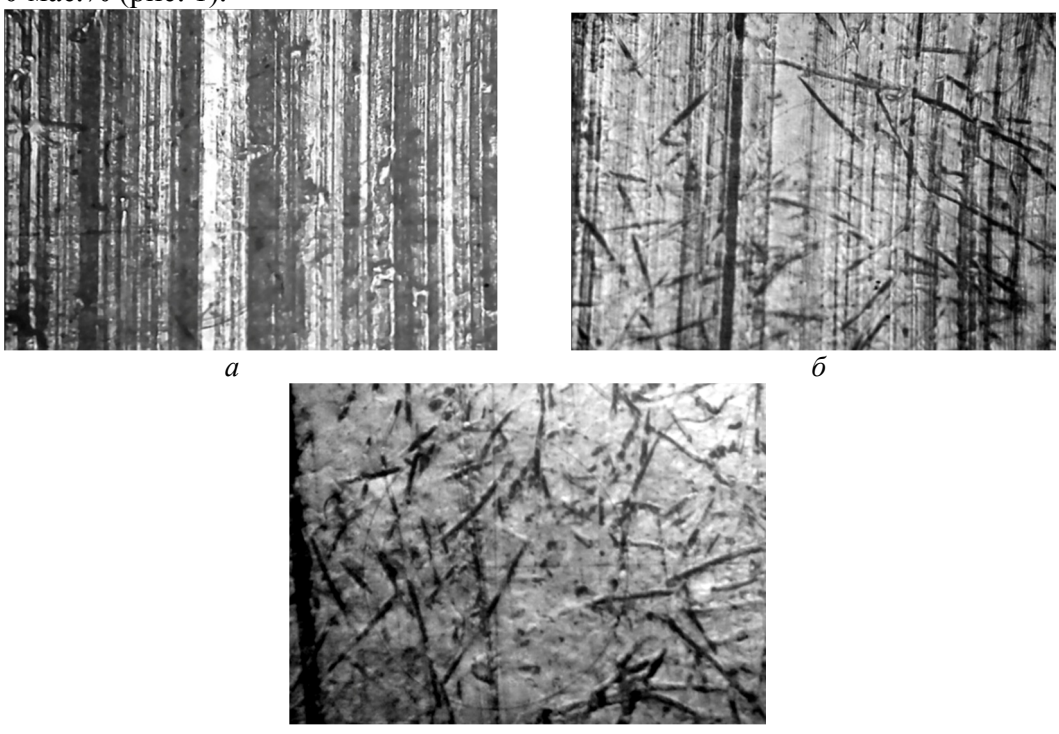
на изгиб, испытывали согласно ГОСТ 4647-69. Предел текучести при сжатии определяли на испытательной машине ИМ-4Р с механическим нагружением образца и механическим силоизмерением.

Для проведения термомеханических исследований, которые позволили исследовать свойства в зависимости от температуры, которая является важной характеристикой деформации полимера материалов, использовали установку, разработанную в институте органической и физической химии им. А.Е. Арбузова АН СССР. В ней обеспечивается равномерный подъем температуры при периодической нагрузке 0,7 МПа на образец. Исследование образцов размерами 10х8 мм^2 проводили при скорости подъема температуры 2 ^{0}С/мин на установке.

Изучение тонкой структуры поверхности трения проводили с помощью микроскопа УЭМВ-100, используя метод реплик. Получали желатиновый отпечаток с поверхности, на который наносили углеродную реплику методом термического распыления угольных электродов в вакууме (10–5 мм рт. ст. на установке ТНП-1). Оттенение реплики осуществляли платиной.

Микроструктуру и поверхности трения изучали с помощью оптического микроскопа NEOFOT 32.

Результаты и их обсуждение. Исследование трибологических свойств при трении без смазки показало, что с увеличением содержания волокна в органопластике коэффициент трения и износ резко снижаются, достигая минимальных значений в интервале от 5 до 10 мас.% (рис. 1).



а *б* *в*

Рис. 1. Микроструктура поверхности трения фенилона (а) и органопластиков, содержащих: б – 5; в – 10 масс.% наполнителя (увеличение ×100)

Изменение трибологических свойств, как видно из табл., хорошо коррелирует с прочностными характеристиками. Таким образом, было установлено, что оптимальным комплексом свойств обладает материал, содержащий 5–10 мас.% волокна. Органопластик при оптимальном содержании волокна превосходит базовый полимер по удельной ударной вязкости, прочности, износостойкости в 1,4; 1,3; 1,7 раза соответственно, при одновременном снижении коэффициента трения в 2,6 раза.

Таблица

Физико-механические свойства армированных пластиков

Материал	Содержание волокна, %	Предел текучести при сжатии, МПа	Удельная ударная вязкость, кДж/м^2	При трении без смазки P=0,6МПа и υ=1 м/с	
				Износ, мг	Коэффициент трения
Фенилон	-	262,2	31,5	3,10	0,52
Армированные пластики	5	269,9	43,0	1,92	0,24
	10	299,2	39,6	1,80	0,21
	15	341,4	36,8	1,95	0,20

Результаты исследований органопластиков при смазке водой (рис. 2) свидетельствуют о том, что при давлениях до 2 МПа эффект от армирования не проявляется, в то время как при PV>2МПа·м/с разница между исходным пластиком и армированным существенна, так, при PV=4МПа·м/с интенсивность изнашивания органопластика в 2 раза ниже, чем у фенилона.

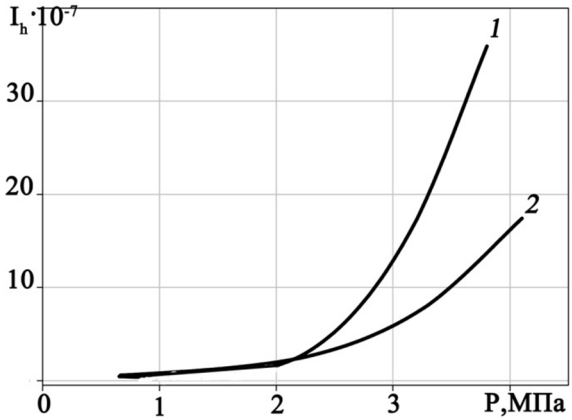
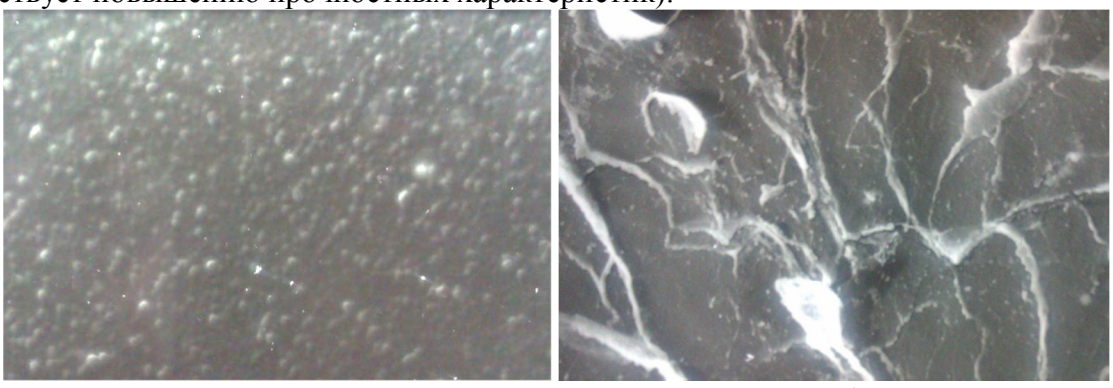


Рис. 2. Влияние давления на интенсивность линейного изнашивания фенилона (1) и органопластика (2) на его основе при смазке водой

Это можно объяснить более высокими механическими свойствами органопластика (с одной стороны за счет армирования, а с другой – за счет трансформации глобулярной структуры связующего в фибрилярную (рис. 3), что, как известно [6], также способствует повышению прочностных характеристик).



а *б*

Рис. 3. Структура исходного полимера и органопластика (увеличение ×8000)

Для подтверждения данного вывода изучали свойства поверхностных слоев полимеров на границе раздела полимер–волокно с помощью термомеханического метода. Они играют определенную роль в механизме усиливающего действия волокна в армированном пластике. Учитывая это, изучали влияние свойств поверхностных слоев на структуру и прочность ароматического полиамида фенилон, армированного волокнами

фенилон. Установлено, что оптимальная температура переработки армированного пластика на 15–25 ^{0}С выше, чем у фенилона. С одной стороны, это вызвано сильным взаимодействием между волокном и связующим, имеющими одну химическую природу, с другой – ограничением числа конфигураций макромолекул фенилона, которые могут принять на границе раздела с волокном. В силу указанных причин уменьшение молекулярной подвижности на границе раздела фаз приводит также к уменьшению подвижности во всем объеме полимера. Вышеизложенное нашло экспериментальное подтверждение при исследовании свойств армированных пластиков: на термомеханических (рис. 4) отчетливо наблюдаются две температуры размягчения 302 и 342 ^{0}С, отвечающие соответственно температуре размягчения полимера в объеме и граничного слоя.

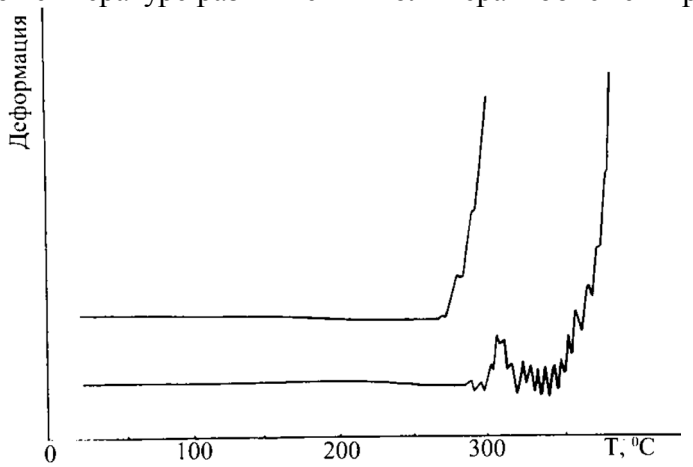


Рис. 4. Влияние температуры на деформацию образцов: 1 – фенилона; 2 – органопластика

Итоги и предложения. В ходе проведения исследования были разработаны новые органопластики на основе ароматического полиамида фенилона С-1 и термостойкого органического волокна фенилон. При изучении физико-механических и термомеханических свойств данного материала было установлено, что оптимальным содержанием наполнителя в связующем является 5–10 мас.%. Положительные результаты лабораторных испытаний позволяют предположить, что разработанный материал может быть использован в узлах трения машин и механизмов.

Список использованных источников

1. *Струк В. А.* Антифрикционные материалы на основе полимерных связующих / В. А. Струк. – Гродно, 1996. – 224 с.

2. *Перепелкин К. Е.* Структура и свойства волокон / К. Е. Перепелкин. – М. : Химия, 1985. – 208 с.

3. *Ван Фо Фы Г. А.* Конструкции из армированных пластмасс / Г. А. Ван Фо Фы. – К. : Техника, 1971. – 220 с.

4. *Перепелкин К. Е.* Химические волокна. Развитие производства, методы получения, свойства, перспективы : монография / К. Е. Перепелкин. – СПб. : РИОСПГУТД, 2008. – 354 с.

5. *Миронов В. С.* Технологическое управление триботехническими характеристиками слоистых полимерных композиций / В. С. Миронов // Трение и износ. – 1995. – Т. 16, № 3. – С. 527–536.

6. *Буря А. И.* Применение фенилона, армированного полиамидными углеродными волокнами в узлах сухого трения / А. И. Буря, И. А. Фомичев, А. П. Давыдов // Вопросы химии и химической технологии : Республ. межвед. науч.-техн. сб. – Х. : Вища школа, 1978. – Вып. 50. – С. 113–116.

7. *Каргин В. А.* Связь надмолекулярной структуры с механическими свойствами полимеров / В. А. Каргин, Г. Л. Слонимский, Т. И. Соголова // 22nd Annual Technical Conference : Technical papers SPE, Montreal. – 1966. – № 12. – С. 43.

8. *Картон В. А.* Краткие очерки по физико-химии полимеров / В. А. Картон, Г. Л. Слонимский. – Издание второе. – М. : Химия, 1967. – 232 с.

УДК 678.643

А.А. Королёв, канд. техн. наук
Черниговский национальный технологический университет, г. Чернигов, Украина

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССА ЭТЕРИФИКАЦИИ ГЛИЦЕРИНА

О.О. Корольов, канд. техн. наук
Чернігівський національний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

ІНТЕНСИФІКАЦІЯ ПРОЦЕСУ ЕТЕРИФІКАЦІЇ ГЛІЦЕРИНУ

Aleksandr Korolev, PhD in Technical Sciences
Chernigov National University of Technology, Chernigov, Ukraine

INTENSIFICATION OF THE ESTERIFICATION OF GLYCEROL

Изучена каталитическая активность ряда ацетатов и хлоридов двухвалентных металлов – магния, цинка, кобальта, кальция, марганца в реакции этерификации глицерина жирными кислотами при температуре 433 К. Реакции проводили без атмосферы инертных газов. Наибольшую активность проявили соли магния и цинка. Добавки в реакционную массу небольших количеств растворителя диметилсульфоксида на 25 % увеличивает скорость реакции. Применения катализатора и добавки растворителя позволяет уменьшить время проведения реакции в 2 раза.

***Ключевые слова**: этерификация, катализатор, глицерин.*

Вивчено каталітичну активність деяких ацетатів і хлоридів двовалентних металів – магнію, цинку, кобальту, кальцію, марганцю в реакції етерифікації гліцерину жирними кислотами при температурі 433 К. Реакції проводили без атмосфери інертних газів. Найбільшу активність виявили солі магнію і цинку. Добавки в реакційну масу невеликих кількостей розчинника диметилсульфоксиду на 25 % збільшує швидкість реакції. Застосування каталізатора і добавки розчинника дозволяє зменшити час проведення реакції в 2 рази.

***Ключові слова**: етерифікація, каталізатор, гліцерин.*

Catalytic activity of row of acetates and chlorides of bivalent metals is studied - magnesium, zinc, cobalt, calcium, manganese in the reaction of esterification of glycerin fat acids at a temperature 433 K. Reactions were conducted without the atmosphere of rare gases. Most activity was shown by salts of magnesium and zinc. Additions in reactionary mass of small amounts of solvent of dimethyl sulfoxide (DMSO) on 25 % increases speed of reaction. Applications of catalyst and addition of solvent time of realization of reaction allows to decrease in 2 times.

***Key words**: esterification, catalyst, glycerin.*

Постановка проблемы. В пищевой технологии необходимое условие длительной и надежной эксплуатации оборудования – эффективная защита от коррозии, обусловленной повышенными температурами, влажностью, контактом с химически и биологически активными средами (кисломолочными продуктами, пищевыми кислотами, солью, штаммами различных микроорганизмов и т. д.).

Лакокрасочные покрытия, среди прочих методов, являются одним из наиболее массовых средств защиты от коррозии оборудования, находящегося в различных условиях эксплуатации. Для сохранения защитного действия лакокрасочных покрытий актуальна разработка эффективных модифицирующих добавок, содержащие ингибиторы коррозии или пассиваторы, повышающие защитное действие покрытий и продлевающих срок их службы.

Одними из направлений модифицирования лакокрасочных материалов, пищевых продуктов и косметических товаров является использование поверхностно-активных веществ (ПАВ), различающихся как природой гидрофильного центра, так и строением гидрофобного радикала.

Сложные эфиры на основе полиспиртов и жирных кислот являются неиногенными ПАВ и в ряде случаев проявляют ингибирующую активность [1]; активными ингибиторами коррозии являются липиды и сложные эфиры на основе глицерина – фосфолипиды высших жирных кислот [2–4].

Анализ последних достижений и публикаций. Сложные эфиры на основе глицерина находят применение в пищевой технологии (эмульгаторы, ПАВ), косметических товарах (кремы, гели, шампуни), лакокрасочной промышленности (алкидные лаки, краски, эмали).

Реакция кислот с полиспиртами протекает при повышенной температуре и в присутствии катализатора. В монографии [5] приводится перечень катализаторов этерификации: органические и неорганические кислоты, амины, металлы и их соли, различные металлоорганические и элементоорганические соединения.

В промышленных условиях при получении алкидных лакокрасочных материалов при температуре 513…533 К в качестве катализаторов используются оксиды кальция и свинца [6] в инертной среде.

Получение эмульгаторов для маргариновой и других производств проводится этерификацией глицерина высшими жирными кислотами при температуре 483…493 К в присутствии оксида кальция и также в инертной среде [7; 8].

Оксиды двухвалентных металлов – магния, цинка, кальция и др. в виде тонкого слоя на подложке из оксида алюминия предложено использовать в технологии по переэтерификации рапсового масла глицерином при температурах до 513 К [9].

В ряде патентов и публикаций при получении сложных полиэфиров предлагается использование в качестве катализаторов солей двухвалентных металлов: цинка, магния, кальция и др., например [10].

Представляет интерес изучить возможность использования в процессе этерификации глицерина жирными кислотами доступных и нетоксичных солей двухвалентных металлов, растворимых в спиртовых средах, например, ацетатов и хлоридов.

Выделение не решенных ранее частей общей проблемы. Приведенные данные позволяют сделать вывод, что процесс ацилирования глицерина проводится при достаточно высоких температурах и в присутствии инертного газа. Для получения глицеридов при более низких температурах (433…453 К) следует выяснить возможность использование катализаторов ряда доступных и нетоксичных солей органических и неорганических кислот. Их применение известно по реакции полиэтерификации в процессе получения полиэтилентерфталата. Снижение температуры позволит избежать осмоление и потемнение продуктов реакции и проводить реакцию без инертного газа.

Цель статьи. Основной целью этой работы является интенсификация процесса этерификации глицерина жирными кислотами и снижение температуры реакции, уменьшение времени синтеза, проведение реакции без использования инертного газа в присутствии катализаторов ряда ацетатов и хлоридов двухвалентных металлов.

Изложение основного материла. Исходными веществами для синтеза были каприловая (октановая) кислота с температурой кипения 512 К и глицерин (1,2,3-пропантриол) с температурой кипения 563 К при мольном соотношении 2:1.

В качестве катализаторов использованы *Mg, Ca, Zn, Co, Mn* ацетаты и *Mg, Zn, Co* хлориды. Количество катализатора 6 ммоль/моль кислоты при расчете на безводную соль. Краткая характеристика исследованных катализаторов приведена в табл. 1.

Таблица 1

Характеристика катализаторов

№ п/п	Формула	Температура плавления $T_{пл}$, К	Растворимость	
			вода	этанол
1	$(CH_3COO)_2Ca \cdot H_2O$	разлагается при нагревании	+	м.р.
2	$(CH_3COO)_2Co \cdot 4H_2O$	413	+	м.р.
3	$(CH_3COO)_2Mg \cdot 4H_2O$	353	+	+
4	$(CH_3COO)_2Mn \cdot 4H_2O$	353	+	+
5	$(CH_3COO)_2Zn \cdot 2H_2O$	508 (безводный)	+	+
6	$CoCl_2 \cdot 6H_2O$	360	+	+
7	$MgCl_2 \cdot 6H_2O$	423	+	+
8	$ZnCl_2 \cdot 6H_2O$	591 (безводный)	+	+

Реакция проводилась как в расплаве, так и в присутствии добавок растворителей диметилформамида (ДМФО) и диметилсульфоксида (ДМСО) в количестве 5 % от реакционной массы. ДМСО является важным биполярным апротонным растворителем. Он менее токсичен, чем другие представители этой группы, такие как диметилформамид, диметилацетамид, N-метил-2-пирролидон, ГМФТА. Благодаря своей сильной растворяющей способности, ДМСО часто используется как растворитель в химических реакциях с участием неорганических солей.

Кислотные свойства ДМСО выражены слабо, поэтому он стал важным растворителем в химии карбоанионов. Из-за высокой температуры кипения ДМСО крайне медленно испаряется при нормальном атмосферном давлении, это делает его очень удобным растворителем для проведения реакций при нагревании.

Реакция проводилась при температуре 433 К. Скорость реакции определяли по изменению концентрации *COOH*-групп в пробах реакционной массы методом титрования раствором щелочи, полученные данные использовались для расчета степени превращения Р (%). Эффективность действия катализаторов оценивали по степени превращения Р через промежутки времени τ, рассчитывая значения коэффициента активности $Ka=P/\tau$. Показателем активности катализатора является также полное время реакции до достижению показателя Р = 93…95 %.

Экспериментальные и расчетные данные первой серии опытов с использованием ацетатов (табл. 1, пп. 1–5) и хлоридов (табл. 1, пп. 6–8) двухвалентных металлов представлены на рис. 1–4.

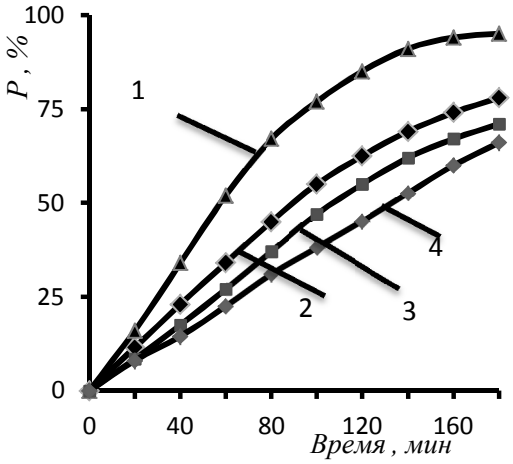


Рис. 1. Зависимость выхода глицерилкаприлата от времени реакции с катализаторами – ацетатами: 1 – Zn; 2 – Mg; 3 – Co; 4 – без катализатора

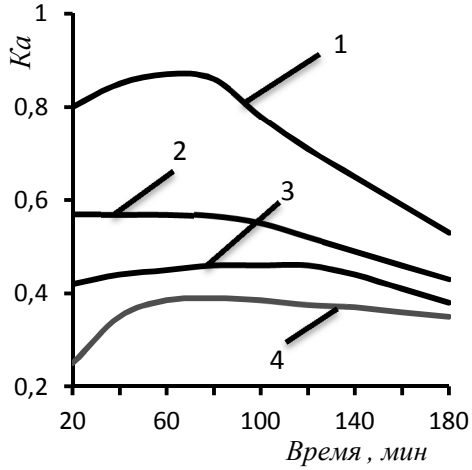


Рис. 2. Зависимость коэффициента активности Ка от времени реакции с катализаторами – ацетатами: 1 – Zn ; 2 – Mg; 3 – Co; 4 – без катализатора

На рис. 1–4 показаны данные только для трех ацетатов, т. к. показатели активности *Ca* ,*Co* и *Mn* ацетатов близки (табл. 2).

По графикам зависимостей видно, что наиболее высокие скорости реакции наблюдаются в интервале 60–90 мин.

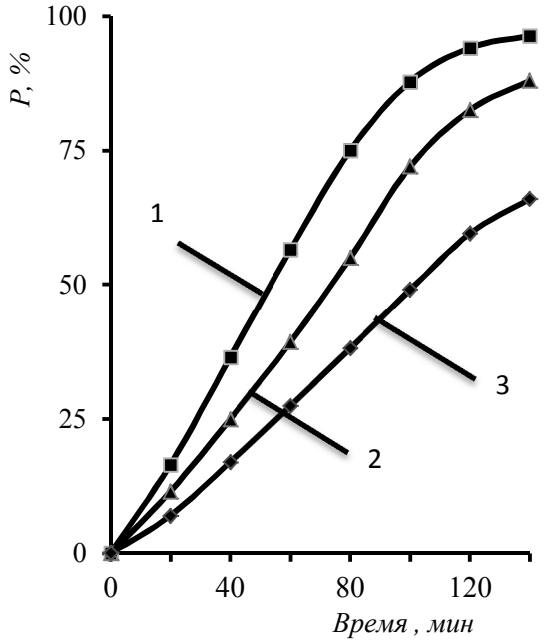


Рис. 3. Зависимость выхода глицерилкаприлата от времени реакции с катализаторами – хлоридами: 1 – Mg; 2 – Zn; 3 – Co

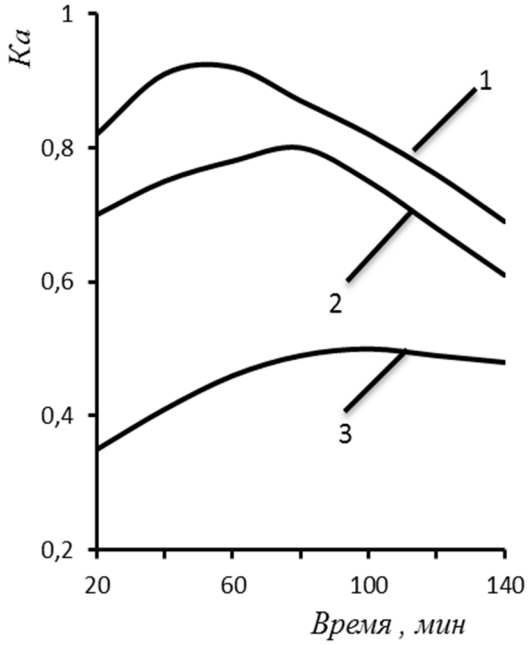


Рис. 4. Зависимость коэффициента активности Ка от времени реакции с катализаторами – хлоридами: 1 – Mg; 2 – Zn; 3 – Co

В табл. 2 представлены характеристики исследованных систем по коэффициенту активности *Ка* через 80 минут реакции. Степень превращения Р оценивалась через 120 минут, т. к. скорость практически всех реакций достигала максимального значения.

Таблица 2

Показатели активности катализаторов

Показатели	**Ацетаты**					**Хлориды**			**Без катализатора**
	Mg	***Zn***	***Ca***	***Co***	***Mn***	***Mg***	***Zn***	***Co***	
Ка	0,56	0,84	0,46	0,46	0,45	0,87	0,80	0,49	0,40
Р, %	62,5	85,0	57,0	66,0	55,0	93,0	81,5	59,5	45,0

Анализ показателей восьми представленных катализаторов позволяет выделить из них три лидера, которые распределяются в следующем порядке: *Mg* хлорид > Zn ацетат > Zn хлорид. По времени окончания синтеза *Mg* хлорид имеет наилучший показатель – 2 часа, для *Zn* ацетата и хлорида – 2,5 часа. Общее время в известных реакциях и в наших исследованиях достигает 3,5–4,5 часов для достижения выхода на уровне 93–95 % при отсутствии или малой активности катализатора. *Mg* ацетат показывает среднюю активность, увеличивая скорость реакции на 40 %. *Ca, Co, Mn* ацетаты малоактивны: *Ca* и *Co* ацетаты повышают скорость реакции на 20 %, *Mn* ацетат – на 10 %.

Сравнение активности *Mg, Zn, Co* ацетатов и хлоридов показывает, что если для *Zn* и *Co* разница кислотного остатка небольшая (4…6 %), то *Mg* хлорид активнее *Mg* ацетата на 50 %.

По активности изученные соли металлов можно расположить в следующий ряд:

$$MgCl_2>Zn(CH_3COO)_2>ZnCl_2>Mg(CH_3COO)_2>Ca(CH_3COO)_2>CoCl_2>$$
$$>Co(CH_3COO)_2>Mn(CH_3COO)_2$$

Полученные глицидилкаприлаты используются для дальнейших синтезов, поэтому, желательно, чтобы они не содержали твердых примесей или не были значительно окрашены вследствие окисления.

Гицидилкаприлат – вязкая жидкость светло-желтого цвета. При использовании *Zn* ацетата образуется глицерид в виде непрозрачной мутной жидкости с белым осадком. Причиной может быть образование *Zn* комплекса, устойчивого при температуре реакции.

При использовании *Mg* и *Co* ацетатов и хлоридов продукты реакции не содержат осадка, но окрашены в темно-красный цвет. Желтый цвет без осадка имеет продукт, полученный с использованием *Zn* хлорида. Не окрашивают реакционную массу *Zn* хлорид, *Ca* и *Mn* ацетаты.

Во второй серии опытов было проверено влияние добавок растворителей ДМФА на активность *Mg, Zn, Ca, Co, Mn* ацетатов и ДМСО – для наиболее активных ацетатов *Mg* и *Zn*. Экспериментальные данные представлены на рис. 5–8 и в табл. 3, 4.

Таблица 3

Каталитическая активность ацетатов с добавками ДМФА

Показатель	**τ, мин**	**Ацетаты**		
		Ca	***Co***	***Mn***
Ka	80	0,55	0,60	0,50
P, %	120	68,5	73,0	61,2

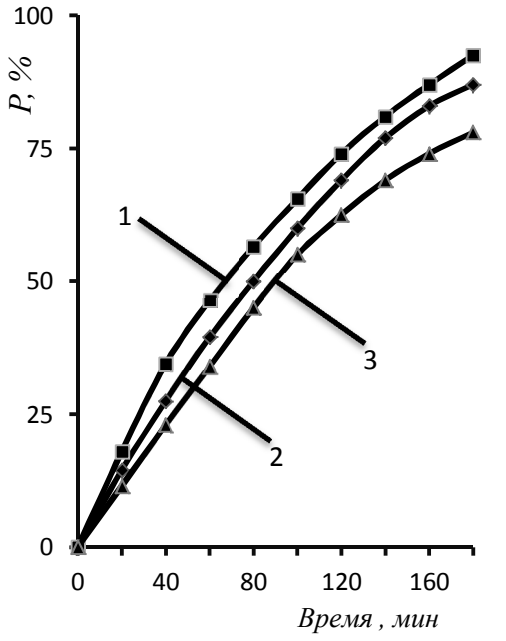


*Рис. 5. Зависимость выхода глицерилкаприлата от времени реакции **с** катализатором Mg ацетатом с добавками: 1 – ДМСО; 2 – ДМФА; 3 – без добавки*

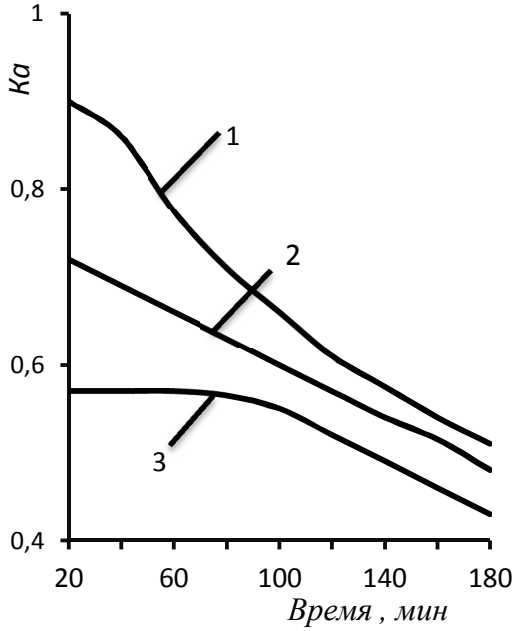


Рис. 6. Зависимость коэффициента активности Ка от времени реакции с катализатором Mg ацетатом с добавками: 1 – ДМСО; 2 – ДМФА; 3 – без добавки

Влияние ДМФА на активность ацетатов разнонаправлено. Наибольшее положительное влияние (на 30 %) ДМФА оказывает на активность *Co* ацетата. Другие ацетаты оказались активными в меньшей степени: увеличение скорости реакции на 20 % для *Ca* и *Mn* ацетатов и на 10 % для *Mg* ацетата. Следует отметить, что значительно снизилась активность *Zn* ацетата – на 25 %. В последнем случае весьма возможно образование малоактивного комплекса соли *Zn* с ДМФА.

Продукты реакции окрашены в темный цвет с *Mg, Zn, Co* ацетатами и не окрашены с *Ca* и *Mn* ацетатами. По каталитической активности *Ka* в присутствии ДМФА ацетаты можно расположить в следующий ряд: *Zn* > *Mg* > *Co* > *Ca* > *Mn*.

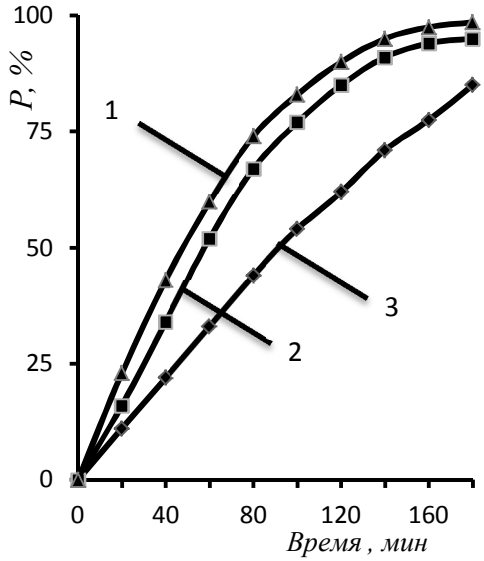


*Рис. 7. Зависимость выхода глицерилкаприлата от времени реакции **с** катализатором Zn ацетатом с добавками: 1 – ДМСО; 2 – без добавки; 3 – ДМФА*

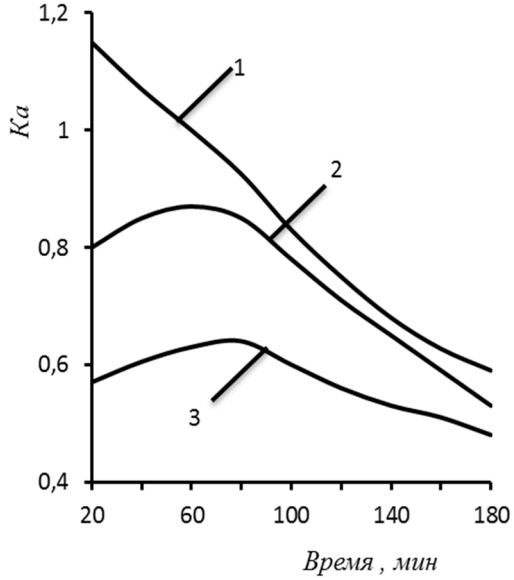


Рис. 8. Зависимость коэффициента активности Ка от времени реакции с катализатором Zn ацетатом с добавками: 1 – ДМСО; 2 – без добавки; 3 – ДМФА

Таблица 4

Активность ацетатов Mg и Zn в присутствии добавок

Добавки	**Ацетаты**			
	Mg		***Zn***	
	Ка	Р, %	*Ка*	Р, %
–	0,56	62,5	0,86	85,3
ДМФА	0,62	69,0	0,64	67,0
ДМСО	0,70	77,0	0,92	90,0

Сравнительный анализ результатов показывает, что при добавке ДМСО значительно (на 25 %) повышается активность *Mg* ацетата и в небольшой степени (~5 %) повышает активность *Zn* ацетата. В присутствии ДМСО проба с *Zn* ацетатом не окрашивается, но дает осадок; *Mg* ацетат окрашивается в более светлый красный цвет (по сравнению с ДМФА). В основном как ДМФА, так и ДМСО оказывают положительное влияние на активность *Mg, Ca, Co, Mn* ацетатов, хотя в разной степени (10…30 %), ухудшение наблюдается только для *Zn* ацетата в присутствии ДМФА, это хорошо видно на рис. 3.

Продукты реакции ДМСО имеют светло-желтую окраску для *Zn* ацетата и светокрасную для Mg ацетата. По активности с добавкой ДМСО *Zn* ацетат более активен, чем *Mg* ацетат.

Выводы и предложения. Изучена каталитическая активность солей двухвалентных металлов: *Mg, Zn, Ca, Co, Mn* ацетатов и *Mn, Zn, Co* хлоридов в синтезе глицидилкаприлата при температуре 433 К. Установлено, что группа катализаторов: *Zn* и *Mg* хлориды и *Zn* ацетат значительно увеличивают скорость этерификации и снижают общее время реакции в 2 раза.

Добавки растворителей ДМФА И ДМСО повышают активность катализаторов на 10–20 %. Для *Zn* ацетата добавка вызывала снижение активности на 25 %.

Использование ДМСО предпочтительно, т. к. наличие ДМФА придает темное окрашивание ряда конечных продуктов реакции.

Список использованных источников

1. Эффективность ингибиторов коррозии в зависимости от полярности масляной среды / К. М. Антипова и др. // Защита металлов. – 1975. – Т. 11, № 4. – С. 516–518.

2. *Особливості* протикорозійного захисту інгібіторами на основі відходів переробки рослинної сировини / О. Сиза, О. Корольов, О. Савченко, І. Костенко, В. Челібієва // Проблеми корозії та протикорозійного захисту матеріалів : в 2 т. – Львів : Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України, 2008. – Т. 2, № 7. – С. 567–572.

3. *Корольов О. О.* Дослідження протикорозійних властивостей відходів хімічного та харчового виробництв / О. О. Корольов, О. І. Сиза, О. М. Савченко // Вісник ЧДТУ. – 2006. – № 26. – С. 123–128.

4. *Використання* природних органічних речовин групи ліпідів у протикорозійному захисті сталі / О. М. Савченко, О. О. Корольов, О. І. Сиза, В. Г. Бакалов // Вісник ЧДТУ. – 2005. – № 22. – С. 130–134.

5. *Омельченко С. И.* Сложные олигоэфиры и полимеры на их основе / С. И. Омельченко. – К. : Наукова думка, 1976. – 214 с.

6. *Сорокин М. Ф.* Химия и технология пленкообразующих веществ / М. Ф. Сорокин, Л. Г. Шодэ, З. А. Кочнова. – М. : Химия, 1981. – 448 с.

7. *Технология* переработки жиров / Н. С. Арутюнян, Е. А. Аришева, Л. И. Янова, И. И. Захарова, Н. Л. Меламед. – М. : Агропромиздат, 1985. – 368 с.

8. *Капкин В. Д.* Технология органического синтеза : учебник для техникумов / В. Д. Капкин, Г. А. Савинецкая, В. И. Чапурин. – М., 1987. – 400 с.

9. *Переэтерификация* рапсового масла глицерином на основных оксидах / Г. Н. Старух, С. И. Левицкая, Д. В. Шистка, В. В. Брей // Хімія, фізика і технологія поверхні. – 2010. – Т. 1, № 2. – С. 194–199.

10. *Способ* получения полиэфира, содержащего карбоксильные группы : Заявка 62-240318 Япония: МКВ G 08 G 63/76, C 09 J 3/16 / Кусуда Тосиюки, Сато Тэцуо, Сигэмацу Садо, Хироока Коити, Танабэ Сусуму, Мисима Мотоко ; Ниппон госей кагаку когё к.к. – № 61 – 83907 ; заявл. 10.04.86 ; опубл. 21.10.87, Бюл. № 11. – 4 с.

UDC 620.179:534.6

Serhii Filonenko, Doctor of Technical Sciences
Tetiana Nimchenko, PhD in Technical Sciences
National Aviation University, Kyiv, Ukraine

SIMULATION OF ACOUSTIC EMISSION IN COMPOSITE MATERIAL MACHINING WITH REGARD TO ITS PHYSICAL AND MECHANICAL CHARACTERISTICS

С.Ф. Філоненко, д-р техн. наук
Т.В. Німченко, канд. техн. наук
Національний авіаційний університет, м. Київ, Україна

МОДЕЛЮВАННЯ АКУСТИЧНОЇ ЕМІСІЇ ПІД ЧАС ОБРОБЛЕННЯ КОМПОЗИЦІЙНОГО МАТЕРІАЛУ З УРАХУВАННЯМ ЙОГО ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК

С.Ф. Филоненко, д-р техн. наук
Т.В. Нимченко, канд. техн. наук
Национальный авиационный университет, г. Киев, Украина

МОДЕЛИРОВАНИЕ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ ПРИ ОБРАБОТКЕ КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА С УЧЕТОМ ЕГО ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК

Acoustic emission signal in the machining of composite material for the prevailing thermal activation mechanism of destruction of the surface layer with the change of the parameter, which coincides in size with the period of vibrations of the lattice atoms of the solid body, was simulated. It was shown that the resulting signal of the acoustic emission is a continuous signal of a strongly peaked shape. The regularities of changes in amplitude parameters of the acoustic emission with the change of the parameter, which coincides in size with the period of vibrations of the lattice atoms of the solid body, were determined.

Key words: *acoustic emission, composite material, resulting signal, thermal activation model, amplitude, parameters, regularities, sensitivity, machining.*

Проведено моделювання сигналу акустичної емісії під час механічного оброблення композиційного матеріалу для переважного термоактиваційного механізму руйнування поверхневого шару з урахуванням зміни параметра, що збігається за величиною з періодом коливань атомів гратки твердого тіла. Показано, що результуючий сигнал акустичної емісії є неперервним сигналом із сильно порізаною формою. Визначені закономірності зміни амплітудних параметрів акустичного випромінювання при зміні параметра, який збігається за величиною з періодом коливань атомів гратки твердого тіла.

Ключові слова: *акустична емісія, композиційний матеріал, результуючий сигнал, термоактиваційна модель, амплітуда, параметри, закономірності, чутливість, механічне оброблення.*

Проведено моделирование сигнала акустической эмиссии при механической обработке композиционного материала для преобладающего термоактивационного механизма разрушения поверхностного слоя с учетом изменения параметра, совпадающего по величине с периодом колебаний атомов решетки твердого тела. Показано, что результирующий сигнал акустической эмиссии является непрерывным сигналом с сильно изрезанной формой. Определены закономерности изменения амплитудных параметров акустического излучения при изменении параметра, совпадающего по величине с периодом колебаний атомов решетки твердого тела.

Ключевые слова: *акустическая эмиссия, композиционный материал, результирующий сигнал, термоактивационная модель, амплитуда, параметры, закономерности, чувствительность, механическая обработка.*

Problem statement. Products made of composite materials (CM) are widely used in various industries due to their high durability and performance specifications. To achieve the desired product quality, research is carried out with the development of the methods of control, diagnosis and monitoring of technological machining processes for CM. One of such methods used in the machining of materials of crystalline structure and CM is the acoustic emission method (AE). The essence of the AE method is that the recorded acoustic emission is the reflection of internal processes that develop in the surface layers of the material in machining. The method is characterized by low inertia. AE method is sensitive to changes in the process which develop during machining, resulting in a change in the parameters of the generated acoustic emission.

Analysis and processing of the acoustic emission parameters, with further definition of the acoustic emission regularities, is an important issue in the application of the AE method during CM machining. This is due both to the difficulties of experimental research in the process of machining, and a significant number of parameters affecting the AE signal. From this viewpoint, theoretical studies that involve analysis of the acoustic emission under changing of the machining parameters acquire in importance. The results obtained during the simulation are fundamental in the development of methods for monitoring and diagnosis of CM machining processes.

Analysis of recent research and publications. In developing the methods of control and monitoring of technological machining processes for materials, continuous AE signal parameters are analyzed. In this case, we investigate the influence of various factors on the analyzed parameters of the sensed AE signals. These factors act as machining parameters (cutting speed, depth of cut, cutter feed) and physical and mechanical properties of the materials.

Empirical regularities in the change of the AE signals under change of the influencing factors, obtained by most of the authors, are not stable, and some studies are contradictory. Most of the published results relate to experimental studies [1–4]. At the same time, there are rather few theoretical studies related to the development and simulation of the acoustic emission during machining of materials [5–9]. Therefore, creation of the acoustic emission models, describing the material machining process, with further simulation, is one of the main tasks of theoretical studies.

Studies [6; 9] consider the model of AE resulting signal generated during machining of materials of traditional structure (turning operation). The model is based on the principles of generation of the acoustic emission at deformation and fracture of the surface layers of the material during machining. The results of the simulation showed that the generated AE signals are continuous signals of strongly irregular shape. The obtained theoretical results agree with the experimental data [3; 6; 9].

Results of AE signals simulation under the change of one of the material machining parameters (machining speed), discussed in study [9], showed that change of the material machining speed leads to the change in the average amplitude level of the resultant AE signal, its standard deviation and dispersion.

Approaches used in the modeling of the acoustic emission discussed in [6], can be applied to making the acoustic emission model in the case of CM machining.

Research tasks. The study will include simulation of the AE signal in the machining of composite material for the prevailing thermal activation mechanism of destruction of the surface layer, with the influence of the parameter coinciding in size with the period of vibrations of the lattice atoms of the solid body. Dependences of the change of the amplitude parameters of the resulting AE signal under the change of the parameter coinciding in size with the period of vibrations of the lattice atoms of the solid body, will be analyzed. Sensitivity of AE amplitude parameters will be determined.

Theoretical results. In general, the model of the resulting AE signal in the CM machining, excluding wear of cutting tools, is discussed in [10] as follows

$$U_p(t) = \sum_j U_R(t - t_j), \tag{1}$$

where t_j – is the occurrence times of AE pulse signals U_R, arising under the prevailing thermal activation destruction of certain CM areas of the set size.

The occurrence time of each subsequent AE signal can be formulated as follows

$$t_j = j\Delta t_j, \tag{2}$$

where Δt_j – is the time interval between the beginning of generation of the subsequent AE pulse signal in relation to the previous one.

As the model of the AE pulse signal, we used the signal model [7], which is generated during thermal activation destruction of CM

$$U_R(t) = u_0 \alpha t e^{-\chi(t_0 - t)} e^{-\frac{1}{\tau_0 \chi}(e^{-\chi(t_0 - t)} - e^{\chi t_0})}, \tag{3}$$

where τ_0 – is the parameters which coincides in size with the period of thermal vibrations of the lattice atoms of the solid body; α – the rate of the applied load variations; t – current time; $u_0 = \frac{N_0}{\tau_0}\beta\delta_s$ – the maximum possible shift at instantaneous destruction of the set CM area consisting of N_0 elements (the initial number of elements); β – coefficient of proportionality between fracture stress and amplitude of a single pulse of perturbation at destruction of a single CM element; $\delta_s = \int_{t-\frac{\delta}{2}}^{t+\frac{\delta}{2}} a(\tau)d\tau$; δ – duration of a single perturbation pulse; $a(\tau)$-function defining the form of a single perturbation pulse; $\chi = \frac{\gamma\alpha}{kT}$; $t_0 = \frac{U_0}{\gamma\alpha}$; U_0 – the initial activation energy (the value of the initial energy barrier) of the destruction process; k – Boltzmann's constant; T – temperature; γ – structural-sensitive factor.

CM machining speed determines the duration of the destruction process for a given CM area and time parameters of AE pulse signals, i.e. their duration. Ideally, for the set CM ma-

chining parameters, time intervals Δt_j of occurrence of AE pulse signals, according to (2), shall be the same. However, the duration of the successive CM destruction processes in time will be influenced by various factors. For example, dispersion properties of the processed CM, instability of the work piece rotation speed, line feed speed or others. In this case, the time point t_j can be formulated as follows

$$t_j = j\Delta t_j \pm \delta, \tag{4}$$

where δ – is a random component in the occurrence point of each subsequent AE pulse signal.

According to (1), with due account of (2) and (4), let us simulate the resulting AE signals in relative units as a function of parameter changes, coinciding in size with the period of thermal vibrations of the lattice atoms of the solid body τ_0. Simulation is carried out under the following conditions. Parameters in equation (2) are reduced to the dimensionless values, and time is normalized to t_0. We assume that at initial conditions, the unit of the material area is destructed for a certain cutting depth. The amplitude of the signals will be normalized to the initial value u_0. Value $\frac{\gamma}{kT}$ is reduced to a single normalized value. Under such conditions $\chi = \alpha$. Value for parameter τ_0 is taken equal to 10^{-7}. Value of $\tilde{\chi}$ or $\tilde{\alpha}$ is taken as $\tilde{\chi}$=30. At simulation, value $\tilde{\tau}_0$ will be changed within the range from $\tilde{\tau}_0 = 10^{-7}$ to $\tilde{\tau}_0 = 3 \cdot 10^{-7}$ with growth increment $0{,}5 \cdot 10^{-7}$.

Value of $\Delta\tilde{t}_j$ is taken based on the calculation of the duration of AE pulse signal, as per (3). Basing on the calculation for the set speed $\tilde{\chi}$ and $\tilde{\tau}_0 = 10^{-7}$ value of $\Delta\tilde{t}_j$ is taken equal to: $\tilde{\chi}$=30 - $\Delta\tilde{t}_j$=0,08. Value of $\tilde{\delta}$ for $\tilde{\chi}$=30 will be changed with the range from 0 to 0,12 arbitrarily. For other $\tilde{\tau}_0$ values, $\Delta\tilde{t}_j$ and $\tilde{\delta}$ will be changed in proportion to the change of the pulse signal duration.

Simulation of the resulting AE signals for the assumed conditions, in the relative units, in the form of their amplitude time dependencies is presented in Fig. 1. Charts in fig. 1 are based on the calculation results for 4,000 amplitude values for each resulting AE signal. For charts in Fig. 1, the current time was normalized to the time of the destruction process of CM surface during machining.

The simulation shows (Fig. 1), that the resulting AE signals for the assumed conditions with the prevailing thermal activation destruction mechanism of the CM surface layer, are continuous signals. The signals have a complex and highly rugged form. The signals are of complex and strongly peaked shape. To characterize these signals, we may use their average amplitude ($\tilde{\overline{U}}$), standard deviation $s_{\tilde{U}}$ and dispersion $s^2_{\tilde{U}}$.

Fig. 1 shows that increasing parameter $\tilde{\tau}_0$, with the constant other influencing factors, reduces the average amplitude of the resulting AE signal and its dispersion value.

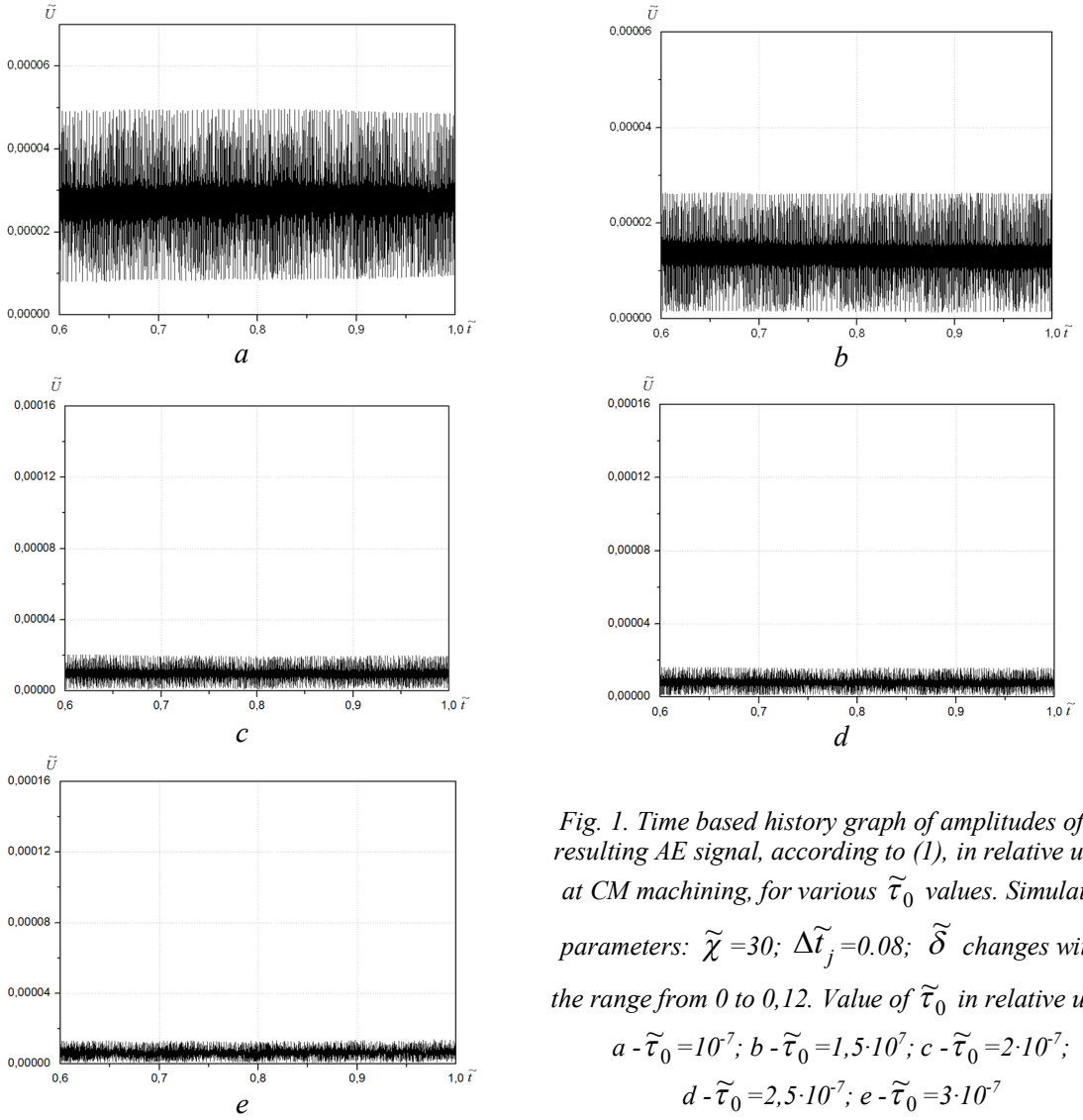


Fig. 1. Time based history graph of amplitudes of the resulting AE signal, according to (1), in relative units, at CM machining, for various $\tilde{\tau}_0$ *values. Simulation parameters:* $\tilde{\chi}$ *=30;* $\Delta\tilde{t}_j$ *=0.08;* $\tilde{\delta}$ *changes within the range from 0 to 0,12. Value of* $\tilde{\tau}_0$ *in relative units: a -* $\tilde{\tau}_0$ *=10*$^{-7}$*; b -* $\tilde{\tau}_0$ *=1,5·10*$^{-7}$*; c -* $\tilde{\tau}_0$ *=2·10*$^{-7}$*; d -* $\tilde{\tau}_0$ *=2,5·10*$^{-7}$*; e -* $\tilde{\tau}_0$ *=3·10*$^{-7}$

Fig. 2 shows the regularities in the change of amplitude parameters of the resulting AE signals: average amplitude level $\tilde{\tilde{U}}$; standard deviation of the average amplitude level ($s_{\tilde{\tilde{U}}}$); dispersion of the average amplitude level ($s^2_{\tilde{\tilde{U}}}$) under change of the signal parameter $\tilde{\tau}_0$.

Figure 2 shows that increasing $\tilde{\tau}_0$ leads to sharp decrease of the average amplitude level $\tilde{\tilde{U}}$, standard deviation of the average amplitude level ($s_{\tilde{\tilde{U}}}$) and dispersion of the average amplitude level ($s^2_{\tilde{\tilde{U}}}$).

Analysis of the data obtained with the approximation of dependencies (Fig. 2 *a, b, c*) showed that they can be well described by the following equation:

$$\tilde{\tilde{U}} = aX^b, \quad (5)$$

where *a* and *b* – are the coefficients of the approximating equation. Values of the coefficients of the approximating equations a and b are as follows: for the average amplitude level of the resulting signal $\tilde{\tilde{U}}$ – *a*= 168047,37802, *b*=-1,400063; for its standard deviation $s_{\tilde{\tilde{U}}}$ – *a*= 236,01062, *b*=-1,05777; for dispersion of the average amplitude level of the resulting signal $s^2_{\tilde{\tilde{U}}}$ – *a*=54056,46953, *b*=-2,11371.

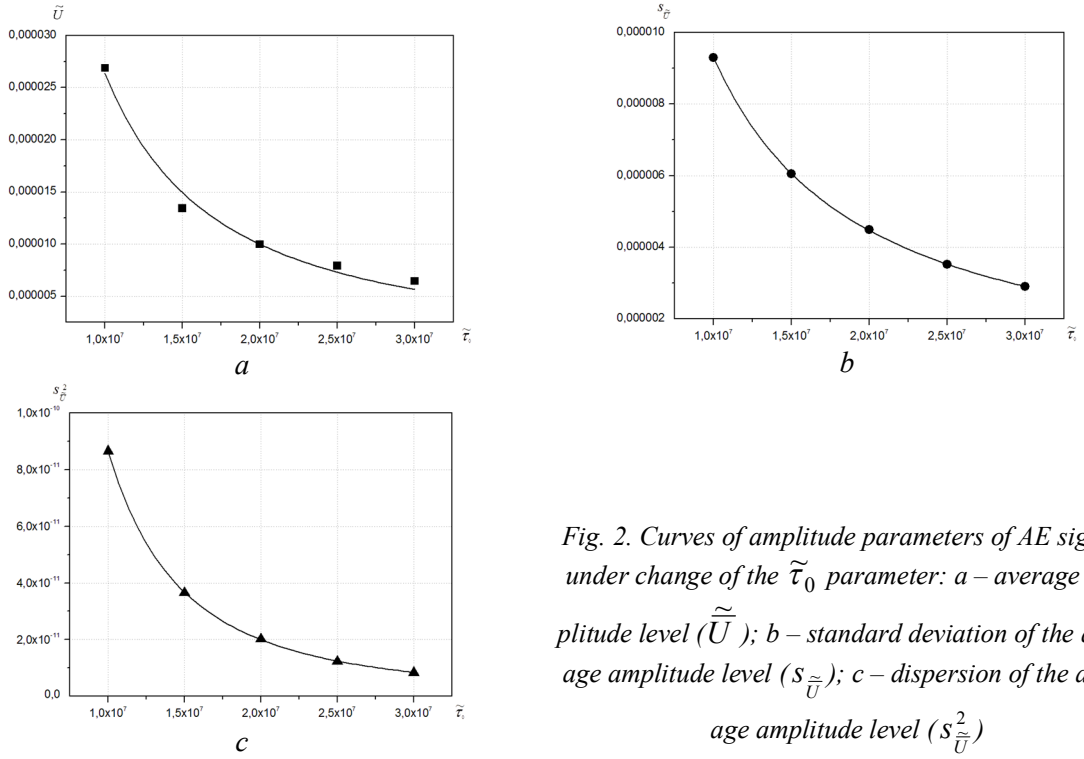


Fig. 2. Curves of amplitude parameters of AE signals under change of the $\widetilde{\tau}_0$ parameter: a – average amplitude level ($\widetilde{\widetilde{U}}$); b – standard deviation of the average amplitude level ($s_{\widetilde{\widetilde{U}}}$); c – dispersion of the average amplitude level ($s^2_{\widetilde{\widetilde{U}}}$)

Statistical analysis of the data shows that R^2 determination coefficients at approximation of dependencies in Fig. 2, which can be expressed as (5), are as follows: for the average amplitude level of the resulting signal $\widetilde{\widetilde{U}}$ – R^2=0,98687; for standard deviation of the average amplitude level of the resulting signal $s_{\widetilde{\widetilde{U}}}$ – R^2=0,99996; for dispersion of the average amplitude level of the resulting signal $s^2_{\widetilde{\widetilde{U}}}$ – R^2=0,99998.

The obtained regularities (Fig. 2) also show that under change of the parameter $\widetilde{\tau}_0$, dispersion of the average amplitude level of the resulting signal is the most sensitive parameter as compared to the standard amplitude deviation of the resulting AE signal.

Conclusion. A model of the resulting AE signal while turning the CM for the prevailing thermal activation destruction of the surface layer was considered. According to the presented model, time dependences of changes in the amplitude of the resulting AE signals under changes of $\widetilde{\tau}_0$ parameter was simulated. It is shown that the resulting AE signals for the given CM machining conditions, are continuous. AE signals are characterized by the complex changes and strongly irregular shape. Statistical processing of the data showed that increasing of the $\widetilde{\tau}_0$ parameter reduces the amplitude parameters of the generated AE signals – the average amplitude, its standard deviation and dispersion. It is shown that dispersion of the average amplitude level is the most sensitive parameter under changes of the parameter coinciding in size with the period of thermal vibrations of the lattice atoms of the solid body $\widetilde{\tau}_0$. At the same time, study of regularities of energy parameters under changes of the $\widetilde{\tau}_0$ parameter is of interest.

References

1. *Surface* integrity in materials removal processes: Recent advances / I. S. Jawahir, E. Brinksmeier, R. M. Saoubi, D. K. Aspinwall, J. C. Outeiro, D. Meyer, D. Umbrello, A. D. Jayal // CIRP Annals – Manufacturing technology. – 2011. – Vol. 60. – P. 603–626.

2. *Dhale A.* Acoustic emission method for selection of optimum cutting parameters in turning using different fluids: A Review / A. Dhale, F. Khan // Int. J. of innovative research and development. – 2013. – Vol. 2, No 7. – P. 185–188.

3. *Teti R.* Advanced monitoring of machining operations / R. Teti, K. Jemielniak, G. O'Donnell, D. Dornfeld // CIRP Annals – Manufacturing Technology. – 2010. – Vol. 59. – P. 717–739.

4. *Lee D. E.* Precision manufacturing process monitoring with acoustic emission / D. E. Lee, I. Hwang, C.M.O. Valente, J.F.G. Oliveira, D.A. Dornfeld//International Journal of Machine Tools & Manufacture. – 2006. – Vol. 46. – P. 176–188.

5. *Filonenko S. F.* Model of acoustic emission signal at the prevailing mechanism of composite material mechanical destruction / S. F. Filonenko, T. V. Nimchenko, A. P. Kosmach // Aviation. – 2010. – Vol. 14. – P. 95–103.

6. *Filonenko S. F.* Acoustical emission at machining of materials by turning / S. F. Filonenko, T. V. Nimchenko // Technological systems. – 2011. – 3 (56). – P. 50–56.

7. *Filonenko S. F.* A model of acoustic emission signals in the study of the destruction of composite materials / S. F. Filonenko, V. M. Kalita, T. V. Nimchenko // Technological systems. – 2009. – № 2 (46). – P. 19–27.

8. *Filonenko S. F.* Laws of change of the acoustic emission of brittle fracture of composite materials / S. F. Filonenko, V. M. Kalita, T. V. Nimchenko // Technological systems. – 2009. – № 3 (47). – P. 27–33.

9. *Filonenko S. F.* Acoustic emission at change of speed of machining materials by turning / S. F. Filonenko, T. V. Nimchenko, T. N. Kositskaya // Technological systems. – 2012. –2 (59). – P. 80–88.

10. *Filonenko S.* Acoustic emission model with themoactivative destruction of composite material surface / S. Filonenko // Proceedings of the National Aviation University. – 2015. – № 1 (62). – P. 53–58.

РОЗДІЛ ІІІ. ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ МАШИНОБУДУВАННЯ ТА АВТОТРАНСПОРТУ

УДК 621.941

В.И. Кальченко, д-р техн. наук
В.В. Кальченко, д-р техн. наук
Г.А. Веремей, ст. преподаватель
Е.С. Следникова, ассистент
Черниговский национальный технологический университет, г. Чернигов, Украина

МОДУЛЬНОЕ 3D-МОДЕЛИРОВАНИЕ ИНСТРУМЕНТОВ, ПРОЦЕССА СЪЕМА ПРИПУСКА И ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ПРИ РАСТАЧИВАНИИ СЕДЕЛ КЛАПАНОВ ОРИЕНТИРОВАННОЙ ПЛАСТИНКОЙ

В.І. Кальченко, д-р техн. наук
В.В. Кальченко, д-р техн. наук
Г.О. Веремей, старш. викладач
О.С. Слєднікова, асистент
Чернігівський національний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

МОДУЛЬНЕ 3D-МОДЕЛЮВАННЯ ІНСТРУМЕНТІВ, ПРОЦЕСУ ЗНЯТТЯ ПРИПУСКУ ТА ФОРМОУТВОРЕННЯ ПІД ЧАС РОЗТОЧУВАННЯ СІДЕЛ КЛАПАНІВ ОРІЄНТОВАНОЮ ПЛАСТИНКОЮ

Vitaliy Kalchenko, Doctor of Technical Sciences
Vladimir Kalchenko, Doctor of Technical Sciences
Gennadiy Veremey, senior teacher
Elena Slednikova, assistant
Chernigov National University of Technology, Chernigov, Ukraine

MODULAR 3D-MODELING TOOLS, THE PROCESS OF REMOVING ALLOWANCES AND FORMATION OF VALVE SEAT ORIENTED PLATE

Впервые предложено модульное трехмерное геометрическое моделирование инструментов, снятия припуска и формообразования рабочих поверхностей седел клапанов газораспределительного механизма двигателя внутреннего сгорания на базе четырех унифицированных модулей: инструментального, преобразования, ориентации и формообразования. Расточка рабочей поверхности седла клапана выполняется ориентированной режущей пластинкой. Разработаны новые способы обработки седел клапанов ориентированной пластинкой.

Ключевые слова: *модульное 3D-моделирования, седла клапанов, формообразования, снятия припуска, ориентированная пластина.*

Вперше запропоновано модульне трьохмірне геометричне моделювання інструментів, зняття припуску та формоутворення робочих поверхонь сідел клапанів газорозподільного механізму двигуна внутрішнього згоряння на базі чотирьох уніфікованих модулів: інструментального, перетворення, орієнтації та формоутворення. Розточування робочої поверхні сідла клапана виконується орієнтованою ріжучою пластинкою. Розроблено нові способи розточування сідел клапанів орієнтованою пластинкою.

Ключові слова: *модульне 3D-моделювання, сідла клапанів, формоутворення, зняття припуску, орієнтована пластина.*

The first time the modular three-dimensional geometric modeling tools, removal allowance and forming working surfaces saddle valve gas distribution mechanism of the internal combustion engine based on four standardized modules: instrumental, transform, orientation and formation. Boring working surface of the valve seat cutting is performed oriented plate. New methods of boring oriented saddle valve plate.

Key words: *3D-modeling module, saddle valve, formation, removal allowance, oriented plate.*

Постановка проблемы. В странах с развитым машиностроением и передовыми инженерными технологиями методы трехмерного геометрического моделирования применяются широко. Однако в условиях отечественного производства существующие 3D-модели не всегда в полном объеме учитывают особенности инструментов и снятия припуска в процессе обработки. Эта проблема характерна и для отечественного авторемонтного производства.

В производстве, связанном с ремонтом такой важной составляющей ДВС автомобиля, как седла клапанов (особенно при частой смене их номенклатуры), выставляются особые требования к инструменту и режимам обработки. Восстановительный ремонт седел клапанов, осуществляемый методом копирования твёрдосплавным резцом с тремя режущими кромками, требует для обеспечения наименьших вибраций инструмента и детали очень гибкой настройки режимов обработки.

Для описания процесса формообразования и настройки параметров необходима адаптация существующих моделей к данному процессу, особенно с использованием модульного 3D-моделирования. На сегодня модульное трехмерное моделирование в основном применяется для процессов шлифования разного вида поверхностей, а для лезвийной обработки не используется.

Поэтому вопросы разработки и исследования новых взаимосвязанных модульных 3D-моделей инструментов, снятия припуска и формообразования в процессе растачивания ориентированными режущими пластинами являются актуальными и способствуют созданию новых эффективных способов лезвийной обработки седел клапанов с внедрением их в авторемонтное производство.

Анализ исследований и публикаций. В работах [1; 2; 3] изложены геометрические 3D-модели формообразования поверхностей и проектирования инструментов при обработке резанием, однако они описывают только процесс формообразования без процесса снятия припуска.

Процесс снятия припуска и формообразования при шлифовании представлен в работе [4] в виде общей 3D-модели без анализа лезвийной обработки.

В работе [5] впервые предложено модульное 3D-моделирование припуска и формообразования при шлифовании, но также без анализа лезвийной обработки.

Модульное 3D-моделирование инструментов, формообразования и снятия припуска ориентированной неперетачиваемой пластинкой на базе трех унифицированных модулей (инструментального, ориентации и формообразования) представлено в работе [6], однако без использования модуля преобразования.

В фундаментальной работе [7] по точности металлорежущих станков разработаны частные 3D-модели формообразующих систем разных станков, но общих 3D-моделей, которые учитывают последовательное снятие припуска и формообразование, не приведено.

Цель статьи. Разработать общую модульную 3D-модель, которая описывает инструменты, снятие припуска и формообразование рабочей поверхности седел клапанов ГРМ двигателя автомобиля на базе унифицированных модулей: инструментального, преобразования, ориентации и формообразования. Это позволит по общему алгоритму анализировать процессы снятия припуска и формообразование, разработать новые способы и высокоэффективную технологию растачивания различных седел клапанов ориентированными режущими пластинами.

Изложение основного материала. Схема процесса растачивания ориентированной режущей пластиной *1* рабочей поверхности седла клапана *4* изображена на рис. 1. Шпиндель станка *2* центрируется во втулке *3* блока с помощью цанги *5*, *7*, *8*, пружины *9* и гайки *6*, что обеспечивает ориентацию пластины. Пластина подается к детали и после включения шпинделя осуществляется рабочая подача инструмента. Инструмент обрабатывает рабочую поверхность седла клапана с подачей на оборот S_z, а параметр винтового движения p равен

$$\mathrm{p} = \frac{S_z}{2 \cdot \pi}. \qquad (1)$$

Для разработки общей модульной 3D-модели снятия припуска и точности формообразования при обработке необходимо описать инструментальную поверхность.

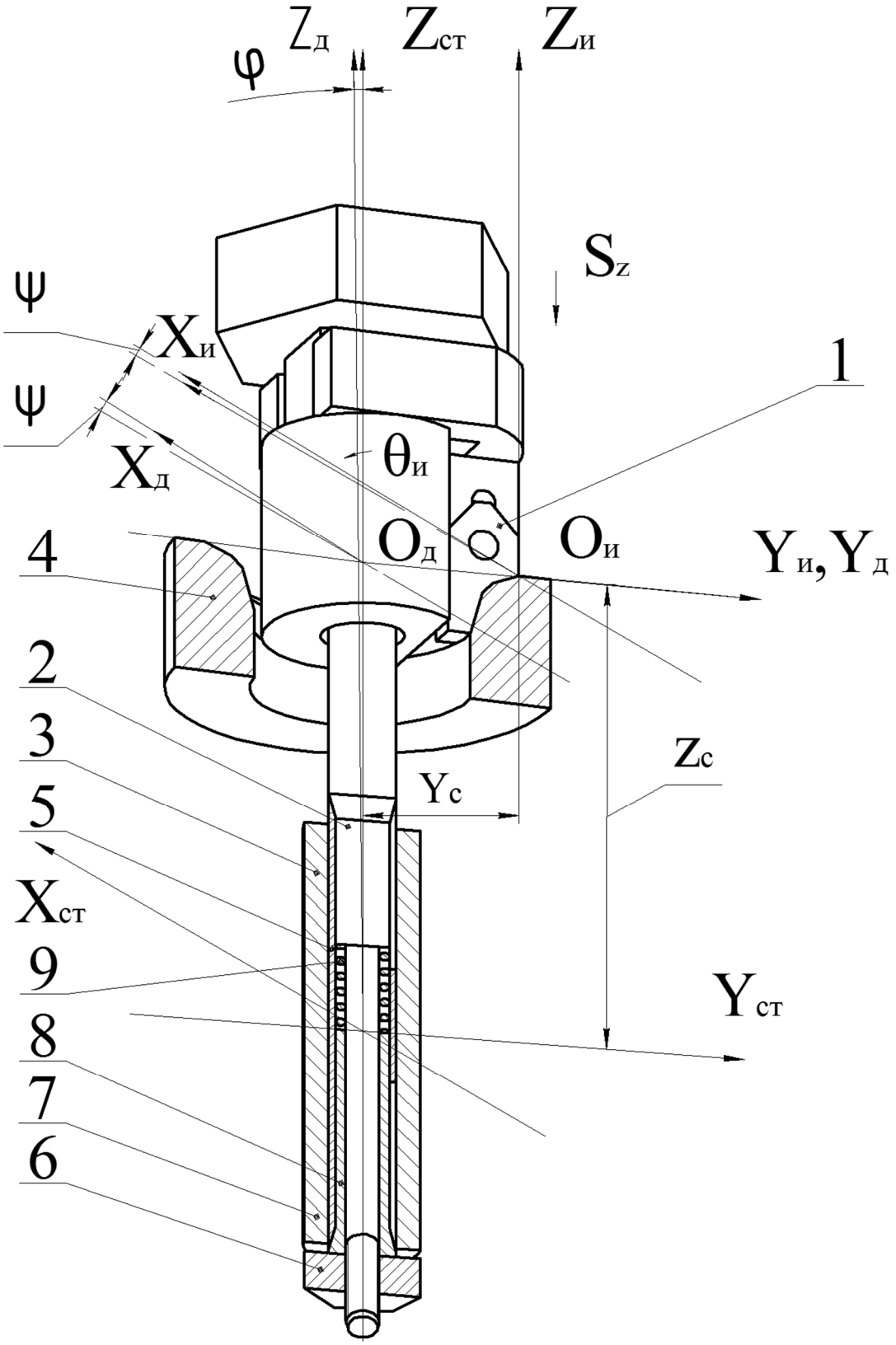


Рис. 1. Схема растачивания рабочей поверхности седла клапана

Общая модель инструментальной поверхности режущей пластины описывается цилиндрическим модулем [5], обусловленным наличием двух независимых параметров: Θ – угол поворота вокруг оси $O_иX_и$, который задает радиус ρ закругления режущей кромки; i – координата точки режущей пластины в плоскости $O_иY_иZ_и$ (рис. 2).

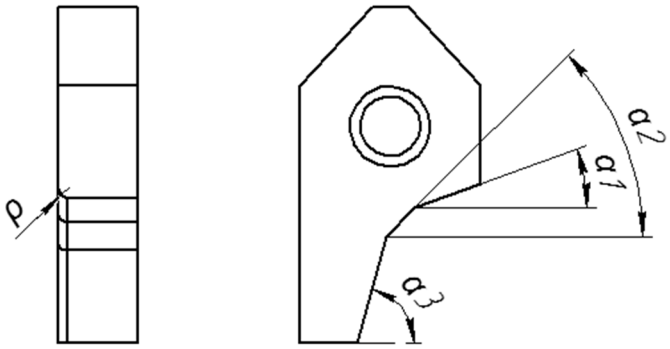


Рис. 2. Режущая пластина

Тогда общую модель режущей пластины можно представить в виде

$$\overline{r}_{\text{и}} = \text{C}^{\text{и}}_{Z_{\text{и}}(i)\cdot Y_{\text{и}}(i)\cdot\Theta_{\text{и}}\cdot\rho_{\text{и}}(i)} \cdot (\beta_k(p_{r_k})) \cdot \overline{e}4, \quad (2)$$

где $\overline{r}_{\text{и}}$ – радиус-вектор точек режущей пластины;

β_k – угол расположения режущего лезвия, который зависит от количества режущих лезвий;

$\text{C}^{\text{и}}_{Z_{\text{и}}(i)\cdot y_{\text{и}}(i)\cdot\Theta_{\text{и}}\cdot\rho_{\text{и}}(i)}$ – цилиндрический инструментальный модуль режущей пластины, который является матрицей перехода радиус-вектора начальной точки $\overline{e}4$ в систему координат инструмента.

В модульных 3D-моделях используются однокоординатные матрицы A1, A2, A3, A4, A5, A6, которые описывают перемещения вдоль направлений $\text{X}_{\text{и}}$, $\text{Y}_{\text{и}}$, $\text{Z}_{\text{и}}$, и повороты вокруг осей $\text{O}_{\text{и}}\text{X}_{\text{и}}$, $\text{O}_{\text{и}}\text{Y}_{\text{и}}$, $\text{O}_{\text{и}}\text{Z}_{\text{и}}$ соответственно.

В данном случае количество лезвий 3, при этом p_{r_1}=1, p_{r_2}=2, p_{r_3} =3, β_1=0°, β_2=120°, β_3 = 240°.

Перепишем 2 уравнение с учетом количества лезвий.

$$\overline{r}_{\text{и}} = \text{C}^{\text{и}}_{Z_{\text{и}}(i)\cdot Y_{\text{и}}(i)\cdot\Theta_{\text{и}}\cdot\rho_{\text{и}}(i)} \cdot (0° + 120° + 240°) \cdot \overline{e}4. \quad (3)$$

Цилиндрический модуль, который описывает инструментальную поверхность, имеет вид

$$\text{C}^{\text{и}}_{i\cdot\Theta_{\text{и}}} = A3\big(Z_{\text{и}}(i)\big) \cdot A2\big(Y_{\text{и}}(i)\big) \cdot A6(\Theta_{\text{и}}) \cdot A1\big(\rho_{\text{и}}(i)\big)(p_{r_k} \cdot \alpha_k), \quad (4)$$

$$\overline{r}_{\text{и}}(i, \Theta_{\text{и}}) = A3\big(Z_{\text{и}}(i)\big) \cdot A2\big(Y_{\text{и}}(i)\big) \cdot A6(\Theta_{\text{и}}) \cdot A1\big(\rho_{\text{и}}(i)\big) \cdot (p_{r_k} \cdot \alpha_k) \cdot \overline{e}4. \quad (5)$$

Профиль инструмента запишем с помощью функции Хевисайда:

$$Z_{\text{и}}(i) = i \cdot \sin\alpha1 \cdot \big(1 - \Phi(i - i1)\big) + \big(z1(i1) + (i - i1) \cdot \sin(\alpha2)\big)\text{x} \quad (6)$$
$$\text{x}\big(\Phi(i - i1) - \Phi(i - i2)\big) + \big(z2(i2) + (i - i2) \cdot \sin(\alpha3)\big) \cdot \Phi(i - i2),$$

$$Y_{\text{и}}(i) = i \cdot \cos\alpha1 \cdot \big(1 - \Phi(i - i1)\big) + \big(y1(i1) + (i - i1) \cdot \cos(\alpha2)\big)\text{x} \quad (7)$$
$$\text{x}\big(\Phi(i - i1) - \Phi(i - i2)\big) + \big(y2(i2) + (i - i2) \cdot \cos(\alpha3)\big) \cdot \Phi(i - i2),$$

где $i1$, $i2$ – координата i начала профильных участков режущей пластины;

$\alpha1$, $\alpha2$, $\alpha3$ – углы, определяющие положения режущих кромок пластины;

Ф – функция Хевисайда.

Номинальную поверхность седла клапана описываем радиус-вектором инструмента, модулем преобразования, модулем ориентации и модулем формообразования

$$\overline{r}_{\text{д}} = \text{M}_{\text{ид}} \cdot \overline{r}_{\text{и}} = C^{\text{ф}}_{z_{\text{д}}\cdot\theta_{\text{д}}} \cdot S^{o}_{\varphi\cdot\psi\cdot x_e} \cdot P^{\text{п}}_{z_c\cdot y_c\cdot x_c} \cdot \overline{r}_{\text{и}}, \quad (8)$$

где $\text{M}_{\text{ид}}$ – матрица перехода из системы координат инструмента в систему координат детали, которая представляет собой произведение прямоугольного модуля переноса $P^{\text{п}}_{z_c\cdot y_c\cdot x_c}$, что задает координаты инструмента относительно неподвижной станины, сферического модуля $S^{o}_{\varphi\cdot\psi\cdot x_e}$ ориентации режущей пластины относительно системы коор-

динат станины и цилиндрического модуля $C^{\text{ф}}_{z_{\text{д}}\cdot\theta_{\text{д}}}$, который задает движение инструмента относительно детали.

Прямоугольный модуль преобразования имеет вид

$$P^{\text{п}}_{z_c\cdot y_c\cdot \text{x}_c} = \text{A3}(z_c)\cdot \text{A2}(y_c)\cdot \text{A1}(\text{x}_c), \quad (9)$$

где x_c, y_c, z_c – расстояние между системой координат инструмента и станины.

Сферический модуль ориентации режущей пластины определяется выражением

$$S^{o}_{\varphi\cdot\psi\cdot x_e} = \text{A4}(\varphi)\cdot \text{A5}(\psi)\cdot \text{A1}(x_e), \quad (10)$$

где φ, ψ – углы ориентации инструмента относительно станины.

Цилиндрический модуль формообразования определяется по формуле

$$C^{\text{ф}}_{z_{\text{д}}\cdot\theta_{\text{д}}} = \text{A3}(z_{\text{д}})\cdot \text{A6}(\theta_{\text{д}}), \quad (11)$$

где $\theta_{\text{д}}$ – угол поворота детали;

$z_{\text{д}}$ – подача, которая описывает движение детали вдоль оси $O_\partial Z_\partial$ относительно инструмента.

С учетом формул (2), (7) уравнение обработанной поверхности имеет вид

$$\overline{r}_{\text{д}}(z_{\text{д}}, \theta_{\text{д}}, i, \Theta_{\text{и}}) = C^{\text{ф}}_{z_{\text{д}}\cdot\theta_{\text{д}}}\cdot S^{o}_{\varphi\cdot\psi\cdot x_e}\cdot P^{\text{п}}_{z_c\cdot y_c\cdot x_c}\cdot \text{C}^{\text{и}}_{Z_{\text{и}}(i)\cdot y_{\text{и}}(i)\cdot\Theta_{\text{и}}\cdot\rho_{\text{и}}(i)}\cdot \overline{e}4. \quad (12)$$

Форма обработанной поверхности зависит от 4 независимых параметров, то есть два параметра нужно связать. Используя формулу (1), свяжем подачу на оборот S_o с углом поворота детали (параметром винтового движения p)

$$z_{\text{д}} = \theta_{\text{д}}\cdot p, \quad (13)$$

и с учетом связи (12) преобразуем уравнение (11)

$$\overline{r}_{\text{д}}(\theta_{\text{д}}, i, \Theta_{\text{и}}) = C^{\text{ф}}_{(\theta_{\text{д}}\cdot p)\cdot\theta_{\text{д}}}\cdot S^{o}_{\varphi\cdot\psi\cdot x_e}\cdot P^{\text{п}}_{z_c\cdot y_c\cdot x_c}\cdot \text{C}^{\text{и}}_{Z_{\text{и}}(i)\cdot y_{\text{и}}(i)\cdot\Theta_{\text{и}}\cdot\rho_{\text{и}}(i)}\cdot \overline{e}4. \quad (14)$$

Для представления обрабатываемой поверхности запишем уравнение линии контакта детали и инструментальной поверхности

$$\overline{V}\cdot\overline{n} = 0, \quad (15)$$

где $\overline{n}$ – единичный вектор нормали к инструментальной поверхности;

$\overline{V}$ – вектор скорости относительного движения инструмента в системе координат детали.

Нормаль находим как произведение векторов, касательных к инструментальной поверхности, дифференцируя радиус-вектор детали по двум независимым параметрам $\Theta_{\text{и}}$ и i.

Для определения вектора относительной скорости необходимо радиус-вектор инструментальной поверхности в системе координат детали продифференцировать по параметру θ_∂, который моделирует угол поворота обрабатываемой поверхности за единицу времени.

Таким образом, при однопараметрическом огибании [7] связь между параметрами $\Theta_{\text{и}}$, i, θ_∂ имеет вид равенства нулю смешанного произведения трех векторов частных производных вектора $\overline{r}_{\text{д}}$

$$\left(\frac{\partial\overline{r}_{\text{д}}}{\partial i}\cdot\frac{\partial\overline{r}_{\text{д}}}{\partial\Theta_{\text{и}}}\right)\cdot\frac{\partial\overline{r}_{\text{д}}}{\partial\theta_{\text{д}}} = 0, \quad (16)$$

где $\frac{\partial\overline{r}_{\text{д}}}{\partial i}\cdot\frac{\partial\overline{r}_{\text{д}}}{\partial\Theta_{\text{и}}} = \overline{n}$ – вектор нормали к инструментальной поверхности в точке с координатами i и $\Theta_{\text{и}}$;

$\frac{\partial\overline{r}_{\text{д}}}{\partial\theta_{\text{д}}} = \overline{V}_k$ – вектор скорости движения инструмента относительно детали.

Линию контакта детали и инструмента находим с помощью расчетных блоков MathCad.

$$U\theta := \left| \begin{array}{l} \Theta \leftarrow 0 \\ \text{for } j \in 0..Ni \\ \quad \left| \begin{array}{l} i \leftarrow 0 + \frac{12}{Ni} \cdot j \\ \Theta \leftarrow \text{root}\left(n(0,i,\Theta)\cdot V_k(0,i,\Theta),\Theta\right) \\ M^{\langle j+1\rangle} \leftarrow \begin{pmatrix} i \\ \Theta \end{pmatrix} \end{array} \right. \\ M^T \end{array} \right.$$

Для упрощения дальнейших расчетов проводим интерполяцию дискретной зависимости в функциональную

$$\Theta(i) = interp(cspline(\Theta^{\langle 1\rangle}, \Theta^{\langle 2\rangle}), \Theta^{\langle 1\rangle}, \Theta^{\langle 2\rangle}, i). \quad (17)$$

Тогда уравнение линии контакта детали и инструментальной поверхности имеет вид

$$\overline{Lk}(i) = \overline{r_д}(0, i, \Theta_И(i)). \quad (18)$$

Линия контакта детали с инструментом изображена на рис. 3.

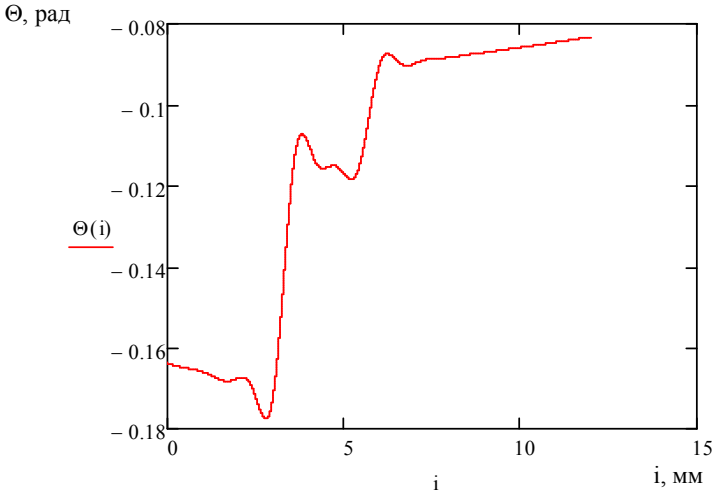


Рис. 3. Линия контакта детали с инструментом

Поверхность детали образуется путем вращения линии контакта вокруг оси вращения $\overline{Det}(\theta, i) = \overline{r_д}(\theta, i, \Theta(i))$.

На рис. 4 изображена обработанная поверхность *1* и линия контакта инструмента с деталью *2*.

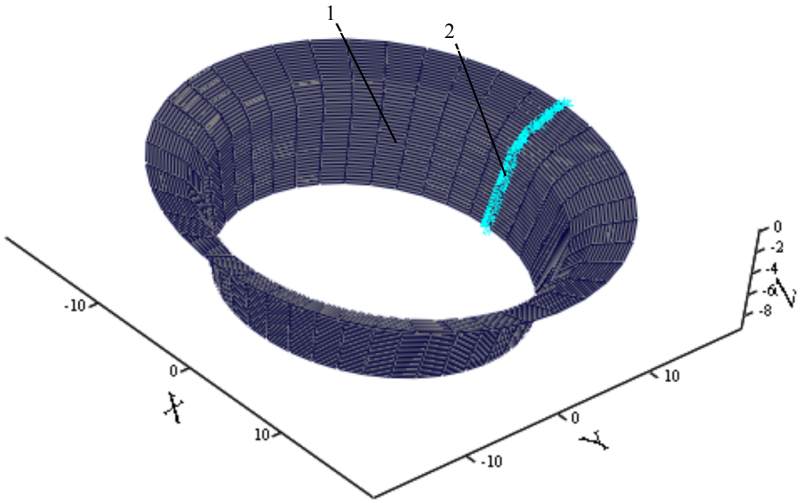


Рис. 4. Обработанная поверхность седла клапана

Шероховатость обработанной поверхности находится с уравнения

$$Rz = Prd(0) - Prd(S_z) - S_z \cdot \cos\alpha, \quad (19)$$

где *Prd*(0) – высота профиля детали;

Prd(S_z) – высота профиля после 1 оборота инструмента;

α – угол наклона режущей кромки пластины.

График зависимости точности обработки от радиуса закругления режущей кромки инструмента показан на рис. 5.

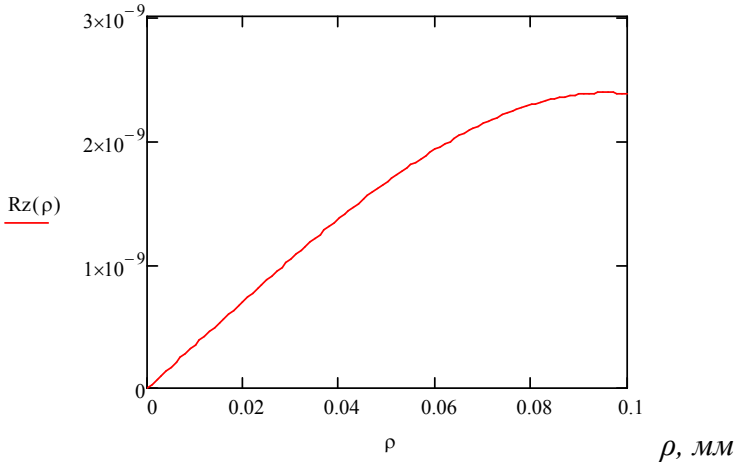


Рис. 5. График зависимости точности обработки от радиуса закругления режущей кромки

Из графика (рис. 5) видно, что с увеличением радиуса закругления режущей кромки точность обработки поверхности уменьшается.

На рис. 6 изображена обработанная поверхность без смещения *1* и со смещением *2* инструмента вдоль оси $O_{ст}X_{ст}$.

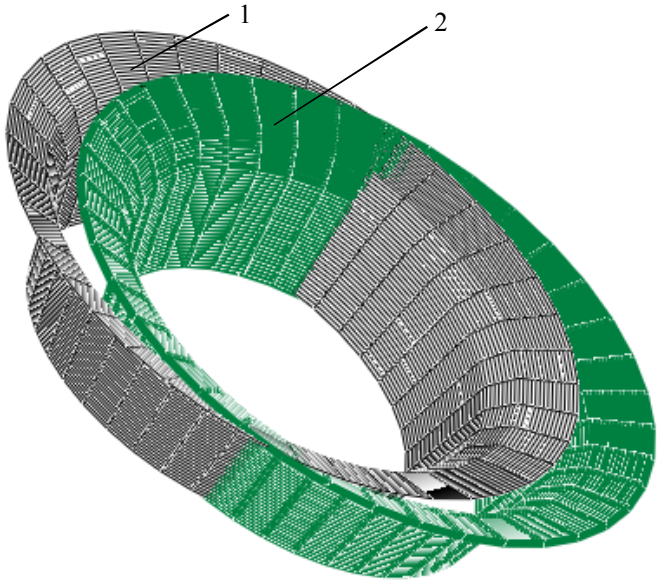
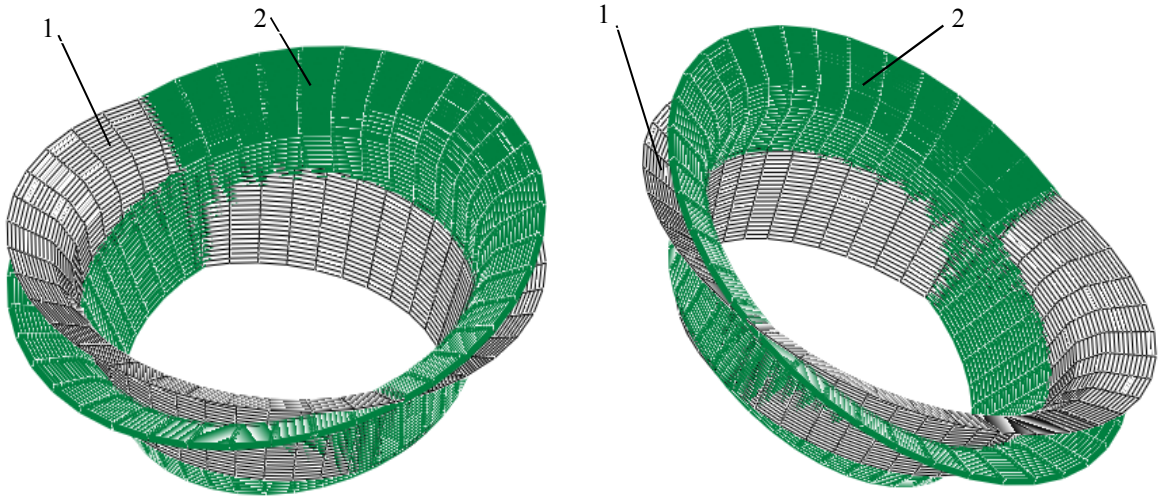


Рис. 6. Обработанная поверхность в зависимости от эксцентриситета вдоль оси $O_{ст}X_{ст}$

На рис. 7 (*а, б*) изображена обработанная поверхность без угла поворота *1* и с поворотом *2* инструмента вокруг осей $O_{ст}X_{ст}$, $O_{ст}Y_{ст}$ соответственно.



а *б*

Рис. 7. Обработанная поверхность в зависимости от поворота: а – вокруг оси $O_{ст}X_{ст}$*; б – вокруг оси* $O_{ст}Y_{ст}$

Для предложенной частной модели обработки рабочей поверхности седла клапана проведем исследование влияния перемещения пластины вдоль оси $O_{ст}X_{ст}$ и углов ориентации вокруг осей $O_{ст}X_{ст}$, $O_{ст}Y_{ст}$ на шероховатость обработки. Результаты расчетов представлены на рис. 8, 9, 10.

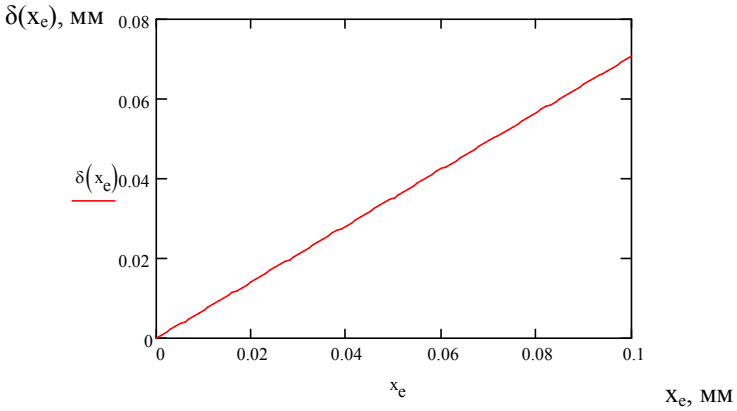


Рис. 8. График зависимости точности обработки поверхности от перемещения вдоль оси $O_{ст}X_{ст}$

Как видно с графика (рис. 8), с увеличением смещения режущей кромки вдоль оси $O_{ст}X_{ст}$ точность обработанной поверхности уменьшается.

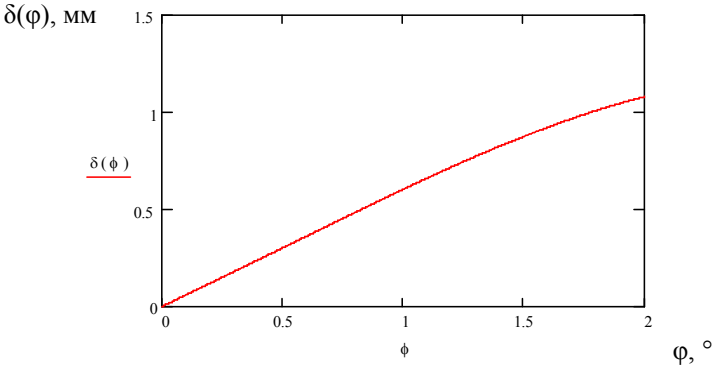


Рис. 9. График зависимости точности обработки поверхности от изменения угла поворота вокруг оси $O_{ст}X_{ст}$

Как видно с графика (рис. 9), с увеличением угла поворота вокруг оси $O_{ст}X_{ст}$ точность обработанной поверхности уменьшается.

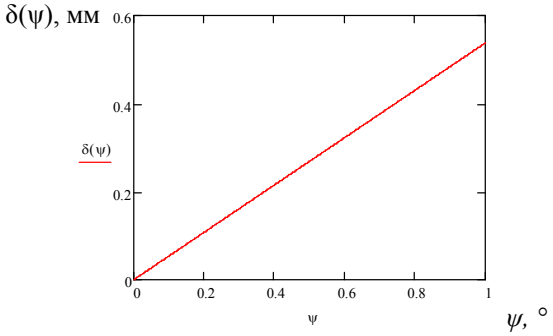


Рис. 10. График зависимости точности обработки поверхности от изменения угла поворота вокруг оси $O_{ст}Y_{ст}$

Как видно с графика (рис. 10), с увеличением угла поворота вокруг оси $O_{ст}Y_{ст}$ точность обработанной поверхности уменьшается.

На рис. 11 представлена зависимость толщины среза от подачи для трех участков режущей пластины.

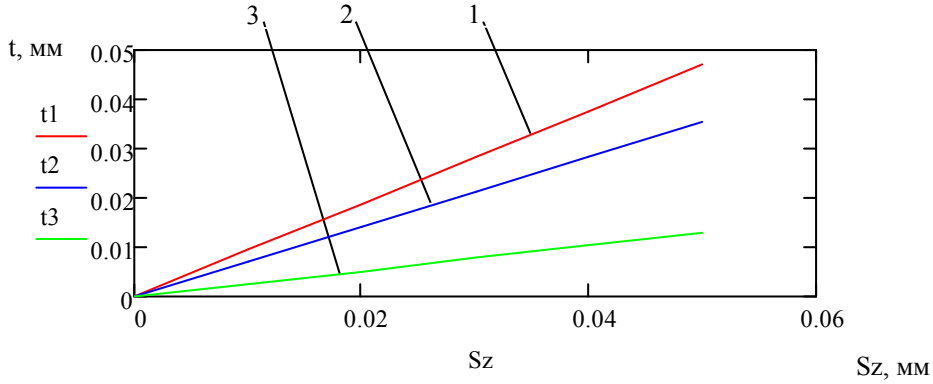


Рис. 11. График распределения толщины среза в зависимости от подачи Sz

Из рис. 11 видно, что толщина среза первого участка режущей пластины *1* – наибольшая, второго участка *2* – средняя, третьего участка *3* – наименьшая.

Выводы. Впервые предложена общая модульная трехмерная геометрическая модель инструментов, снятия припуска и формообразования обрабатываемых поверхностей седел клапанов на базе четырех унифицированных модулей: инструментального, преобразования, ориентации и формообразования. Это дает возможность по общему алгоритму на базе частных моделей, которые получены из общей, анализировать процессы снятия припуска и формообразования обрабатываемых поверхностей.

На базе пространственной линии контакта описана обрабатываемая поверхность и рассчитана толщина среза. Определена ошибка в зависимости от эксцентриситета и ориентации инструментальной поверхности. Разработанная модель позволяет описывать влияние изменения радиуса закругления режущей кромки в результате износа, задавая его изменение.

По результатам анализа модульных 3D-моделей разработаны новые способы растачивания рабочих поверхностей седел клапанов. Ориентация режущей пластины осуществляется с учетом расположения седла клапана ГРМ двигателя внутреннего сгорания автомобиля.

Список использованных источников

1. *Родін П. Р.* Основи формоутворення поверхонь різанням / П. Р. Родін. – К. : Вища школа, 1997. – 192 с.

2. *Равская Н. С.* Основы теории формообразования поверхностей при механической обработке / Н. С. Равская, П. Р. Родин // Вестник НТУУ «Киевский политехнический институт». Машиностроение. – 1998. – № 33. – С. 74–82.

3. *Основи* формоутворення поверхонь при механічній обробці / Н. С. Равська, П. Р. Родін, Т. П. Ніколаєнко, П. П. Мельничук. – Житомир : ЖІТІ, 2000. – 232 с.

4. *Кальченко В. И.* Научные основы шлифования криволинейных поверхностей с управляемой ориентацией абразивного инструмента : дис. … д-ра техн. наук / В. И. Кальченко. – Х. : ХГПУ, 1994. – 329 с.

5. *Грабченко А. И.* Шлифование со скрещивающимися осями инструмента и детали : монография / А. И. Грабченко, В. И. Кальченко, В. В. Кальченко. – Чернигов : ЧДТУ, 2009. – 256 с.

6. *Кальченко В. В.* Модульне 3D моделювання інструментів, формоутворення та зняття припуску при токарній обробці орієнтованими непереточуваними пластинами / В. В. Кальченко, Ю. Д. Юрченко, Д. В. Кальченко // Вісник Черкас. держ. технол. ун-ту. – 2012. – № 1. – 7 с.

7. *Решетов Д. Н.* Точность металлорежущих станков / Д. Н. Решетов, В. Т. Портман. – М. : Машиностроение, 1996. – 336 с.

8. *Луців І. В.* Основи створення багатолезового оснащення з міжінструментальними зв'язками для обробки поверхонь обертання : автореф. дис. … д-ра техн. наук / І. В. Луців. – К., 2006. – 37 с.

УДК 621.92.01

В.Н. Тихенко, д-р техн. наук
В.И. Старцев, канд. техн. наук
А.А. Анисимов, аспирант
Одесский национальный политехнический университет, г. Одесса, Украина
С.В. Пчелинский, инженер
Дорожный экспертно-технический центр управления Одесской железной дороги, г. Одесса, Украина

ВИБРОДИАГНОСТИКА СТАНКА ДЛЯ ОБРАБОТКИ КОЛЕСНЫХ ПАР

В.М. Тіхенко, д-р техн. наук
В.І. Старцев, канд. техн. наук
О.О. Анісімов, аспірант
Одеський національний політехнічний університет, м. Одеса, Україна
С.В. Пчелінський, інженер
Дорожній експертно-технічний центр управління Одеської залізниці, м. Одеса, Україна

ВІБРОДІАГНОСТИКА ВЕРСТАТА ДЛЯ ОБРОБЛЕННЯ КОЛІСНИХ ПАР

Valentin Tikhenko, Doctor of Technical Sciences
Vladimir Startsev, PhD in Technical Sciences
Aleksey Anisimov, PhD student
Odessa National Politecnic University, Odessa, Ukraine
Sergey Pchelinskiy, engineer
Travelling expertly-technical center of management of the Odessa railway, Odessa, Ukraine

VIBRODIAGNOSTICS OF A MACHINE TOOL FOR PROCESSING OF WHEEL PAIRS

Проведена вибродиагностика станка для обработки колесных пар с помощью специально разработанной аппаратуры.Своевременная диагностика и оценка технического состояния станков для обработки колесных пар, которые используются на железнодорожных предприятиях, поможет избежать сбоев в проведении профилактического обслуживания. В процессе диагностирования особое внимание уделяется вибрационным характеристикам: перемещению, виброскорости и виброускорению, сравнение которых однозначно определяет тип дефекта.

Ключевые слова: *станок для обработки колесных пар, шпиндель, вибродиагностика, спектрограмма.*

Проведено вібродіагностику верстата для оброблення колісних пар за допомогою спеціально розробленої апаратури. Своєчасна діагностика та оцінювання технічного стану верстатів для оброблення колісних пар, які використовуються на залізничних підприємствах, допоможе уникнути збоїв у проведенні профілактичного обслуговування. У процесі діагностування особливу увагу приділено вібраційним характеристикам: вібропереміщень, віброшвидкості і віброприскоренню, порівняння яких однозначно визначає тип дефекту.

Ключові слова: *верстат для оброблення колісних пар, шпиндель, вібродіагностика, спектрограма.*

Vibrodiagnostics of machine tool for processing of wheel pairs using specially designed equipment is considered. Timely diagnosis and evaluation of the technical state of machine tools for processing of wheel pairs that are used at railway enterprises will help avoid failures by carrying out preventive maintenance. During the diagnosing process special attention

is paid to the vibration characteristics: vibration displacement, vibration velocity and vibration acceleration, the comparison of which unambiguously defines the type of defect.
Key words: *machine tool for processing of wheel pairs, spindle, vibrodiagnostics, spectrogram.*

Постановка проблемы. Для безопасной эксплуатации железнодорожного транспорта необходимо осуществлять периодическую обработку профиля изношенных колес вагонов, электровозов, тепловозов, вагонов метрополитена, моторвагонных секций [1]. Для этого используют специальные станки двух типов: с выкаткой колёсной пары из-под тележки в процессе обработки и без выкатки (подрельсовые).

Колесофрезерный специальный станок модели КЖ20 предназначен для выполнения фрезерных работ по ремонту профиля двух бандажей колесных пар подвижного состава железнодорожного транспорта без выкатки из под локомотивов, электровозов, тепловозов и моторвагонных секций. Он устанавливается в котловане на заглубленном фундаменте и позволяет единице подвижного состава свободно проходить над ним, не препятствуя перемещениям подвижного состава в депо. Станок имеет симметричную компоновку (левая и правая сторона имеют одинаковые по назначению узлы), работает в автоматическом цикле, основными элементами которого являются подъем, установка и крепление колесной пары в корпусах букс, позиционирование суппортов, измерение профиля поверхности катания колес, собственно обработка, опускание колесной пары на рельсы.

Процесс получения точного профиля, овальности и равенство диаметров колёс по кругу катания обеспечивается путём скоростного фрезерования одновременно двух бандажей колёсной пары специальными фасонными фрезами. Цикл полного фрезерования двух бандажей осуществляется за один оборот колёсной пары под локомотивом.

Станок эксплуатируется в одном из депо Одесской железной дороги более 15 лет. Приобретение нового станка в ближайшие годы не представляется возможным, а остановка процесса обработки на уже имеющемся станке для его разборки, с целью визуальной диагностики состояния узлов и деталей, приведет к срыву плановых ремонтов подвижного состава и увеличению производственных затрат. Аналогичная ситуация складывается и с другими станками во многих депо Одесской железной дороги.

Анализ последних исследований и публикаций. Отечественный и зарубежный опыт показывает, что внедрение средств диагностирования является одним из важнейших факторов повышения экономической эффективности использования промышленного оборудования. Несмотря на значительный прогресс в теории и практике автоматизации выявления дефектов машин и оборудования, оценка технического состояния промышленного оборудования на большинстве украинских предприятий по прежнему выполняется на основе субъективного метода оценки высококвалифицированными специалистами-диагностами, обслуживающими объекты диагностирования на протяжении длительного времени и получивших опыт ориентирования во внешних признаках изменения технического состояния. Однако последние достижения науки предопределяют необходимость перехода от субъективных методов оценки состояния к объективным.

Назначением технической диагностики является не только определение причин, но и предотвращение отказов благодаря своевременному обнаружению повреждений и отслеживанию характера их развития, поддержание нормальных регулировок эксплуатационных показателей в установленных пределах, прогнозирование изменения состояния в целях полного использования доремонтного и межремонтного ресурса. Этим требованиям в полной мере отвечает виброакустическая диагностика машинного оборудования, базирующаяся на принципе бездемонтажного определения технического состояния станков во время эксплуатации по параметрам колебательных процессов, сопровождающих их функционирование [2]. Однако, несмотря на общность методов виб-

родиагностики, каждый вид промышленного оборудования требует учета его специфических особенностей при эксплуатации. Например, при виброакустическом диагностировании металлорежущих станков следует учитывать, что источником колебаний являются не только их механические и гидравлические системы, а также и процесс резания [3; 4].

Нерешенные части проблемы. Адекватность поставленного диагноза реальному состоянию объекта определяется как качеством алгоритма диагностирования, так и уровнем технических средств измерения и обработки вибрационного сигнала. Анализ серийно выпускаемых диагностических систем показал, что в настоящее время сложно найти готовые устройства, которые бы полностью удовлетворяли требованиям промышленных предприятий с точки зрения стоимости и адаптированности к производственным условиям. Для их адаптации необходимо проводить дополнительные исследования, модернизировать программное обеспечение, вводить в штат обслуживающего персонала дополнительного специалиста по диагностике. Кроме того, некоторые типы вибродиагностической аппаратуры разрабатывались как специализированные, например, для автотракторной техники, что затрудняет или делает невозможным их использование для диагностики металлорежущих станков.

Целью исследования являлось определение технического состояния станка для обработки колесных пар железнодорожного транспорта методом вибродиагностики с помощью портативной аппаратуры, которая адаптирована к проведению измерений в железнодорожных депо.

Изложение основного материала. Для этой цели была использована аппаратура, разработанная в лаборатории диагностики Одесского национального политехнического университета, блок-схема которой представлена на рис. 1.

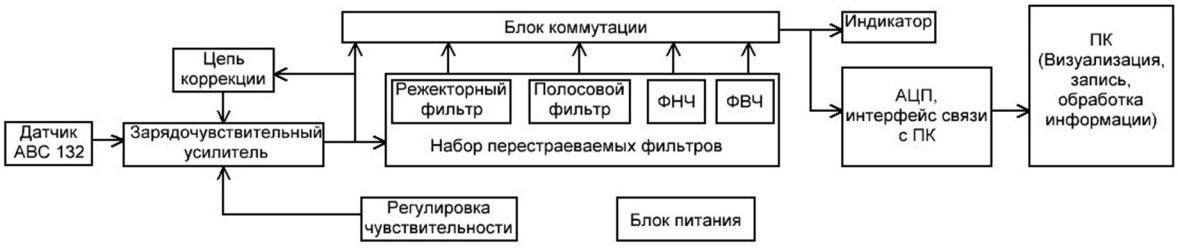


Рис. 1. Блок-схема аппаратных средств снятия и обработки вибрационных сигналов

В качестве датчика использован миниатюрный вибропреобразователь АВС 132, который предназначен для измерения вибрационных и ускорений в широком диапазоне частот на объектах ракетно-космической техники, летательных аппаратах; для контроля вибрации станков и малогабаритных механизмов, а также для использования в других видах промышленности. Чувствительный элемент вибропреобразователя – изгибного типа. Вибропреобразователь выполнен по однопроводной электрической схеме. Диапазон рабочих частот от 10 до 10000 Гц. Его отличительная особенность – малый вес, высокая помехозащищенность, вибропрочность и надежность. Корпус вибропреобразователя герметично уплотненный.

Датчик АВС 132 преобразует величину виброускорения в заряд. Величина заряда зависит от чувствительности датчика и для данного экземпляра составляет 7 пКл/g. Зарядочувствительный усилитель с коррекцией АЧХ в области низких частот [5] преобразует заряд в сигнал, пропорциональный чувствительности усилителя. Коррекция АЧХ в области низких частот необходима для исключения влияния быстрых перепадов температуры на показания аппаратуры.

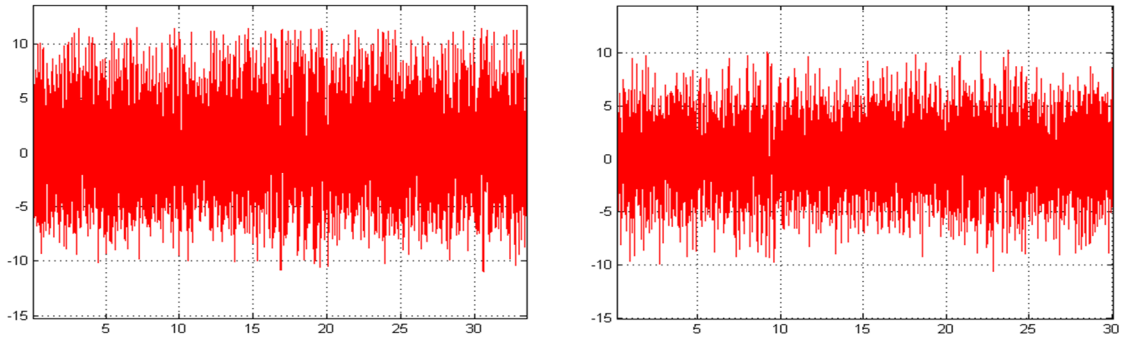
Чувствительность усилителя определяется ёмкостью обратной связи, которая равна 100 пФ, что соответствует коэффициенту чувствительности, равному [6]:

$$U_{вых} = -\frac{q}{C} = \frac{7 \cdot 10^{-12}}{100 \cdot 10^{-12}} = 0,07\ B/g\ .$$

С помощью нормирующего усилителя (входит в состав зарядочувствительного усилителя) эта величина приводится к величине 0,1 В/g для удобства последующих расчетов.

Набор перестраиваемых фильтров позволяет выделить необходимую полосу частот. Первичное отображение информации выполняется с помощью индикатора, а затем с помощью блока аналогоцифрового преобразователя (АЦП) и персонального компьютера (ПК) выполняется оцифровка данных, визуализация, обработка, а также запись данных на жёсткий носитель.

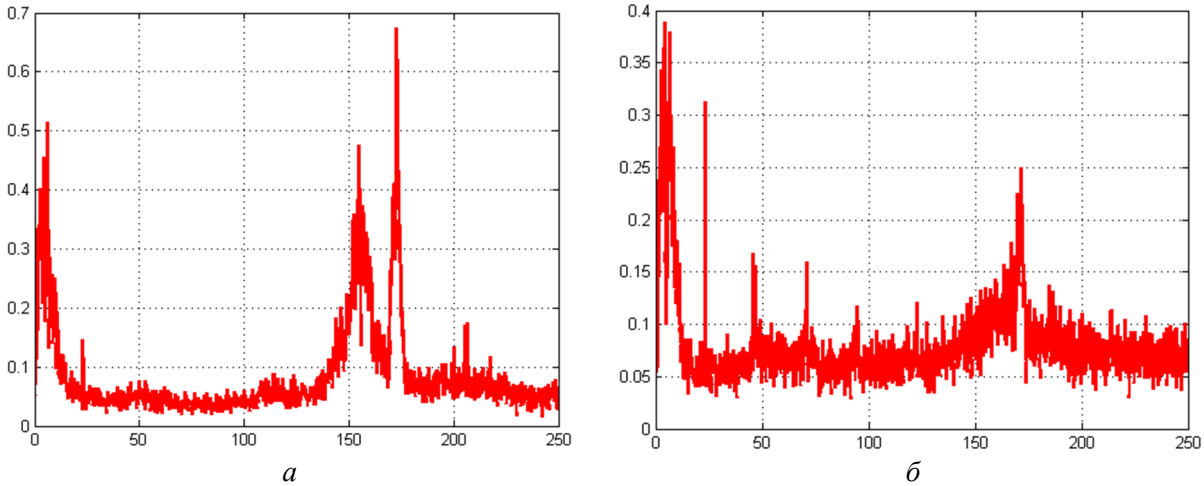
Измерения проводились на холостом ходу (без резания) и под нагрузкой (при обработке профиля колес) в одних и тех же точках контроля вибраций узлов для левой и правой стороны станка. Для шпиндельных узлов такие точки выбирались возле передних и задних опор шпинделей. Уже при записи сигналов отмечалось различие их параметров для узлов правой и левой стороны станка, что свидетельствует о разной степени износа деталей этих узлов (рис. 2).



а *б*

Рис. 2. Запись сигнала на переднем подшипнике шпинделя:
а – правая сторона станка, б – левая сторона станка

В дальнейшем после обработки информационных сигналов были получены спектрограммы для указанных выше точек шпиндельного узла (рис. 3). Различия степени износа деталей правой и левой стороны отражены еще более отчетливо.



а *б*

Рис. 3. Спектрограммы записанных сигналов на передней опоре шпинделя:
а – правая сторона станка, б – левая сторона станка

Аналогично проводились замеры других механических, гидравлических и электрических узлов станка. Изучение кинематических и гидравлических схем станка позволило определить частоты подвижных элементов (шпинделя, подшипников, зубчатых ко-

лес, муфт, роторов гидравлических насосов и др.), а затем сравнить их с данными вибродиагностики.

Комплексное сравнение значений параметров виброперемещения, виброскорости и виброускорения однозначно указывает на виды дефекта, что будет способствовать их устранению и позволит избежать отказов или аварийной ситуации при эксплуатации станков, своевременно выполнив предупредительный ремонт.

Выводы. Анализ проведенных исследований с помощью разработанной аппаратуры дал возможность не только выдавать диагноз в явном виде, прогнозировать изменение технического состояния станка для обработки колесных пар, но и представить рекомендации по виду и срокам технического обслуживания и ремонта, рассчитывать оптимальные сроки последующих диагностических обследований.

Список использованных источников

1. *Тихенко В. Н.* Повышение эффективности обработки на колесотокарных станках / В. Н. Тихенко, С. В. Пчелинский // Труды Одес. политехн. ун-та. – Одесса, 2012. – Вып. 1(38). – С. 84–87.

2. *Махов Ф. Ф.* Вибродиагностика станков / Ф. Ф. Махов. – М. : Lap Lambert Academic Publising, 2011. – 204 с.

3. *Савинов Ю. И.* Определение параметров механических систем станков / Ю. И. Савинов // Станки и инструмент. – 2010. – № 10. – С. 8–10.

4. *Тихенко В. Н.* Использование вибродиагностики в станках для обработки колесных пар / В. Н. Тихенко, С. В. Пчелинский // Материалы регионального многоотраслевого научно-техн. форума-конкурса «Экономотехническое развитие Одесского региона и инновационные инженерные решения» (20–22 февраля 2012 г., Одесса). – Одесса, 2012. – С. 95–98.

5. *Патент* України № 101749. Вимірювальний підсилювач / В І. Старцев, О. О. Анісімов та інші. – № a201113649 ; заявл. 21.11.2011 ; опубл. 25.04.2013, Бюл. № 8/2013.

6. *Максимов В. П.* Измерение, обработка и анализ быстропеременных процессов в машинах / В. П. Максимов, И. В. Егоров, В. А. Карасев. – М. : Машиностроение, 1987. – 208 с.

УДК 621.9

Д.Ю. Федориненко, д-р техн. наук
Чернігівський національний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ ОБРОБНИХ ВЕРСТАТІВ

Д.Ю. Федориненко, д-р техн. наук
Черниговский национальный технологический университет, г. Чернигов, Украина

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ ОБРАБАТЫВАЮЩИХ СТАНКОВ

Dmytro Fedorynenko, Doctor of Technical Sciences
Chernihiv National University of Technology, Chernihiv, Ukraine

THE ENERGY EFFICIENCY OF MACHINE TOOLS

Запропоновано методологію підвищення енергоефективності верстатів на основі системного підходу. Розглянуто застосування методів аналізу та синтезу конструкцій верстатів на двох ієрархічних рівнях. Розроблені перспективні шляхи підвищення енергоефективності верстатів, які можуть бути використані для широкої номенклатури промислового обробного обладнання. Проаналізовано методи підвищення енергоефективності, які грунтуються на скороченні оперативного часу на оброблення, зменшенні енергоспоживання та рекуперації енергії. Запропоновано критерії оцінювання проектних рішень стосовно їх енергоефективності.

Ключові слова: *енергоефективність, методологія, верстат, втрати потужності, рекуперація енергії.*

Предложена методология повышения энергоэффективности станков на основе системного подхода. Рассмотрено применение методов анализа и синтеза конструкций станков на двух иерархических уровнях. Разработаны перспективные пути повышения энергоэффективности станков, которые могут быть использованы для широкой номенклатуры промышленного обрабатывающего оборудования. Проанализированы методы повышения энергоэффективности, основанные на сокращении оперативного времени на обработку, уменьшении энергопотребления и рекуперации энергии. Предложены критерии оценки энергоэффективности проектных решений относительно их энергоэффективности.

Ключевые слова: *энергоэффективность, методология, станок, потери мощности, рекуперация энергии.*

The methodology of the energy efficiency increasing of machine tools based on a systematic approach is offered. The application methods of analysis and synthesis of machine tools structures on two hierarchical levels are considered. The promising ways to improve the energy efficiency of machine tools that can be used for a wide range of industrial processing equipment are developed. The methods of the energy efficiency increasing, based on the reduction of operational processing time, reducing energy consumption and energy recovery are analyzed. The criteria for energy efficiency evaluating of design decisions are proposed.

Key words: *energy efficiency, methodology, machine tool, power losses, energy recovery.*

Постановка проблеми. Зниження енергоспоживання і втрат енергії є одними із пріоритетів енергетичної політики Європейського Союзу [1] та України [2]. Сьогодні лише незначна частина споживаної енергії використовується для фактичної доданої вартості процесу, наприклад, сучасне виробництво в Європі характеризується великою часткою «надмірного» енергоспоживання у промисловому секторі (20–50 %) [3]. Українська економіка використовує значно більше енергоносіїв, ніж країни Європи. Так, обсяг енергії, що використовується для виробництва одиниці товарів і послуг, у 3,8 рази перевищує середнє значення для Європейського Союзу [4].

В умовах постійного зростання цін на енергоносії і жорсткої конкуренції на ринку підвищення енергоефективності, продуктивності машинобудівного виробництва, зниження собівартості продукції є актуальними проблемами. Крім того, проблема підвищення енергоефективності безпосередньо пов’язана зі збереженням навколишнього середовища, зменшенням викидів шкідливих речовин та скороченням споживання викопних ресурсів [5], насамперед вугілля, яке в основному використовується для виробництва електричної енергії в Україні.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблема ефективного використання енергетичних ресурсів, збільшення продуктивності виробництва безпосередньо пов’язана з процесами оброблення на верстатах і визначальним чином впливає на вартість машинобудівної продукції. Так, у процесі механічного оброблення матеріалів на верстатах лише до 20 % споживаної верстатом енергії витрачається саме на оброблення [6], більша ж частина енергії витрачається на забезпечення стабільності параметрів процесу.

Згідно з даними джерела [7] значний вплив на споживання електроенергії у процесі оброблення чинить привод шпинделя (близько 30 %) і допоміжних верстатних вузлів (до 60 % від загального споживання електроенергії). Там же зазначено, що споживання енергії шпиндельним вузлом разом із витратою енергії для змащення механізмів й охолодження робочих рідин варіюється у діапазоні від 50 до 70 % залежно від умов оброблення на верстатах з ЧПК.

У роботі [8] зазначається, що існує суперечність між одночасним забезпеченням показників точності, продуктивності та енергоефективності верстатів. Подолання зазначеної суперечності у майбутньому дозволить створювати верстати якісно нового рівня.

Невирішені частини проблеми. Слід зазначити, що відсутність на цей час вітчизняних стандартів, проектних методик та рекомендацій щодо створення енергоефективних конструкцій верстатів суттєвим чином впливає на конкурентоспроможність машинобудівної продукції України порівняно з Європейським Союзом та гальмує інтеграційні процеси.

Отже, незважаючи на накопичений світовий досвід, проблема ефективного використання верстатів з погляду зменшення енергоспоживання є критичною для сучасного машинобудування і потребує подальших досліджень.

Метою дослідження є розроблення методології підвищення енергоефективності металорізальних верстатів на основі системного підходу.

Основні результати дослідження. Наукові підходи до досліджень енергоефективності верстатів характеризуються широким різноманіттям. Очевидно найбільш раціо-

нальним є застосування системного підходу до проектування енергоефективних конструкцій верстатів, що дозволяє аналізувати елементи та підсистеми машини і їх взаємозв'язки у межах заданої ієрархічної структури. Під час проектування верстатів на основі системного підходу (рис. 1) можуть бути виділені два взаємопов'язані ієрархічні рівні:

– рівень машини (загальні вимоги щодо технічного рівня, вхідні та вихідні параметри процесу оброблення, експлуатаційне середовище тощо);

– рівень підсистем (привод головного руху, приводи подач, система подачі змащувально-охолоджуючої рідини тощо).



Рис. 1. Методологія дослідження енергоефективності верстатів

Аналіз енергетичних потоків верстата повинен виконуватися у двох вимірах: просторі і часі. Просторовий вимір передбачає аналіз енергетичних потоків у компонентах та системах верстата, наприклад, аналіз споживання електричної енергії приводами верстата, аналіз втрат потужності на тертя у вузлах верстата. Вимір потоків у часі може бути здійснений трьома категоріями: у секундах (мікропланування); у годинах (макропланування); у днях (планування виробничого процесу) [9]. Для виявлення процесів та систем, які характеризуються значним споживанням енергії, доцільно застосовувати метод структурного аналізу.

Визначення енергетичних втрат може відбуватися на основі відповідних паспортних даних на окремі механізми, підсистеми верстата або за відомими теоретичними чи емпіричними залежностями. Кращим варіантом з погляду адекватності отриманих значень втрат енергії є експериментальні дослідження. Проте такий підхід пов'язаний із значними матеріальними витратами, характеризується великою тривалістю та не завжди можливий, особливо у виробничих умовах. Найбільш перспективним з погляду попереднього прогнозування енергоспоживання є використання спеціального програмного забезпечення для аналізу енергетичних потоків у верстатах [10], однак воно потребує масиву апріорної інформації щодо енергетичних параметрів, розширення бібліотек типових елементів з метою врахування широкої номенклатури енергетичного обладнання.

Побудова узагальненого енергетичного балансу дозволяє виявити «вузькі» місця системи, що характеризуються значним енергоспоживанням. Саме на подолання цих технічних суперечностей у системі спрямований наступний етап синтезу, який починається з розроблення математичних моделей, як правило, чисельного моделювання й експериментальних досліджень механізмів та систем верстата зі значним енергоспоживанням.

У результаті аналізу та систематизації накопиченого світового досвіду щодо підвищення ефективності енерговикористання промислового обладнання запропоновані найбільш перспективні шляхи підвищення енергоефективності верстатів, які представлені на рис. 2.

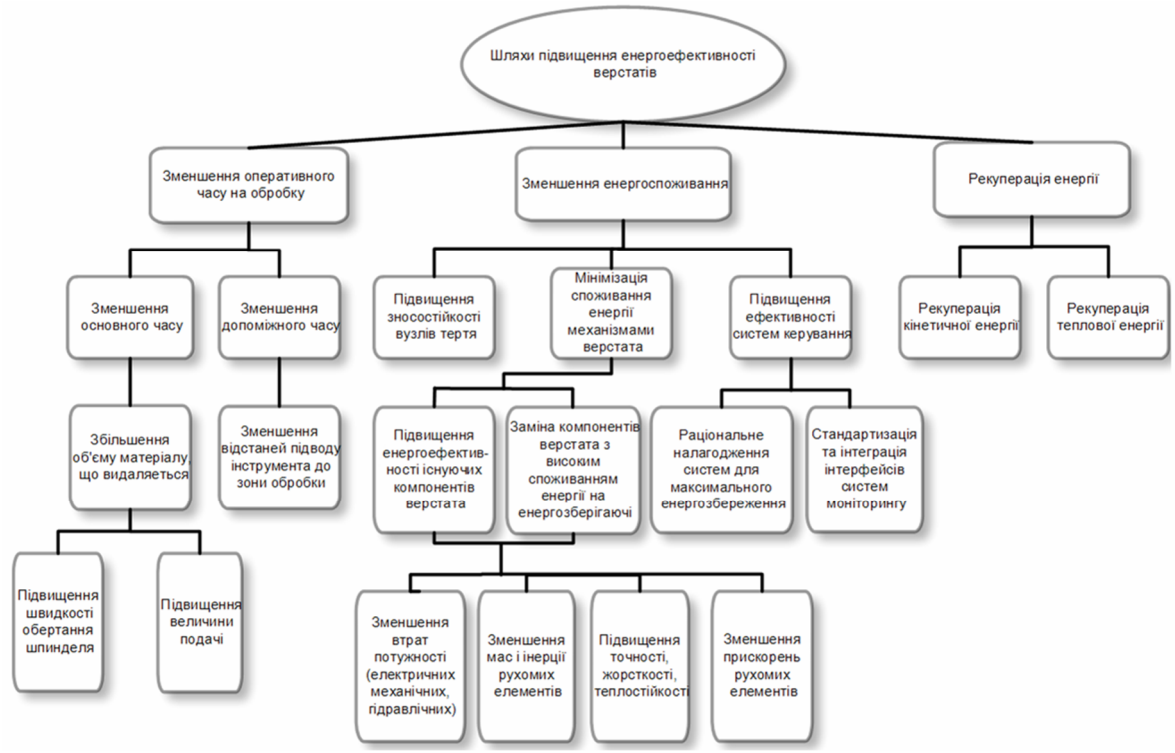


Рис. 2. Шляхи підвищення енергоефективності верстатів

Насамперед, підвищення енергоефективності обробних верстатів можливо досягти завдяки:

- зменшенню оперативного часу на оброблення;
- зменшенню енергоспоживання механізмами та системами верстатів;
- рекуперації енергії.

Раціональним способом підвищення ефективності енерговикористання верстатів є застосування високошвидкісного оброблення матеріалів [6; 11]. Одним із головних ефектів високошвидкісного оброблення є зменшення основного часу на оброблення заготовок. Цього ефекту можливо досягти за умови підвищення швидкості обертання шпинделя, величини подачі, стійкості різального інструменту, завдяки чому збільшується об’єм матеріалу, що видаляється, за певний проміжок часу. Порівняно із традиційним обробленням використання високошвидкісної дозволяє зменшити питоме споживання енергії на оброблення однієї заготовки у декілька разів [6].

Зменшення енергоспоживання можливо також за рахунок підвищення зносостійкості вузлів тертя, адже нові або малозношені вузли споживають менше енергії. Заміна компонентів верстата на більш енергоефективні дозволяє заощадити до 25 % споживаної електричної енергії [10].

Перспективним шляхом зменшення споживання електроенергії є зменшення втрат потужності у системах верстатів, зменшення мас, інерції, прискорень рухомих елемен-

тів при одночасному забезпеченні високих показників точності, жорсткості та теплостійкості.

Втрати потужності у верстатах обумовлені, насамперед, втратами енергії у механічних та гідравлічних елементах системи, втратами енергії в електродвигунах.

Наприклад, встановлено, що при високошвидкісному різанні втрати потужності на тертя у гідростатичних підшипниках шпинделя можуть перевищувати потужність різання [12]. Необхідний пошук раціональних конструктивних рішень вузлів тертя, систем змащування підшипників для мінімізації втрат енергії. Важливу роль тут відіграє ефективність насосів гідравлічних систем верстата. Доцільним є використання різноманітних систем регулювання насосів, які дозволяють керувати споживанням електричної потужності залежно від робочого навантаження. Підвищення ефективності гідравлічних систем можливо за рахунок мінімізації об'ємних, механічних та гідравлічних втрат енергії. Також ефективність гідросистем можливо підвищити за рахунок модульного виконання структури, що зменшує втрати тиску в магістралях та у місцевих опорах; термостабілізації середовища за рахунок конвективного відводу тепла через стінки бака та елементів системи живлення; використання гідравлічних акумуляторів для часткового живлення виконавчих механізмів гідроприводів.

Значний вплив на енергоспоживання чинять електродвигуни, які широко застосовуються у приводах та системах керування верстатів. Підвищення енергоефективності електродвигунів у приводах верстатів можливо за рахунок: раціональної конструкції (використання міді замість алюмінію, зменшення зазорів, зменшення втрат на тертя у підшипниках); правильного вибору номінальної потужності (максимальна ефективність досягається у діапазоні 70–100 % від навантаження); застосування частотно-регульованих двигунів стандарту IE3 [13]. Перспективним є використання синхронних двигунів, безщіткових двигунів постійного струму, серводвигунів, які є більш енергоефективними порівняно із найбільш поширеними асинхронними двигунами.

Зменшення мас, інерційності рухомих елементів дозволяє скоротити матеріало- та енергоємність машини у цілому. Зменшення мас та інерції дозволяє зменшити реактивну енергію та електричні втрати енергії, що позитивно відбивається на споживаній потужності при прискореннях робочих органів верстата. Крім того, зменшення мас дозволяє скоротити втрати енергії у вузлах тертя верстата, підвищити власні частоти коливань системи, і, як наслідок, продуктивність механічного оброблення. Завдяки помірному прискоренню рухомих елементів верстата можливо застосування електродвигунів менших типорозмірів, які є більш енергоефективними.

Забезпечення високих показників точності, жорсткості та теплостійкості дозволяє опосередковано впливати на скорочення оперативного часу оброблення, наприклад, завдяки зменшенню кількості технологічних переходів, підвищенню стійкості інструменту, збільшенню робочих швидкостей обертання шпинделя тощо.

Раціональне налагодження верстата з погляду мінімізації енергоспоживання передбачає вибір ефективних стратегій оброблення заготовок у часі (протягом робочої зміни, тижня, місяця) та робочій зоні верстата (оптимізація траєкторій оброблення заготовок, зменшення як кількості інструментів, необхідних для оброблення, так і частоти зміни інструменту, відключення допоміжних компонентів верстата після використання, мінімізація використання змащувально-охолоджувальних рідин для оброблення тощо).

Значну роль для економії ресурсів відіграє підвищення ефективності систем керування, використання постійного моніторингу енергоспоживання. Так, системи керування верстатів повинні бути налагоджені на мінімізацію параметрів енергоспоживання при одночасному забезпеченні високої продуктивності. Сучасні верстати являють собою складні мехатронні системи з великою кількістю вимірювально-перетворюючих

елементів різноманітного призначення та принципів дії. Підвищення енергоефективності систем керування та моніторингу може бути досягнуто за рахунок стандартизації та інтеграцій інтерфейсів зазначених систем [11].

У промисловому виробництві України частка витрат на сировину та енергоносії у собівартості виготовлення виробів постійно зростає, тому перспективним напрямком підвищення енергоефективності промислового обладнання є рекуперація енергії. У верстатобудуванні знаходять застосування системи рекуперації кінетичної енергії під час гальмування шпинделів, приводів подач верстатів та системи рекуперації теплової енергії, наприклад, енергії нагрітої у зоні оброблення змащувально-охолоджуючої рідини. Стосовно обробних верстатів найбільш ефективним способом повторного використання енергії є рекуперація кінетичної енергії під час гальмування високошвидкісних шпинделів верстатів із використанням блоків конденсаторів для зберігання електричної енергії [11].

На етапі системного висхідного проектування доцільно використовувати методи багатокритеріальної оптимізації для пошуку оптимальних значень параметрів системи, що визначають енергоспоживання.

Враховуючи комплексність проблеми підвищення енергоефективності промислового обладнання з метою оцінювання отриманих проектних рішень, доцільно застосування груп критеріїв, які охоплюють різні галузі знань (техніка, економіка, екологія, соціологія). Можливі технічні критерії оцінювання: енергетична та електрична ефективність, питома витрата електроенергії, ККД, показники використання обладнання за електроенергією та потужністю тощо. Як економічні критерії можуть застосовуватися наведені витрати, термін окупності інвестицій, економічність енергоспоживання тощо. Екологічний ефект від впровадження енергоефективного обладнання та технологій може бути оцінений за прогнозованими показниками інтенсивності викидів шкідливих речовин у процесі виробництва електричної енергії.

Висновки. Розроблені узагальнені наукові підходи можуть бути використані з метою підвищення показників енерговикористання як наявних моделей верстатів, так і для проектування нових на основі аналізу об’єктів аналогічного призначення.

Запропоновані шляхи підвищення енергоефективності мають узагальнений характер та можуть бути використані для широкої номенклатури обробних верстатів.

Перспективним напрямком подальших досліджень є оптимізація технологічних процесів механічного оброблення з метою пошуку оптимальних рішень щодо енергоефективності та продуктивності.

Список використаних джерел

1. *Directive* of the European Parliament on Energy using Products [Directive 2005/32/EC].

2. *Про затвердження* Державної цільової економічної програми енергоефективності і розвитку сфери виробництва енергоносіїв з відновлюваних джерел енергії та альтернативних видів палива на 2010–2015 роки : Постанова КМУ від 01.03.2010 р. № 243.

3. *Gutowski, T.* Electrical Energy Requirements for Manufacturing Processes / T. Gutowski, J. Dahmus, A. Thiriez // 13th CIRP International Conference of Life Cycle Engineering, Lueven, May 31st – June 2nd, 2006. – P. 1–5.

4. *Майсснер Ф.* Підвищення енергоефективності в Україні: зменшення регулювання та стимулювання енергозбереження [Електронний ресурс] / Ф. Майсснер, Д. Науменко, Й. Радеке. – Режим доступу : http://www.ier.com.ua/ua/publications/consultancy_work/archive_2012/?pid=3348.

5. *Gutowsky, T.* An Envirinmental Analisis of Machining / T. Gutowsky, J. Dahmus // ASME International Mechanical Engineering Congress. – 2004. – P. 1–10.

6. *Diaz, N.* Energy Consumption Characterization and Reduction Strategies for Milling Machine Tool Use / N. Diaz, E. Redelsheimer, D. Dornfeld // Sustainability in Manufacturing - Energy Efficiency in Machine Tools. – 2011. – P. 263–267.

7. *Aspects* of Energy Efficiency in Machine Tools [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://www.heidenhain.us/enews/stories_1011/MTmain.php.

8. *Grobnann, K.* Thermo-energetic Design of Machine Tools / K. Grobnann. – Springer International Publishing, 2015. – 261 p.

9. *Vijayaraghavan, A.* Automated Energy Monitoring of Machine Tools / A. Vijayaraghavan, D. Dornfeld // CIRP Annals – Manufacturing Technology. – 2010. – Vol. 59. – P. 21–24.

10. *Energy* Software Tools for Sustainable Machine Design. Deliverable D3.3: "Design for energy efficiency" approach [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://www.pdfdrive.net/design-for-energy-efficiency-estomad-e5025604.html.

11. *Strategies* for Minimum Energy Operation for Precision Machining [Електронний ресурс] / N. Diaz, M. Helu, A. Jarvis, S. Tonissen, D. Dornfeld, R. Schlosser // The Proceedings of MTTRF 2009 Annual Meeting.. – Режим доступу : https://escholarship.org/uc/item/794866g5.

12. *Abgrenzung* der Anwendung von Wäbzlagerungen gegenüber anderen Lagersystemen // FAG. – 1987. – Vol. 1, № 10. – P. 1–12.

13. *International* standards for electric motor efficiency labeling [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://en.wikipedia.org/wiki/Copper_in_energy-efficient_motors.

УДК 674.055/ 621.817

Д.Ю. Федориненко, д-р техн. наук
О.П. Космач, канд. техн. наук
Чернігівський національний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНИЙ КОМПЛЕКС ВИЗНАЧЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО СПОЖИВАННЯ АСИНХРОННИХ ДВИГУНІВ ВЕРСТАТІВ

Д.Ю. Федориненко, д-р техн. наук
А.П. Космач, канд. техн. наук
Черниговский национальный технологический университет, г. Чернигов, Украина

ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОТРЕБЛЕНИЯ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ СТАНКОВ

Dmytro Fedorynenko, Doctor of Sciences
Oleksandr Kosmach, PhD in Technical Sciences
Chernihiv National University of Technology, Chernihiv, Ukraine

INFORMATION AND MEASURING COMPLEX FOR DETERMINATION OF POWER CONSUMPTION OF MACHINE TOOLS ASYNCHRONOUS MOTORS

Проаналізовано структуру інформаційно-вимірювального комплексу для визначення загальної споживаної потужності двигунів головних приводів металорізального обладнання. Розглянуто алгоритм оброблення сигналів для визначення споживаної електричної потужності двигунів верстатного обладнання. Визначено особливості вимірювання потужності асинхронних двигунів у номінальному режимі та в режимі запуску.

***Ключові слова**: верстат, двигун, електричний, потужність, обладнання, напруга, перетворювач, струм.*

Проанализирована структура информационно-измерительного комплекса для определения общей потребляемой мощности двигателей главных приводов металлорежущего оборудования. Рассмотрен алгоритм обработки сигналов для определения потребляемой электрической мощности двигателей станочного оборудования. Определены особенности измерения мощности асинхронных двигателей в номинальном режиме и в режиме запуска.

***Ключевые слова:** станок, двигатель, электрический, мощность, оборудование, напряжение, преобразователь, ток.*

The structure information and measuring complex to determine the total power consumption of the main engine drive of cutting equipment was considered. The algorithm of signal processing to determine the consumption of electric power engines of machining equipment was considered. Features power measurement of induction motors at rated speed and startup mode was considered.

***Key words**: machine, engine, electrical, power, equipment, voltage, transformer, current.*

Постановка проблеми. В умовах сучасного промислового виробництва дуже гостро постає проблема ефективного використання, заощадження та перетворення різних видів енергії та енергоносіїв. Це викликано, насамперед, кінцевою собівартістю готової продукції, яка включає в себе більше третини загальних витрат, до яких входить електроенергія, тепло, газ, мастило, вугілля, вода, стиснуте повітря тощо. Слід також зазна-

чити, що майбутнє впровадження технологій енергозбереження у виробництво напряму відображається вже на теперішній собівартості продукції.

Потоки матеріалів, які включають у себе заготовки, деталі, напівфабрикати, допоміжні матеріалі, можуть коливатися у межах 10 порядків, що є достатньо варіативним. Тому важливою складовою сучасних технологій є не тільки мінімізація часових витрат на виготовлення продукції, але й мінімізація загального енергетичного споживання, а також їх загальна енергоефективність.

Важливою складовою у цьому аспекті є розроблення та впровадження універсального вимірювального обладнання, яке дозволяє оцінити рівень енергоефективності основних технологічних процесів. До таких процесів можна віднести процеси механічного оброблення матеріалів різанням, тиском, вузлового та загального складання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У більшості розвинених країн світу промисловий сектор потребує використання величезної кількості енергії різного виду. Наприклад, у Німеччині галузь промисловості витрачає 28 % від загальних витрат енергії країни [1]. Використання електричних стандартів та вимог до способів і засобів перевезення виготовленої продукції сприяють достатньо низькому коливанню енергетичних витрат виробництва. У свою чергу, споживана повна потужність кожного виду обладнання більшості передових підприємств світу знаходиться у межах 5…50 кВт [2]. Наприклад, для верстатів важкого машинобудування, які мають загальну потужність у декілька тисяч кВт, загальна ефективність може становити лише менше 0,2, що, безумовно, буде відображатися на продуктивності, собівартості та конкретності виготовленої продукції [3]. У зв’язку з цим проблема підвищення енергоефективності є актуальною для машинобудівної галузі країни.

Математичний опис процесів енергоспоживання, а також процесів енергозбереження та перетворення на кожному етапі виробничого процесу є достатньо складним завданням. Тому більшість наявних моделей можна розділити на декілька ієрархічних рівнів, найнижчими з яких будуть мікропоказники складових окремих процесів, які пов’язані з формоутворенням поверхонь, зміною їх фізико-механічних властивостей тощо. Тривалість таких процесів становить від декількох мікросекунд до декількох секунд. На найвищому рівні розглядаються лише макропоказники енергоефективності самого виробництва з тривалістю від декількох годин та днів. На більш нижчих рівнях аналізуються окремі складові виробничого процесу, наприклад, окреме виробниче обладнання [4].

З погляду експериментального дослідження споживання енергії виробничим обладнанням можна виділити основні два напрямки:

– дослідження елементарних процесів енергоспоживання з метою внесення подальших змін в обладнання для здешевлення майбутньої виготовленої продукції;

– дослідження фізичних процесів, які пов’язані з енергетичними витратами та перетворенням на операціях механічної обробки.

Слід зазначити, що перший напрямок дослідження є достатньо звуженим, оскільки він враховує особливості лише конкретного окремого виробничого процесу та обладнання, що не дозволяє використовувати отримані результати досліджень до загальних принципів та методів енергозбереження обладнання.

Результати багатьох експериментальних досліджень дозволили встановити критичні компоненти промислового обладнання, які пов’язані з найбільшим енергетичним споживанням. До одного з таких компонентів відносять електричні двигуни [5].

У зв’язку з цим актуальним напрямком досліджень енергоефективності промислового обладнання є розроблення універсальної інформаційно-вимірювальної системи електричних витрат з використанням сучасних програмних та цифрових засобів.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. Результати досліджень показують, що оцінювання енергоефективності обробних верстатів на виробництві може бути здійснена за допомогою детального аналізу складових процесів, які пов'язані з електричним споживанням. Найбільш поширеним джерелом електроспоживання у верстатах є електричні двигуни асинхронного типу.

Саме тому розроблення універсальної інформаційно-вимірювальної системи та алгоритму реєстрації споживаної потужності електричних двигунів верстатного обладнання є досить актуальним завданням.

Формулювання мети статті. Розроблення структури інформаційно-вимірювального комплексу з метою оцінювання електроспоживання асинхронних двигунів верстатів.

Виклад основного матеріалу. Енергетичне споживання, що пов'язане з процесом механічного оброблення матеріалів [3], описуються виразом виду

$$E_{cs} = \frac{P_c}{60\,\eta\,Z}, \tag{1}$$

де P_c – потужність на шпинделі, кВт;

Z – швидкість відділення матеріалу від заготовки, см^3/хв;

η – ефективність обладнання, яка залежить від вибраного методу оброблення матеріалу.

Загальний макропоказник ефективності виробничого обладнання, зокрема металорізальних верстатів, описується виразом виду

$$\eta_{Machine}(\mathrm{t}) = \frac{P_{\mathrm{Pr}ocess}(\mathrm{t})}{P_{Machine}(\mathrm{t})}\ , \tag{2}$$

де $P_{\mathrm{Pr}ocess}(\mathrm{t})$ – споживання потужності у часі, які пов'язані безпосередньо з процесами геометричного формоутворення поверхонь;

$P_{Machine}(\mathrm{t})$ – споживання потужності у часі, які враховують загальну потужність обладнання з урахуванням втрат та перетворення енергії.

З погляду мінімізації енергетичного споживання особливу увагу слід приділяти аналізу складової рівняння $P_{Machine}$, яка враховує вагому частку втрат енергії через тертя, механічне зношування, пружні коливання, акустичне та теплове випромінювання тощо.

У результаті підстановки рівняння (2) в (1) отримаємо вираз, який відповідає повному енергетичному споживанню у процесі механічного оброблення

$$E_{cs}(\mathrm{t}) = \frac{P_{Machine}(\mathrm{t})}{60\ \ Z}. \tag{3}$$

З отриманої лінійної залежності видно, що під час розроблення інформаційно-вимірювальної системи загальне енергетичне споживання може бути визначене лише за допомогою вимірювання повної потужності процесу механічного оброблення.

Слід зазначити, що до силового електричного обладнання металорізальних верстатів відносять насоси, вентилятори, компресори, механізми повороту та обертання, які мають електричні двигуни. Для приведення в рух таких механізмів при трьохфазному живленні частіше всього використовують асинхронні трьохфазні двигуни за схемою зірочки. Тому з погляду розроблення та використання вимірювального комплексу для визначення споживаної електричної потужності металорізальних верстатів важливе значення має визначення потужності саме на електричних двигунах асинхронного типу.

Для забезпечення високої енергоефективності важливе значення мають номінальний коефіцієнт корисної дії (ККД), а також коефіцієнт потужності (КП) («косинус фі») двигуна асинхронного типу. Номінальний ККД характеризує відношення корисної по-

тужності на валу двигуна до повної витраченої потужності електроенергії. У свою чергу, КП – це відношення активної потужності електричної енергії до повної витраченої потужності, яке характеризує перетворення енергії в іншу форму (у цьому випадку механічну енергію) [6].

З погляду загальної споживаної потужності асинхронного електродвигуна можливі випадки вимірювання лінійної та фазової потужності. Для визначення загальної потужності $P_З$ асинхронного двигуна через лінійне та фазове підключення використовуються вирази виду:

$$P_З = \sqrt{3}\, U_л\, I_л\, \eta \cos(\phi);$$

$$P_З = 3\, U_ф\, I_ф\, \eta \cos(\phi),$$

де $U_л, U_ф$ – відповідно лінійна та фазова напруга;

$I_л, I_ф$ – відповідно лінійний та фазовий струм;

η – ККД асинхронного електродвигуна змінного струму;

ϕ – зсув фаз між струмом та напругою.

Принцип дії асинхронного двигуна пов’язаний із пропусканням однакових струмів та напруг у його кожній фазі. Тому з погляду вимірювань виникає можливість визначення однієї фазної або лінійної напруги та струму, крім нульового проводу. Для визначення повної споживаної потужності такого двигуна необхідно отриманий результат вимірювання відповідно помножити на 3 для фазної напруги та струму або на $\sqrt{3}$ для лінійної напруги та струму згідно з представленими виразами.

Під час визначення повної потужності асинхронних електродвигунів особливу увагу слід приділити перехідним процесам. Результати досліджень показують, що під час запуску будь-якого електродвигуна виникає пусковий струм в межаж 2…8 кратного значення номінального струму $I_н$ у робочому режимі електродвигуна (рис. 1). Величина пускового струму залежить від конструкції електродвигуна, схеми підключення, наявності навантаження на валу та ін. Тому під час вибору вимірювального засобу для попередження його відмов та пошкоджень слід вибирати діапазон вимірювань струму $I_в$ у 8 разів більший від номінального, тобто $I_в = 8\, I_н$.

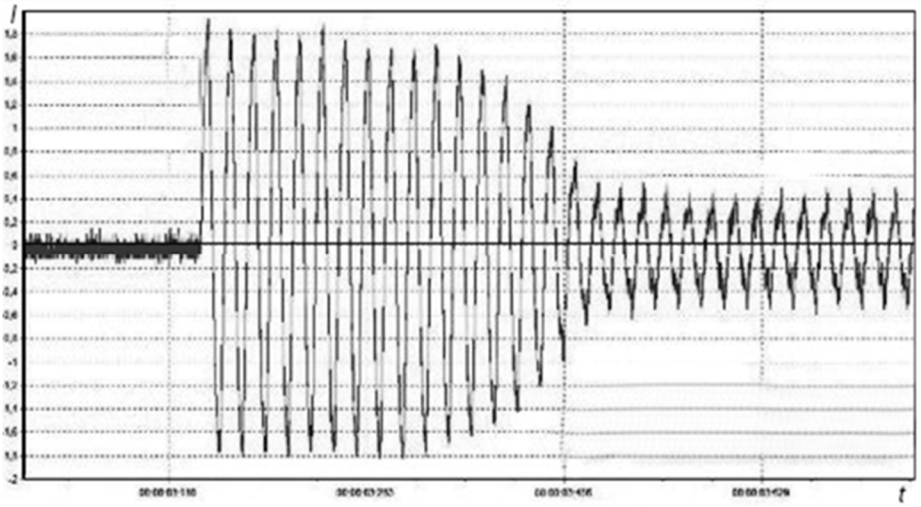


Рис. 1. Зміна фазного струму під час пуску асинхронного електродвигуна

Для вимірювання фазного або лінійного струму в мережі можуть використовуватися перетворювачі струму або шунти. Як основні перетворювачі можуть використовуватися безконтактні індуктивні та ємнісні датчики, струмовимірювальні кліщі, перетво-

рювач з ефектом Холла, трансформатор струму. Водночас найбільш простим способом вимірювання струму є використання шунта з відомим значенням опору.

Один з найважливіших електронних компонентів у сучасному вимірювальному і тестовому обладнанні є аналого-цифровий перетворювач (АЦП). АЦП перетворює напругу (аналоговий сигнал) у цифровий код, над яким мікропроцесор і програмне забезпечення виконують певні дії [7]. Головні переваги цього вимірювального засобу полягають у зручності реєстрації, збереження й аналізу та представлення результатів вимірювань за допомогою персонального комп'ютера (ПК). При цьому область значень вимірюваних напруг на аналоговому вході АЦП обмежена значеннями діапазону вимірювання. Звичайно діапазон зміни напруг становить у межах 0…5 В або 0…10 В.

У зв'язку з цим під час вимірювання лінійної або фазної напруги необхідно використовувати дільник або трансформатори напруги. Значення напруги на виході по можливості повинні відповідати максимальному діапазону вимірювання АЦП для ефективного використання розрядів.

Загальну структуру інформаційно-вимірювального комплексу визначення електричної потужності асинхронного електродвигуна змінного струму представлено на рис. 2.

Основна задача під час використання схеми на рис. 2 зводиться до визначення двох напруг (фазної або лінійної та падіння напруги у разі використання шунта), а також фази між струмом та напругою. Математичне обчислення засобами ПК дозволяє в режимі реального часу проводити множення зареєстрованих значень напруг по кожному з вимірювальних каналів. Для математичного обчислення можуть також використовуватися мультиплексори, до яких під'єднуються аналогові виходи перетворювачів напруги та струму. Мультиплексори у цьому випадку підключаються паралельно між собою та замикаються.

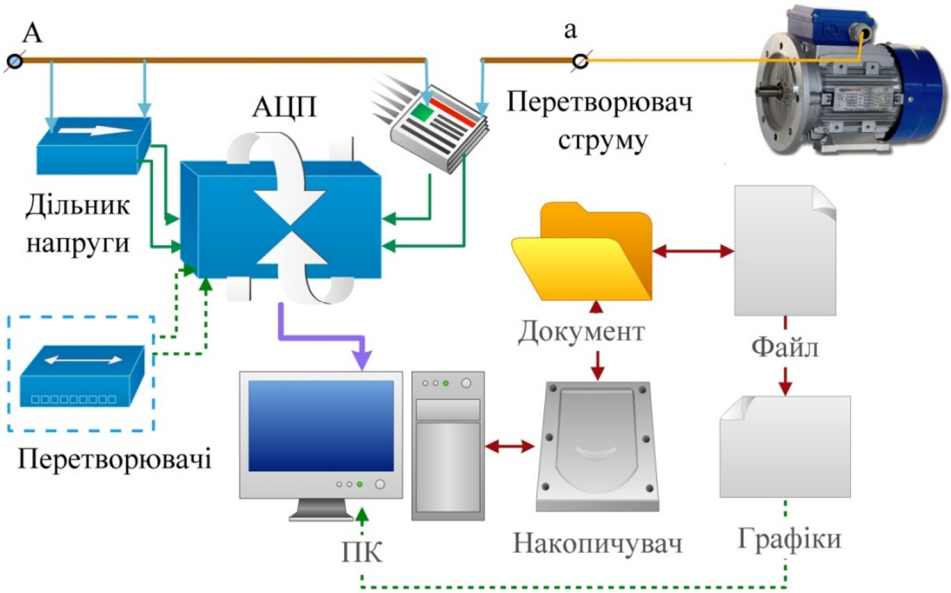


Рис. 2. Структура схеми вимірювального комплексу загальної споживаної електричної потужності двигуна

Цифрове оброблення сигналів перетворювачів напруги та струму дозволяє визначити повну, активну та реактивну потужність. Слід зазначити, що для реєстрації миттєвих значень потужностей необхідно використовувати АЦП з частотою дискретизації на декілька порядків вищою за частоту мережі. Виходячи з мінімально можливої величини вибірки на один період коливання струму в мережі для рівня значущості 5 %, частота дискретизації повинна становити вище 1 кГц.

Активна потужність у цьому випадку визначається згідно з виразом виду

$$P_a = \frac{\sum_{i=1}^{N} U_i \, I_i}{N}.$$

Повна потужність визначається за добутком середньоквадратичних значень фазних або лінійних напруг та струмів згідно з виразом виду

$$P_s = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^{N} U_i^2}\sqrt{\sum_{i=1}^{N} I_i^2}}{N}.$$

Реактивна потужність та КП у такому випадку визначаються згідно з виразами виду

$$Q = \sqrt{P_a^{\,2} - P_s^{\,2}}\ ,\ \cos(\phi) = P_a \big/ P_s\ .$$

Таким чином, використання АЦП дозволяє у режимі реального часу визначати активну та повну потужність, яку витрачає електричний двигун привода головного руху верстата для виконання операцій механічного оброблення матеріалів. Використання додаткових перетворювачів, наприклад, таких як перетворювачі температури, коефіцієнти тертя, частоти обертання, вібрації тощо, які реєструються в окремих вимірювальних каналах АЦП, дозволяє пов'язати механічні, теплові, акустичні процеси з процесами енергетичного споживання обладнання.

Висновки і пропозиції. Розроблена структура інформаційно-вимірювального комплексу визначення загальної потужності асинхронних двигунів з використанням сучасних засобів вимірювання дозволяє в режимі реального часу проводити аналіз та оброблення сигналів, які відповідають повній споживаній потужності обробних верстатів.

Розроблений вимірювальний комплекс може бути використаний для аналізу енергоефективності широкої номенклатури промислового обладнання, що містить асинхронні двигуни.

Перспективним напрямком подальших досліджень є аналіз енергетичного споживання приводами верстатів. Особливий інтерес представляє аналіз та дослідження енергоефективності верстатів за умов високошвидкісного механічного оброблення.

Список використаних джерел

1. *Energy* Efficiency through optimized coordination of production and technical building services / J. Hesselbach, C. Herrmann, R. Detzer, L. Martin and other // Proceedings LCE2008 - 15th CIRP International Conference on Life Cycle Engineering, 17-19 March 2008, The University of New South Wales, Sydney, Australia, 2008. – P. 624–628.

2. *Gutowski T.* Electrical Energy Requirements for Manufacturing Processes / T. Gutowski, J. Dahmus, A. Thiriez // 13th CIRP International Conference of Life Cycle Engineering, Lueven, May 31st – June 2nd, 2006. – P. 1–5.

3. *Draganescu F.* Models of machine tool efficiency and specific consumed energy / F. Draganescu, M. Gheorghe, C.V. Doicin // Journal of Materials Processing Technology. – 2003. – Vol.141. – P. 9–15.

4. *Dietmair A.* Energy consumption forecasting and optimisation for tool machines / A. Dietmair, A. Verl // Energy Consumption Forecasting and Optimisation for Tool Machines. – 2009. – P. 62–67.

5. *Improvement* Potential for Energy Consumption in Discrete Part Production Machines / T. Devoldere, W. Dewulf, W. Deprez, B. Willems, J.R. Duflou // Proceedings of the 14th CIRP Conference on Life Cycle Engineering, Tokyo, Japan, June 11–13th, 2007. – P. 311–316.

6. *Асинхронные* двигатели общего назначения / Е. П. Бойко, Ю. В. Гаинцев и др. – М. : Энергия, 1980. – 488 с.

7. *Сергиенко А. Б.* Цифровая обработка сигналов / А. Б. Сергиенко. – СПб. : Питер, 2002. – 608 с.

УДК 621.822

Г.І. Хімічева, д-р техн. наук
В.В. Куриляк, аспірант
Київський національний університет технологій та дизайну, м. Київ, Україна

ЗБІЛЬШЕННЯ РЕСУРСУ ОПОРНО-УПОРНИХ ПІДШИПНИКІВ НА ОСНОВІ КВАЛІМЕТРИЧНОГО ПІДХОДУ

А.И. Химичева, д-р техн. наук
В.В. Курыляк, аспирант
Киевский национальный университет технологий и дизайна, г. Киев, Украина

УВЕЛИЧЕНИЕ РЕСУРСА ОПОРНО-УПОРНЫХ ПОДШИПНИКОВ НА ОСНОВЕ КВАЛИМЕТРИЧЕСКОГО ПОДХОДА

Hanna Khimicheva, Doctor of Technical Sciences
Valentyna Kuryliak, PhD student
Kyiv National University of Technology and Design, Kyiv, Ukraine

THE INCREASE OF RESOURCES OF THRUST AND RADIAL BEARINGS ON THE BASIS OF QUALIMETRICAL APPROACH

Головною причиною передчасного виходу із ладу підшипникового вузла є недостатньо ретельне обслуговування, що, у свою чергу, призводить до скорочення розрахункового ресурсу. Вчасна профілактика та контроль обслуговування опорно-упорних підшипників: вимірювання температури, періодичний аналіз якості мастила, шуму, вібрації значно зменшує ризик виникнення передчасних пошкоджень підшипникових вузлів. Запропоновано новий контрольно-експлуатаційний метод для оцінювання якості обслуговування опорно-упорних підшипників з метою збільшення строку їх експлуатаційного ресурсу в межах кваліметричного підходу та розроблено технічно-контрольну карту для фіксування робочих параметрів підшипникового вузла суднового валопроводу.

Ключові слова: *контрольно-експлуатаційний метод, опорно-упорні підшипники, розрахунковий ресурс, судовий валопровід.*

Главной причиной преждевременного выхода из строя подшипникового узла является недостаточно тщательное обслуживание, что, в свою очередь, приводит к сокращению расчетного ресурса. Своевременная профилактика и контроль обслуживания опорно-упорных подшипников: измерение температуры, периодический анализ качества масла, шума, вибрации значительно уменьшает риск возникновения преждевременных повреждений подшипниковых узлов. Предложен новый контрольно-эксплуатационный метод для оценки качества обслуживания опорно-упорных подшипников с целью увеличения срока их эксплуатационного ресурса в пределах квалиметричного подхода и разработана техническая-контрольная карта для фиксирования рабочих параметров подшипникового узла судового валопровода.

Ключевые слова: *контрольно-эксплуатационный метод, опорно-упорные подшипники, расчетный ресурс, судовой валопровод.*

The main cause premature failure of the bearing unit is not thorough service, which in turn leads to a reduction in the estimated resource. Timely prevention and control services supporting-thrust bearings: temperature, periodic analysis of oil quality, noise, vibration reduces the risk of premature damage to bearings. A new control and operational method for assessing the quality of services of basic and persistant bearings was offered to increase the term of their operating life within qualimetric approach and a technically-control card for recording operating parameters of the bearing assembly of ship shafting was developed.

Key words*: Control and operating method, basic and persistant bearings, estimated resource, ship shafting.*

Постановка проблеми. Опорно-упорні підшипники є найважливішими деталями більшості машинобудівних машин. До їх несучої здатності і надійності висуваються високі вимоги. З цієї причини вже багато років ці підшипники є предметом інтенсивних досліджень. На сьогодні опорно-упорні підшипники є невід'ємною частиною суднового валопроводу, оскільки вони передають упор, який виникає під час роботи гвинта на корпус судна. Існують механічні причини, які призводять до заклинювання та деформації підшипникового вузла, таких як: викришування, корозія, наявність сторонніх частинок тощо, але головною причиною передчасного виходу із ладу підшипникового вузла є недостатньо ретельне обслуговування, що, в свою чергу, призводить до скорочення розрахункового робочого ресурсу. Є фактори, які впливають на експлуатаційну довговічність підшипникового вузла суднового валопроводу в межах розрахункового ресурсу і в основному ці фактори є наслідком некваліфікованого обслуговування [1]. За результатами проведених досліджень було виявлено, що 43 % випадків – це недостатнє зма-

щування, а у 27 % випадках – неякісний монтаж [2]. Вказані причини призводять до розцентровки, деформації та прогину валопроводу, а в деяких випадках і до необхідності повної заміни підшипникового вузла. Причиною таких наслідків є недотримання рекомендацій виробників та неврахування вимог чинних нормативних документів під час установлення та обслуговування підшипникового вузла. Тому вирішення проблеми продовження строку експлуатації опорно-упорних підшипників за рахунок контролю їх обслуговування під час експлуатації є актуальним питанням на сьогодні.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Завдяки сучасним дослідженням існує можливість розраховувати ресурс підшипників з високою точністю та узгоджувати між собою довговічність підшипників і машин. Однак трапляється, що фактична довговічність підшипників є нижче розрахункової. І наслідком цього є багато причин. Наприклад, неприпустимо високе навантаження, недостатнє змащування або невідповідний мастильний матеріал, неправильний монтаж підшипника, недостатня ефективна герметизація, посадка підшипника з надмірним натягом і, відповідно, недостатній внутрішній зазор або надмірний внутрішній натяг підшипника. Кожна ситуація породжує специфічні пошкодження підшипника, яка находить відображення в характерній картині пошкодження. Тому здебільшого стає можливим під час дослідження пошкоджень підшипників завчасно попереджувати їх під час технічного обслуговування. Огляд останніх досліджень виявив, що опорно-упорні підшипники працюють в основному в умовах високих втрат на тертя та неможливості забезпечення належного мастильного клина [2]. М.Я. Хлопенко, досліджуючи динаміку роботи підшипників, виявив, що належний сервіс експлуатації підшипникового вузла попередить більшість експлуатаційних пошкоджень. Також завданням обслуговування підшипникових вузлів займалися М.Д. Генкін, Ю. Глазов, С.Ю. Коваленко, В. Сологуб, М.В. Фомін та інші. Роботи [3] і [4] розглядають умови, в яких працюють різного типу підшипники. У них розглянуті основні причини, які призводять до заклинювання та зносу упорних підшипників. У роботі [5] автор робить акцент на детальному описі дій, які треба застосовувати впродовж усього робочого ресурсу підшипникового вузла. Але питання контролю обслуговування експлуатації упорних підшипників не розглядається. З тієї причини, що автори опирались на наявні нормативи експлуатації підшипникових вузлів, а також на те, що зазначені виробником вказівки належно виконуються. У роботі [6] автор зазначає, що у звичайних умовах правильно вибраний та правильно експлуатований підшипниковий вузол має 90 % шансів відпрацювати свій ресурс протягом встановленого строку експлуатації і 10 % шансів вийти із ладу. Автор [7] наголошує, що навіть найкраща підшипникова сталь не зможе компенсувати недоліки змащування та значної деформації валопроводу. Оцінюванням якості готової продукції на основі кваліметричного підходу займалися Г.Г. Азгальдов, В.В. Ефімов, Т.Л. Сааті та інші. Дослідники контролю якості товарів [8; 9; 10] всебічно розглянули та описали наявні методи оцінювання якості продукції, їх недоліки та переваги. Але вказівок у цих та інших роботах про оцінювання якості технічної продукції, яка знаходиться у довгостроковій експлуатації, немає. Це пов’язано з тим, що виробник не приділяє достатньої уваги продукції, яка знаходиться в періоді експлуатації. Тому таке дослідження більше зацікавить власників великих торгових судів, де в експлуатації знаходяться 90 % опорно-упорних підшипникових вузлів [11].

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. Проведені нами аналітичні дослідження доводять, що нині у процесі невідповідної експлуатації опорно-упорних підшипників їх розрахунковий ресурс роботи зменшується. Це є основним чинником для проведення подальших досліджень у напрямку вирішення проблеми надання якісного обслуговування підшипниковим вузлам суднового валопроводу.

Головною метою цієї роботи є розроблення методу оцінювання якості обслуговування опорно-упорних підшипникових вузлів на основі кваліметричного підходу.

Виклад основного матеріалу. Контроль обслуговування опорно-упорних підшипників проводиться на основі нормативних документів та ГОСТ 520-2002 (ДСТУ 520-2003). Підшипниковий вузол суднового валопроводу розрахований на 40 000 годин роботи, але внаслідок проблеми неякісного обслуговування цей показник знижується на 20 % [4]. Для вирішення проблеми неякісного обслуговування та продовження терміну ресурсу опорно-упорних підшипників у межах розрахункового було запропоновано до наявних методів оцінювання якості готової продукції, таких як: комплексний, органолептичний, диференційований, об'єктивний, додати новий метод, який має назву контрольно-експлуатаційний метод (КЕМ).

Метод КЕМ можна віднести до групи методів абсолютного рівня оцінювання якості продукції за тієї причини, що він ґрунтується на реальних вимірюваннях, отриманих у процесі експлуатації. Мета КЕМ полягає в оцінюванні рівня якості продукції на основі контрольно-експлуатаційних вимірювань, які безпосередньо отримуються під час роботи довгострокової технічної продукції. Такий метод дає найбільш вірогідні результати майбутнього дефекту продукції, оскільки отримані під час контролю параметри робочого стану можливо проаналізувати та застосувати запобіжні заходи для уникнення пошкодження. До продукції, яка має довгий строк експлуатації, належать опорно-упорні підшипникові вузли у системі суднового валопроводу, які на сьогодні не відпрацьовують передбачений робочий ресурс. І причиною цього у 75 % випадках є неякісне обслуговування вузла. Метод оцінювання якості підшипників на основі КЕМ наведений на рис.



Рис. Реалізація КЕМ для опорно-упорних підшипників

Для реалізації на практиці нового методу оцінювання експлуатованої продукції були створені контрольно-експлуатаційні карти (КЕК). Розроблення та застосування такого типу карт допоможе власникам підшипникових вузлів наочно прослідкувати за якістю обслуговування, що, у свою чергу, допоможе заощадити кошти на передчасній заміні підшипникових вузлів. Тому наявність КЕК допоможе обслуговуючому персоналу аналізувати причини відмов та контролювати необхідні етапи перевірок. Приклад КЕК для опорно-упорного підшипника наведений у табл.

Таблиця

Контрольно-експлуатаційна карта опорно-упорних підшипників буксиру «Базальт»

Контрольні параметри	**Інтервали технічних перевірок**	**Звіт про проведений контроль**	**Необхідні заходи для усунення відхилень**
Температура	Раз у 2 години	Значення температури	Вирівняти до 90 °С
Рівень мастила	Раз у 12 годин	Значення тиску	Забезпечити рівень мастила
Якість мастила	Раз у 12 годин	Якість мастила Густе / рідке	Замінити мастильний матеріал
Наявність вібрації	Раз у 12 годин	Наявність чи відсутність шуму	Затиснути гвинти / додати мастило
Обтиснення кришок вала	Раз у 3 місяці	Наявність розтиснення	Затиснути кришки
Зазор між гребнем гвинта та опорною шийкою вала	Один раз на рік	Значення зазору	Надати номінальне значення зазору

На базі буксира «Базальт» льодового класу були проведені дослідження щодо застосування КЕМ, де протягом експлуатації опорно-упорних підшипникових вузлів було виявлено доцільність його використання.

Ресурс опорних підшипників визначається за формулою 1:

$$L = a_1 a_{23} \left(\frac{C_r}{R} \right)^b , \quad (1)$$

де a_1 – коефіцієнт, який враховує задану ймовірність безвідмовної роботи (ступінь надійності) підшипника; a_{23} – коефіцієнт, який враховує якість матеріалу та умови експлуатації підшипника; C_r – базова динамічна вантажність підшипника за каталогом; R – розрахункове еквівалентне навантаження на підшипник; b – показник степеня, який дорівнює для роликових підшипників – 10/3. З рівняння (1) ресурс підшипника, у годинах роботи, можна визначити за формулою (2):

$$L_h = \frac{10^6 \pi L}{180\omega} = \frac{10^6 L}{60n} , \quad (2)$$

де ω – кутова швидкість вала (кільця підшипника), рад/с; n – частота обертання вала (кільця підшипника), хв$^{-1}$.

Після застосування експлуатаційного методу до підшипникових вузлів буксира «Базальт» було визначено, що його базовий розрахунковий ресурс з 40 000 годин відпрацював 39 588 годин, що становить на 1435 годин більше, ніж попередній ресурс роботи опорних підшипників цього буксира.

Серед найбільш поширених причин виходу з ладу опорно-упорних підшипників були визначені такі: недостатність подачі мастила під час запуску підшипникового вузла, низька якість мастильного матеріалу, неправильність конструкції підшипникового вузла, підвищення кромкових навантажень, недостатня жорсткість вала та підшипника, окислення у процесі експлуатації, незадовільна фільтрація мастила від механічних домішок і твердих продуктів окислення. Усунення цих причин забезпечує нормальну роботу підшипників. Вчасна профілактика та контроль обслуговування опорно-упорних підшипників (вимірювання температури, періодичний аналіз якості мастила, шуму, вібрації) значно зменшує ризик виникнення передчасних пошкоджень підшипникових вузлів та допомагає заощадити витрати на їх ремонт та поточне обслуговування.

Висновки і пропозиції. Запропоновано використання контрольно-експлуатаційного методу в межах кваліметричного підходу для оцінювання рівня якості обслуговування підшипникових вузлів на торговельних судах. Також розроблена спеціальна контрольно-експлуатаційна карта для опорно-упорних підшипників суднового валопроводу та обґрунтована доцільність її застосування на практиці. Застосування КЕК наочно демонструє весь життєвий цикл експлуатованої технічної продукції з реально фіксованими робочими параметрами. Застосування КЕМ для оцінювання якості інших типів машинобудівної продукції у період експлуатації потребуватиме продовження наукових досліджень у цьому напрямку.

Список використаних джерел

1. *Якунин Н. Н.* Теоретическое исследование условий работоспособности подшипников скольжения машин / Н. Н. Якунин. – М. : Трение и износ, 1999. – 363 с.

2. *Сологуб В. А.* Разработка параметра и метода контроля приработанности подшипников коленчатого вала автомобильных двигателей по показателям смазочного процесса / В. А. Сологуб, Р. Ф. Калимуллин. – М., 2005. – 120 с.

3. *Коровчинский М. В.* Теоретические основы работы подшипников скольжения : монография / М. В. Коровчинский. – М., 1959. – 404 с.

4. *Нормухамедов Б. Ф.* Интенсивность изнашивания, условия смазывания и надежность узлов трения двигателей / Б. Ф. Нормухамедов. – М., 1997. – 316 с.

5. *Романовский Г. Ф.* Динамика упорных подшипников скольжения судовых турбомашин : монография / Г. Ф. Романовский, Н. Я. Хлопенко. – Николаев : НУК, 2007. – 140 с.

6. *Справочник* по триботехнике : в 3 т. Т. 2. Смазочные материалы, техника смазки, опоры скольжения и качения / под общ. ред. М. Хебды, А. В. Чичинадзе. – М., 1990. – 416 с.

7. *Румб В. К.* Прочность судового оборудования. Конструирование и расчеты прочности судовых валопроводов / В. К. Румб. – М., 2008. – 297 с.

8. *Басовский Л. Е.* Управление качеством / Л. Е. Басовский, В. Б. Протасьев. – М., 2001. – 212 с.

9. *Азгальдов Г. Г.* Теория и практика оценки качества товаров. Основы квалиметрии / Г. Г. Азгальдов. – М., 1982. – 230 с.

10. *Фомин В. Н.* Квалиметрия. Управление качеством. Сертификация : курс лекций / В. Н. Фомин. – М. : ЭКМОС, 2000. – 320 с.

11. *Карасик И. И.* Прирабатываемость материалов для подшипников скольжения : монография / И. И. Карасик. – М. : Наука, 1978. – 136 с.

УДК 621.91:530.1

В.С. Гусарев, канд. техн. наук
Ю.В. Яровой, канд. техн. наук
Одесский национальный политехнический университет, г. Одесса, Украина

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ В ТЕХНОЛОГИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ

В.С. Гусарев, канд. техн. наук
Ю.В. Яровий, канд. техн. наук
Одеський національний політехнічний університет, м. Одеса, Україна

ЕНЕРГЕТИЧНІ КРИТЕРІЇ В ТЕХНОЛОГІЇ МАШИНОБУДУВАННЯ

Vladimir Gusarev, PhD in Technical Sciences
Yuriy Yarovoy, PhD in Technical Sciences
Odessa National Polytechnic University, Odessa, Ukraine

ENERGY CRITERIA IN MECHANICAL ENGINEERING TECHNOLOGY

Рассмотрены энергетические критерии, которые применяются в технологии машиностроения. Предложен новый энергетический критерий: действие технологической системы. На основе энергетических критериев удельная работа резания, действие технологической системы и трудоемкость обработки выполнен выбор варианта обработки внутренней цилиндрической поверхности. Применение энергетических критериев наряду с технико-экономическими повышает эффективность выбора вариантов технологического процесса.

Ключевые слова: *критерий, удельная работа резания, действие, технологическая система.*

Розглянуто енергетичні критерії, які використовуються в технології машинобудування. Запропоновано новий енергетичний критерій: дія технологічної системи. На основі енергетичних критеріїв питома робота різання, дія технологічної системи і трудомісткість оброблення виконано вибір варіанта оброблення внутрішньої циліндричної поверхні. Застосування енергетичних критеріїв поряд з техніко-економічними підвищує ефективність вибору варіантів технологічного процесу.

Ключові слова: *критерій, питома робота різання, дія, технологічна система.*

The energy criteria used in mechanical engineering are considered. New energy criterion: action of technological system is offered. On the basis of energy criteria specific work of cutting, action of technological system and complexity of processing the selection of options for processing of the inner cylindrical surface is carried out. Applying of energy criteria in addition to technical-economic criteria increases the efficiency of option selection for processing.

Key words: *criterion, specific work of cutting, action, technological system.*

Постановка проблемы. Развитие современного машиностроения происходит путем внедрения в производство наукоемких технологий, современного оборудования, режущего инструмента и технологического обеспечения. Выбор новых технологий осуществляется по традиционным технико-экономическим критериям, как правило, по трудоемкости обработки и себестоимости изделия. Такой подход не всегда дает объективное суждение об эффективности внедрения той или иной технологии. Технико-

экономические критерии сложно использовать при анализе энергетических затрат для различных видов обработки.

Задачей современного машиностроения при оценке технологического процесса является использование не только технико-экономических критериев, но также анализ и выбор энергетических критериев. Подобные критерии должны оценивать альтернативные технологии изготовления деталей машин комплексно, а в случае необходимости производить варьирование энергетических и технико-экономических параметров обработки.

Анализ основных исследований и публикаций. Энергетические критерии используются не только в теории обработки металлов резанием, но и в теории обработки металлов давлением, а также и в экономике. Энергоемкость как показатель (затраты энергии или топлива к ВВП) широко используется для оценки энергетической эффективности национальных экономик. Удельная работа деформации используется для выбора оборудования при ковке и штамповке.

В основу энергетических критериев, как правило, положены удельные показатели энергоемкости. В работе [1] предложен критерий удельная энергоемкость или удельная работа резания, которая характеризует энергетические затраты в единице объема удаляемого материала:

$$e = \frac{N_e}{stv}, \qquad (1)$$

где N_e – эффективная мощность резания, Вт;

s – подача, мм/об;

t – глубина резания, мм;

v – скорость резания, м/мин.

Анализу энергетических критериев посвящены работы В.К. Старкова. В своих работах [2; 3], используя дислокационно-энергетический подход к процессу резания, он рассматривает энергетические критерии оптимизации, основанные на минимизации энергетических затрат. Предложенные критерии позволяют управлять пластической деформацией и упрочнением в зоне обработки. Они тесно связаны с износом инструмента, тепловым режимом и качеством поверхностного слоя детали. Примечательно, что для черновой и чистовой обработки предлагаются два различных критерия: удельная энергоемкость процесса и энергетический критерий качества.

В работах В.К. Старкова очевиден и ряд недостатков. Во-первых, для расчета скрытой энергии деформации и общей энергии стружкообразования использованы эмпирико-теоретические выражения, основанные на дислокационных представлениях и отличающиеся высокой сложностью. Во-вторых, полученные модели характеризуют только процесс точения труднообрабатываемых сталей и сплавов на установившихся режимах резания; другие процессы формообразования не рассматриваются. В-третьих, не предложен единый критерий для различных этапов обработки: критерий удельная энергоемкость рекомендуется использовать при глубине резания более 0,5 мм, а энергетический критерий качества – при глубине резания менее 0,5 мм.

С.С. Силин предложил использовать энергетический критерий, характеризующий собой тепловую активность стружки по отношению ко всей выделяющейся в зоне резания теплоте [4]. Рассмотрена методика для определения оптимальных режимов резания при точении и фрезеровании на станках с ЧПУ с учетом требований точности обработки и шероховатости обрабатываемой поверхности. Применение рассчитанных по данной методике режимов резания повышает производительность на 15 % при обработке деталей из цветных сплавов на станках с числовым программным управлением. Недостаток предложенной методики – сложность и применимость только к цветным сплавам; кроме того, в расчетах не учитывается фактор времени обработки.

А.В. Карпов в качестве критерия оптимизации технологических методов обработки поверхностей предлагает использовать коэффициент энергетической эффективности, который зависит от удельной потенциальной энергоемкости, для вычисления которой требуется специальный математический аппарат [5].

Выделение не решенных ранее задач общей проблемы. Многие предложенные энергетические критерии определяются по разным выражениям, но имеют одинаковую размерность и одинаковый физический смысл. Многообразие энергетических критериев, применяемых для выбора технологических операций и оптимизации режимов резания, затрудняет их широкое применение в технологии машиностроения. Каждый из предложенных критериев имеет определенную сферу применения.

В литературных источниках не показаны границы применения энергетических критериев для выбора вариантов технологических процессов. В практике машиностроительных предприятий отсутствует методика выбора и анализа вариантов технологического процесса на основе энергетических критериев оптимизации.

Цель статьи. Основной целью работы является анализ и обоснование выбора методов обработки поверхностей на основе энергетических критериев.

Изложение основного материала. Рассмотрим новый энергетический критерий, который определяется по выражению

$$\boldsymbol{D} = AT_o, \tag{2}$$

где A – работа формообразования поверхности, Дж;

T_o – основное время или время формообразования (обработки) поверхности, мин.

Предложенный критерий представляет собой работу, выполненную в течение времени, или, другими словами, произведение работы формообразования на время обработки поверхности. Предложенный критерий имеет размерность — Дж·мин. Данная размерность соответствует скалярной величине «действие», которая широко используется в физике, в принципе наименьшего действия [5]. Поэтому по аналогии величину $\boldsymbol{D}$ в выражении (2) будем называть «действие технологической системы» или просто «действие».

Физическое содержание действия как физической величины формулируется следующим образом: действие – это суммарное количество изменений энергии в течение определенного промежутка времени [6].

Размерность Дж·с соответствует постоянной Планка, которая используется в квантовой физике [6] и служит для определения единицы массы, т. е. килограмма.

При установившемся режиме обработки работу формообразования можно представить в виде

$$A = NT_o, \tag{3}$$

где N – мощность, затрачиваемая на формообразование поверхности, Вт.

Подставим выражение для работы формообразования (3) в выражение для действия (2). В результате выражение для определения критерия «действие» для технологического перехода выглядит следующим образом:

$$\boldsymbol{D} = NT_oT_o = NT_o^2. \tag{4}$$

Анализ данного выражения показывает, что критерий «действие технологической системы» будет минимальным в следующих случаях: мощность резания и время формообразования стремятся к минимуму; мощность резания стремится к максимуму, а время формообразования – к минимуму.

Сравнивая варианты технологического процесса (методы обработки поверхностей), необходимо определить критерий «действие» и выбрать вариант с его наименьшим значением.

При проектировании технологического процесса актуален вопрос выбора методов обработки внутренних цилиндрических поверхностей. Выбирая способы обработки основного отверстия ∅95Н7 (длина обрабатываемой поверхности $l = 104$ мм) в детали «Цилиндр» гидравлической машины, технолог сталкивается с большим разнообразием вариантов (рис. 1).

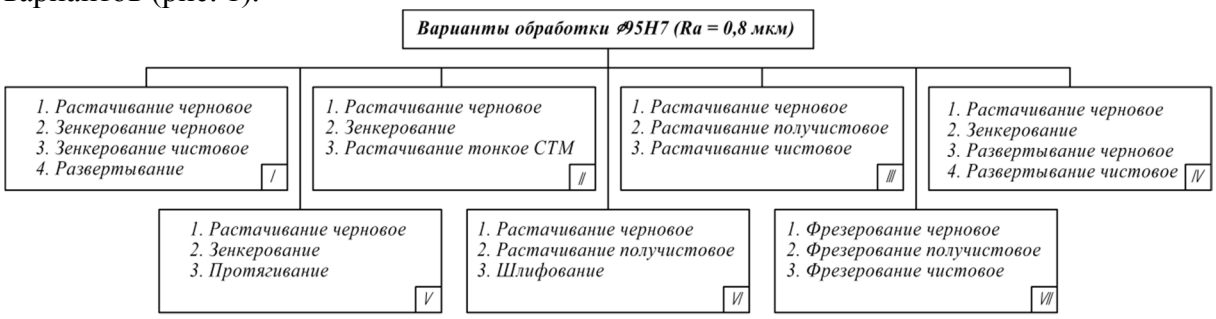


Рис. 1. Варианты обработки основного отверстия

Каждый из вариантов обработки позволяет получить заданное качество поверхности. Анализ вариантов обработки основного отверстия проведен на основе режимов резания, которые используются на действующем производстве, а для некоторых видов обработки – по рекомендациям фирм-производителей режущего инструмента (табл.).

Таблица

Режимы резания для вариантов обработки основного отверстия

Варианты обработки	**Режимы резания**				
	***D*, мм**	***t*, мм**	***s*, мм**	***n*, мин$^{-1}$**	***v*, м/мин**
Вариант I					
Растачивание черновое	92	3,5	0,25	250	72,2
Зенкерование черновое	93,4	0,7	1,5	50	14,7
Зенкерование чистовое	94,4	0,5	1,4	50	14,7
Развертывание	95	0,3	2	20	6
Вариант II					
Растачивание черновое	92	3,5	0,25	250	72,2
Зенкерование	94,4	1,1	1,5	50	14,8
Растачивание СТМ	95	0,3	0,05	1600	478
Вариант III					
Растачивание черновое	92	3,5	0,25	250	72,2
Растачивание чистовое	94,4	1,1	0,15	315	91,5
Растачивание тонкое	95	0,3	0,05	1000	299
Вариант IV					
Растачивание черновое	92	3,5	0,25	250	72,2
Зенкерование	94,4	1,1	1,5	50	14,8
Развертывание черновое	94,82	0,21	3	25	7,5
Развертывание чистовое	95	0,09	2	25	7,5
Вариант V					
Растачивание черновое	92	3,5	0,25	250	72,2
Зенкерование	93,4	0,7	1,5	50	14,7
Протягивание	95	0,57	0,1	25	7,5
Вариант VI					
Растачивание черновое	92	3,5	0,25	250	72,2
Растачивание чистовое	94,4	1,1	0,15	315	91,5
Шлифование	95	0,3	0,005	150	3200
Вариант VII					
Фрезерование черновое	92	3,5	0,75	1210	190
Фрезерование чистовое	94,4	1,1	0,45	1210	190
Фрезерование тонкое	95	0,3	0,3	1210	190

Выбор варианта обработки произведен по энергетическим критериям и основному времени (рис. 2). Сравнение методов обработки выполнено по следующим критериям: трудоемкость обработки, удельная работа резания, действие технологической системы. Мощность резания и трудоемкость обработки, входящие в выражения (1) и (4) определены по стандартным методикам [8; 9].

Анализируя энергетические критерии и основное время для каждого варианта обработки основного отверстия, необходимо отметить, что наименьшие значения критериев обеспечивает вариант VII (рис. 2) – фрезерная обработка внутренней цилиндрической поверхности с винтовой интерполяцией (интерполяцией по трем координатам). Из более привычных вариантов обработки наименьшие показатели обеспечивает вариант V, который включает протягивание отверстия. Обработка отверстий осевым инструментом приводит к увеличению основного времени и дополнительных затрат на перетачивание инструмента.

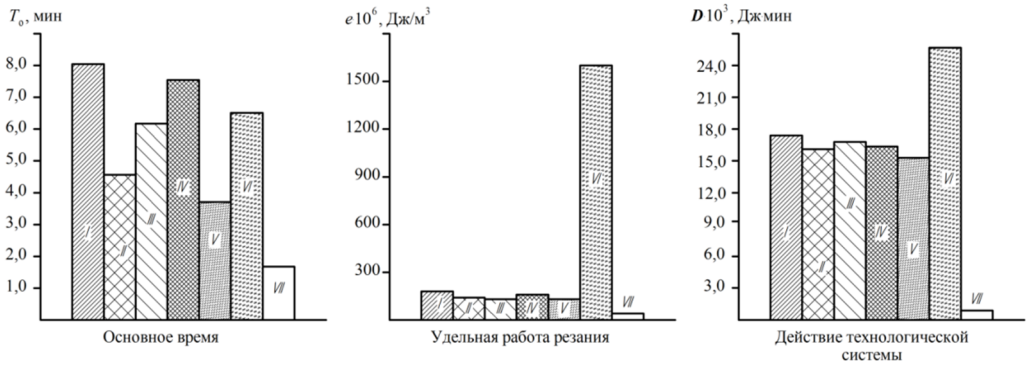


Рис. 2. Сравнение вариантов обработки внутренней цилиндрической поверхности

Современное станкостроение позволяет получать высокую точность отверстий на операциях фрезерования и тонкого растачивания без использования станков повышенной точности.

Выводы и предложения. Энергетические критерии действия технологической системы и удельная работа формообразования не являются альтернативой технико-экономическим критериям, а предназначены для более детального анализа проектируемого перспективного технологического процесса.

Список использованных источников

1. *Остафьев В. А.* Диагностика процесса металлообработки / В. А. Остафьев, В. С. Антонюк, Г. С. Тымчик. – К. : Техника, 1991. – 152 с.

2. *Старков В. К.* Алгоритм оптимизации процесса резания по энергетическому критерию качества / В. К. Старков, М. В. Киселев // Станки и инструмент. – 1992. – № 10. – С. 18–20.

3. *Старков В. К.* Физика и оптимизация резания металлов / В. К. Старков. – М. : Машиностроение, 2009. – 640 с.

4. *Силин С. С.* Оптимизация операций механической обработки по энергетическим критериям / С. С. Силин, А. В. Баранов // Станки и инструменты. – 1999. – № 1. – С. 16–17.

5. *Карпов А. В.* Снижение энергетических затрат при обработке заготовок деталей машин лезвийным инструментом : автореф. … канд. техн. наук : спец. 05.02.08 «Технология машиностроения» / А. В. Карпов. – М., 2005. – 18 с.

6. *Ландау Л. Д.* Теоретическая физика / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц. – М. : Физматлит, 2004. – Т. 1: Механика. – 224 с.

7. *Физические* величины : справочник / [А. П. Бабичев, Н. А. Бабушкина, А. М. Братковский и др.] ; под общ. ред. И. С. Григорьева, Е. З. Мейлихова. – М. : Энергоатомиздат, 1991. – 1232 с.

8. *Справочник* технолога-машиностроителя : в 2 т. Т. 2 / под ред. А. М. Дальского, А. Г. Суслова, А. Г. Косиловой, Р. К. Мещерякова. – М. : Машиностроение-1, 2001. – 944 с.

9. *Технологія* машинобудування / П. П. Мельничук, А. А. Боровик, П. А. Лінчевський, Ю. В. Петраков. – Житомир : ЖДТУ, 2005. – 882 с.

УДК 674.055/621.817

О.П. Космач, канд. техн. наук
О.Д. Товстуха, студент
Чернігівський національний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ КІНЕМАТИКИ ПРИСТРОЇВ ДЛЯ МАШИНОБУДУВАННЯ ТА ДЕРЕВООБРОБКИ В SOLIDWORKS

А.П. Космач, канд. техн. наук
А.Д. Товстуха, студент
Черниговский национальный технологический университет, г. Чернигов, Украина

ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕМАТИКИ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ ДЛЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ И ДЕРЕВООБРАБОТКИ В SOLIDWORKS

Oleksandr Kosmach, PhD in Technical Sciences
Oleksandr Tovstukha, student
Chernihiv National University of Technology, Chernihiv, Ukraine

STUDY OF DEVICES KINEMATIC FOR MECHANICAL ENGINEERING AND WOODWORKING IN SOLIDWORKS

Розглянуто можливості кінематичного аналізу технічної системи з використанням блокових моделей у середовищі SolidWorks. Представлено алгоритм побудови блокової моделі та результати розмірного аналізу верстатного пристрою. У результаті моделювання встановлено, що модифікація конструкції механізму для зміни його вихідних показників та правильного функціонування потребує коректування розмірів окремих ланок.

***Ключові слова**: кінематика, механізм, блок, структура, переміщення, система, проектування.*

Рассмотрены возможности кинематического анализа технической системы с использованием блочных моделей в среде SolidWorks. Представлен алгоритм построения блочной модели и результаты размерного анализа станочного приспособления. В результате моделирования установлено, что модификация конструкции механизма для изменения его исходных показателей и правильного функционирования нуждается в корректировке размеров отдельных звеньев.

***Ключевые слова:** кинематика, механизм, блок, структура, перемещение, система, проектирование.*

The possibilities of kinematic analysis of technical systems using by block models in SolidWorks were considered. The algorithm for block model building and analysis results of unit grip simulation were shown. As result of simulation was determined that modification of mechanism design for changing its benchmarks for proper operation need to correct the size of individual elements.

***Key words**: kinematics, mechanism, block, structure, movement, system, design.*

Постановка проблеми. З розвитком інформаційних технологій використання автоматизованих систем під час проектування та розроблення технічних систем (ТС) є одним з ключових інженерних напрямків. Спроектовані ТС усе частіше стають більш складними, точними, динамічними та керованими, що вимагає використання додаткових методів їх аналізу та випробування. Особливо це стосується етапів, що пов'язані з розробленням технічної документації та технічних вимог, які ґрунтуються на комплексі інженерних розрахунків та моделюванні складних динамічних процесів.

Уже нині більшість сучасних механізмів, наприклад, машинобудівної або деревообробної промисловості складаються зі складових ланок, які мають високу функціональну гнучкість та надійність, що дозволяє суттєво розширити можливості верстатів, пристроїв, вимірювального обладнання з метою швидкого пристосування до змін на ринку попиту продукції.

До одного з головних внутрішніх показників ТС є характер організації його елементів у статичному та динамічному стані. В умовах динамічності наявних процесів, які безпосередньо впливають на продуктивність обладнання, важливе значення має характер взаємного переміщення елементів ТС, яка випливає з її кінематики.

Для аналізу кінематики механізму можуть використовуватися загальноприйняті методи та підходи з теорії механізмів та машин. Проте для складних ТС використання таких методів потребує великих часових витрат, а в окремих випадках і специфічних знань. Для спрощення та прискорення інженерних розрахунків, які пов'язані з кінематикою ТС,

все частіше використовуються окремі модулі систем автоматизованого проектування середнього та вищого рівня. До однієї з таких систем відносять програмне середовище SolidWorks, яке має широке розповсюдження у сучасній інженерній діяльності.

З погляду гнучкого розроблення та проектування ТС, оцінювання використання та можливостей програмного забезпечення SolidWorks під час дослідження кінематики ТС є досить актуальним науковим та прикладним завданням.

В умовах сучасного проектування механізмів машин широке розповсюдження знаходять CAD/CAE системи. При цьому зміна конструктивних елементів вузлів або їх видозміна вносить додатковий комплекс робіт, які пов'язані з визначенням характеру з'єднання ланок механізму, їх обмеження тощо. Кінематичний аналіз механізмів у середовищі SolidWorks дозволяє за короткий період часу проаналізувати головні рухомі ланки та елементи механізмів. Більшість досліджень у цій галузі пов'язані з використанням модуля Cosmos SolidWorks, проте для простих, наглядних та швидких розрахунків та моделювання у цьому середовищі може використовуватися і блокові структури. Тому для кінематичного аналізу механізмів з використанням блокових структур у середовищі SolidWorks необхідно розроблення узагальненого алгоритму побудови моделі рухомих механізмів, а також їх подальшого аналізу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Програмне середовище SolidWorks – програмний комплекс системи автоматизованого проектування для автоматизації робіт промислового призначення на етапах конструкторської та технологічної підготовки виробництва. Цей програмний продукт забезпечує розроблення виробів будь-якого ступеня складності та широкого призначення у галузях машинобудування, деревообробки, електроніки тощо.

Для аналізу кінематики механізмів машин програмне середовище SolidWorks має два незалежних модуля: Cosmos Motion, а також блоки (sketch block) [1; 2]. Основна відмінність цих модулів полягає у рівні складності кінематики ТС та вихідних результатах, які необхідно аналізувати. З погляду наочності, простоти та відсутності складних математичних розрахунків блокові структури мають переваги перед модулем Motion. У зв'язку з цим у цій роботі будемо проводити дослідження кінематики механізмів з використанням блокових структур.

У [3; 4] було проаналізовано ефективність сучасних CAD систем при параметричній зміні складових елементів механізмів. Встановлено, що сучасні CAD системи дозволяють швидко реагувати на ринкові зміни, що невід'ємно відображається на якості та ціні виготовленої продукції. У [5] продемонстрований аналіз траєкторії переміщення кулачкового механізму з використанням як аналітичного методу на основі мови програмування, а також у програмному середовищі SolidWorks.

У [6] програмне середовище SolidWorks використано для графічного моделювання руху робочого органу зварювального робота. При цьому отримані результати були використані для побудови керуючої програми зварювання конструкції на виробництві.

У загальному випадку блокові структури являють собою безліч груп упорядкованих елементів (ліній, точок, кривих, осей тощо), які підпорядковані спільній назві та зберігаються у файлі. Таке представлення груп елементів дозволяє проводити поділ або дроблення основних елементів системи (виділення підсистем та надсистем) з метою проведення подальших операцій, наприклад, накладання обмежувальних зв'язків або об'єднання блоків в один блок вищого рівня тощо.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. Пошук наукової літератури показав, що у сучасних умовах виробництва практично не використовуються блокові моделі для аналізу кінематики механізмів. Проте під час швидкого вирішення задач, які пов'язані з наближеними розрахунками, ці моделі можуть бути ефективно

використані. У зв'язку з цим визначення можливостей блокових моделей під час дослідження кінематики складних механізмів є досить актуальним завданням.

Формулювання мети статті. У роботі проведено кінематичний аналіз механізму верстатного пристрою, здійснено моделювання кінематики механізму під час зміни розмірів ключових ланок механізму, а також проаналізовано їх вплив на вихідні показники механізму. Представлено алгоритм побудови блокових моделей механізму у середовищі SolidWorks.

Виклад основного матеріалу. Як предмет дослідження був вибраний переналагоджуваний верстатний пристрій машинобудівної або деревообробної галузі. Цей пристрій призначений для оброблення симетричних поверхонь заготовок на верстаті нормальної точності, ескіз якого представлений на рис. 1. Він складається з важільних механізмів та пневмоциліндра. Лінійне переміщення штоку циліндра приводить у дію важільні механізми, які симетрично переміщують призматичні переналагоджувані установчі елементи до поверхонь заготовки.

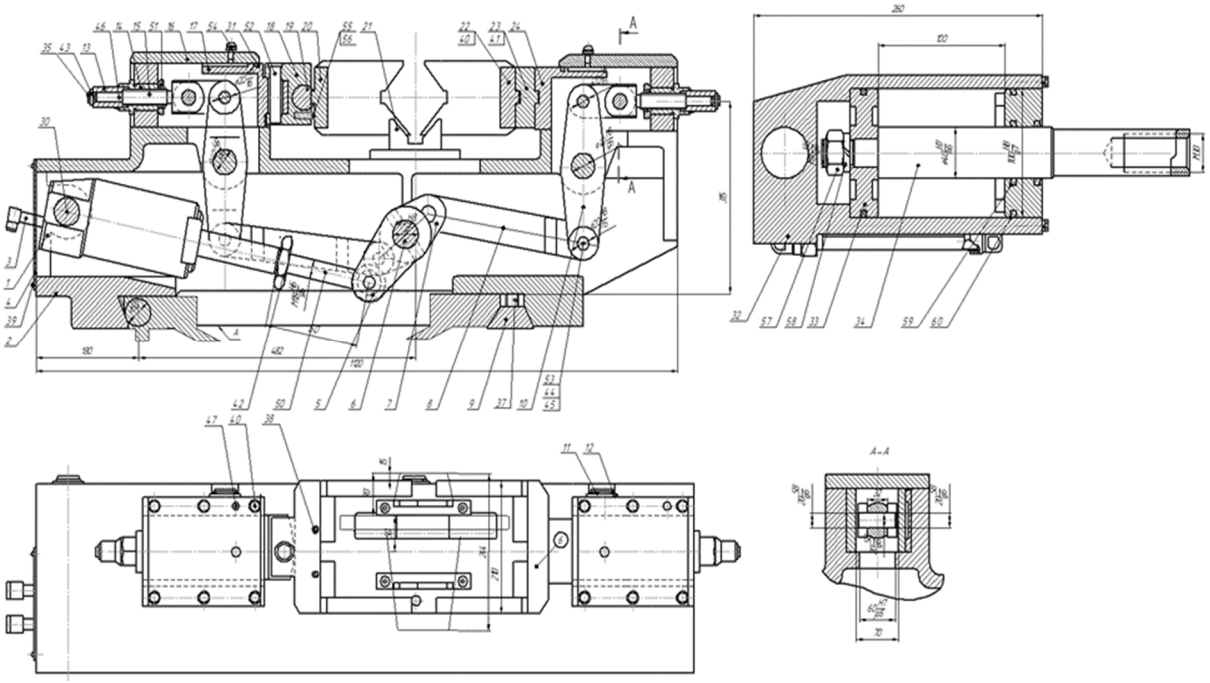


Рис.1. Ескіз верстатного пристрою для оброблення симетричних заготовок

Для створення кінематичних зв'язків між рухомими елементами пристрою, а також їх подальшого аналізу було використано накладання обмежувальних кінематичних зв'язків між рухомими елементами досліджуваної ТС. При цьому була створена узагальнена блокова модель механізму, яка характеризує кожну окрему рухому ланку пристрою. Модель пристрою можна представити у вигляді дворівневої ієрархічної структури, яка складається з двох симетричних важільних механізмів та пневмоциліндра, до складу яких входять окремі рухомі ланки. Слід зазначити, що така блокова структура механізму повністю та однозначно визначає траєкторію руху його основних ланок.

Під час побудови кінематичної моделі механізму можна виявити такі етапи (рис. 2):

1) виявлення ланок механізму, які мають кінематичні зв'язки між собою;

2) створення плоского ескізу окремої деталі (рухомої ланки) на довільно вибраній площині;

3) використання команд та інструментів для побудови схематичних контурів окремої рухомої ланки механізму;

4) нанесення розмірів (інформаційні та керовані розміри) та накладання обмежень (паралельність, перпендикулярність, колінеарність, симетричність тощо), створення відлікової системи ескізу;

5) виділення створеного ескізу з елементами та перетворення його в блок (Інструменти – Блоки – Створити або за допомогою команди «вставити блок» у допоміжному меню);

6) створення аналогічних блокових структур для інших елементів механізму;

7) збереження блоків елементів у вигляді файлових структур, а також присвоєння їм імені;

8) проведення наближеного переміщення блокових структур для їх подальшого об’єднання та взаємодії;

9) виділення взаємодіючих частини блоків (за допомогою клавіші Ctrl) та визначення відповідних типів взаємодії. У процесі складання механізму використовуються такі види команд зв’язків: «Концентричність» – концентричність кіл або осесиметричних поверхонь; «Зафіксувати» – фіксує певну точку та не дає їй переміщуватися у двох взаємопротилежних напрямках; «Дотична» – створює дотик між собою поверхонь або блоків; «Рівність» – створення однакових розмірів відповідних частин блока або елементів; «Колінеарність» – створює два відрізка або промені, які паралельні один одному або лежать на одній прямій; «Паралельність» – створює паралельні відрізки або промені; «Перпендикулярність» – створює перпендикулярні відрізки; «Точка на прямій» – з’єднує між собою дві частини блока за допомогою обмеження руху точки одного блока по лінії іншого блока; «Горизонтальність» – вирівнює відрізок або промінь у горизонтальному напрямку; «Вертикальність» – вирівнює відрізок або промінь у вертикальному напрямку; «Симетричність» – створює копію виділеної частини контуру відносно вибраної точки або осі симетрії;

10) виявлення та фіксація місць нерухомих опорних частин блоків.

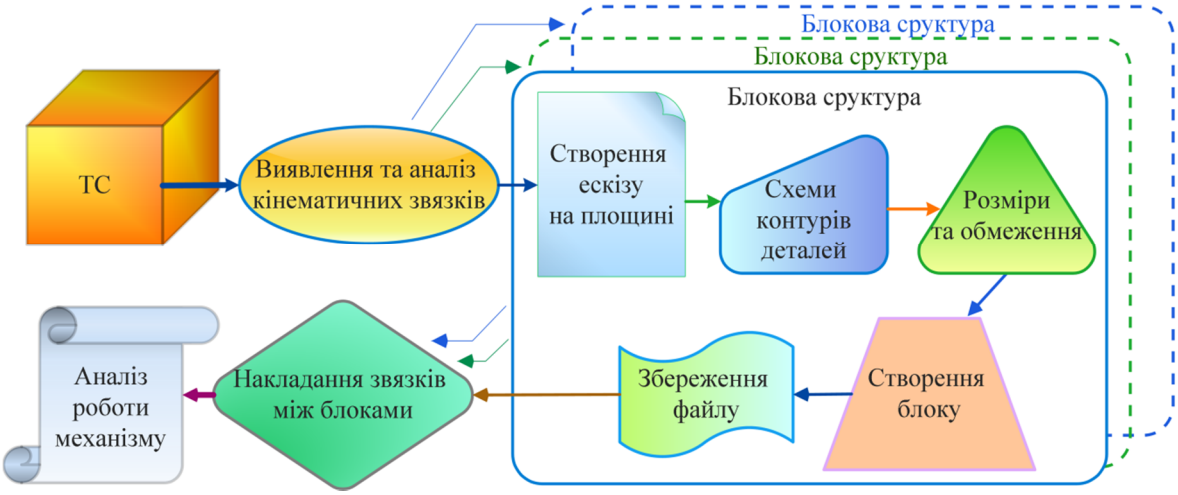


Рис. 2. Алгоритм побудови блокової моделі верстатного пристрою у середовищі SolidWorks

Після накладання всіх видів зв’язків на блоки відповідно до спрощеної схеми, отримаємо кінематичну модель механізму, елементи якого будуть переміщуватися відповідно до накладених обмежень (зв’язків) між ними (рис. 3).

Слід зазначити, що під час побудови механізму проводилися конструктивні спрощення, які не впливали на загальний принцип роботи механізму та його кінематику. Побудована блокова модель механізму дозволяє проводити аналіз зв’язків між елементами для будь-якого положення досліджуваної ланки під час його роботи.

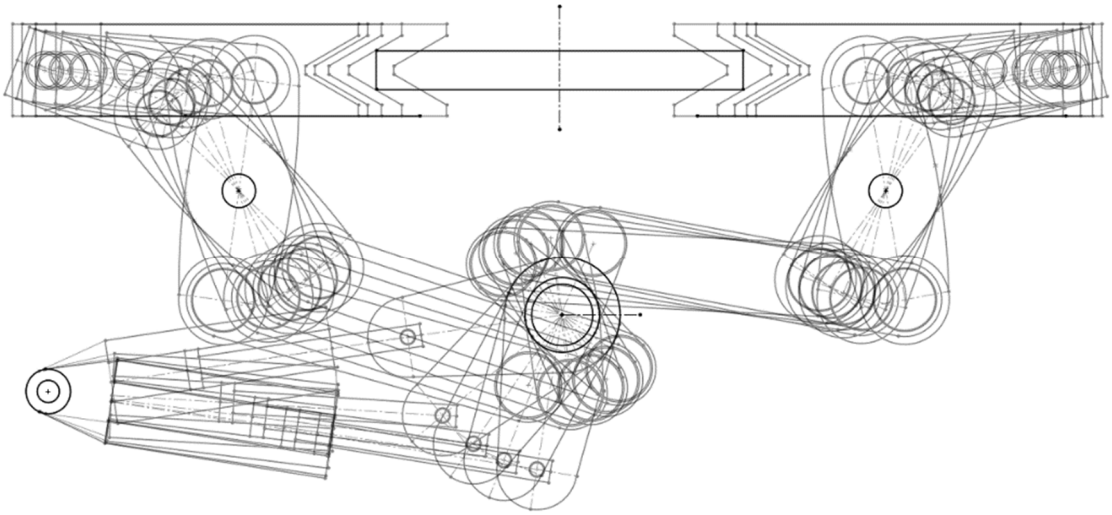


Рис. 3. Моделювання руху елементів верстатного пристрою з використанням блокової моделі у середовищі SolidWorks

З метою уточнення вимог до точності деталей механізму в умовах зміни розмірів основних ланок, які впливають на його вихідні показники, було проведено моделювання руху елементів верстатного пристрою для різних довжин ланок важільного механізму, які змінювалися в межах R=30…70 мм з приростом ΔR=10 мм (рис. 4).

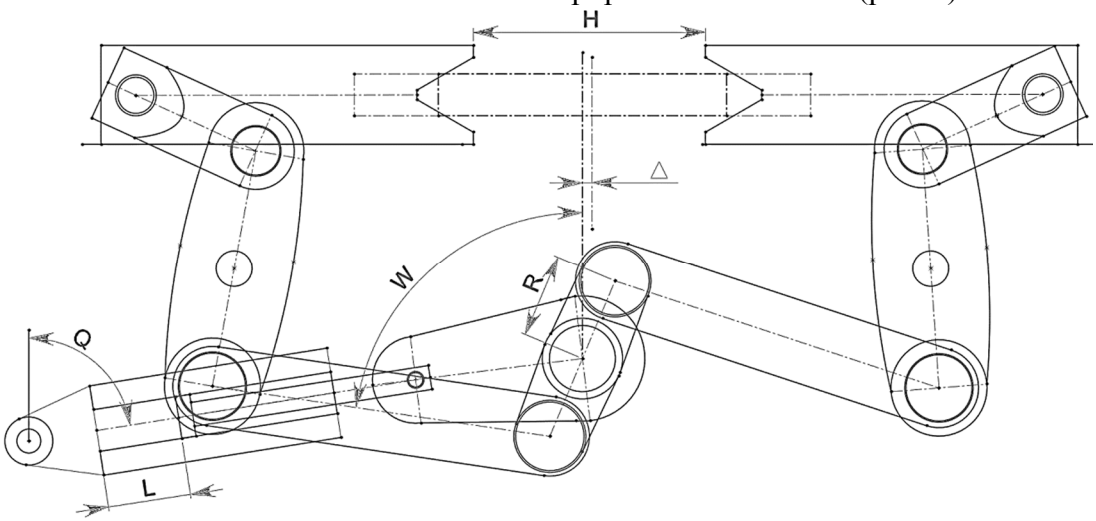


Рис. 4. Розміри ланок механізму, які визначалися під час моделювання його руху з використанням блокових структур

Збільшення значень R дозволяє отримати модифікації механізмів, які будуть мати однакову будову та принцип дії, а відрізнятимуться лише розмірами між установчими елементами, що буде відповідати максимальним габаритним розмірам заготовок. Під час моделювання руху ланок механізму визначалася залежність між величиною переміщення поршня L та відстанню між установчими елементами H, незбіг площини симетрії заготовки та осі обертання важільного механізму Δ, кути повороту між ланками механізму W та кут повороту осі пневмоциліндра Q. Для побудови залежностей розглядалося 7 положень механізму, які враховують максимальне робоче переміщення поршня. Під час моделювання робоче переміщення поршня пневмоциліндра становило 119 мм. Переміщення елементів відбувалося в інтерактивному режимі, а зміна розмірів важільної ланки відбувалося за допомогою керованого розміру.

Таким чином, процес моделювання руху механізму для кожного значення розміру R тривав до декількох десятків секунд.

Залежність між величиною переміщення поршня L та відстанню між установчими елементами H представлена на рис. 5. Встановлено, що залежність H=f(L) носить нелінійний зростаючий характер для кожного значення ланки важільного механізму R. При цьому збільшення розміру ланки R приводить до збільшення величини відстані та швидкості переміщення установчих елементів пристрою H. З рис. 5 також видно, що швидкість переміщення установчих елементів збільшується для мінімальних переміщень поршня пневмоциліндра L. На етапі конструкторського проектування механізму отримані закономірності дозволяють визначати довжини ланок механізму R для встановлення необхідної ширини заготовки у верстатний пристрій.

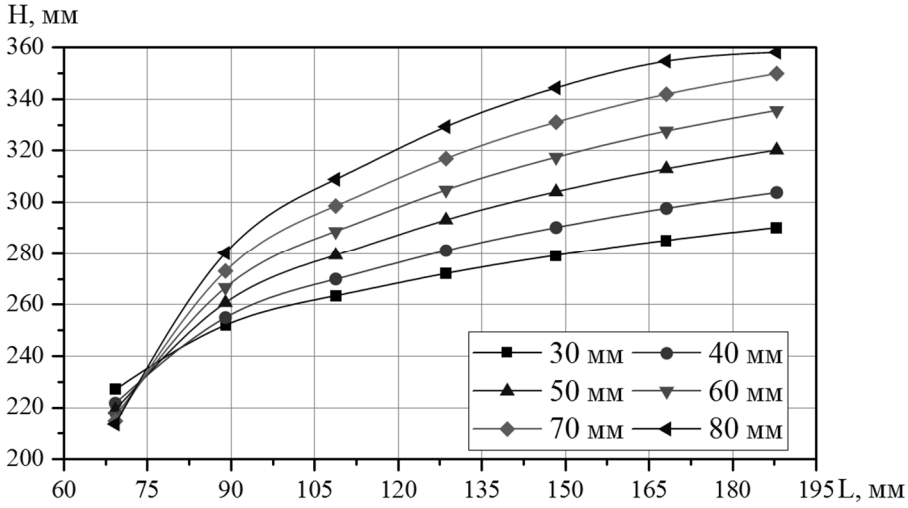


Рис. 5. Залежність відстані між установчими елементами пристрою H та переміщенням поршня L при різних довжинах ланок R: 1 – R=30 мм, 2 – R=40 мм, 3 – R=50 мм, 4 – R=60 мм, 5 – R=70 мм, 6 – R=80 мм

Залежність між величиною переміщення поршня L та кутом повороту ланок механізму W повороту осі Q для R=30 мм представлена на рис. 6. Встановлено, що залежності W=f(L) та Q=f(L) носять нелінійних характер для кожного значення ланки важільного механізму R. Причому для інших значень R загальний приріст значень W та Q зберігається, а відрізняються лише початкові значення кутів. З рис. 6 видно, що швидкість переміщення ланок механізму більша для мінімальних переміщень поршня пневмоциліндра L, що підтверджують результати, які були отримані раніше. Із залежності Q=f(L) також видно, що на кінцевих ділянках переміщення штоку (165…190 мм) положення пневмоциліндра практично не змінюється.

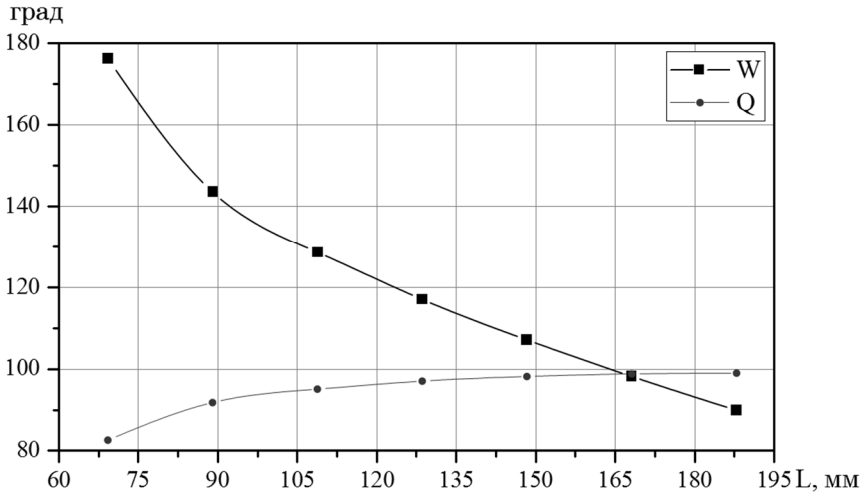


Рис. 6. Залежність зміни кутів ланок W та Q механізму та величиною переміщення поршня L

Залежність між величиною переміщення поршня L та незбігом площини симетрії заготовки й осі обертання важільного механізму Δ для досліджуваних значень R представлена на рис. 7. Встановлено, що залежності Δ =f(L) мають нелінійний характер для кожного значення ланки важільного механізму R. Під час побудови залежностей визначалися лише абсолютні значення Δ без уточнення їх напрямку.

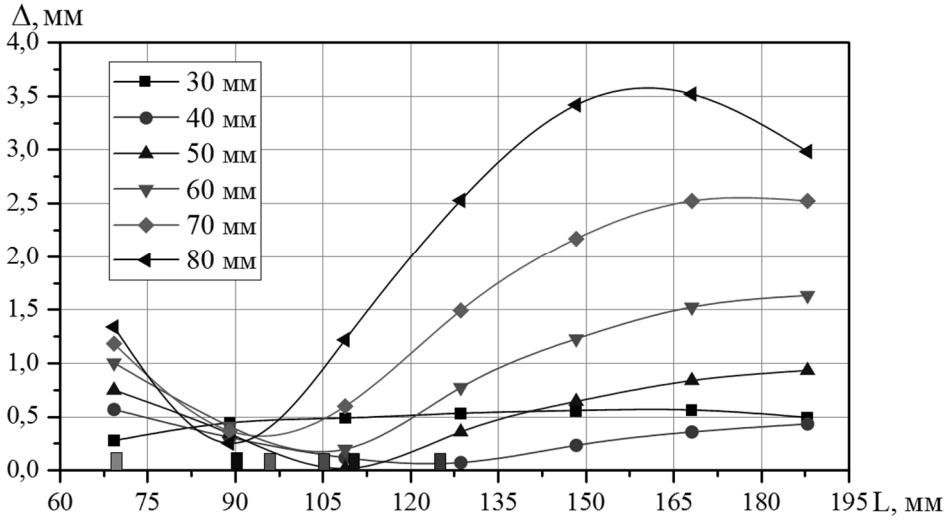


Рис. 7. Залежності зміни незбігу площини оброблюваної заготовки та осі обертання важільного механізму Δ і величини переміщення поршня L для різних розмірів ланок R

З рис. 7 видно, що під час збільшення величини ходу штоку пневмоциліндра відбувається збільшення незбігу площини симетрії заготовки та осі обертання важільного механізму. Аналіз отриманих закономірностей дозволяє виявити деякі особливості модифікацій розглянутого пристрою, а саме:

– під час розроблення модифікацій механізмів з різною довжиною ланок R необхідно враховувати зміщення площини симетрії оброблюваної заготовки, наприклад, для розміру ланки R=80 мм незбіг площини симетрії заготовки шириною 356 мм під час оброблення може становити до 3,5 мм;

– для мінімізації впливу незбігу площини симетрії заготовки необхідно проводити сортування заготовок за розміром для визначеного розміру R ланки механізму.

Результати досліджень показують, що кожній модифікації розглянутого механізму необхідна деяка гранична величина переміщення штоку пневмоциліндра для мінімізації відхилень від симетричності оброблюваної поверхні заготовки.

Так, наприклад, для R=30 мм величина ходу поршня повинна бути наближена до 69 мм, що відповідає ширині заготовки у межах 227 мм, для R=60 мм величина ходу поршня повинна бути наближена до 109 мм, що відповідає ширині заготовки у межах 289 мм, для R=80 мм величина ходу поршня повинна бути наближена до 89 мм, що відповідає ширині заготовки в межах 280 мм.

Таким чином, розглянуте моделювання роботи пристрою дозволяє в інтерактивному режимі виявляти важливі розмірні зв’язки деталей, а також проводити їх швидкий кінематичний аналіз.

Висновки і пропозиції. Блокова модель механізму дозволяє наглядно продемонструвати принцип роботи механізму, а також виявити взаємні перетинання та накладання елементів моделі, що може бути використано під час внесення конструктивних змін та доробках конструкцій виробів. Основними перевагами цього моделювання роботи механізму полягає в наочності, гнучкості та швидкодії. Створивши базу типових елементів та вузлів, виникає можливість швидкої та гнучкої перебудови й модифікації механізму, що у сучасних умовах виробництва є дуже актуальним.

Цей вид моделювання роботи механізму може бути використаний під час дослідження кінематики вузлів та механізмів із змінними розмірами ланок, а також для визначення їх впливу на вихідні показники ТС. При цьому розроблена модель може бути використана для визначення найбільш навантажених ланок механізму, а також у разі ремонту та експлуатації ТС.

Актуальними напрямками дослідження з використанням розробленої моделі є аналіз технічних показників системи під час врахування контактної взаємодії між рухомими ланками механізму, а також їх вплив на вихідні показники ТС.

Список використаних джерел

1. *Planchard C. D.* Assembly Modeling with SolidWorks / C. D. Planchard, M. P. Planchard // SDC Publications, 2012. – 528 p.

2. *Xiaobin D.* The Design on Automatic Feed Punching Mechanism on SolidWorks / D. Xiaobin, H. Wu, H. Liu // Advanced Materials Research, 2013. – Vols. 655–657. – P. 272–276.

3. *Kamil P.* Effective work in design of new product in MCAD systems / P. Kamil, A. Łukaszewicz // Machine Dynamics Research. – 2013. – Vol. 37. – No 3. – P. 45–52.

4. *Łukaszewicz A.* Modelling of solid part using multibody techniques in parametric CAD systems / A. Łukaszewicz // Solid State Phenomena. – 2009. – Vols. 147–149. – P. 924–929.

5. *Fang H.* Design and Movement Simulation to the Cam of the Testing Device for capacitor encapsulation equipment / H. Fang, G. Zhang, J. Jian // Open Journal of Modelling and Simulation. – 2014. – Vol. 2. – P. 138–143.

6. *Off-line* programming of an industrial robot for manufacturing / S. Mitsi, K. D. Bouzakis, G. Mansour, D. Sagris, G. Maliaris // Int. J. Adv. Manuf. Technol. – 2005. – Vol. 26. – P. 262–267.

УДК 621.9.02

М.И. Михайлов, канд. техн. наук
Гомельский государственный технический университет им. П. О. Сухого, г. Гомель, Беларусь

ОПТИМИЗАЦИЯ ЕМКОСТИ НАКОПИТЕЛЕЙ ИНСТРУМЕНТОВ СТАНКОВ С ЧПУ ДЛЯ ГИБКИХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ

М.І. Міхайлав, канд. техн. наук
Гомельський державний технічний університет ім. П. О. Сухого, м. Гомель, Білорусь

ОПТИМІЗАЦІЯ ЄМНОСТІ НАКОПИЧУВАЧІВ ІНСТРУМЕНТІВ ВЕРСТАТІВ З ЧПУ ДЛЯ ГНУЧКИХ ВИРОБНИЧИХ СИСТЕМ

Mikhail Mikhailov, PhD in Technical Sciences
Sukhoi State Technical University of Gomel, Gomel, Belarus

OPTIMIZATION OF MACHINE TOOLS WITH CNC STORAGE CAPACITY FOR FLEXIBLE MANUFACTURING SYSTEMS

Рассмотрена методика расчета емкости накопителей инструментов станков с ЧПУ для гибких производственных систем из условий применяемости деталей и произведена их оптимизация по критерию производительности.

Ключевые слова: *станок с числовым программным управлением, гибкая производственная система, накопитель инструментов.*

Розглянуто методику розрахунку ємності накопичувачів інструментів верстатів з ЧПУ для гнучких виробничих систем з умов застосовності деталей і проведено їх оптимізацію за критерієм продуктивності.

Ключові слова: *верстат з числовим програмним управлінням, гнучка виробнича система, накопичувач інструментів.*

The article considers an approach how to calculate the capacity of instruments store shops within tools equipped with system of numerical program control which are to be inserted to function in the environment of flexible production modules. The calculation is suggested to be done with a view of the investigating of the fields of applicability of the manufactured parts and is aimed at providing their optimum design in accordance with the productivity criterion.

Key words: *a tool equipped with system of numerical program control, a flexible production module, instruments store shop.*

Постановка проблемы. Переориентация промышленности на выпуск широкого ассортимента продукции малыми сериями (партиями), в совокупности с постоянным снижением трудовых ресурсов европейских государств, привела к изменению исполь-

зованных ранее форм организации производства и применяемому оборудованию, т. е. к переходу от автоматизированных систем на основе аналогового управления к системам с числовым программным управлением (ЧПУ) [1–12]. Достижения в области микроэлектроники способствовали быстрому развитию этого направления в станкостроении и расширении номенклатуры станков с ЧПУ. Из исследований, выполненных в ФРГ, США, Швейцарии и других странах, известно, что эффективное время обработки на традиционных металлорежущих станках и станках с ЧПУ в случае участия человека (оператора) составляет только 6...10 % годового фонда рабочего времени. Известно также, что в структуре времени обработки деталей на основе традиционных технологий доля основного времени составляет только около 30 %, а оставшаяся часть приходится на вспомогательное и подготовительно-заключительное время [1; 4 и др.]. Обобщив полученные в работах результаты, можно выделить удельные производственные и непроизводственные затраты времени (табл.).

Таблица

Удельные затраты времени при обработке на станках с ЧПУ

Виды затрат времени		**Относительные затраты времени, %**
Производственные	Смена режущих инструментов	7
	Переналадка оборудования	7
	Установка заготовок и снятие деталей	4
	Обработка	8
Непроизводственные	Выходные и праздничные дни	28
	Отсутствие рабочих второй и третьей смен	40
	Простои (плановые и внеплановые)	6

Анализ данных, приведенных в табл., позволяет сделать вывод, что основные резервы уменьшения потерь времени при обработке на станках с ЧПУ, позволяющие работать в выходные дни, а также во вторую и третью смены, заключены в повышении степени их автоматизации и оптимизации системы инструментообеспечения.

Как известно, эффективность работы автоматизированного производства зависит от организации технологического процесса, т. е. от формирования и реализации потоков деталей и инструментов, а также от степени согласованности их взаимодействия.

В свою очередь, потоки инструментов формируются в зависимости от степени интеграции оборудования и их можно разделить на: инструментообеспечение станков с ЧПУ, гибких производственных модулей (ГПМ) и гибких производственных систем (ГПС).

Анализ известных результатов исследований. Анализ применяемых СИО станков с ЧПУ позволяет выделить их составляющие, которые включают в себя: накопители инструментов, устройства транспортировки его из накопителя в рабочую зону и обратно, устройства ориентации, закрепления и контроля инструмента. Обобщив накопленный опыт по разработке и эксплуатации СИО станков с ЧПУ [1–12 и др.], их можно представить в системном виде. При этом системы инструментообеспечения станков с ЧПУ могут формироваться на основе: револьверных головок, одна из позиций которых является рабочей; инструментальных магазинов; стационарных инструментальных панелей, расположенных на рабочем столе станка, на его базовых элементах или рядом со станком. СИО ГПМ дополнительно снабжается устройствами: контроля целостности инструмента, определения его остаточного периода стойкости, автоматической подналадки станка на исходный размер инструмента, дополнительным накопителем инструмента и транспортной системой, например в виде роботов. Такая СИО значительно повышает стоимость обработки и требует ее оптимизации. Система инструментообеспечения производственных структур направлена на приспособление входящих в нее видов

технологического оборудования при условии получения требуемых качественных и количественных показателей изготавливаемых изделий. Она зависит от типа производства, используемых базовых технологических процессов, наличия соответствующей вычислительной техники, программного обеспечения и состоит в общем виде из: набора физических носителей режущего инструмента, набора управляющих программ; информационного обеспечения выбора инструмента; системы оперативного проектирования инструмента и инструментальных наладок; систем учета наличия и планирования поставок инструмента; системы транспортных инструментальных потоков, устройств настройки инструмента на размер; диагностических систем контроля состояния режущих инструментов, способных прогнозировать период его стойкости и фиксировать момент предельного износа и остаточный период стойкости, автоматизированных систем смены инструмента у оборудования, участков реставрации инструмента и др.

Для обеспечения эффективности работы таких систем используются различные виды структур СИО:

а) на основе накопителей инструментов на каждом многоцелевом станке, обеспечивая при этом автономность их работы и повышая надежность ГПС, однако растет емкость каждого накопителя и снижается эффективность использования режущего инструмента;

б) на основе накопителей средней емкости (30…60 инструментов) на каждом станке и общего инструментального склада небольшой емкости, обеспечивая повышение эффективности использования режущего инструмента, но снижая надежность работы ГПС;

в) на основе накопителей малой емкости (12…30 инструментов) на каждом станке и общего инструментального склада большой емкости, обеспечивая максимальную эффективность использования режущего инструмента и мобильность ГПС, позволяя использовать ее при производстве большой номенклатуры изделий.

Наличие автоматической подналадки инструментов, в сочетании с возможностью их накопления в инструментальном складе для группы станков, позволяет эксплуатировать комплект инструментов или его часть в группе взаимозаменяемых ГПМ, т. е. организовать межстаночный инструментообмен. Это значительно расширяет технологические возможности оборудования, повышает надежность функционирования ГПС в целом и сокращает потребное количество инструмента.

Полученные практические результаты не позволяют автоматизировать процесс проектирования систем инструментообеспечения, так как отсутствует единый алгоритм, позволяющий производить формирование инструментальной наладки при обработке группы заготовок деталей с оптимизацией их по технико-экономическим критериям.

Цель работы. Разработка алгоритма формирования инструментальной наладки при обработке группы заготовок деталей с оптимизацией их по технико-экономическим критериям.

В машиностроении значительную часть выпускаемой продукции представляет штучная продукция, поэтому в основу анализа взята штучная производительность, т. е. число изделий, изготовленных в единицу времени.

В автоматизированном оборудовании дискретного действия со вспомогательными ходами цикловая производительность $Q_{\text{ц}}$ всегда меньше технологической

$$Q_{\text{ц}} = K\eta, \tag{1}$$

где $K = \frac{1}{t_{\text{о}}}$ – технологическая производительность; $\eta = \frac{1}{Kt_{\text{в}} + 1}$ – коэффициент производительности; t_o – основное время обработки; $t_{\text{в}}$ – вспомогательное время, включающее время смены инструмента.

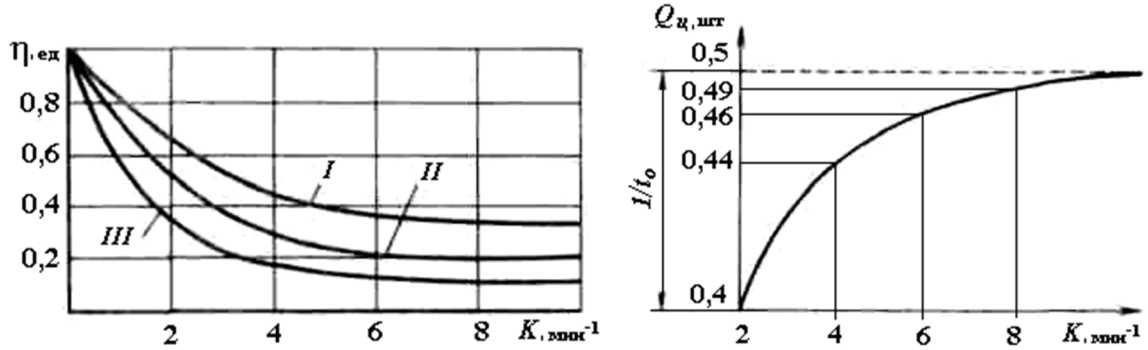
Два вида производительности – технологическая и цикловая – характеризуют автоматизированное оборудование с точки зрения как прогрессивности технологического процесса, так и конструктивного совершенства механизмов и устройств, системы управления и т. д.

Коэффициент производительности характеризует степень непрерывности протекания технологического процесса.

Для различных систем инструментообеспечения $t_в$-*var*, если принять $t_в = const$, то с увеличением K величина η уменьшается, как показано на рис. 1, *а*. Кривые I, II, III соответствуют трем значениям различным СИО, при этом $t_{в_1} > t_{в_{11}} > t_{в_{111}}$.

Цикловая производительность с постоянными значениями вспомогательного времени носит асимптотический характер (рис. 1, *б*). Если уменьшается инструментальная составляющая вспомогательного времени, то производительность $Q_ц$ стремится к технологической.

Инструментальная составляющая вспомогательного времени (см. табл.) зависит от времени смены и наладки инструмента, которые, в свою очередь, зависят от конструкции инструмента, а также от емкости и конструкции инструментального накопителя.



а *б*

Рис. 1. Графики влияния технологической производительности на коэффициент производительности (а) и цикловую производительность (б) автоматизированного оборудования

Емкость накопителя инструментов станка с ЧПУ формировалась поэтапно, с оптимизацией по критериям максимальной производительности и минимальной себестоимости обработки.

На первом этапе производится условная разбивка деталей каждой партии на технологические элементы (отверстия, канавки, выточки, фаски и т. д.), каждый из которых имеет характерные размеры (например, для отверстий – осевые и диаметральные l_i и d_i и т. д.). Затем определяется диапазон выделенных размеров по каждому элементу. Выделенные диапазоны разделяются на интервалы. Определяется общее количество элементов с выделенным интервалом во всех деталях и рассчитывается частость применяемости выделенных элементов по каждому интервалу диапазона

$$P_{ij} = \frac{A_{ij}}{\sum_{j=i}^{n} A_{ij}} 100\ \%,$$

где A_{ij} – применяемость i-го элемента с j-м интервалом; n – число интервалов.

По полученным результатам строится гистограмма применяемости по каждому из размеров выделенных элементов. По данным гистограммы выбираются элементы с на-

ибольшей применяемостью, из которых проектируется деталь-представитель и на нее составляется развернутая технология обработки. Используя технологию, определяются размеры и количество необходимого инструмента, т. е. начальная емкость инструментальной наладки.

На втором этапе учитывается реализуемый в условиях ГПС принцип групповой обработки деталей, базирующийся на применении групповых инструментальных наладок. Каждая наладка представляет собой комплект инструментов, сформированный в ГПС и позволяющий обрабатывать максимальное число деталей без переналадки станка. В практике серийного производства возникает задача формирования минимальной совокупности K групповых инструментальных наладок $M_1 \ldots, M_i \ldots, M_k$, необходимых для обработки m деталей $D = \{d_1, \ldots, d_m\}$; при этом каждая наладка позволяет обрабатывать одну группу D_i деталей: $D_1 U D_2 U \ldots D_i U \ldots U D_m = D$. Число инструментов $|M_i|$ в одной групповой наладке ограничивается конструктивными и техническими параметрами, т. е. расчетной емкостью q_t магазина станка, таким образом должно соблюдаться условие $|M_i| \le q_t$.

Эта задача решается путем сведения ее к задаче о минимальном покрытии с помощью U-графа, являющегося разновидностью арифметического графа. При этом граф строится путем последовательного наращивания его размаха $R_e\left(1, \bar{r}\right)$ с помощью задающих этот граф ресурсных матриц. Базис U-графа строится по данным анализа применяемости инструмента. Наращивание размаха $R_в$ продолжается до тех пор, пока не будут построены все возможные групповые инструментальные наладки $M_1, \ldots, M_m$, удовлетворяющие условие $|M_i| \le q_t$ и позволяющие обработать всю заданную совокупность D. При этом каждой инструментальной наладке в соответствие ставится вполне определенная совокупность деталей.

На третьем этапе решается задача о минимальном покрытии множества инструментов с целью исключения избыточной наладки. Поиск решения начинается с построения U-графа путем последовательного наращивания размаха с помощью рекуррентных матриц. Наращивание размаха продолжается до первого покрытия множества U принятыми наладками. Эти наладки образуют минимальную совокупность. По результатам решений можно определить минимальное число инструментов каждого наименования, требуемых для обработки заданной совокупности деталей, и выбрать оптимальную последовательность переналадок станков, входящих в состав ГПС. При недостаточном числе инструментов увеличивается время обработки всей совокупности (партии) деталей, а при их избыточном числе увеличиваются материальные затраты.

Необходимо выбрать оптимальную последовательность загрузки станков запланированными группами деталей, при которой суммарное время простоев станка минимально. Для ее решения строится матрица $\left\| t_{ij} \right\|$, где t_{ij} – время переналадки станка при переходе от обработки деталей групп D_i к обработке деталей группы D_j. При этом групповая наладка M_i заменяется наладкой M_j. При наличии достаточного ресурса стойкости инструменты, входящие в обе эти наладки, могут быть оставлены в магазине станка. В первом приближении время t_{ij} может быть принято равным времени, необходимому для изъятия из наладки M_i неиспользуемых далее инструментов и размещения в ней новых инструментов с целью получить окончательную наладку.

На четвертом этапе, обобщив полученные в работах [2; 8] соотношения для расчета оптимальных режимов резания по критерию производительности, производится оптимизация емкости накопителя станка с ЧПУ, используя следующее выражение:

$$Q_{ц} = (v, s_o) = R_1 \frac{R_2 - v^{\mu_1} s_o^{\mu_2}}{1/(vs_o) + R_3}, \tag{2}$$

где $R_1 = K_5 / C_T A$; $R_2 = (60 - K_2) C_T / K_5$; $R_3 = K_1 / A$.

$$K_5 \cong \{\left[1 + \lambda\left(\frac{K_4}{K_3}\frac{b}{b-1} - 1\right) - \lambda^2\left(\frac{b}{2b-1}\frac{K_4}{K_3} - \frac{1}{2}\right) + \right.$$

$$\left. + \frac{\lambda^3}{2}\left(\frac{b}{3b-1}\frac{K_4}{K_3} - \frac{1}{3}\right) - \frac{\lambda^4}{6}\left(\frac{b}{4b-1}\frac{K_4}{K_3} - \frac{1}{4}\right)\right] K_3\} \frac{\Gamma(1+1/b)}{\sqrt[b]{K_3 / b(K_4 - K_3)}}.$$

$$K_2 = (\sum_{i=1}^{r} t_{пi} + t_{пт1} + t_{пт2}) / t; \quad K_3 = t_{см1} / t; \quad K_4 = t_{см2} / t;$$

$$A = L\pi D / 1000; \quad \lambda = \left(\frac{T^*}{a}\right)^b = \frac{K_3}{b(K_4 - K_3)}; \quad T(v, s_o) = \frac{C_T}{\upsilon^{\mu_1} s_o^{\mu_2}}, \tag{3}$$

где $\sum_{i=1}^{r} t_{пi}$ – потери времени по техническим причинам за 1 ч работы (за исключением потерь времени на смену инструмента); r – число технических причин; $t_{пi}$ – потери времени на смену инструмента за 1 ч работы, мин; $t_{пт1}$ и $t_{пт2}$ – соответственно, время оперативной технической подготовки производства и время обслуживания оборудования; C_T, μ_1, μ_2 – константы; L и s_o – ход и подача инструмента; v – скорость резания, м/мин; D – диаметр обрабатываемого изделия, мм; T^* – интервал времени между плановыми заменами, мин; $t_{см1}$ и $t_{см2}$ – время, затрачиваемое, соответственно, на одну плановую и одну внеплановую замену, мин; τ – текущее время.

$$T^* = \frac{K_3}{(K_4 - K_3) p(T^*)} \left(1 - \int_0^{T^*} p(\tau) d\tau\right), \tag{4}$$

где $p(\tau)$ – плотность вероятности стойкости инструмента.

Для отказов инструментов с микровыкрашиваниями плотность вероятности стойкости согласуется с законом Вейбулла [13; 14]

$$p(\tau) = \frac{b}{a}\left(\frac{\tau}{a}\right)^{b-1} e^{-(\tau/a)^b}, \tag{5}$$

где a и b – параметры закона.

Тогда стойкость определится по выражению

$$T = \Gamma\left(1 + \frac{1}{b}\right) a,$$

где Γ – гамма-функция.

Кроме того, стойкость T является функцией параметров v, s_o режима резания (3), поэтому

$$a = \frac{T(v, s_o)}{\Gamma(1 + 1/b)}, \quad (6)$$

Подставив выражения (5) и (6) в формулу (4), получим

$$T^* = \frac{T(v, s_o)}{\Gamma(1+1/b)}\left[\frac{K_3}{b(K_4 - K_3)}\right]^{1/b}. \quad (7)$$

Известно, что для каждого процесса обработки технологическая система «станок – приспособление – инструмент – заготовка» имеет свои предельные значения v и s_o.

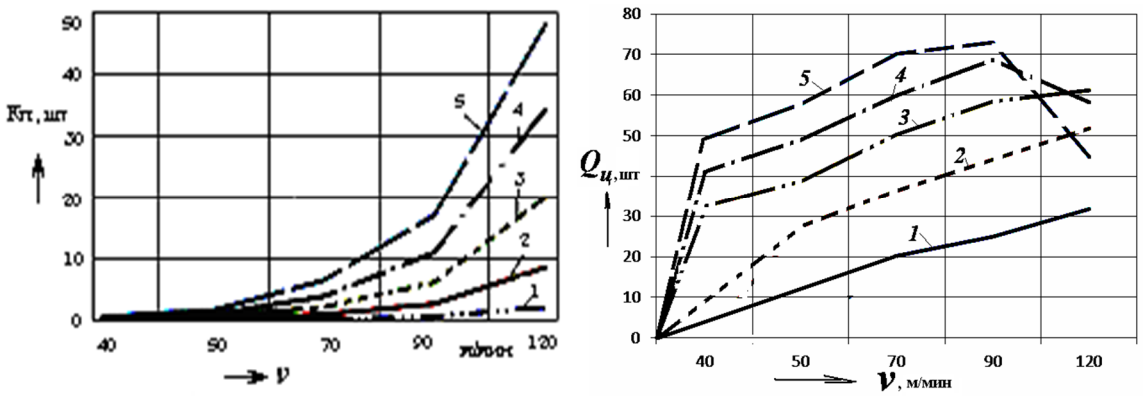
Анализ результатов по изложенному алгоритму рассмотрим на примере токарной операции.

Диапазоны изменения элементов режима резания находились в пределах: v = 40…120 м/мин и s_o = 0,1…0,5 мм/об. Значения стойкости $T(v, s_o)$ рассчитывались по выражению (3), а значения оптимальных интервалов времени плановой замены инструмента T^* и производительности $Q_ц$ – по формулам (7) и (2), для тех же сочетаний параметров режима обработки. Число резервного инструмента определим по формуле

$$K_П = \sum_{i=1}^{m} (\eta_{Пi} - 1), \quad (8)$$

где $\eta_{Пi} = \frac{T_{ai}}{T_i}$; T_{ai} – время резания i-м инструментом в автоматическом режиме; T_i – период стойкости i-го инструмента.

Результаты расчетов представлены на рис. 2, 3.

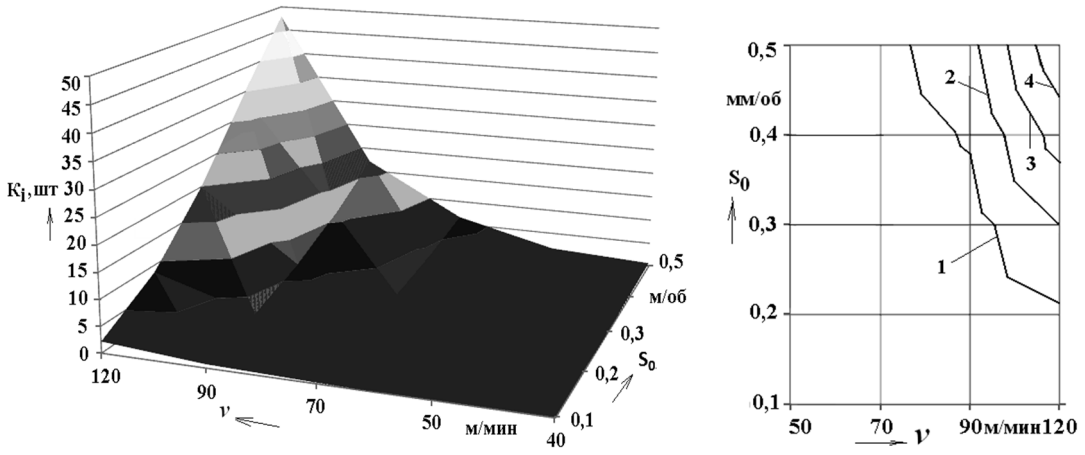


а *б*

Рис. 2. Графики влияния скорости резания на число резервных инструментов в наладке (а) и производительность (б) при различных значениях подачи: 1 – s_0 = 0,1 мм/об.; 2 – 0,2 мм/об.; 3 – 0,3 мм/об.; 4 – 0,4 мм/об.; 5 – 0,5 мм/об.

Выводы и предложения. Анализ графиков позволяет заключить, что наибольшее влияние на число резервных инструментов в наладке (8), при условии его работы до отказа, оказывает скорость резания (рис. 2, *а*).

Кроме того, число резервных инструментов в наладке при условии его плановой замены увеличивается в 2…2,17 раза, а производительность возрастает при росте скорости резания не пропорционально (рис. 2, *б*), т. е. имеется предельный максимум, который зависит от подачи и стойкости инструмента (рис. 3, *б*). Кроме того, эффективность работы СИО зависит от количества резервного инструмента (рис. 3, *а*). Повысить эффективность СИО можно путем применения автоматизированной инструментальной оснастки.



а *б*

Рис. 3. Графики влияния скорости резания и подачи на число инструментов в наладке (а), соотношение скорости резания и подачи для различной стойкости инструмента (б): 1 – T = 60 мин; 2 – 26 мин; 3 – 20 мин; 4 – 12 мин

Укомплектованный таким образом инструментальный магазин содержит инструмент, обладающий различной стойкостью T_i. Для обеспечения работоспособности ГПС в условиях «безлюдного» производства необходима синхронизация стойкости каждого из инструментов, которую можно обеспечить путем рационального выбора T_i и уточнения необходимого числа резервного инструмента в инструментальном магазине.

Список использованных источников

1. *Теоретические* основы проектирования технологических комплексов / А. М. Русецкий [и др.] ; под общ. ред. А. М. Русецкого. – Минск : Беларус. навука, 2012. – 239 с.

2. *Лищинский Л. Ю.* Структурный и параметрический синтез гибких производственных систем / Л. Ю. Лищинский. – М. : Машиностроение, 1990. – 312 с.

3. *Ящерицын П. И.* Основы проектирования технологических комплексов в машиностроении / П. И. Ящерицын, Л. М. Акулович, М. Л. Хейфиц. – Минск : Технопринт, 2006. – 248 с.

4. *Инструмент* для станков с ЧПУ, многоцелевых станков и ГПС / И. Л. Фадюшин [и др.]. – М. : Машиностроение, 1990. – 272 с.

5. *Каштальян И. А.* Повышение эффективности использования станков с ЧПУ в условиях нестационарного резания / И. А. Каштальян. – Минск : БНТУ, 2008. – 311 с.

6. *Попок Н. Н.* Анализ тенденций проектирования инструментальных систем / Н. Н. Попок // Вестн. ПГУ. – 2012. – № 3. – С. 71–81.

7. *Monitorowanie* ostrza skrawajajcego. Metody konwencjonalne i sieci neuronowe / Z. Adamczyk [and other] ; unter a rel. J. Kosmola. – Warszawa : WNT, 1996. – 244 s.

8. *Byrne G.* Tool Condition Monitoring (NCM) – The status of research and Industrial Application / G. Byrne // CIRP Annals. – 1995. – Vol. 44. – № 2. – P. 541–568.

9. *Хартли Дж.* ГПС в действии : пер. с англ. / Дж. Хартли. – М. : Машиностроение, 1987. – 328 с.

10. *Kosmol J.* Automatyzacja obrabiarek i obrobki skrawaniem. Wyd. 2. – Warszawa : WNT, 2000. – 444 s.

11. *Козловский В. А.* Эффективность переналаживаемых роботизированных производств / В. А. Козловский. – Л. : Машиностроение, 1985. – 224 с.

12. *Эстерзон М. А.* Технология обработки на станках с ЧПУ / М. А. Эстерзон, Т. М. Нахова // Стружка. – 2006. – № 3. – С. 12–16.

13. *Шведенко В. Н.* Теоретический расчет закона распределения стойкости резцов при точении / В. Н. Шведенко // Вестн. машиностроения. – 1989. – № 10. – С. 49–51.

14. *Михайлов М. И.* Сборный металлорежущий механизированный инструмент: Ресурсосберегающие модели и конструкции / М. И. Михайлов ; под ред. Ю. М. Плескачевского. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2008. – 339 с.

УДК 621.81

С.Г. Онищук, канд. техн. наук
В.И. Тулупов, канд. техн. наук
С.Л. Миранцов, канд. техн. наук
Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск, Украина

НОВЫЕ ПОДХОДЫ В КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКЕ ПРОИЗВОДСТВА ИЗДЕЛИЙ С УЧЕТОМ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА

С.Г. Онищук, канд. техн. наук
В.І. Тулупов, канд. техн. наук
С.Л. Міранцов, канд. техн. наук
Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ, Україна

НОВІ ПІДХОДИ В КОНСТРУКТОРСЬКО-ТЕХНОЛОГІЧНІЙ ПІДГОТОВЦІ ВИРОБНИЦТВА ВИРОБІВ З УРАХУВАННЯМ ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ

Sergey Onishchuk, PhD in Technical Sciences
Vladimir Tulupov, PhD in Technical Sciences
Sergey Mirantsov, PhD in Technical Sciences
Donbass State Engineering Academy, Kramatorsk, Ukraine

NEW APPROACHES IN THE DESIGN AND TECHNOLOGICAL PREPARATION OF PRODUCTS MANUFACTURE, CONSIDERING THE LIFE CYCLE

Рассмотрены вопросы повышения долговечности деталей машин с учетом жизненного цикла изделия. Применение методов комбинированной обработки позволяет сформировать свойства поверхности детали, которые влияют на интенсивность износа, усталостную прочность в условиях циклических напряжений, прочность прессовых соединений, коррозионную стойкость. Выбор операции технологического процесса представлен в виде логических функций. При этом приоритетным является минимальная трудоемкость и себестоимость. Проектирование маршрутного технологического процесса с применением ориентированных графов позволяет снизить трудоемкость и себестоимость выпускаемой продукции машиностроительного производства.

Ключевые слова: *жизненный цикл изделия, маршрутный технологический процесс, комбинированная обработка, ориентированный граф.*

Розглянуто питання підвищення довговічності деталей машин з урахуванням життєвого циклу виробу. Застосування методів комбінованого оброблення дозволяє сформувати властивості поверхні деталі, що впливають на інтенсивність зношення, стомлену міцність в умовах циклічних напружень, міцність пресових з'єднань, корозійну стійкість. Вибір операції технологічного процесу представлений у вигляді логічних функцій. При цьому пріоритетним є мінімальна трудомісткість і собівартість. Проектування маршрутного технологічного процесу з використанням орієнтованих графів дозволяє зменшити трудомісткість та собівартість продукції машинобудівного виробництва, що випускається.

Ключові слова: *життєвий цикл виробу, маршрутний технологічний процес, комбіноване оброблення, орієнтований граф.*

This article discusses the improved durability of machine parts based on the life cycle of a product. The use of combined processing techniques allows forming the surface properties of the items which influence the rate of wear, fatigue strength under cyclic stress, the strength of pressing compounds corrosion resistance. Operation selection process is represented as a logical functions. In this case, the priority is the minimum complexity and cost of goods sold. Designing route process using directed graphs to reduce the complexity and production costs of engineering production.

Key words: *product lifecycle, trip workflow, combined treatment, a directed graph.*

Постановка проблемы. Основной проблемой, стоящей сейчас перед производителями, является повышение конкурентоспособности выпускаемых изделий, добиться которой можно за счет следующих факторов: повышения степени удовлетворения требований заказчика, сокращения сроков создания изделия и снижения материальных затрат на его изготовление и эксплуатацию. При этом главным направлением в конкурентной борьбе становится не только снижение себестоимости продукции, а в большей степени повышение качества продукции и максимальное ее соответствие конкретным требованиям конкретного потребителя.

Анализ последних исследований и публикаций. При классическом подходе к созданию изделия большая доля себестоимости изделия приходится на этапы конструк-

торской и технологической подготовки его производства [1]. Следовательно, переход предприятия на работу по системе заказов возможен только при условии, что это соотношение кардинально изменится, и себестоимость единичного изделия будет мало отличаться от себестоимости изделия, созданного в условиях массового производства [2].

Выделение не решенных ранее частей общей проблемы. При снижении количества производимых изделий в себестоимости каждого изделия возрастет та часть, которая приходится на этапы его разработки. Избежать этого можно путем уменьшения затрат на разработку изделия за счет усовершенствования программного обеспечения, используемого при разработке изделий. Естественно, что для разработки более эффективного программного обеспечения потребуются дополнительные временные и материальные затраты. Задача состоит в том, чтобы найти оптимальное соотношение между затратами на разработку программного обеспечения и на разработку самого изделия, которое обеспечит минимум суммарных затрат.

Цель статьи. Главной целью работы является разработка новых подходов в проектирования изделий машиностроения с учетом жизненного цикла.

Изложение основного материала. В соответствии со стандартом ISO 9004-1 жизненный цикл изделия – это совокупность процессов, выполняемых от момента выявления потребности общества в определенной продукции до момента удовлетворения этих потребностей и утилизации продукции. К таким процессам относятся: предпроектные исследования, разработка технического задания, проектирование и конструирование, технологическая подготовка производства, изготовление и испытание опытных образцов, производство изделий, поставка потребителям, эксплуатация, вывод из эксплуатации [2].

Начиная с момента проектирования изделия, в него закладывается его стоимость и ресурс его работы, применяя при этом: научный потенциал, инженерные кадры, методы проектирования (в том числе функционально-стоимостной анализ), программные продукты, производственные площади и т. д.

Необходимость экономии материальных ресурсов предъявляет высокие требования к рациональному выбору заготовок, к уровню их технологичности, в значительной мере определяющей затраты на технологическую подготовку производства, себестоимость, надёжность и долговечность изделий.

Факторы, влияющие на себестоимость производства в машиностроении, делятся на три группы [2]:

1-я группа – конструктивные факторы, т. е. конструктивное решение самой детали, обеспечивающее приемлемость её для изготовления обработкой давлением, литьем, сваркой; выбор марки материала и технологических условий;

2-я группа – производственные факторы, т. е. характер и культура производства, технологическая оснащенность, организационные и технологические уровни производства;

3-я группа – технологические факторы, характеризующие способ формообразования заготовок, выбор самой заготовки, оборудования и технологического процесса получения детали.

Технологический процесс изготовления деталей и узлов машин состоит из строго определённой совокупности технологических операций, выполненных в заданной последовательности. Операции направлены: на формообразование поверхностей деталей; их взаимное расположение; достижение заданных размеров и получение заданных физико-механических свойств поверхностного слоя, что обеспечивает установленный ресурс работы деталей и машины в целом. Выполнение операций технологического процесса возможно при использовании различных методов, способов и средств. Рациональный выбор этих методов и средств определяет затраты на производство изделий и ресурс их работы. Проектирование ресурсосберегающего технологического процесса состоит в оптимиза-

ции операций по минимуму потребления материальных, трудовых, энергетических ресурсов, учитывая при этом технологическую наследственность.

Для повышения ресурса эксплуатации машины, т. е. увеличения жизненного цикла изделия, в машиностроительной отрасли существует большое разнообразие методов повышения долговечности деталей машин. На предприятиях машиностроения все шире применяются комбинированные методы электрофизической, электрохимической и ионно-лучевой обработки, СВС-технологии, в основу которых положено использование высокопроизводительных инструментов, а также разнообразных источников высококонцентрированной энергии. В процессе такой обработки поверхностный слой детали поглощает в короткое время значительное количество энергии. Образующиеся в нем неравновесные диссипативные структуры аккумулируют избыток энергии и самопроизвольно стремятся к состоянию с наименьшей свободной энергией. В поверхностном слое происходят необратимые процессы наследственности и самоорганизации, которые путем наложения и совместных действий потоков энергии ведут к образованию комплекса структур с определенными свойствами [3; 4; 5].

Качество поверхностного слоя определяется следующей группой наиболее распространенных в машиностроении геометрических и физико-механических показателей: параметрами субмикронеровности; шероховатости и волнистости; отклонениями формы и расположения; глубиной наклепа поверхностного слоя; величиной остаточных подповерхностных напряжений; специальными физическими (величина контактной разности потенциалов) и оптическими параметрами; наличием или отсутствием локальных дефектов (царапин, наколов, раковин, трещин и включений и т. п.); присутствием оксидных и других химических пленок; наличием следов масел и загрязнений [4].

Параметры шероховатости оказывают существенное влияние на работоспособность детали в зависимости от условий, в которых она эксплуатируется. Данные факторы влияют на интенсивность износа, усталостную прочность в условиях циклических напряжений, прочность прессовых соединений, коррозионную стойкость. Формирование шероховатости поверхности лезвийной обработкой является сложным процессом, который зависит от многих параметров: скорости резания, радиуса при вершине и геометрических параметров режущего инструмента, величины скорости подачи, глубины резания, твердости обрабатываемого материала, величины износа инструмента, наличия СОТС в зоне резания, состояния поверхности заготовки, вибраций технологической системы и др.

Формирование маршрутного технологического процесса предполагает, что для получения детали с конкретными размерами, шероховатостью поверхности, физико-механическими свойствами, в маршрут будут включаться из множества $\{От_i\}$ только определенные операции с применением определенных условий (логической функции) $\{A_k\}$. Для операции k логическая функция выбора конкретной операции O_k имеет вид $O_k \in \{A_k\}$.

Логическая функция, определяющая выбор операции из технологического маршрута, имеет вид:

$$\Phi = \underset{k=1}{\overset{m}{OR}}\left[\underset{j=1}{\overset{n}{OR}}\left(\underset{k=1}{\overset{n_1}{AND}} Y_i \right)_j \right]_k .$$

Первая логическая функция OR_k определяет выбор вида операции, вторая функция OR_j – тип признака, а третья AND_i – уровень признака; Y_i – уровни признаков; m, n, n_1 – число условий соответствующего типа.

Формирование маршрутного технологического процесса изготовления колеса зубчатого может быть представлено в виде обобщенного маршрута (рис. 1). При формировании графа используются условия: А – тип производства; Б – наличие или отсутствие

отверстия в заготовке; В – необходимость или отсутствие необходимости термообработки детали.

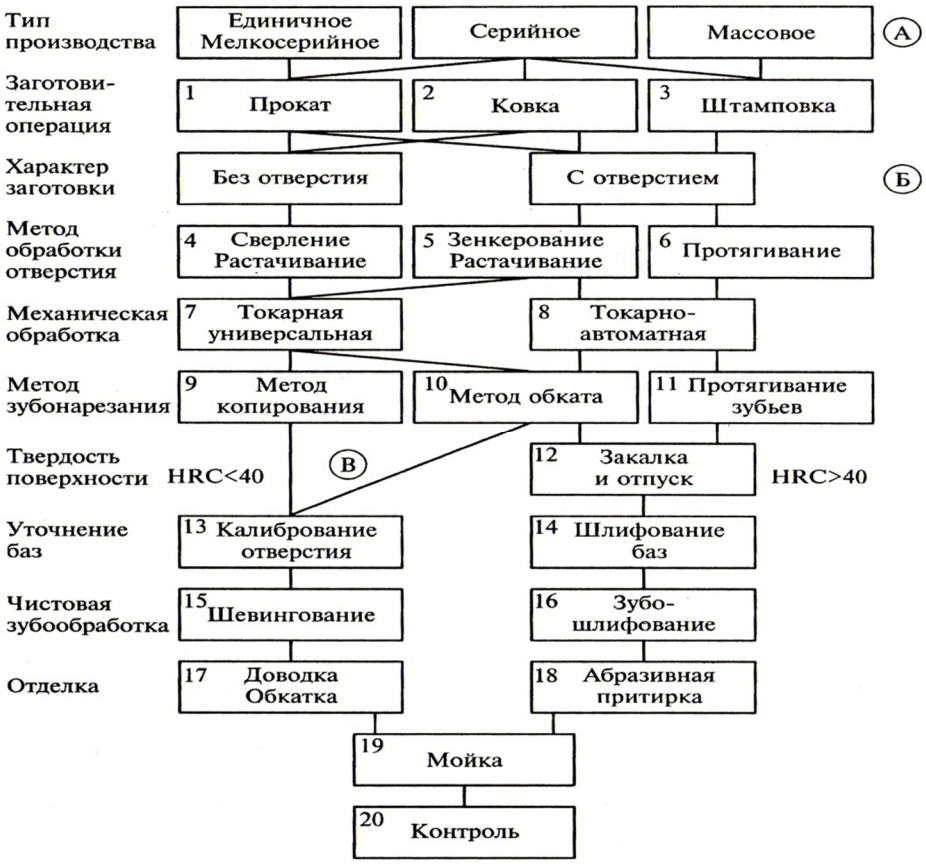


Рис. 1. Обобщенный маршрут изготовления зубчатого колеса

В зависимости от условий, влияющих на формирование маршрута обработки детали, можно получить несколько вариантов технологических маршрутов обработки.

Ориентированный граф обобщенного маршрута обработки зубчатого колеса представлен на рис. 2.

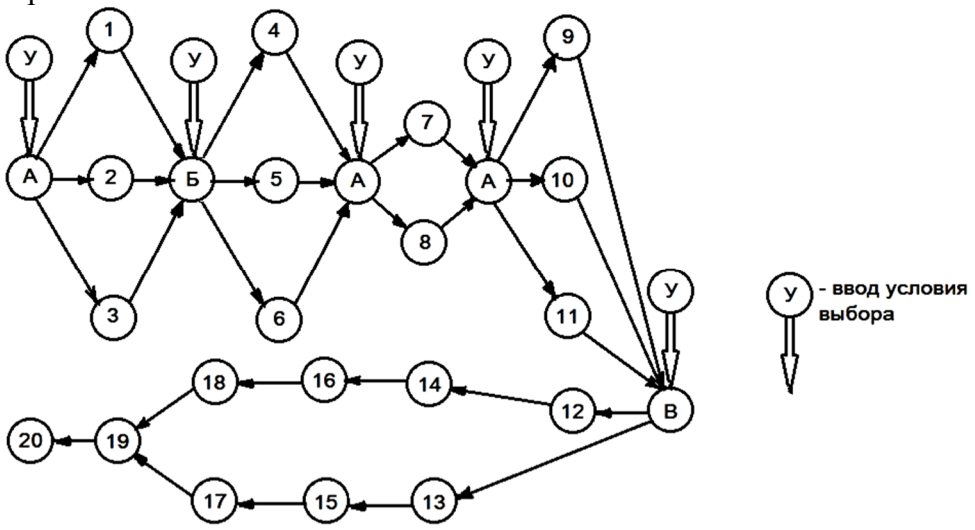


Рис. 2. Ориентированный граф обобщенного маршрута обработки зубчатого колеса

Рациональный выбор маршрута обработки детали с применением ориентированных графов позволит снизить трудоемкость и себестоимость выпускаемой продукции машиностроительного производства.

Выводы и рекомендации. Проектирование изделий машиностроения с учетом жизненного цикла позволяет существенно повысить надежность эксплуатации изделия, в частности одно из свойств надежности – долговечность. Этого можно достичь использованием на этапе технологической подготовки производства, изготовления и испытания изделий комбинированных методов обработки. Рациональный выбор маршрута обработки детали с применением ориентированных графов позволит снизить трудоемкость и себестоимость выпускаемой продукции машиностроительного производства.

Список использованных источников

1. *Информационная* поддержка жизненного цикла изделий машиностроения: принципы, системы и технологии CALS/ИПИ : учеб. пособие / А. Н. Ковшов, Ю. Ф. Назаров, И. М. Ибрагимов, А. Д. Никифоров. – М. : Академия, 2007. – 304 с.

2. *Скворцов А. В.* Основы технологии автоматизированных машиностроительных производств / А. В. Скворцов, А. Г. Схиртладзе. – М. : Высш. шк., 2010. – 589 с.

3. *Эдигаров В. Р.* Классификация комбинированных методов обработки на основе электромеханического упрочнения / В. Р. Эдигаров, И. Ю. Килунин, В. В. Дегтярь // Современные наукоемкие технологии. – 2012. – № 3. – С. 32–35.

4. *Направленное* формирование свойств изделий машиностроения / под ред. А. И. Кондакова. – М. : Машиностроение, 2005. – 352 с.

5. *Формирование* регулярной дискретной структуры при чистовом точении с импульсным током / С. В. Ковалевский, В. И. Тулупов, А. А. Попивненко, Ю. Б. Борисенко // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем : збірник наукових праць. – Краматорськ : ДДМА, 2007. – Вип. 21. – С. 233–237.

УДК 621.941-229.3:621.822.172

С.П. Сапон, канд. техн. наук
Чернігівський національний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ ТОЧНОСТІ ОБРОБЛЕННЯ НА ТОКАРНОМУ ВЕРСТАТІ ЗІ ШПИНДЕЛЕМ НА ГІДРОСТАТИЧНИХ ОПОРАХ

С.П. Сапон, канд. техн. наук
Черниговский национальный технологический университет, г. Чернигов, Украина

ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ОБРАБОТКИ НА ТОКАРНОМ СТАНКЕ СО ШПИНДЕЛЕМ НА ГИДРОСТАТИЧЕСКИХ ОПОРАХ

Serhii Sapon, PhD in Technical Sciences
Chernihiv National University of Technology, Chernihiv, Ukraine

THE RESEARCH OF A MACHINING ACCURACY ON TURNING LATHE WITH SPINDLE ON HYDROSTATIC BEARINGS

Основним вихідним параметром якості верстата є точність, яка визначається кількома групами показників, одним з яких є точність оброблення зразків-виробів. У роботі досліджено закономірності формування точності оброблення на прецизійному токарному верстаті за показником точності форми зовнішньої циліндричної поверхні зразків-виробів. Отримано аналітичну залежність відхилення від круглості поверхні зразків-виробів при токарному обробленні від тиску мастила в гідростатичній опорі шпинделя, режимів різання за наявності статичного дисбалансу обертових елементів шпиндельного вузла. Адекватність встановленої аналітичної залежності підтверджена серією повторних експериментів. Здійснено аналіз встановлених закономірностей впливу експлуатаційних параметрів гідростатичної опори шпинделя та технологічних навантажень на формування точності верстата за показником точності форми зразків-виробів.

Ключові слова: *шпиндель, гідростатична опора, точність, відхилення від круглості, зразок-виріб.*

Основным исходным параметром качества станка является точность, которая определяется несколькими группами показателей, одним из которых является точность обработки образцов-изделий. В работе исследованы закономерности формирования точности обработки на прецизионном токарном станке по показателю точности формы внешней цилиндрической поверхности образцов-изделий. Получена аналитическая зависимость отклонения от круглости поверхности образцов-изделий при токарной обработке от давления масла в гидростатической опоре шпинделя, режимов резания при наличии статического дисбаланса вращающихся элементов шпиндельного узла. Адекватность

выявленной аналитической зависимости подтверждена серией повторных экспериментов. Проведен анализ установленных закономерностей влияния эксплуатационных параметров гидростатической опоры шпинделя и технологических нагрузок на формирование точности станка по показателю точности формы образцов-изделий.

Ключевые слова: *шпиндель, гидростатическая опора, точность, отклонение от круглости, образец-изделие.*

The main output parameter of the quality machine tools is accuracy which is determined by several groups of indicators, one of which is the accuracy of the sample processing-products. In present paper were investigated the laws of formation machining accuracy on a precision lathe in terms of accuracy form the outer cylindrical surface of the sample-products. The analytical dependence of deviation from roundness samples surface-products for lathe machining from the oil pressure in the hydrostatic bearing, spindle cutting conditions at presence static unbalance of rotating elements of the spindle knot was obtained. The adequacy of the identified analytical laws is confirmed by a series of repeated experiments. The analysis established laws of influence of operational parameters of the hydrostatic bearing spindle and technological pressures on the formation of machine accuracy in terms of precision form of sample-products was performed.

Key words: *spindle, hydrostatic bearing, accuracy, deviation from roundness, sample-product.*

Постановка проблеми. Одним з найважливіших завдань сучасного машинобудування є забезпечення точності, надійності, продуктивності та економічності металообробного обладнання та процесів оброблення, що реалізуються на ньому. Основним вихідним параметром якості верстата, як елемента технологічної системи, є точність, яка визначається трьома групами показників [10]: показники геометричної точності, показники точності оброблення зразків-виробів, додаткові показники. Шпиндельний вузол (ШВ) є одним з найбільш відповідальних формоутворюючих вузлів, параметри якого суттєво впливають на вихідні показники точності верстата. Значною мірою вихідні показники точності ШВ залежать від типу шпиндельних опор. Як шпиндельні опори верстатів для прецизійного і високошвидкісного оброблення, а також у важких і унікальних верстатах широко використовуються гідростатичні підшипники (ГСП), особливою відмінністю яких є можливість керування вихідними параметрами опор: жорсткістю, демпфуванням, точністю. Встановлення закономірностей формування показників точності ШВ є актуальним науковим завданням, вирішення якого дозволить підвищити якість верстатів та розширити їх технологічні можливості.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідженню впливу конструктивних та експлуатаційних параметрів ШВ на гідростатичних опорах (ГСО) на точність оброблення присвячені роботи багатьох учених. Вплив регулювання зазором у ГСО на показники точності оброблених деталей досліджено в монографії [13]. У роботі О.Ф. Гордєєва [1] відображено вплив зазору в ГСО на відхилення від круглості оброблених зразків. У монографії [4] встановлено, що під час оброблення на токарному верстаті з ГСО шпинделя з підвищенням частоти обертання внаслідок зростання гідродинамічної піднімальної сили знижується похибка форми оброблюваних заготовок. Проте не зазначено, який характер матиме ця залежність під час оброблення заготовок з конструктивно обумовленою неврівноваженістю. Дослідження робочих процесів, що виникають під час обертання неврівноваженого шпинделя на ГСО, виконані в роботах Є.Ю. Сахна. Зокрема, в роботі [6] наведено математичну модель формування поверхні неврівноваженої деталі, а в роботах [7; 12] досліджено вплив технологічного дисбалансу на шорсткість та відхилення від круглості поверхні деталі. Показано, що з підвищенням частоти обертання шпинделя параметри шорсткості та некруглості обробленої поверхні деталі з дисбалансом зростають, причому зростання некруглості відбувається більш інтенсивно, що пояснюється збільшенням амплітуди радіальних коливань неврівноваженої заготовки внаслідок збільшення відцентрових сил при підвищенні кутової швидкості обертання шпинделя.

Невирішені частини проблеми. Слід відзначити, що наявні на сьогодні дослідження характеризуються встановленням впливу окремих експлуатаційних, конструктивних параметрів шпиндельних ГСО, технологічних навантажень на точність оброблення. Проте в реальних умовах експлуатації на металорізальний верстат у цілому і ШВ зокрема названі фактори діють одночасно, зумовлюючи відхилення показників точності. Тому об’єктивно оцінити вихідні показники точності шпиндельного вузла можна, лише

врахувавши весь комплекс факторів, які одночасно діють на шпиндельний вузол. У наявних літературних джерелах не виявлено вплив тиску в карманах ГСО на точність оброблення, лише констатується необхідність забезпечення максимального тиску в карманах для підвищення несучої здатності та жорсткості опор. Тому дослідження, спрямовані на виявлення закономірностей формування показників точності ШВ з одночасним урахуванням експлуатаційних параметрів шпиндельних ГСО та технологічних навантажень, є актуальним науковим завданням.

Метою роботи є встановлення закономірності формування геометричної точності токарного верстата з ГСО шпинделя за показником точності геометричної форми зразків-виробів залежно від тиску мастила в карманах ГСО шпинделя, режимів різання, статичного дисбалансу обертових елементів ШВ.

Виклад основного матеріалу. Встановлення закономірностей формування точності верстата за показником точності форми зразків-виробів залежно від експлуатаційних параметрів ГСО шпинделя та технологічних навантажень здійснювалось за планом багатофакторного експерименту. Параметром оптимізації є відхилення від круглості оброблених поверхонь зразків-виробів, як один із стандартизованих показників точності верстата [9], а факторами, що впливають на параметр оптимізації, є: режими різання (подача S, частота обертання шпинделя n, глибина різання t), стичний дисбаланс D_{cm} та тиск p у карманах ГСО шпинделя. Дослідження проводились з використанням інформаційно-вимірювального комплексу засобів експериментальних досліджень, детально описаного у роботі [5], за методикою, структура якої показана на рис. 1.

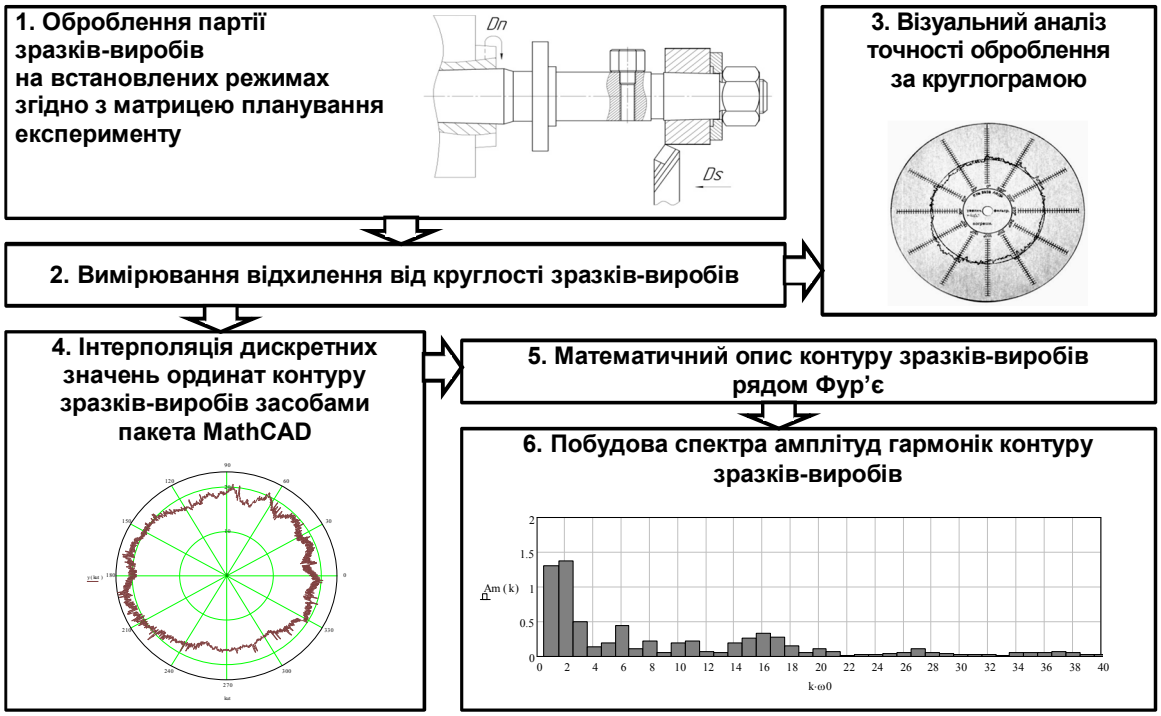
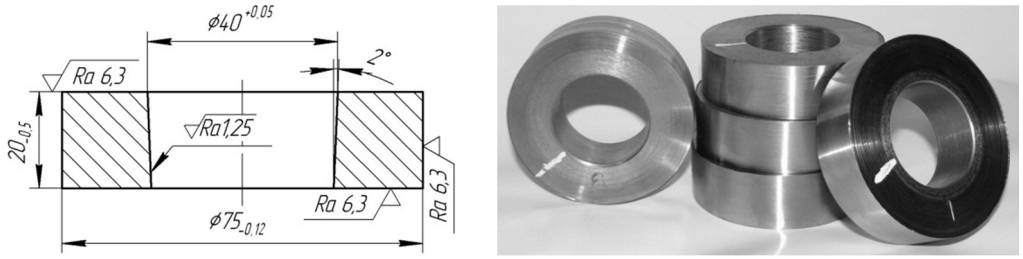


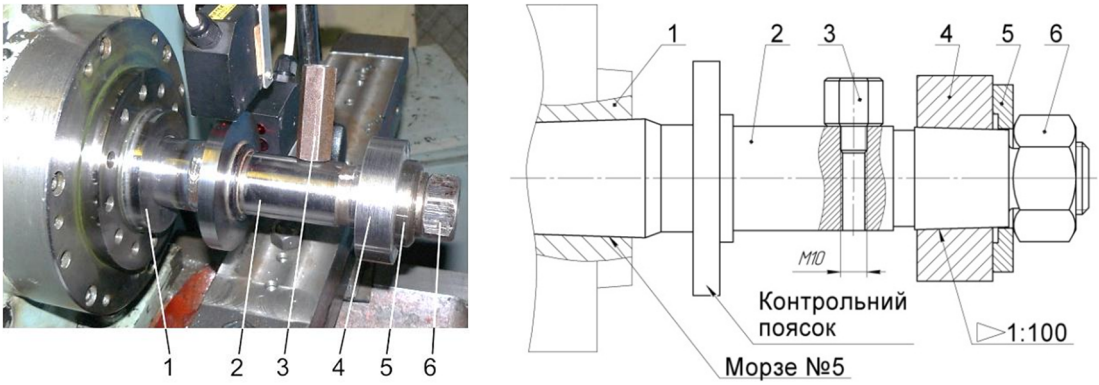
Рис. 1. Структура методики дослідження точності шпиндельного вузла за показником точності форми зразків-виробів

Оброблення партії зразків-виробів (рис. 2), виготовлених зі сталі 45 ГОСТ 1050-88 в однакових умовах відповідно до вимог стандарту [8], без термообробки, здійснювалась на прецизійному токарному верстаті УТ16А відповідно до рекомендацій стандарту [11]. Заготовки закріплювались на конічній поверхні прецизійної оправки (рис. 3). Оброблення здійснювали токарним прохідним прямим різцем з пластиною з твердого сплаву Т15К6, з кутами $\varphi = \varphi_1 = 45°$; $\alpha = 8°$; $\gamma = 10°$.



а *б*

Рис. 2. Ескіз (а) та загальний вигляд (б) дослідних зразків-виробів

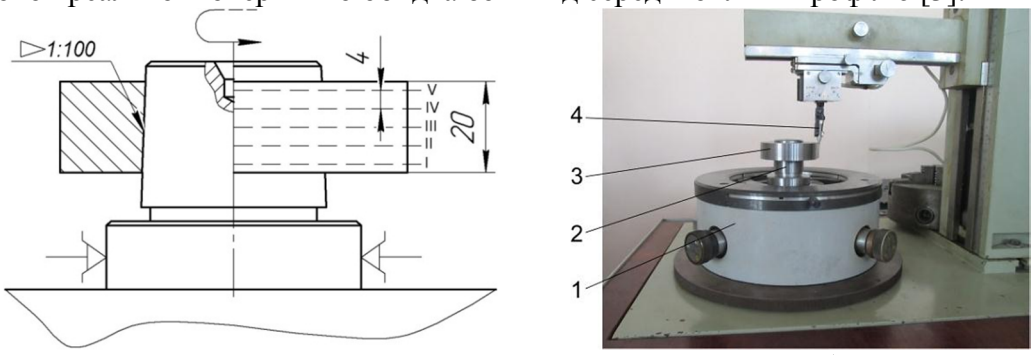


а *б*

Рис. 3. До опису конструкції та схеми закріплення прецизійної оправки:
1 – шпиндель; 2 – прецизійна оправка; 3 – змінний вантаж; 4 – зразок-виріб; 5 – шайба; 6 – гайка

Вимірювання відхилення від круглості партії оброблених зразків-виробів здійснювалось на вимірювальному комплексі на базі кругломіра моделі 298. Зразки-вироби *3* (рис. 4) встановлювали на конічну оправку *2*, закріплену на столі *1* кругломіра. Проводилося попереднє налагодження приладу в ручному режимі, для чого здійснювалися почергово процедури нівелювання та центрування досліджуваного зразка-виробу *3* у двох перпендикулярних площинах з контролем відхилень за шкалами приладу *4*. Після цього відбувалося вимірювання відхилень від круглості зовнішньої циліндричної поверхні у п’яти поперечних перерізах по довжині зразка-виробу (рис. 4, *а*). Одночасно здійснювався запис круглограм у масштабі 1000:1 та відхилень радіальної координати контуру поперечного перерізу зразка в кодах АЦП для наступного цифрового оброблення.

Відхилення від круглості визначали як суму абсолютних значень найбільших відхилень точок реальної поверхні по обидва боки від середньої лінії профілю [3].



а *б*

Рис. 4. Схема розташування поперечних перерізів по довжині зразка-виробу (а) та встановлення зразка-виробу (б) при вимірюванні відхилень від круглості на кругломірі моделі 298:
1 – стіл кругломіра; 2 – оправка; 3 – зразок-виріб; 4 – щуп

Статистичне оброблення результатів вимірювання здійснювалося за методикою [2]. Зазвичай, експеримент реалізований для виявлення оптимальних умов протікання процесу можна адекватно описати поліномом 2-го порядку, для чого незалежні фактори у

матриці планування повинні варіюватися мінімум на трьох рівнях [14]. За умови реалізації для обраного набору факторів трьохрівневого повного факторного експерименту типу 3^k необхідно виконати 243 експерименти, що є доволі трудомісткою задачею. Скоротити кількість експериментів можна, застосувавши композиційне ортогональне планування 2-го порядку. Загальна кількість експериментів у матриці композиційного планування 2-го порядку для п'яти факторів становить N=27 [14]. На додачу при композиційному плануванні проводяться експерименти в «зіркових точках», що дає змогу розширити інтервал варіювання факторів.

Інтервали варіювання, рівні та натуральні значення факторів наведено у табл. 1.

Таблиця 1

Рівні та інтервали варіювання факторів

Інтервал варіювання і рівні факторів	**Натуральні значення факторів**				
	n, хв$^{-1}$	**S, мм/об**	**t, мм**	**$D_{ст}$,10^{-6} кг·м**	**p, МПа**
Інтервал варіювання	900	0,072	0,4	2150	1,0
Верхня «зіркова точка» (+1,414)	2770	0,23	1,4	7385	4,4
Верхній рівень (+1)	2400	0,2	1,2	6524	4,0
Нульовий рівень (0)	1500	0,128	0,8	4360	3,0
Нижній рівень (-1)	600	0,056	0,4	2219	2,0
Нижня «зіркова точка» (-1,414)	230	0,026	0,2	1303	1,6

У загальному випадку під час планування експерименту методом ортогонального планування 2-го порядку при варіюванні n-факторами математична модель має вигляд [14]:

$$y(x_1, x_2, ..., x_n) = b_0' + \sum_{i=1}^{n} b_i x_i + \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^{n} b_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^{n} b_{ii} x_i^2, \quad (1)$$

де b_o, b_i, b_{ij}, b_{ii} – коефіцієнти рівняння регресії.

Коефіцієнти рівняння регресії при ортогональному плануванні 2-го порядку визначають за формулами [14]:

$$b_0' = \frac{1}{N} \sum_{g=1}^{N} \bar{y}_g - \sum_{g=1}^{N} b_{ig} \frac{x_{ig}^2}{N}, \quad (2)$$

$$b_i = \frac{\sum_{g=1}^{N} x_{ig} \bar{y}_g}{\sum_{g=1}^{N} x_{ig}^2}, \quad b_{ij} = \frac{\sum_{g=1}^{N} x_{ig} \cdot x_{jg} \cdot \bar{y}_g}{\sum_{g=1}^{N} \left(x_{ig} \cdot x_{jg}\right)^2}, \quad b_{ii} = \frac{\sum_{g=1}^{N} x_{ig}^2 \cdot \bar{y}_g}{\sum_{g=1}^{N} x_{ig}^2} \quad i,j = 1,2,\ldots, n, \quad (3)$$

де g та N – номер та кількість серій експериментів відповідно;

i та n – порядковий номер та кількість факторів відповідно, i = 1,2,…,n;

$\bar{y}_g$ – математичне сподівання результатів g-тої серії експериментів.

Статистичний аналіз результатів експерименту здійснювався за типовою методикою [14] і складається з таких етапів:

- оцінювання дисперсії відтворюваності експерименту;
- оцінювання значущості коефіцієнтів рівняння регресії;
- оцінювання адекватності моделі.

Оцінювання дисперсії відтворюваності експерименту здійснювали за критерієм Кохрена, в результаті встановлено, що $G_{табл}$ =0,138 > 0,075=$G_{розр}$, тобто відтворюваність результатів експерименту визнається.

Оцінювання значущості коефіцієнтів рівняння регресії здійснювали за *t* – критерієм Стьюдента. Коефіцієнти рівняння регресії, які визнано незначними, в рівнянні регресії

прирівняні до нуля. Після переведення кодованих значень факторів у натуральні та здійснення серії алгебраїчних перетворень отримали математичну модель, що визначає залежність відхилення від круглості оброблених зразків-виробів від режимів різання, тиску в ГСО шпинделя та статичного дисбалансу під час токарного оброблення:

$$\Delta_{кр} = 22{,}56 + 2{,}12\cdot10^{-6}\cdot n^2 + 1{,}51p^2 - 3{,}04\cdot t + \\ +2{,}51\cdot S - 1{,}175\cdot10^{-4}\cdot D_{ст} - 7{,}62\cdot p - 4{,}95\cdot10^{-3}\cdot n + \\ +4{,}46\cdot10^{-3}D_{ст}\cdot S - 7{,}76\cdot S\cdot p + 19{,}72\cdot S\cdot t + 1{,}067\cdot p\cdot t. \quad (4)$$

Перевірка за критерієм Фішера підтвердила адекватність отриманої математичної моделі: з довірчою ймовірністю 0,95 розраховане значення критерію Фішера $F_{розр.}$=1,221 не перевищує табличного $F_{табл.}$=1,763.

З рівняння (4) за допомогою присвоєння певним складовим фіксованих значень, що відповідають нульовому рівню варіювання факторів (табл. 1), отримано залежності (рис. 5) відхилення від круглості зразків-виробів зі сталі 45, оброблених на токарному верстаті зі шпинделем на ГСО.

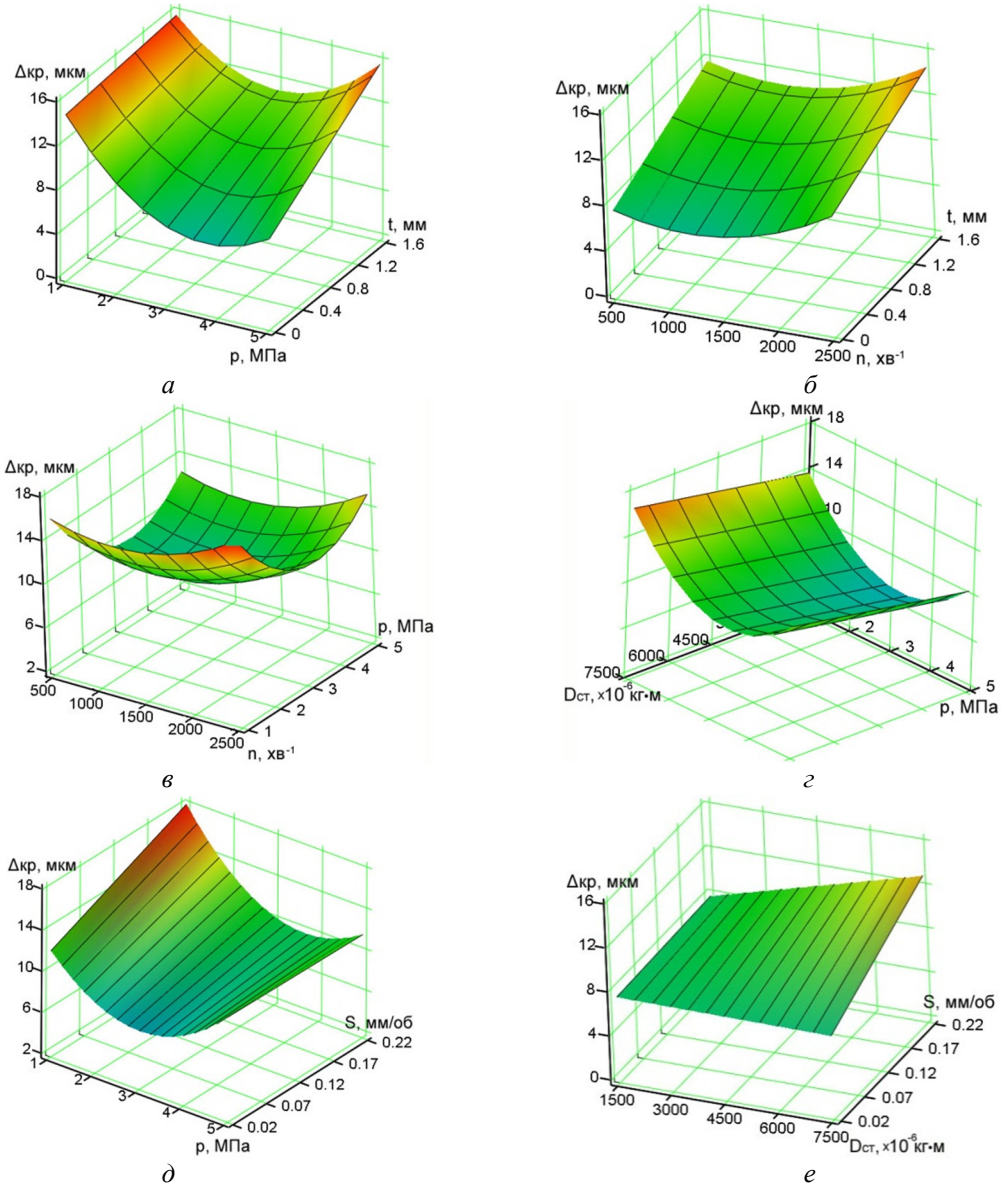


Рис. 5. Залежності відхилення від круглості поверхонь зразків-виробів від тиску в ГСО шпинделя, режимів різання та статичного дисбалансу

Аналізуючи наведені на рис. 5 графіки, можна зробити такі висновки: зі збільшенням глибини різання в усіх випадках спостерігається зростання відхилення від круглості оброблених поверхонь зразків-виробів. Це зумовлено головним чином зростанням зусилля різання, від якого прямо пропорційно залежать пружні деформації елементів технологічної обробляючої системи та віброактивність шпиндельного вузла.

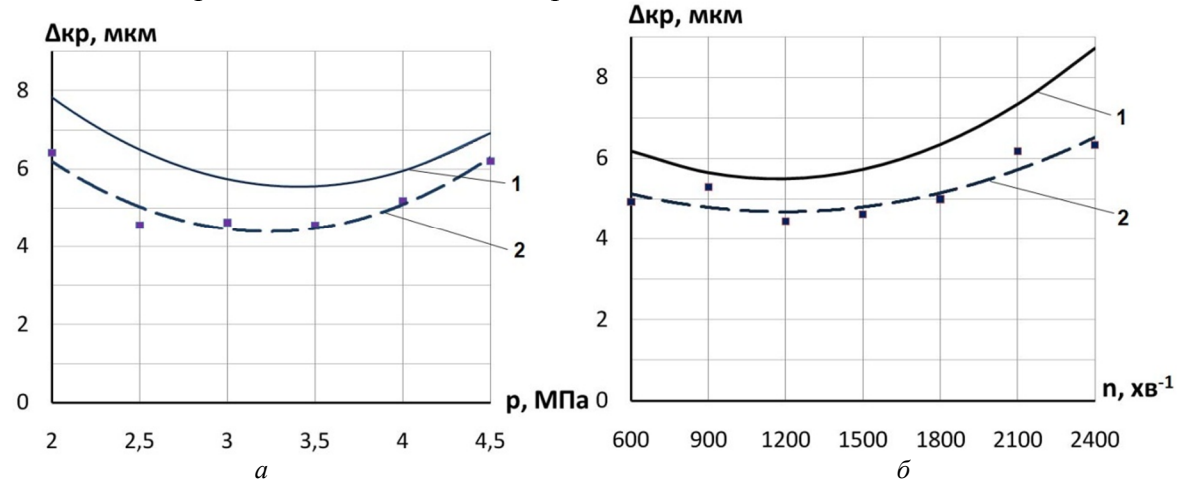
Залежність відхилення від круглості від тиску в карманах ГСО та частоти обертання шпинделя має екстремальний характер. При підвищенні частоти обертання шпинделя в діапазоні 500–1200 $хв^{-1}$ спостерігається зниження на 10 % некруглості оброблених поверхонь зразків-виробів, що пояснюється зниженням величини сили різання при збільшенні швидкості різання V. При подальшому підвищенні частоти обертання шпинделя до 2500 $хв^{-1}$ некруглість зразків-виробів на 45–80 % зростає порівняно з мінімальним значенням, що пояснюється зростанням впливу відцентрової сили інерції, зумовленої наявністю статичного дисбалансу на фоні подальшого зменшення величини складових сили різання. Ця сила пропорційна квадрату кутової швидкості ω обертання шпинделя, що обумовлює відповідне збільшення ексцентриситету обертання шпинделя та віброактивності ШВ.

При підвищенні тиску мастила в карманах ГСО шпинделя в діапазоні від 1,5 до 3–3,5 МПа спостерігається зниження в 1,2–1,5 рази відхилення від круглості оброблених зразків-виробів, подальше збільшення тиску до 4,5–5 МПа приводить до зростання на 20–30 % некруглості оброблених зразків-виробів. Зростання відхилення від круглості при малих значеннях тиску в карманах ГСО обумовлено недостатньою жорсткістю, а при збільшенні тиску – навпаки, надмірною жорсткістю та зниженням демпфуючих властивостей мастильного шару. Зі зменшенням глибини різання оптимальна величина тиску в карманах ГСО, за якої досягається найменше значення відхилення від круглості оброблених зразків, зростає (рис. 5, *а*). Зі зростанням тиску в карманах ГСО вплив подачі на відхилення від круглості зменшується і при величині тиску 4,5–5 МПа на відхилення від круглості подача на оберт майже не впливає (рис. 5, *д*). При сталій частоті обертання шпинделя та мінімальних величинах глибини різання і подачі на оберт, що відповідають чистому обробленню, збільшення статичного дисбалансу на відхилення від круглості оброблених зразків-виробів практично не впливає (рис. 5, *е*).

З метою експериментальної оцінки адекватності отриманої аналітичної залежності відхилення від круглості поверхонь зразків-виробів від тиску в ГСО шпинделя, режимів різання та статичного дисбалансу здійснено серію повторних експериментів. Метою цієї серії експериментів було експериментальне підтвердження, передусім, впливу тиску в карманах ГСО та частоти обертання шпинделя на відхилення від круглості зовнішньої циліндричної поверхні зразків-виробів під час токарного оброблення.

Під час проведення серії експериментів з метою детального дослідження впливу тиску в карманах ГСО на відхилення від круглості зразків-виробів тиск у карманах ГСО варіювався в межах від 2 до 4,5 МПа з інтервалом 0,5 МПа. Оброблення зразків-виробів Ø72 мм (див. рис. 2) зі сталі 45 ГОСТ 1050-88 здійснювали токарним прохідним прямим різцем з пластиною з твердого сплаву Т15К6, з кутами $\varphi = \varphi_1 = 45°$; $\alpha = 8°$; $\gamma = 10°$ при постійних режимах різання ($n=1500$ $хв^{-1}$, $t=0{,}6$ мм, $S_0=0{,}115$ мм/об), статичному дисбалансі $D_{ст}=4360\cdot10^{-6}$ кг·м, температурі мастила $T=25\pm2$ ^{0}С. Дослідження впливу частоти обертання шпинделя на відхилення від круглості зразків-виробів здійснювалось у діапазоні частот $n=600–2400$ $хв^{-1}$ з інтервалом 300$хв^{-1}$, при постійному тиску мастила в карманах ГСО $p_к=3$ МПа. Глибина різання і подача, статичний дисбаланс та температура мастила були аналогічні експерименту з варіюванням тиску в карманах ГСО. У кожній серії повторних експериментів при однакових, фіксованих значеннях тиску та частоти обертання шпинделя здійснювалось оброблення трьох зразків-виробів.

За результатами експериментальних досліджень встановлено залежності (рис. 6), якісне порівняння яких із залежностями, отриманими методом ортогонального планування 2-го порядку (рис. 5), свідчить про їх схожість. Розбіжність між теоретичними та експериментальними даними відхилення від круглості зразків-виробів під час регулювання тиску в карманах ГСО та частоти обертання шпинделя коливається в межах від 4,3 до 25,7 % при відносній похибці вимірювання в межах 13,1 %.



а *б*

Рис. 6. Вплив тиску в карманах ГСО шпинделя (а) та частоти обертання шпинделя (б) на відхилення від круглості зразків-виробів: 1 – залежності, отримані за математичною моделлю; 2 – експериментальні залежності

З метою кількісного оцінювання взаємозв'язку між отриманими залежностями обчислили коефіцієнт парної кореляції [2] між масивами значень відхилень від круглості, отриманих за аналітичною залежністю та експериментальним шляхом:

$$r_{\Delta_{кр1},\Delta_{кр2}} = \frac{\sum_{i=1}^{N}(\Delta_{кр1_i} - \overline{\Delta_{кр1}})(\Delta_{кр2_i} - \overline{\Delta_{кр2}})}{N \cdot S_{\Delta_{кр1}} S_{\Delta_{кр2}}}, \quad (5)$$

де $\Delta_{кр1i}$, $\Delta_{кр2i}$ – порівнювані значення відхилення від круглості;

$\overline{\Delta_{кр1}}$, $\overline{\Delta_{кр2}}$, $S_{\Delta_{кр1}}$, $S_{\Delta_{кр2}}$ – відповідно математичні сподівання та СКВ значень відхилення від круглості у порівнюваних масивах;

N – кількість пар порівнюваних значень відхилення від круглості.

Достовірність коефіцієнта парної кореляції оцінювали за допомогою порівняння з величиною основної похибки Δ_r, яка визначається за формулою [2]:

$$\Delta_r = \pm \frac{1 - r^2_{\Delta_{кр1},\Delta_{кр2}}}{\sqrt{N}}. \quad (6)$$

Забезпечення вимоги $\frac{r_{\Delta_{кр1},\Delta_{кр2}}}{\Delta_r} > 4$ підтверджує достовірність визначення коефіцієнта парної кореляції [2].

Порівнювані масиви значень відхилень від круглості зразків-виробів, результати обчислення коефіцієнта парної кореляції та оцінювання його достовірності наведено в табл. 2.

Числові значення коефіцієнтів парної кореляції та їх достовірність кількісно свідчать про достатньо високий кореляційний зв'язок між експериментальними та аналітичними залежностями відхилення від круглості зразків-виробів від тиску мастила в карманах ГСО та частоти обертання шпинделя. Це підтверджує адекватність встановленої

аналітичної залежності (4) та можливість її використовувати під час розроблення практичних рекомендацій з вибору раціональних режимів різання та експлуатаційних параметрів ГСО шпинделя під час токарного оброблення.

Таблиця 2

До визначення кореляційного зв'язку експериментальних залежностей відхилення від круглості зразків-виробів

n=var			**p=var**		
Частота обертання, n, хв$^{-1}$	**Відхилення від круглості**		**Тиск у ГСО, $p_к$, МПа**	**Відхилення від круглості**	
	Мат. модель $\Delta_{кр1}$, мкм	**Експеримент $\Delta_{кр2}$, мкм**		**Мат. модель $\Delta_{кр1}$, мкм**	**Експеримент $\Delta_{кр2}$, мкм**
600	6,09	4,94	2,00	7,39	6,42
900	5,54	5,30	2,50	6,06	4,56
1200	5,38	4,46	3,00	5,30	4,63
1500	5,60	4,63	3,50	5,12	4,56
1800	6,19	5,00	4,00	5,51	5,18
2100	7,17	6,18	4,50	6,48	6,20
2400	8,54	6,34			
Коефіцієнт кореляції $r^n_{\Delta_{кр1},\Delta_{кр2}} = 0{,}895$			Коефіцієнт кореляції $r^p_{\Delta_{кр1},\Delta_{кр2}} = 0{,}857$		
Похибка коефіцієнта кореляції		Δ_r=0,075	Похибка коефіцієнта кореляції		Δ_r=0,108
$\frac{r^n_{\Delta_{кр1},\Delta_{кр2}}}{\Delta_r} = \frac{0{,}895}{0{,}075} = 11{,}89 > 4$			$\frac{r^p_{\Delta_{кр1},\Delta_{кр2}}}{\Delta_r} = \frac{0{,}857}{0{,}108} = 7{,}95 > 4$		
Достовірність підтверджується			Достовірність підтверджується		

Висновки. Вперше отримано аналітичну залежність відхилення від круглості поверхонь зразків-виробів під час токарного оброблення, яка дозволила встановити закономірності формування точності ШВ токарного верстата з ГСО шпинделя за показником точності форми зразків-виробів у поперечному перетині залежно від тиску мастила в карманах ГСО шпинделя, режимів різання за наявності статичного дисбалансу обертових елементів ШВ. Адекватність встановленої аналітичної залежності підтверджено експериментальним шляхом, що свідчить про можливість її використання під час розроблення практичних рекомендацій з вибору раціональних режимів різання та експлуатаційних параметрів ГСО шпинделя під час токарного оброблення.

Перспективним напрямком подальших досліджень є спектральний аналіз контуру оброблених поверхонь партій зразків-виробів та статистичне оброблення отриманих спектрів з метою виявлення закономірностей формування статистичних характеристик амплітуд суттєвих гармонік контуру зразків-виробів, оброблених при різних величинах експлуатаційних параметрів ГСО та технологічних навантажень.

Список використаних джерел

1. *Гордеев А. Ф.* Гидростатические шпиндельные подшипники / А. Ф. Гордеев, Ю. Н. Соколов // Станки и инструмент. – 1966. – № 7. – С. 14–17.

2. *Колкер Я. Д.* Математический анализ точности механической обработки деталей / Я. Д. Колкер. – К. : Техника, 1976. – 200 с.

3. *Основні* норми взаємозамінності. Допуски форми та розташування поверхонь. Терміни та визначення : ДСТУ 2498-94. – Чинний від 1995–07–01. – К. : Держстандарт України, 1994. – 112 с.

4. *Пуш А. В.* Шпиндельные узлы: качество и надежность / А. В. Пуш. – М. : Машиностроение, 1992. – 228 с.

5. *Сапон С. П.* Методика експериментального визначення точності обертання шпинделя / С. П. Сапон // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. Серія «Технічні науки». – 2013. – № 1(63). – С. 66–74.

6. *Сахно Е. Ю.* Механическая обработка неуравновешенных деталей инструментом с пластинками из СТМ / Е. Ю. Сахно, Д. Ю. Федориненко // Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні. – 2001. – № 2. – С. 78–81.

7. *Сахно Є. Ю.* Механічна обробка незрівноважених деталей на токарному верстаті з гідростатичними опорами / Є. Ю. Сахно, В. С. Волик // Вісник двигунобудування. – 2006. – № 2. – С. 129–133.

8. *Станки* металлорежущие. Образцы-изделия для проверки точности обработки. Общие технические требования : ГОСТ 25443-82. – Введ. 1982–09–09. – М. : Издательство стандартов, 1983. – 5 с.

9. *Станки* металлорежущие. Общие требования к испытаниям на точность : ГОСТ 8-82. – Введ. 1983–07–01. – М. : Издательство стандартов, 1983. – 11 с.

10. *Станки* металлорежущие. Схемы и способы измерений геометрических параметров: ГОСТ 22267-76. – Введ. 1988–01–01. – М. : Издательство стандартов, 1988. – 141 с.

11. *Станки* токарно-винторезные и токарные. Основные размеры. Нормы точности : ГОСТ 18097-93. – Введ. 1996–07–01. – М. : Издательство стандартов, 2005. – 24 с.

12. *Струтинський В. Б.* Автоматичне центрування неврівноважених роторів технологічних систем : монографія / В. Б. Струтинський, Є. Ю. Сахно. – Чернігів : ЧДІЕУ, 2004. – 198 с.

13. *Струтинський В. Б.* Статистична динаміка шпиндельних вузлів на гідростатичних опорах : монографія / В. Б. Струтинський, Д. Ю. Федориненко. – Ніжин : Аспект-Поліграф, 2011. – 464 с.

14. *Тихомиров В. Б.* Планирование и анализ эксперимента / В. Б. Тихомиров. – М. : Лёгкая индустрия, 1974. – 262 с.

УДК 621.914.3

О.О. Степаненко, канд. техн. наук
М.Ю. Манжола, аспірант
Ю.М. Кузнєцов, д-р техн. наук
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ КОМПОНУВАНЬ НАСТІЛЬНИХ ФРЕЗЕРНИХ ВЕРСТАТІВ З ЧПК НА ЯКІСТЬ ОБРОБЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ

А.А. Степаненко, канд. техн. наук
М.Ю. Манжола, аспирант
Ю.Н. Кузнецов, д-р техн. наук
Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», г. Киев, Украина

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОМПОНОВОК НАСТОЛЬНЫХ ФРЕЗЕРНЫХ СТАНКОВ С ЧПУ НА КАЧЕСТВО ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ

Oleksandr Stepanenko, PhD in Technical Sciences
Maryna Manzhola, PhD student
Yurii Kuznetsov, Doctor of Technical Sciences
National Technical University of Ukraine “Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine

RESEARCH OF THE EFFECT OF CONFIGURATIONS OF DESKTOP CNC MILLING MACHINES ON THE QUALITY OF PROCESSING PARTS

Робота пов’язана з порівнянням оцінювання якості оброблення на верстатах різних компонувань. Для цього здійснено вимірювання серії зразків. У результаті цифрового оброблення даних аналого-цифрового перетворювача (АЦП) кругломіра та профілометра отримано круглограми та профілограми виміряних деталей. Проведено порівняння результатів вимірювань та визначено максимальну величину амплітуди мікронерівностей профілю кожної деталі. Під час порівняння трьох компонувань верстатів було підраховано середньоарифметичну величину амплітуди мікронерівностей для кожної групи деталей (за матеріалом і формою поверхні). Отримані результати досліджень дають уявлення про вплив компонування верстата на якість оброблення деталей і дозволяють зробити раціональний вибір компонувальних особливостей верстата на етапі виготовлення дослідного зразка.

Ключові слова: *якість оброблення деталей, компонування верстата, механізми паралельної структури, каркасна несуча система.*

Работа связана с сравнением оценки качества обработки на станках различных компоновок. Для этого осуществлены измерения серии образцов. В результате цифровой обработки данных аналого-цифрового преобразователя

(АЦП) кругломера и профилометра получен ряд круглограм и профилограмм измеренных деталей. Проведено сравнение результатов измерений и определена максимальная величина амплитуды микронеровностей профиля каждой детали. При сравнении трех компоновок станков была высчитана среднеарифметическая величина амплитуды микронеровностей для каждой группы деталей (по материалу и форме поверхности). Полученные результаты исследований дают представление о влиянии компоновки станка на качество обработки деталей и позволяют сделать рациональный выбор компоновочных особенностей станка на этапе изготовления опытного образца.

Ключевые слова: *качество обработки деталей, компоновка станка, механизмы параллельной структуры, каркасная несущая система.*

Work involves comparing the quality assessment machining different layouts. For this series of measurements carried out the samples. As a result, digital data processing analog-to-digital converter (ADC) of profilometer and kruglomir received a kruglograms and profilograms details measurement. A comparison of the results of measurements and determine the maximum amplitude of surface roughness of each detail. When comparing the three layouts of machines arithmetic mean was calculated for each asperities amplitude component group (on the material and shape of the surface). The obtained results give an idea of the impact on the quality of the layout of the machine parts processing and allow us to make a rational choice of layout features of the machine during manufacture of the prototype.

Key words: *quality of machining, machine layout, the mechanisms of parallel structure, frame support system.*

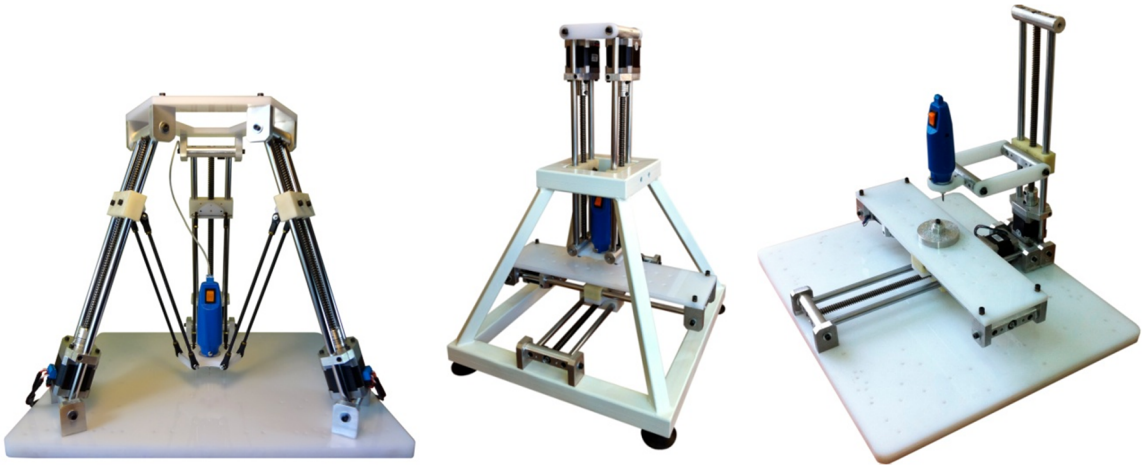
Постановка проблеми. Під час проектування верстата основними вимогами є швидкість і якість оброблення деталей. На якість оброблення суттєво впливає компонування і конструктивна реалізація верстата. Тому перед початком виготовлення промислового зразка верстата доцільно проводити випробування та порівняння дослідних зразків (макетів). Це дає уявлення про вплив багатьох факторів на якість оброблення деталей і в тому числі допомагає виявити раціональні геометричні параметри компонування верстата, що є особливо важливим під час створення верстатів нового покоління на основі каркасних несучих систем і механізмів паралельної структури (МПС) [1]. Практика використання просторових механізмів на основі каркасних несучих систем у конструкціях металорізальних верстатів є відносно новим явищем, через що подібні конструкції не є достатньо вивченими і потребують проведення теоретичних та експериментальних досліджень. Враховуючи те, що застосування комп'ютерного моделювання стосовно подібних механізмів не завжди дає об'єктивні результати у зв'язку зі складністю конструкцій і алгоритмів керування МПС, тому проведення досліджень якості оброблення деталей на дослідних зразках є достатньо важливим етапом створення верстатів нового покоління.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У межах наукової школи професора Ю.М. Кузнєцова останніми роками активно проводяться дослідження, спрямовані на вивчення можливості використання симетричних каркасних конструкцій як несучих систем верстатів, зокрема з МПС [1]. Такі дослідження мають на меті підвищення техніко-економічних показників сучасних металообробних верстатів завдяки зменшенню металоємності і збільшенню жорсткості верстата за рахунок використання каркасних несучих систем, а також підвищення швидкостей і прискорень руху виконавчого органу (ВО) за рахунок використання МПС.

Невирішені частини проблеми. Наявні теоретичні підходи не дозволяють адекватно, в умовах максимально наближених до реальних умов експлуатації, визначити вплив несучої системи й компонування верстата у цілому на якість оброблення деталей. Тому, як варіант вирішення цього завдання, запропоновано здійснювати оцінювання впливу компонування верстата на якість оброблення деталей за допомогою малогабаритних (настільних) верстатів, у конструкції яких закладені запропоновані підходи.

Метою дослідження є виявлення впливу компонування верстата на якість оброблення. Для цього було проведено порівняння трьох конструкцій верстатів: пірамідального тригранного компонування з МПС (рис. 1, *а*), пірамідального чотиригранного компонування без МПС (рис. 1, *б*) і традиційного консольного компонування (рис. 1, *в*).

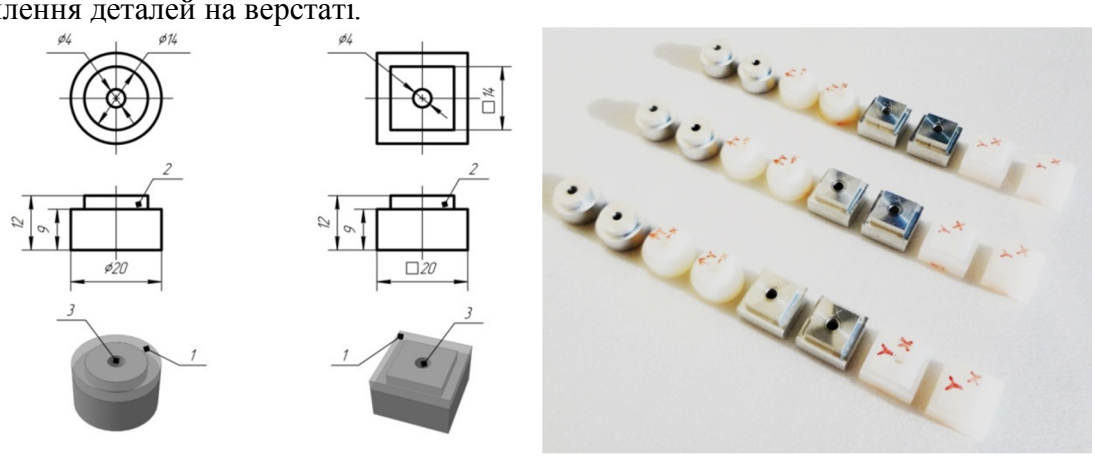
Виклад основного матеріалу. Для порівняльного оцінювання якості оброблення на верстатах різних компонувань здійснено вимірювання серії зразків деталей з геометричною формою двох типів: циліндричною та квадратною. Досліджені зразки були виготовлені з двох різних матеріалів: алюмінієвого сплаву марки АМг2 та капролону марки А.



а *б* *в*

Рис. 1. Компонування верстатів, на яких було здійснено оброблення деталей: а – тригранне пірамідальне компонування з МПС [2]; б – чотиригранне пірамідальне компонування без МПС [3]; в – традиційне – консольне компонування верстата

На рис. 2, *а* зображені креслення виготовлених зразків деталей, де *1* – шар металу, який видалявся під час оброблення на досліджуваних верстатах, *2* – поверхня деталі, за якою здійснювалося оцінювання якості завдяки вимірюванню. Отвір 3 призначений для закріплення деталей на верстаті.



а *б*

Рис. 2. Зразки деталей, що оброблялися: а – креслення; б – оброблені зразки

Оброблення дослідних поверхонь деталей відбувалася за такими режимами різання: подача – 30 мм/хв, заглиблення – 0,1 мм/прохід, швидкість обертання шпинделя – 10000 хв$^{-1}$. Різальний інструмент – кінцева двопера фреза діаметром 3 мм, матеріал інструменту – Р6М5. Режими оброблення та інструмент на всіх верстатах були однакові.

Процес оброблення в усіх трьох випадках здійснювався в однакових умовах без використання змащувально-охолоджуючих засобів. Готові оброблені зразки дослідних деталей зображені на рис. 2. Деталі пронумеровані згідно з почерговістю вимірювання.

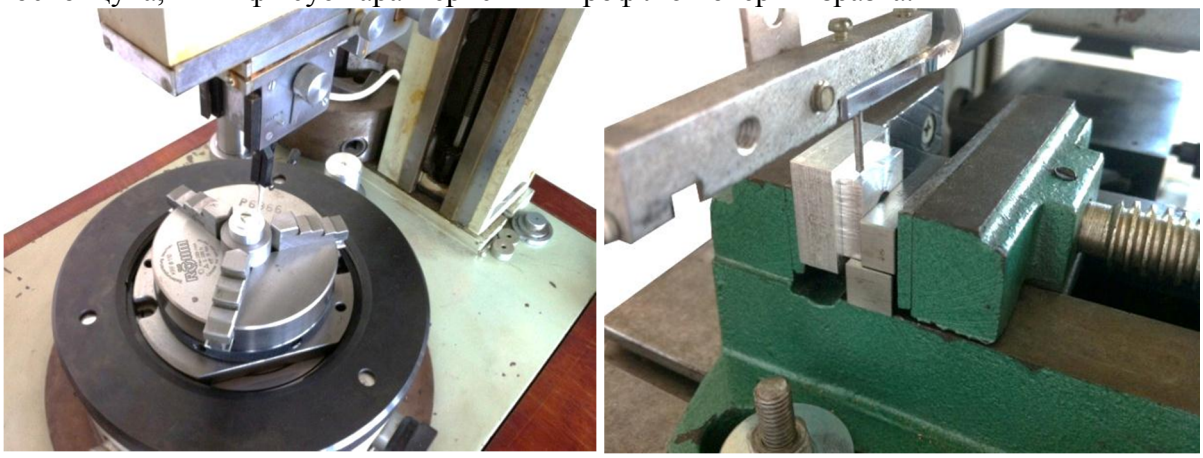
Оцінювання якості зразків деталей здійснювалося за показниками відхилення від заданої форми поверхні. Серію круглих зразків було поміряно на предмет відхилення від круглості, серія квадратних зразків вимірювалася на предмет відхилення від прямолінійності поверхні.

Для вимірювання зазначених показників було використано кругломір моделі 298 та профілометр моделі 296 [4].

Принцип процесу вимірювання зразків на кругломірі зазначеної моделі (рис. 3, *а*) полягає в тому, що дослідна деталь закріплюється на рухомій платформі, що прецизійно

обертається навколо своєї осі відносно нерухомого щупа, який фіксує профіль поверхні деталі.

Принцип процесу вимірювання зразків на профілометрі (рис. 3, *б*) полягає в тому, що деталь встановлюється на рухому платформу, яка прецизійно лінійно рухається відносно щупа, який фіксує характеристики профілю поверхні зразка.



а *б*

Рис. 3. Процес вимірювання оброблених деталей: а – на кругломірі; б – на профілометрі

Процес вимірювання зразків на кругломірі мод. 298 виконувався в такій послідовності: контроль параметрів вимірювальної деталі (габаритних розмірів); підготовка приладу до вимірювань, яка включає проведення калібрування приладу, центрування деталі, нівелювання осі деталі до осі шпинделя приладу; проведення вимірювань; оброблення результатів вимірювань.

Калібрування приладу відбувалось із застосуванням спеціальних установочних мір, які дозволяють встановити прецизійний шпиндель приладу з мінімальним відхиленням відносно його осі, а також отримати масштабні коефіцієнти. Далі проводилось настроювання із встановленим зразком деталі, а саме: центрування та нівелювання осі опорної поверхні деталі з метою суміщення осей опорної поверхні деталі і шпинделя приладу. Вимірювання зразків круглої форми відбувалося у два проходи на відстані 1 мм один від одного.

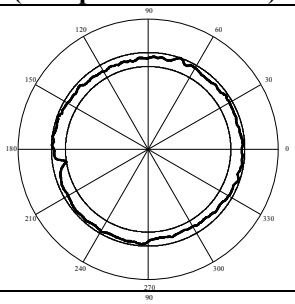
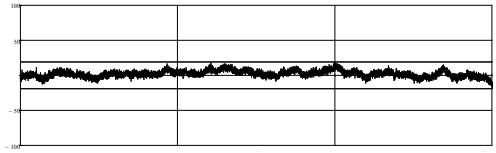
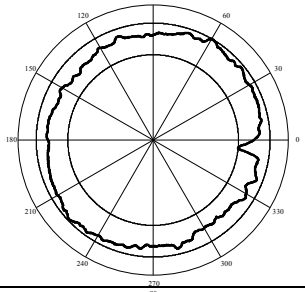
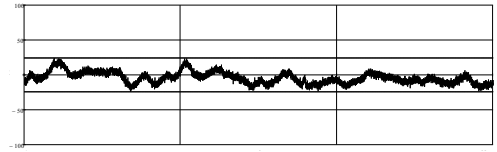
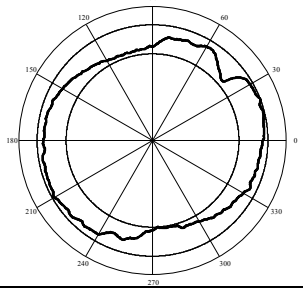
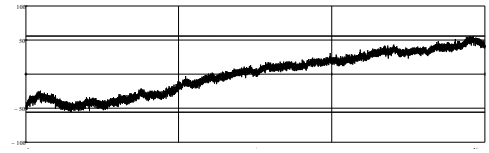
Процес вимірювання профілю на профілометрі мод. 296 проводився в декілька етапів. Спочатку було проведене тарування величини вертикальних та горизонтальних переміщень алмазної головки, тобто визначення масштабних коефіцієнтів за осями. Тарування вертикальних переміщень проводилось на всьому вимірюваному діапазоні за набором плоско-паралельних кінцевих мір довжини. Тарування горизонтальних переміщень проводилось на всій вимірюваній довжині переміщення датчика за допомогою еталонної міри шорсткості з регулярним мікропрофілем. Після цього проводилось вимірювання профілю, результати якого, за допомогою масштабних коефіцієнтів, були приведені до метричної системи координат деталі [4].

У результаті цифрового оброблення даних АЦП кругломіра та профілометра отримано круглограми та профілограми виміряних деталей. Типові зразки круглограм і профілограм наведені в табл. Для верстата кожного компонування отримано 8 круглограм (для кожної деталі було проведено два вимірювання у різних перерізах), а також 16 профілограм для квадратних деталей (для кожної деталі по 4 профілограми). Загалом отримано 24 вимірювання для кожного компонування верстата.

Для порівняння результатів вимірювань було визначено максимальну величину амплітуди мікронерівностей профілю кожної деталі.

Таблиця

Типові зразки круглограм та профілограм виміряних деталей

Верстат	Круглограма циліндричної деталі (матеріал – алюміній)	Профілограма квадратної деталі (матеріал – алюміній)
Консольного компонування		
Пірамідального компонування		
Пірамідального компонування з МПС		

У процесі порівняння трьох компонувань верстатів було підраховано середньоарифметичну величину амплітуди мікронерівностей для кожної групи деталей (за матеріалом і формою поверхні) і побудовано порівняльну гістограму (рис. 4).

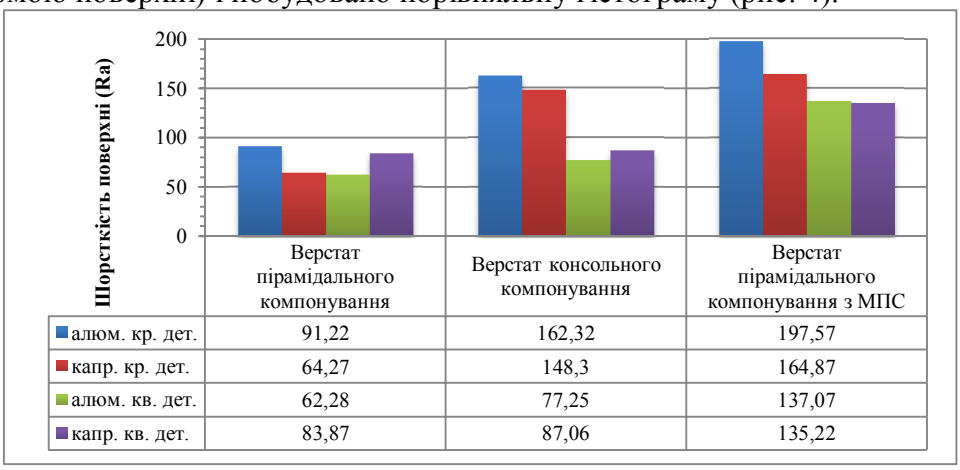


Рис. 4. Порівняльна гістограма величини шорсткості (Ra) для трьох компонувань верстатів залежно від матеріалу та форми деталей

Для циліндричних деталей максимальна величина амплітуди мікронерівностей становить різницю між дотично вписаним у круглограму колом (R_{min}) та дотично описаним навколо круглограми колом (R_{max}), які принаймні в одній точці збігаються з профілем круглограми.

Для квадратних деталей максимальна величина амплітуди мікронерівностей становить відстань h між лініями l_1 і l_2, перпендикулярними до осі деталі, які проведені дотично до нижньої і верхньої границь профілограми та принаймні в одній точці збігаються з профілем профілограми.

З гістограми видно розподіл величини амплітуди мікронерівностей між трьома різними компонуваннями верстатів при однакових умовах та режимах оброблення деталей. Таким чином, очевидно, що шорсткість оброблення деталей на верстаті пірамідального компонування без МПС у 1,5 рази нижча, ніж на верстаті консольного компонування, і в 2 рази нижча, ніж на верстаті пірамідального компонування з МПС.

Висновки. Експериментальні дослідження впливу компонування верстата на шорсткість оброблення деталей дозволили визначити, що шорсткість оброблення на верстаті пірамідального компонування без МПС у 1,5 рази нижча, ніж на верстаті консольного компонування, і в 2 рази нижча, ніж на верстаті пірамідального компонування з МПС.

Отримані результати досліджень дають уявлення про вплив компонування верстата на якість оброблення деталей і дозволяють зробити раціональний вибір компонувальних особливостей верстата на етапі виготовлення дослідного зразка. Таким чином визначено, що кращі показники якості оброблення деталей має верстат на основі несучої системи у вигляді чотиригранної піраміди з мотор-шпинделем при вершині та хрестовим супортом в основі.

Список використаних джерел

1. *Кузнецов Ю. Н.* Компоновки станков с механизмами параллельной структуры / Ю. Н. Кузнецов, Д. А. Дмитриев, Г. Е. Диневич. – Херсон, 2010. – 471 с.

2. *Патент* України на винахід № 86533, МПК B23Q 1/00 B23B 39/00. Багатокоординатний свердлильно-фрезерний верстат / Ю. М. Кузнєцов, Д. О. Дмитрієв, Г. Ю. Діневич ; заявник і власник НТУУ «КПІ». – № a200714710 ; заявл. 25.12.2007 ; опубл. 27.04.2009, Бюл. № 8.

3. *Патент* України на корисну модель № 64422, МПК B23B 35/00 B23B 39/00 B23Q 1/00. Багатокоординатний свердлильно-фрезерний верстат / Ю. М. Кузнєцов, В. Б. Фіранський, О. О. Степаненко ; заявник і власник НТУУ «КПІ». – № u201103750 ; заявл. 28.03.2011 ; опубл. 10.11.2011, Бюл. № 21.

4. *Федориненко Д. Ю.* Методика дослідження параметрів точності регульованої гідростатичної втулки шпиндельного підшипника / Д. Ю. Федориненко, О. А. Плівак, С. В. Майданюк // Вісник ЧДТУ. Серія «Технічні науки». – 2012. – № 3 (59). – С. 87–93.

УДК 621.893

Р.С. Пугач, аспирант
Государственное высшее учебное заведение «Национальный горный университет», г. Днепропетровск, Украина

МОДИФИЦИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТИ ДЕТАЛЕЙ МАШИН С ЦЕЛЬЮ ПОЛУЧЕНИЯ ВЫСОКИХ ТРИБОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

Р.С. Пугач, аспірант
Державний вищий навчальний заклад «Національний гірничий університет», м. Дніпропетровськ, Україна

МОДИФІКУВАННЯ ПОВЕРХНІ ДЕТАЛЕЙ МАШИН З МЕТОЮ ОТРИМАННЯ ВИСОКИХ ТРИБОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ

Ruslan Pugach, PhD student
State Higher Educational Institution “National Mining University”, Dnepropetrovsk, Ukraine

MODIFICATION OF MACHINE ELEMENTS SURFACE FOR OBTAINING HIGH TRIBOLOGICAL CHARACTERISTICS

Проведено исследование образцов из стали 40Х после поверхностно пластической деформации с одновременным внесением в зону деформации геомодификатора трения «ГЕОМ». Полученные результаты интегрированной технологии обработки рабочих поверхностей свидетельствуют о повышении износостойкости деталей в 2,5–3 раза.

Ключевые слова: *геомодификатор трения, износостойкая пленка, износостойкость, поверхностная пластическая деформация, шероховатость.*

Проведено дослідження зразків зі сталі 40Х після поверхнево пластичної деформації з одночасним внесенням у зону деформації геомодифікатора тертя «ГЕОМ». Отримані результати інтегрованої технології оброблення робочих поверхонь свідчать про підвищення зносостійкості деталей в 2,5–3 рази.

Ключові слова: *геомодифікатори тертя, зносостійка плівка, зносостійкість, поверхнева пластична деформація, шорсткість.*

Research of steel samples after overground plastic deformation with synchronistic addition of friction modifier „ГЕОМ" to deformation zone have been passed in work. Obtained results of integrated processing technology of working surfaces shows the increasing of details' wear-resistance at 2,5–3 times.

Key words: *friction modifier, wear-resistant layer, wear-resistance, overground plastic deformation, roughness.*

Постановка проблемы. Состояние рабочих поверхностей деталей машин, включающих геометрические параметры поверхностного слоя, комплекс физико-механических и химических характеристик, является основным показателем качества машиностроительных изделий. Именно формирование геометрии поверхностного слоя (шероховатости, волнистости) и физико-механических характеристик определяет ресурс работы детали.

Анализ последних исследований и публикаций. Обработка деталей машин поверхностным пластическим деформированием является одним из наиболее эффективных методов упрочнения. Поверхностное пластическое деформирование повышает усталостную прочность, контактную выносливость и износостойкость деталей и тем самым увеличивает долговечность машин и оборудования [1]. В результате поверхностно пластической деформации (ППД) в зоне контакта инструмента и заготовки создается высокое контактное давление, под действием которого микронеровности обрабатываемой поверхности пластически деформируются и, как результат, образуется новый микрорельеф, причем в оптимальном диапазоне режимов ППД шероховатость поверхности резко уменьшается [2]. Однако существенно повысить качество поверхностного слоя, обеспечив ему высокие трибологические параметры, возможно при сочетании пластической деформации с одновременным добавлением геомодификатора трения в зону обработки.

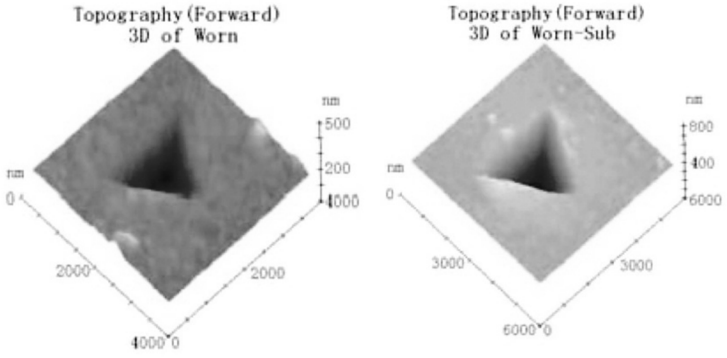
Нерешенные части проблемы. Получение износостойких покрытий с высоким уровнем физико-механических и трибологических свойств является важным и актуальным.

Цель исследования. Повышение качества рабочих поверхностей деталей машин.

Изложение основного материала. Для повышения износостойкости рабочих поверхностей впервые использован геомодификатор трения (ГМТ) «ГЕОМ» в сочетании с поверхностной пластической деформацией.

В результате поверхностного деформирования изменяются микроструктура и физико-механические свойства поверхностного слоя металла: повышается его твердость и прочность, возникают благоприятные сжимающие остаточные напряжения.

На рис. 1 приведена микрофотография следа индентора-твердомера (нагрузка 20 мН) в процессе определения микротвёрдости основы образца из стали 40Х. Наглядно видны различия в размере и глубине отпечатка пирамидки, что соответствует увеличению микротвёрдости в 1,5 раз.

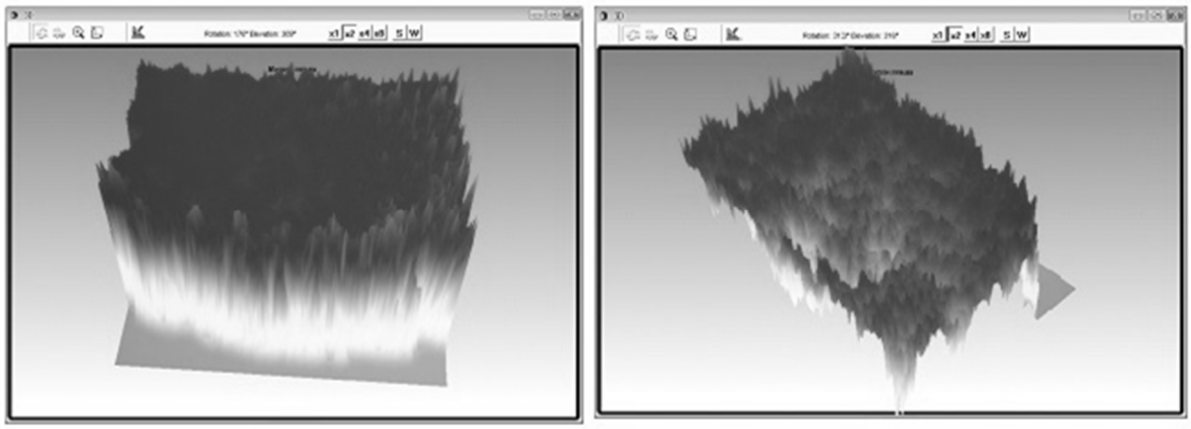


а *б*

Рис. 1. Микротвёрдость поверхностного слоя: а – после поверхностной пластической деформации; б – после поверхностной пластической деформации с добавлением в зону деформации геомодификатора трения

Измерение микропрофиля поверхности профилометром «Micron-alpha» позволило обнаружить, что при совместной пластической деформации происходит увеличение шероховатости поверхности. Тем не менее, после испытаний на износостойкость (на протяжении 25 часов) было обнаружено снижение шероховатости поверхности в образцах, обработанных пластическим деформированием с добавлением ГМТ. На рис. 2 показано 3D профиль шероховатости поверхности испытуемых образцов из стали 40Х.

Изменение шероховатости поверхности объясняется тем, что в процессе ППД частицы ГМТ шлифуют поверхность обрабатываемой детали, освобождая ее от окисленных пленок. Далее под действием контактного усилия измельченные частицы ГМТ вдавливаются во впадины микрорельефа поверхности детали, изменяя шероховатость поверхности детали.



а *б*

Рис. 2. 3D профиль шероховатости поверхности образцов из стали 40Х: а – после обработки пластическим деформированием; б – после обработки пластическим деформированием с добавлением геомодификатора трения

На рис. 3 представлена структура поверхности стали 40Х после пластической деформации с добавлением геомодификатора трения.

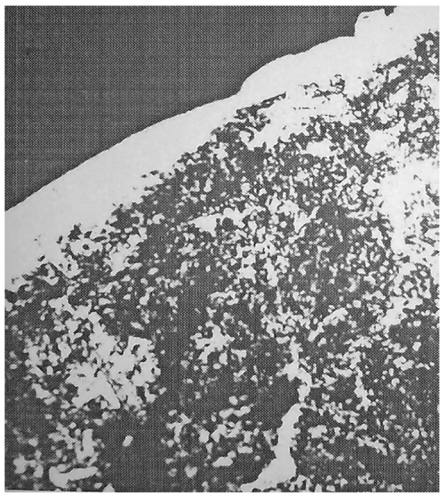


Рис. 3. Образование износостойкой пленки на поверхности образца из стали 40Х после пластической деформации с добавлением геомодификатора трения

Исследования на износостойкость проводилось на машине трения СМЦ-2 по схеме «диск–колодка». Нагрузка образцов обеспечивалась штатным нагрузочным устройством 150 кг/см^2. Частота вращения подвижного ролика составляет 500 мин$^{-1}$. На рис. 4 представлен график износа образцов.

Как видно из рис. 4, что в процессе трения первые десять часов происходит стремительное увеличение износа материала с поверхности детали, образуется дефектный слой металла, который удаляется частицами ГМТ, обладающих абразивными свойствами, при этом происходит их измельчение и потеря абразивных свойств.

Измерение величины износа образцов из стали 40Х, обработанных пластическим деформированием с добавлением ГМТ, позволило повысить износостойкость в 2,5...3 раза.

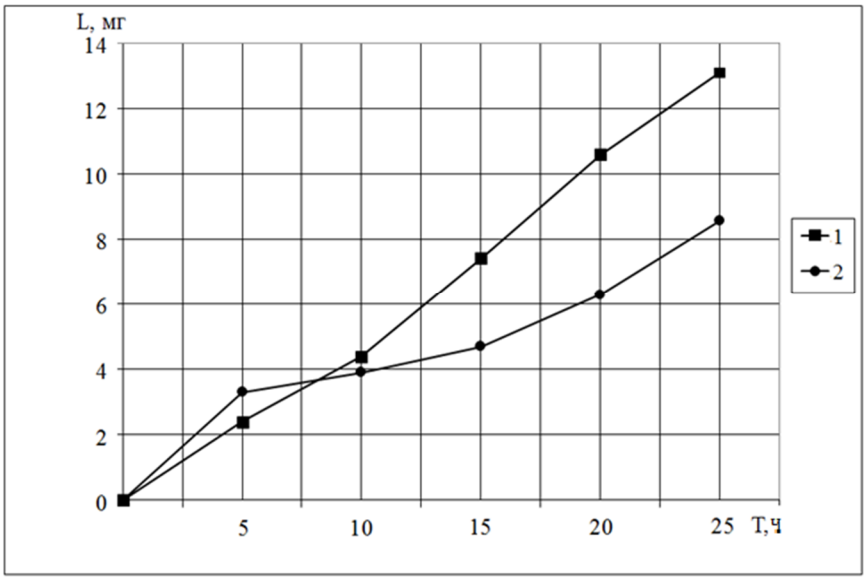


Рис. 4. График износа образцов из стали 40Х: 1 – после обработки пластическим деформированием; 2 – после обработки пластическим деформированием с добавлением геомодификатора трения

В процессе трения происходит внедрение в поверхностный слой металла измельчённых частичек ГМТ, образуя с ним химическое соединения. Таким образом, на поверхности металла образуется износостойкая пленка. Внедрение ГМТ приводит к увеличению микротвёрдости, выравниванию рельефа поверхности, уменьшению рабочей температуры в зоне контакта поверхностей и увеличения площади контакта пары трения. Эти изменения в приповерхностном слое приводят к повышению эксплуатационных характеристик, а именно контактной выносливости, износостойкости и прочности.

В результате исследования обнаружено, что у пластически деформированных с добавлением ГМТ образцах образуется равномерная по всей обработанной поверхности глубина упрочненного слоя, которая составляет 0,8–1,22 мм. На поверхности детали образуется сплошной «белый» слой, достигающий размеров 30–50 мкм. После обработки уменьшается шероховатость до Ra 0,3...0,4 мкм, что приводит к созданию благоприятной формы микронеровностей с большей долей опорной площади. В ходе исследований установлено снижение коэффициента трения в среднем на10...15 % при падении температуры в зоне контакта в среднем на 15...20 %.

Выводы. Интегрированная размерная чистовая обработка с использованием поверхностно пластической деформации, с одновременным внесением в зону обработки геомодификаторов трения, позволяет модифицировать рабочую поверхность с высокими эксплуатационными показателями.

Список использованных источников

1. *Одинцов Л. Г.* Упрочнение и отделка деталей поверхностным пластическим деформированием : справочник / Л. Г. Одинцов. – М. : Машиностроение, 1987. – 328 с.

2. *Патент* № 51394 UA МПК B24B 39/00 B24B 1/04, B23P 9/00 Спосіб зміцнювально-чистової обробки деталей / Р. П. Дідик, Д. В. Лоскутов, П. Б. Аратскій, О. Б. Завалій ; заявник Національний гірничий університет ; заявл. 12.03.2002 ; опубл. 15.08.2006, Бюл. № 8.

УДК 621.91:004.9

В.М. Юхимчук, аспірант
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна

ШЛЯХИ ОПТИМІЗАЦІЇ ВИБОРУ ІНСТРУМЕНТАЛЬНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ОБРОБЛЕННЯ ОТВОРІВ

В.Н. Юхимчук, аспирант
Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», г. Киев, Украина

ПУТИ ОПТИМИЗАЦИИ ВЫБОРА ИНСТРУМЕНТАЛЬНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОБРАБОТКИ ОТВЕРСТИЙ

Volodymyr Yukhymchuk, PhD student
National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine

APPROACHES TO OPTIMIZE THE CUTTING TOOL SELECTION FOR HOLES MACHINING

Стаття присвячена розробленню моделі оптимізації синтезу технологічних переходів та інструментального забезпечення за критерієм мінімальної собівартості оброблення. Ця модель побудована у результаті аналізу структури та джерел виникнення витрат на оброблення, зокрема, впливу варіанта технологічного процесу та варіанта інструментального забезпечення на загальні витрати на оброблення. Її використання передбачене в експертних системах вибору інструментального забезпечення і системах автоматизованого проектування технологічних процесів та ґрунтується на використанні формалізованого представлення варіантів оброблення у цих системах. Головна цільова функція задачі оптимізації включає в себе всі можливі складові витрат, пов'язаних як із безпосереднім обробленням, так і з допоміжними процесами (час на холості ходи та заміну різального інструменту). Додаткові цільові функції забезпечують раціональний розподіл періоду стійкості різального інструменту та врахування технологічних можливостей обладнання (місткість інструментального магазину). Комплексне використання такої моделі дозволяє проводити аналіз усіх можливих варіантів технологічного процесу оброблення отворів та запропонувати найбільш оптимальний з погляду сумарних витрат.

Ключові слова: *інструментальне забезпечення, синтез, оптимізація, собівартість виготовлення, скорочення витрат, оброблення отворів.*

Статья посвящена разработке модели оптимизации синтеза технологических переходов и инструментального обеспечения по критерию минимальной себестоимости обработки. Эта модель построена в результате анализа структуры и источников возникновения затрат на обработку, в частности, влияния варианта технологического процесса и варианта инструментального обеспечения на общие расходы на обработку. Ее использование предусмотрено в экспертных системах выбора инструментального обеспечения и системах автоматизированного проектирования технологических процессов и базируется на использовании формализованного представления вариантов обработки в данных системах. Главная целевая функция задачи оптимизации включает в себя все возможные составляющие расходов, связанных непосредственно с обработкой, а также вспомогательными процессами (время на холостые ходы и замены инструмента). Дополнительные целевые функции обеспечивают рациональное распределение периода стойкости режущего инструмента и учета технологических возможностей оборудования (емкость инструментального магазина). Комплексное использовании такой модели позволяет проводить анализ всех возможных вариантов технологического процесса обработки отверстий и предложить наиболее оптимальный с точки зрения суммарных затрат.

Ключевые слова: *инструментальное обеспечение, синтез, оптимизация, себестоимость изготовления, сокращение затрат, обработка отверстий.*

This paper is devoted a model to optimize the synthesis of technological transitions and instrumental support by the criterion of minimum cost of processing. This model is constructed by analyzing the structure of cost and source for holes machining, in particular the influence of process variant and cutting tool variant on the total costs. Its use i provided in expert systems software for cutting tool selection and computer-aided design and production processes based on the use of formalized representation of treatment options in these systems. Main objective function of the optimization problem includes all the possible components of the costs directly related to the processing and ancillary processes (time for idle motions and tool change). Additional features provide targeted rational distribution tool life of the cutting tool and the account of the technological capabilities of equipment (capacity of tool magazine). Integrated use of such a model allows the analysis of all-possible technological processing and offer the most optimal in terms of total costs.

Key words: *cutting tools, synthesis, optimization, manufacturing cost, cost reduction, holes machining.*

Постановка проблеми. Вирішення задач інструментального забезпечення у системі технологічного підготовлення виробництва потребує автоматизації процесів проектування технології виготовлення виробу та вибору раціонального різального інструменту. Ці задачі повинні вирішуватися із застосуванням сучасних CAM/CAPP систем, однак останні часто не реалізують їх зовсім, або лише частково, що пов'язано зі складністю формалізації цих процесів. Особливо актуальним завданням є синтез інструментально-

го забезпечення оброблення отворів, зокрема осьовим різальним інструментом, що на сьогодні найчастіше відбувається у ручному режимі із застосуванням знань та досвіду технолога.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Нині ефективний синтез л-оптимальних технологічних процесів механічного оброблення передбачає аналіз до рівня технологічних переходів. У той же час задачі синтезу інструментального забезпечення кожного технологічного переходу практично не враховують їх сукупну дію для всього набору технологічних переходів, що виконуються у межах однієї технологічної операції. Сьогодні найчастіше вирішуються задачі оптимізації режимів різання для конкретного технологічного переходу, задачі оптимізації інструментальних наладок [1], проектування РІ із забезпеченням оптимальних геометричних параметрів [2; 3] та ін. При цьому як критерії оптимізації використовуються критерії максимальної продуктивності та мінімальної собівартості виготовлення виробу, а параметром оптимізації є швидкість різання [4]. Тому розв'язання задач оптимізації, які б враховували альтернативні варіанти реалізації технологічних переходів та їх синергетичну дію, є актуальним завданням.

Метою цієї роботи є розвиток моделі оптимізації синтезу інструментального забезпечення з урахуванням вартісних параметрів оброблення для забезпечення мінімальної собівартості виготовлення.

Виклад основного матеріалу. Синтез оптимального інструментального забезпечення є наступним кроком після синтезу множини варіантів *M* технологічних переходів оброблення отворів на основі типових послідовностей, що забезпечують необхідні параметри точності та шорсткості поверхні. Кількість цих варіантів є досить невеликою, але задача пошуку варіантів інструментального забезпечення ускладнюється за рахунок великої кількості різальних інструментів, здатних забезпечити необхідні вихідні параметри деталі:

$$M=\left(V_1,V_2,...,V_n\right),\ V_n=\left(T_1^n,T_2^n,...,T_m^n\right),\ T_m^n=\left(p_1,p_2,...,p_i\right),$$

де T_m^n – різальний інструмент, що характеризується множиною параметрів p на технологічному переході m варіанта V_n технологічного маршруту оброблення M.

У цьому випадку доцільно використовувати неявний опис множин варіантів інструментального забезпечення за допомогою алгоритму або набору правил R синтезу проектних рішень з деякої обмеженої множини параметрів P. Тому множину T можна записати у вигляді $T=<R,P>$, а процес синтезу проектних рішень буде відбуватися за такими етапами [5]:

– синтез альтернативного рішення T – вибір з бази даних РІ за сформованим пошуковим запитом або синтез з множини P і відповідності до правил R;

– оцінювання альтернативного рішення за допомогою математичної моделі розрахунку критеріїв вибору цього рішення;

– прийняття рішення відносно вибору цього альтернативного рішення чи подальшого пошуку.

Синтез рішення відбувається на основі теорії експертних систем, базова структура якого представлена на рис. 1.

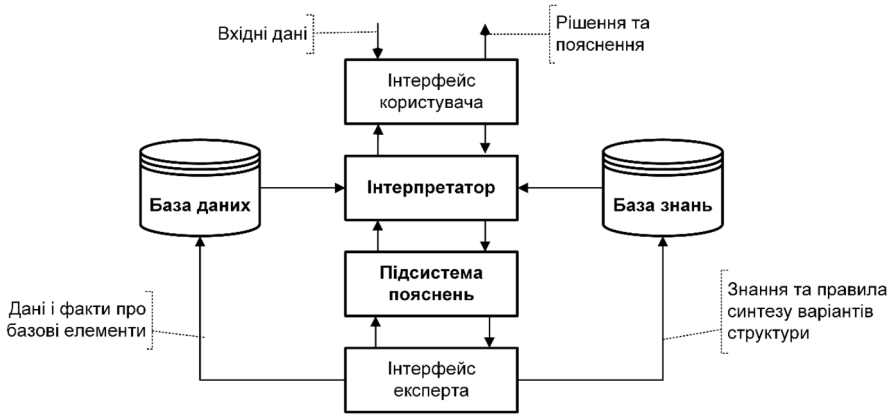


Рис. 1. Базова схема експертної системи синтезу рішення

База знань експертної системи синтезу може бути представлена у формі продукцій та фреймів. Продукція відображає правило типу «*ЯКЩО А то Б*», де *А* – умова, *Б* – дія або наслідок, які виконуються у випадку істинності А. Продукційна база знань описує множину правил, що характеризують процес синтезу в цій предметній галузі. База даних описується структурами у вигляді фреймів, що містять відомості про властивості описуваного об'єкта:

$$<\text{ім'я фрейма; } x_1=p_1,\ x_2=p_2,\ \ldots,\ x_n=p_n;\ q_1,\ q_2,\ \ldots,\ q_m>,$$

де x_i – ім'я i-того атрибута; p_i – його значення або ім'я вкладеного фрейма, q_i – посилання на інший фрейм або процедуру.

Оцінювання варіанта інструментального забезпечення потрібно проводити за допомогою моделі розрахунку параметра, що дозволить прийняти рішення про вибір цієї альтернативи. Узагальненим та зрозумілим параметром у цьому випадку може служити загальна собівартість оброблення деталі.

Структуру витрат на оброблення деталі можна представити у вигляді схеми, яка наочно описує складові витрат та їх параметри (рис. 2), де C – загальна собівартість оброблення, що охоплює технологічну $C_{техн}$ та інструментальну $C_{інст}$. Технологічні витрати розраховуються на основі оперативного часу оброблення та вартості верстато-години роботи обладнання:

$$C_m = T_{оп} \cdot C_{верст-г}\,.$$

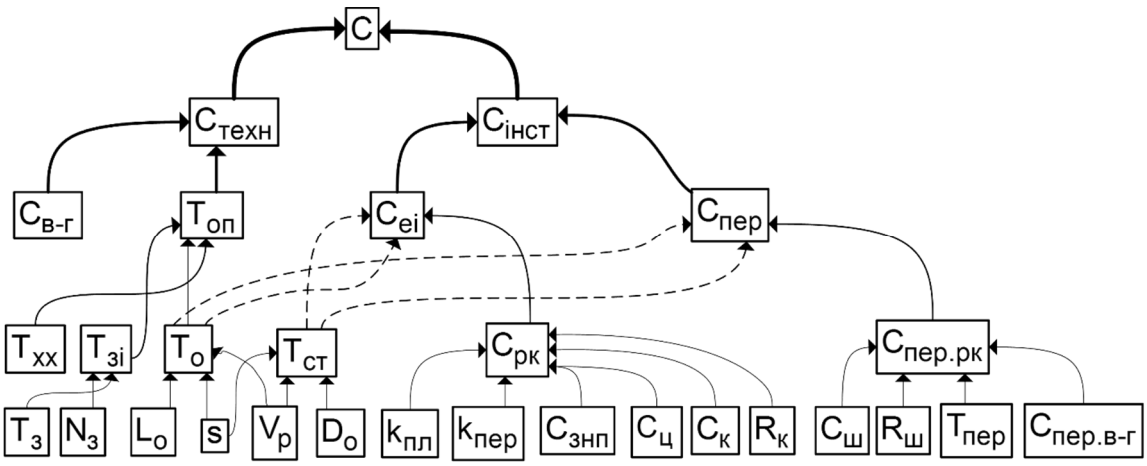


Рис. 2. Схема складових витрат на оброблення

Оперативний час розраховується як сума основного часу на виконання технологічних переходів та допоміжного, пов'язаного з виконанням холостих ходів та заміною інструменту.

$$T_{оп} = T_о + T_д = \frac{L_{рх}}{V_р \cdot s} + \left(T_{хх} + T_{зі}\right).$$

Інструментальні витрати складаються з витрат на експлуатацію різального інструменту та витрат на його переточування, які пов'язані з розподілом вартості однієї різальної кромки (або її переточування) інструменту на весь період стійкості РІ, виражений у кількості деталей.

$$C_{інст} = C_{еі} + C_{пер} = \frac{C_{рк} \cdot T_о}{T_{ст}} + \frac{C_{пер.рк} \cdot T_о}{T_{ст}}.$$

Вартість різальної кромки інструменту розраховується на основі вартості РІ та кількості можливих переточувань для цільної конструкції, або як сума розподіленої вартості корпусу та різальної пластини для збірної конструкції інструменту:

$$C_{рк} = \frac{C_{іц}}{k_{пер}}, \text{або } C_{рк} = \frac{C_{кор}}{R_{кор}} + \frac{C_{ЗНП}}{k_{пл}}.$$

Вартість переточування РІ визначається на основі вартості верстато-години роботи заточувального обладнання, часу переточування та вартості інструменту (наприклад, шліфувального круга):

$$C_{пер.рк} = \frac{T_{пер} \cdot C_{пер.в-г}}{60} + \frac{C_{ш}}{R_{ш}}.$$

Наприклад, у випадку виконання технологічного переходу за допомогою цільного РІ інструментальну собівартість оброблення можна записати:

$$C_i = B \cdot \frac{L_{рх}}{V_р \cdot s \cdot T_{ст}},$$

де $B = \frac{C_{іц}}{k_{пер}} + \frac{T_{пер} \cdot C_{пер.верст-г}}{60} + \frac{C_{ш}}{R_{ш}}$ – стала складова інструментальних витрат.

Аналізуючи витрати, їх можна умовно розділити на групи накопичення витрат на оброблення:

– пов'язана з вибраним варіантом технологічного маршруту оброблення М – кількість технологічних переходів, кількість замін різального інструменту, довжина холостих ходів РІ та ін.;

– пов'язана з вибраним варіантом інструментального забезпечення РІ на технологічному переході *N* – параметри режимів різання та вартість різального інструменту;

– пов'язана з вибраним металооброблюючим обладнанням – вартість верстато-години.

Витрати часу у процесі оброблення можна відобразити за допомогою рис. 3. На кожному технологічному переході зростають витрати часу на оброблення та витрати допоміжного часу, пов'язані з заміною різального інструменту та холостими ходами. Варто зазначити, що під час оптимізації процесу оброблення для такої схеми доцільно параметри попередніх технологічних переходів (чорнове оброблення) змінювати для забезпечення максимально можливої швидкості зняття припуску, а останні переходи (чистове оброблення) доцільно оптимізувати для максимально можливої швидкості оброблення поверхні під час забезпечення заданих показників якості.

На базі математичної моделі інструментального забезпечення оброблення можна побудувати модель багатокритеріальної параметричної оптимізації. Як головний параметр оптимізації запропоновано прийняти собівартість оброблення деталі. Цільова функція собівартості оброблення може бути записана у вигляді:

$F = C \to \min$.

Цільова функція мінімізації витрат для варіанта *M* у повній формі запишеться:

$$F_1 = \sum_{N=1}^{N}\sum_{n=1}^{n} A \cdot \left(\frac{L_{px}}{V_p \cdot s} + T_{3i} \right) + B \cdot \frac{L_{px}}{V_p \cdot s \cdot T_{cm}} \to \min ,$$

де *N* – кількість технологічних переходів оброблення; *n* – кількість оброблюваних поверхонь на цьому технологічному переході; *A* – вартість верстато-години роботи металорізального обладнання, а *B* – стала складова інструментальних витрат.

Виразимо період стійкості РІ через параметри режиму різання:

$$T = \left(\frac{C_v \cdot D^q \cdot K_v}{V_p \cdot s^y} \right)^{\frac{1}{m}} .$$

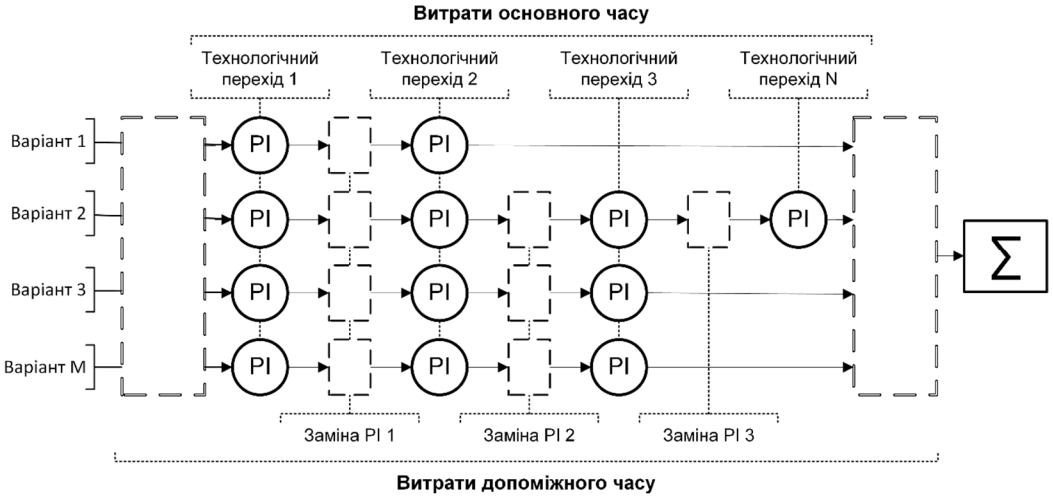


Рис. 3. Схема накопичення витрат на оброблення

Час на заміну РІ можна розрахувати, знаючи час заміни одного інструменту на цьому технологічному обладнанні та кількість замін РІ. Кількість замін РІ визначається на основі кількості технологічних переходів *N* та відношення періоду стійкості РІ на *N*-ому переході до основного часу оброблення *n* оброблюваних поверхонь. Тоді кількість замін РІ можна розрахувати:

$$k_{з} = (N-1) + \sum_{N=1}^{N} \operatorname{int}\left(\frac{L \cdot n}{V_p \cdot s \cdot T_{cm}} \right).$$

Тоді цільова функція запишеться:

$$F_1 = \sum_{N=1}^{N}\sum_{n=1}^{n} A \cdot \left(\frac{L_{px}}{V_p \cdot s} + t_3 \cdot \left((N-1) + \sum_{N=1}^{N} \operatorname{int}\left(\frac{L \cdot n}{V_p \cdot s \cdot \left(\frac{C_v \cdot K_v}{V_p \cdot s^y} \right)^{\frac{1}{m}}} \right) \right) \right) + B \cdot \frac{L_{px}}{V_p \cdot s \cdot \left(\frac{C_v \cdot K_v}{V_p \cdot s^y} \right)^{\frac{1}{m}}} \to \min,$$

$$V_{\min} \le V_p \le V_{\max},$$

де $V_{\min}$ і $V_{\max}$ – мінімальна і максимальна регламентовані швидкості різання, які обмежують діапазон, в якому забезпечуються параметри точності та шорсткості оброблюваної поверхні.

$$s_{\min} \le s \le s_{\max},$$

де $s_{\min}$ і $s_{\max}$ – мінімальна і максимальна регламентовані подачі РІ, які обмежують діапазон, в якому забезпечуються параметри точності та шорсткості оброблюваної поверхні.

$$P_Z \le P_{\max_Z},$$

де $P_{\max_Z}$ – максимальна потужність приводу *Z*-осі (вісь подачі) обладнання.

$$M \le M_{\max},$$

де $M_{\max}$ – максимальний крутний момент головного привода обладнання.

Для такої цільової функції можна записати й інші обмеження, наприклад, пов'язані із забезпеченням нормативного періоду стійкості, обмеження, пов'язані з технологічним обладнанням, та інші. Для раціонального використання ресурсу стійкості та зниження витрат на переточування РІ доцільно представити цільову функцію оптимізації використання ресурсу стійкості:

$$F_2 = T_{cm} - T_o \cdot n \to \min,$$

$$F_2 = \left(\frac{C_v \cdot K_v}{V_p \cdot s^y}\right)^{\frac{1}{m}} - \frac{L_{px}}{V_p \cdot s \cdot \left(\frac{C_v \cdot K_v}{V_p \cdot s^y}\right)^{\frac{1}{m}}} \cdot n \to \min,\ T_{cm} - T_o \cdot n \ge 0,$$

де n – можлива кількість оброблених поверхонь деталі за період стійкості РІ:

$$n = INT\left(\frac{T_{ст.н.}}{T_{on}}\right),\ n \ge 1.$$

Для скорочення кількості технологічних переходів та, відповідно, витрат допоміжного часу можна записати цільову функцію скорочення кількості різального інструменту:

$$F_3 = N_{PI} \to \min,\ N_{PI} \le N_{\max},$$

де $N_{\max}$ – максимальна кількість позицій інструментального магазина (барабана) для цього металорізального обладнання.

Висновки. Запропонована математична модель оптимізації дозволяє провести оцінювання варіантів технологічного забезпечення на основі оптимізованих параметрів процесу оброблення. Робота моделі ґрунтується на аналізі та обліку економічних параметрів оброблення для конкретних умов виробництва (вартість різального інструменту, вартість використання основного і допоміжного технологічного обладнання) та забезпечить вибір такого варіанта оброблення, яке б забезпечило максимальне скорочення собівартості виготовлення.

Список використаних джерел

1. *Инструментальные* системы автоматизированного производства : учебник для студентов машиностроительных специальностей вузов / Р. И. Гжиров, В. А. Гречишников, В. Г. Логашев и др. – СПб. : Политехника, 1993. – 399 с.

2. *Панкратов Ю. М.* САПР режущих инструментов : учебное пособие / Ю. М. Панкратов. – СПб. : Лань, 2013. – 336 с.

3. *Мироненко Е. В.* Исследование стабильности эксплуатации режущего инструмента при многокритериальной оптимизации / Е. В. Мироненко // Вестник двигателестроения. – 2011. – № 1. – С. 85–88.

4. *Норенков И. П.* Основы автоматизированного проектирования : учеб. для вузов / И. П. Норенков. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2002. – 336 с.

5. *Groover M. P.* Fundamentals of modern Manufacturing; Materials, Processes, and Systems. – 4th ed. – John Wiley & Sons, Inc. – 2010. – 1025 p.

УДК 621.9

С.В. Майданюк, асистент
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна

ВИЗНАЧЕННЯ КУТА КОНТАКТУ ВІДРІЗНИХ ФРЕЗ З РІЗНОНАПРАВЛЕНИМИ ЗУБЦЯМИ

С.В. Майданюк, ассистент
Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», г. Киев, Украина

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УГЛА КОНТАКТА ОТРЕЗНЫХ ФРЕЗ С РАЗНОНАПРАВЛЕННЫМИ ЗУБЬЯМИ

Serhii Maidaniuk, assistant
National Technical University of Ukraine “Kyiv Polytechnical Institute”, Kyiv, Ukraine

DETERMINATION OF THE CONTACT ANGLE OF CUT-OFF MILLING CUTTERS WITH ALTERNATE TEETH

Розв’язано задачу аналітичного визначення кута контакту довільної точки різальної кромки дискових відрізних фрез з різнонаправленими зубцями, наведено методику визначення активної ширини оброблення та проведено аналіз залежно від конструктивних та геометричних параметрів інструменту. Ця задача є складовою для визначення завантаження відрізних дискових фрез у процесі роботи та подальшого аналізу силового навантаження інструменту у процесі роботи.

Ключові слова: *товщина зрізуваного шару, фреза дискова відрізна, різальна кромка, геометричні параметри, кут контакту.*

Решена задача аналитического определения угла контакта произвольной точки режущей кромки дисковых отрезных фрез с разнонаправленными зубьями, представлена методика определения активной ширины обработки и произведен анализ в зависимости от конструктивных и геометрических параметров инструмента. Данная задача является составляющей для определения загрузки отрезных дисковых фрез в процессе работы и дальнейшего анализа силового нагружения инструмента в процессе работы.

Ключевые слова: *толщина срезаемого слоя, фреза дисковая отрезная, режущая кромка, геометрические параметры, угол контакта.*

In this article it has been solved the problem of analytical determination of the contact angle of an arbitrary point of the cutting edge of cut-off milling cutters with alternate teeth, provided a methodology to determine the width of the active treatment and analyzed section thickness depending on the design and geometrical parameters of the tool. This task is a component for determining the load cut-off milling cutters in the process of further analysis of the force interaction of the tool in the process.

Key words: *the thickness cut off layer, cut-off milling cutters, cutting edge, geometric parameters, contact angle.*

Постановка проблеми. Параметри зрізуваного шару матеріалу є однією з важливих характеристик процесу різання та визначаються разом з геометрією різальної частини інструменту.

До параметрів зрізуваного шару відносяться переріз зрізуваного шару, площа, товщина та ширина зрізуваного шару. Ці параметри значною мірою впливають на характеристики явищ процесу різання. Через ці характеристики можна оцінити можливу працездатність інструменту та вибрати найбільш доцільну конструкцію інструменту, що забезпечить необхідну працездатність інструменту.

Тому визначення параметрів зрізуваного шару під час проектування інструменту є важливим завданням, особливо для деяких прогресивних конструкцій дискових багатозубих інструментів, а саме завдяки їх складній схемі різання, яка обумовлена наявністю груп зубів з різними схемами зрізання припуску.

Також під час аналізу параметрів зрізуваного шару необхідно враховувати, що під час різання спостерігається взаємний вплив один на одного різних різальних кромок та їх ділянок, що знаходяться у контакті з заготовкою.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідженням параметрів зрізуваного шару присвячено багато робіт дослідників [1; 2; 3; 4; 5]. Для аналізу працездатності інструменту на стадії його проектування необхідно провести розрахунок параметрів зрізуваного шару матеріалу таким інструментом з урахуванням реальної форми різальної кромки інструменту, можливої складної схеми різання для окремих зубів.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. У більшості робіт розглядається аналіз завантаження різальної частини інструменту з постійною схемою зрізання припуску без врахування зміни її для окремих зубів інструменту. Також не досліджувалось, як впливає форма зуба інструменту на параметри зрізуваного шару.

Одним з питань визначення завантаження різальної кромки інструменту зі складною схемою різання, до яких відноситься дискова відрізна фреза з різнонаправленими зубцями, за рахунок генераторної схеми зрізання припуска, є визначеня кута контакту довільної точки різальної кромки з заготовкою.

Мета статті. Головною метою цієї роботи є визначення кута контакту довільної точки різальної кромки дискової відрізної фрези з заготовкою.

Виклад основного матеріалу. Товщина зрізу в досліджуваній точці різальної кромки інструменту, відповідно до ДСТУ 2249-93 [6], є довжиною нормалі до поверхні різання, проведеної через цю точку різальної кромки, обмежена перерізом зрізуваного шару.

Дискова відрізна фреза з різнонаправленими зубцями складається з груп із двох зубців, що відрізняються лише знаком кута нахилу різальної кромки в інструментальній системі координат λ_i.

Відповідно до цього для визначення положення зуба фрези необхідно визначити положення поверхні різання попереднього зуба, а вже наступним етапом визначати кут контакту та товщину зрізу.

Дискова відрізна фреза у процесі роботи виконує два рухи: головний рух різання Dr – обертання навколо своєї осі зі швидкістю V та рух подачі Ds – поступальний рух з постійною швидкістю Vs (рис. 1). Тому у процесі різання кожна точка різальної кромки рухається по еліптичній траєкторії.

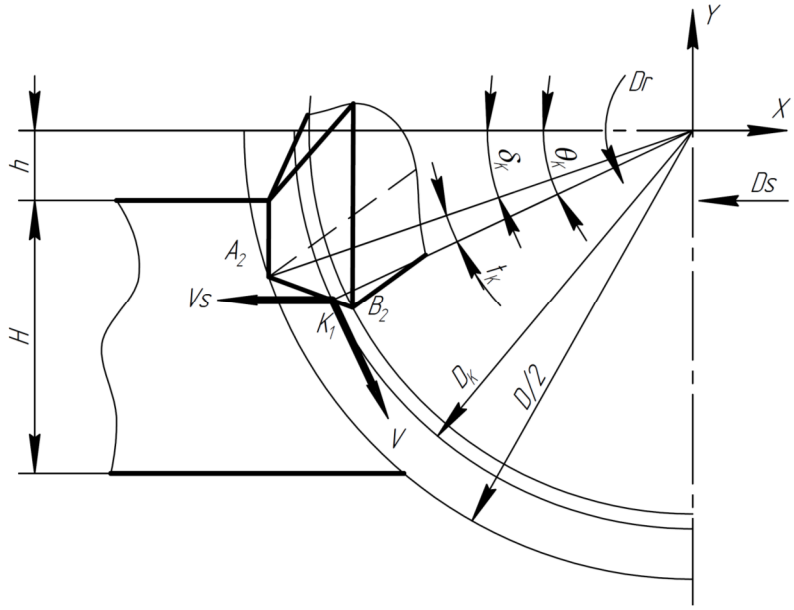


Рис. 1. Схема до визначення роботи дискової відрізної фрези

Таким чином, поверхня різання довільним зубом фрези у процесі роботи визначається залежностями (1):

$$\begin{aligned} x_i &= R_i \cdot \cos(t+\delta_i) - \frac{Sz \cdot z_K}{2\pi}(t-\pi+\theta_i), \\ y_i &= R_i \cdot \sin(t+\delta_i), \\ z_i &= z_K, \end{aligned} \qquad (1)$$

де R_i – радіус довільного зуба інструменту в довільній точці, що характеризується положенням z_K ;

z_K – зміщення досліджуваної точки K різальної кромки відносно вершини фрези;

δ_i – кутове положення довільної точки різальної кромки довільного зуба;

Sz – величина подачі, мм/зуб;

t – параметр, що відповідає за рух зуба по траєкторії;

θ_i – кутовий параметр, що відповідає номеру зуба і пропорційний кількості зубів інструменту.

Положення довільної точки зубців дискової фрези з різнонаправленими зубцями визначається таким чином:

– для непарного зуба:

$$R_1 = \sqrt{\left(\frac{D}{2} + \frac{z_K}{tg\varphi_i}\right)^2 + \left(\frac{z_K \cdot tg\lambda_i}{\sin\varphi_i}\right)^2},$$

$$tg\delta_1 = \frac{z_K \cdot tg\lambda_i}{\sin\varphi_i \cdot \left(\frac{D}{2} + \frac{z_K}{tg\varphi_i}\right)}$$

– для парного зуба:

$$R_2 = \sqrt{\left(\frac{D}{2} + \frac{B - z_K}{tg\varphi_i}\right)^2 + \left(\frac{(B - z_K) \cdot tg\lambda_i}{\sin\varphi_i}\right)^2},$$

$$tg\delta_2 = \frac{(B - z_K) \cdot tg\lambda_i}{\sin\phi_i \cdot \left(\frac{D}{2} + \frac{B - z_K}{tg\phi_i}\right)}$$

де R_1 , R_2 – радіус довільної точки різальної кромки парного та непарного зубців відповідно;

δ_1 , δ_2 – кутове положення довільної точки різальної кромки парного та непарного зубців відповідно;

D – діаметр фрези;

B – ширина фрези;

z_K – відстань від вершини зуба фрези вздовж її осі;

φ_i – головний кут у плані в інструментальній системі координат.

Геометричні параметри зуба фрези в інструментальній системі координат наведені на рис. 2.

Оскільки для визначення товщини зрізу необхідно визначати нормаль до поверхні різання відповідно до ДСТУ 2249-93, то постає завдання визначення активної ділянки роботи фрези.

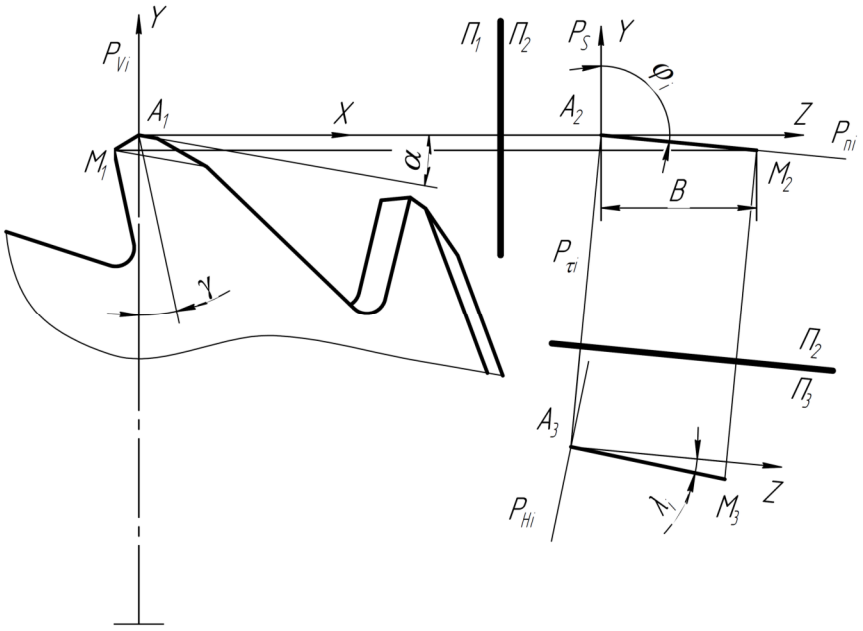


Рис. 2. Геометрія дискової відрізної фрези

Цю задачу розв'яжемо у два етапи:

1 – визначається положення точки перетину (кут перетину t_i) поверхні різання двох послідовних зубців фрези з оброблюваною заготовкою в довільний момент різання (у довільній точці заготовки по її висоті).

Для цього вирішується рівняння, яке характеризує положення зуба фрези у площині XY відносно положення оброблюваної заготовки:

$$R_i \cdot \sin(t_i - \delta_i) = h_k ,$$

де R_i – радіус довільної точки різальної кромки довільного зуба; δ_i – кутове положення довільної точки різальної кромки довільного зуба;

h_k – геометричне місце точок площини оброблюваної деталі по висоті ($h \le h_k \le h + H$);

h – відстань від осі фрези до верхнього краю заготовки;

H – товщина заготовки, що розрізається.

Таким чином, отримуємо систему з двох рівнянь, яка у загальному випадку може бути записана таким чином (2):

$$t_i = \pi - \arcsin\left(\frac{h_k}{R_i}\right) - \delta_i . \qquad (2)$$

Така система під час її вирішення дає значення кута перетину поверхні різання двох послідовних зубців фрези з оброблюваною заготовкою у довільний момент різання.

Кут контакту довільної точки різальної кромки дискової відрізної фрези визначається відповідно до рівняння (3):

$$\theta_K = t_i - \delta_i - \pi , \qquad (3)$$

де t_i – кут перетину поверхні різання двох послідовних зубців фрези з оброблюваною заготовкою у довільний момент різання (у довільній точці заготовки по її висоті);

δ_i – кутове положення довільної точки різальної кромки довільного зуба.

2 – визначається активна ширина різання у процесі роботи фрези у зоні різання.

Для визначення активної ширини різання дисковою фрезою підставимо систему (2), визначення кута перетину, в рівняння поверхні різання відповідним зубом та прирівняємо їх координати x_i, отримавши систему рівнянь, яка у загальному вигляді запишеться таким чином:

$$x_i = R_i \cdot \cos(t_i - \delta_i) - \frac{Sz \cdot zk}{2\pi} \cdot (t_i - \pi + \theta n_i). \quad (4)$$

Вирішуючи систему рівнянь (3) для двох послідовних зубців, знаходимо величину активної ширини різання під час роботи дискової відрізної фрези.

Приклад послідовних положень зрізів двох зубців дискової відрізної фрези під час розрізання заготовки прямокутного перерізу наведено на рис. 3.

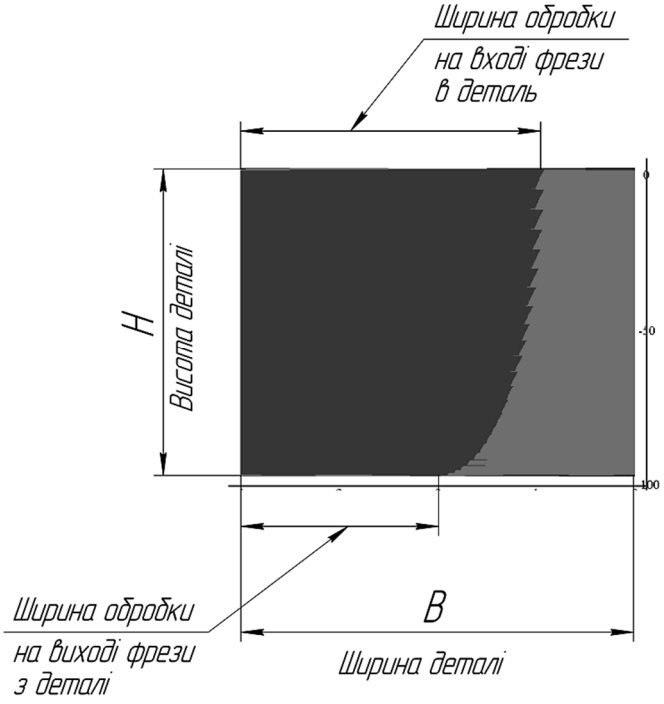


Рис. 3. Активна ширина ділянки оброблення на вході та виході фрези

Для аналізу кута контакту довільної точки різальної кромки дискової відрізної фрези та активної ширини ділянки оброблення відрізних фрез з різнонаправленими зубцями множину вхідних факторів утворюють:

- конструктивні параметри:
- діаметр фрези D;
- зміщення досліджуваної точки K різальної кромки відносно середнього перерізу фрези z_K;
- кількість зубців фрези z;
- геометричні параметри:
- інструментальний задній кута α_i;
- інструментальний передній кут γ_i;
- кут нахилу задньої поверхні τ_α;
- кут нахилу передньої поверхні τ_γ;
- товщина заготовки H;
- положення заготовки h;
- подача на зуб Sz.

Аналіз кута контакту довільної точки різальної кромки дискової відрізної фрези та активної ширини ділянки оброблення на вході та виході фрези залежно від конструктивних та геометричних параметрів дискової відрізної фрези можна оцінити таким чином:

– суттєво впливають на значення досліджуваних параметрів: діаметр фрези D, кількість зубців фрези z, товщина заготовки H, положення заготовки h, кут нахилу передньої поверхні τ_γ, подача на зуб Sz;

– впливають, але не так суттєво на значення досліджуваних параметрів: інструментальний задній кут α_i, інструментальний передній кут γ_i, кут нахилу задньої поверхні τ_α.

При цьому видно, що активна ширина оброблення на вході фрези майже завжди більша величини на виході фрези із заготовки, а також може досягати значень, близьких до половини ширини фрези, залежно від геометричних та конструктивних пара-метрів.

Величина активної ширини оброблення на вході та виході фрези залежно від геометричних та конструктивних параметрів коливається у межах $(0.51...1,0)\cdot B$, а їх різниця може досягати 25 % від ширини фрезерування B.

Висновки і пропозиції. У статті виведено аналітичну залежність для визначення кута контакту довільної точки різальної кромки дискових відрізних фрез з різнонаправленими зубцями та проведено аналіз впливу геометричних та конструктивних параметрів фрез на активну ширину ділянки оброблення. Одержані залежності можуть бути використані для подальшого аналізу завантаження різальної кромки, силового та динамічного аналізу процесу відрізання дисковими фрезами.

Список використаних джерел

1. *Бобров В. Ф.* Основы теории резания металлов : учебник / В. Ф. Бобров. – М. : Машиностроение, 1975. – 344 с.

2. *Основи* теорії різання матеріалів : підручник / М. П. Мазур, Ю. М. Внуков, В. Л. Доброскок, В. О. Залога, Ю. Л. Новосьолов, Ф. Я. Якубов. – Львів : Новий Світ, 2010. – 422 с.

3. *Родін П. Р.* Різальний інструмент в прикладах і задачах : навчальний посібник / П. Р. Родін, Н. С. Равська, Л. І. Ковальова. – К. : Вища школа, 1994. – 293 с.

4. *Розенберг Ю. А.* Резание материалов : учебник [для студентов технических вузов] / Ю. А. Розенберг. – Курган : ОАО «Полиграфический комбинат» Зауралье, 2007. – 294 с.

5. *Верещака А. С.* Резание материалов : учебник / А. С. Верещака, В. С. Кушнер. – М. : Высшая школа, 2009. – 539 с.

6. *ДСТУ 2249-93.* Оброблення різанням. Терміни, визначення і позначення. – Введ. 1995–01–01. – К. : Держстандарт України, 1994. – 65 с.

РОЗДІЛ IV. ТЕХНОЛОГІЇ ЗВАРЮВАННЯ

УДК 620.22:669.017

Ю.Ю. Жигуц, д-р техн. наук
Ужгородський національний університет, м. Ужгород, Україна

ТЕРМІТНЕ ЗВАРЮВАННЯ ЧАВУННИХ ДЕТАЛЕЙ

Ю.Ю. Жигуц, д-р техн. наук
Ужгородский национальный университет, г. Ужгород, Украина

ТЕРМИТНАЯ СВАРКА ЧУГУННЫХ ДЕТАЛЕЙ

Yurii Zhyhuts, Doctor of Technical Sciences
Uzhhorod National University, Uzhhorod, Ukraine

THE THERMIT WELDING OF CAST IRONS

У запропонованій роботі розглянуто проблему, пов'язану із синтезом чавунів металотермією, а саме алюмінотермією. На основі розробленого методу розрахунку встановлено склад шихти й у подальшому синтезовано чавуни в умовах мікроплавлення. З метою поєднання методу синтезу та одночасного модифікування магнієм та іншими модифікаторами для отримання у структурі чавуна кулястого графіту додатково у склад шихти введено магній. Результати синтезу використано для розроблення складу шихти для термітного зварювання чавунних зразків. Виявлено особливості проведення металотермічного способу лиття, досліджено особливості процесу синтезу та механічні властивості синтезованих високоміцних чавунів.

Ключові слова: *металотермія, мікроплавлення, шихта, чавун, зварювання, властивості.*

В предлагаемой работе рассмотрена проблема, связанная с синтезом чугунов металлотермией, а именно алюминотермией. На основе разработанного метода расчета установлен состав шихты и в дальнейшем синтезированы чугуны в условиях микроплавок. С целью объединения метода синтеза и одновременного модифицирования магнием и другими модификаторами для получения в структуре чугуна шаровидного графита дополнительно в состав шихты введен магний. Результаты синтеза использовано для разработки состава шихты для термитной сварки чугунных образцов. Выявлены особенности проведения металлотермического способа литья, исследованы особенности процесса синтеза и механические свойства синтезированных высокопрочных чугунов.

Ключевые слова: *металлотермия, микроплавки, шихта, чугун, сварка, свойства.*

In the given paper problems dealing with the synthesis of cast irons by metallothermy, particularly by aluminiumthermy, are considered. On the basis of worked-out method of calculating the arrangement of burden compositions and further on high-strength cast irons were synthesized in micromelting conditions. For the aim of combining of synthesis method and method of modification by magnesium and by other modifiers for getting of globular graphite magnesium termite was put additionally to the composition of burden. The results of synthesis are used for termite welding of cast-iron samples. The peculiarities of metalthermit casting conducting are detected, mechanical peculiarities of high-strength cast irons are investigated peculiarities of synthesis of high-strength cast irons are examined investigated.

Key words: *metallotermy, micromelting, burden compositions, cast iron, welding, properties.*

Вступ. Важливою проблемою є не тільки створення нових матеріалів та покращення властивостей традиційних, але і забезпечення запасними частинами немасового використання невеликих підприємств та майстерень, де немає відповідної промислової бази. Детальне вивчення питання дає можливість вважати, що перераховані вище проблеми можуть бути успішно вирішені за рахунок застосування матеріалів, отриманих спалюванням екзотермічних порошкових сумішей.

Металотермічні реакції набувають усе більшого розповсюдження. За відсутності енергетичної та сировинної бази, спеціального плавильного і ливарного обладнання такі технологічні процеси створення матеріалів стають економічно доцільними, а використання їх у вже наявних методах виготовлення заготовок, наприклад, у технологіях отримування сталевих і чавунних виливків з термітними ливарними додатками, термітного зварювання, суттєво підвищують ефективність виробництва.

Високоміцний чавун з глобулярним графітом зазвичай отримується модифікуванням рідкого чавуну магнієм (магнієвий чавун) [1]. Одночасно добре відомі алюмінотермічні процеси, під час яких рідкий метал отримується в результаті взаємодії його оксидів з порошкоподібним алюмінієм [2]. Якщо б у результаті алюмінотермічного процесу вдалося б отримати рідкий магнієвий чавун, то у перегрітому вигляді він міг би застосовуватись для зварювання виливків із сірого і високоміцного чавунів, а коли

вартість рідкого сплаву не є лімітуючим фактором, таким способом можна було б отримувати і весь виливок з магнієвого чавуну.

Загальні проблеми. Проблема застосування чавунів під час зварювання сплавів, отриманих технологією термітного синтезу, полягає, передусім, в усуненні відбіленого шару під час зварювання різних типів чавунів, забезпечуючи мінімальне випалювання модифікаторів, за рахунок використання термітного чавуну з глобулярним графітом, утвореного у спеціальному двокамерному реакторі.

Метою роботи було встановлення можливості отримувати якісний високоміцний чавун металотермічним способом, а також встановлення властивостей і структури, особливостей хімічного складу синтезованого сплаву та наступне його застосування для термітного зварювання.

Теоретичні положення. Під час організації процесу синтезу чавунів алюмінотермією використовують класичні термітні реакції, засновані на окисленні алюмінію і відновленні заліза [1]. Схема для отримання досліджених чавунів комбінованими процесами під час використання інгредієнтів (порошкових сумішей металів, феросплавів та оксидів) показана формулою:

$$Fe_3O_4+SiO_2+Al \rightarrow Fe+Si+Al_2O_3+Q \text{ Дж}.$$

Поставлена проблема може бути вирішена і таким чином, що лігатура ферум–силіцій–магній–рідкісноземельні метали (наприклад, церій) вводять у розплав після завершення процесу алюмінотермічної реакції, тобто після отримання рідкого металу алюмінотермією.

Переваги алюмінотермічного способу зварювання чавунів полягають у тому, що термітний чавун з глобулярним графітом вміщує підвищену кількість силіцію, який поступає з лігатури, ферум–силіцій–магній–рідкісноземельні метали, і деяку кількість алюмінію, що потрапляє у розплав з фероалюмінієвого терміту. Все це сприяє переходу частини силіцію й алюмінію у проміжкову зону часткового оплавлення зварюваного чавуну та запобігає випаданню в ній евтектичного цементиту під час твердіння. При цьому зварний шов отримується з високоміцного чавуну, тобто стає навіть міцнішим, ніж основний метал, а саме – сірий чавун при плавному переході структур від зони зварювання до матричного сплаву.

Матеріали і методика проведення експерименту. Для визначення маси металевого зливка та виходу металу з шихти були проведені мікроплавлення з масою шихти 200–300 г у металевому тиглі діаметром 80 мм з різним процентним співвідношенням компонентів у суміші. Ініціювання процесу горіння проводили спеціальним титановим запалом, виготовленим з порошку титанового хімічного ПХ-2 ТУ 48–10–78–83. Твердість досліджувалася на приладі Бріннеля за ГОСТ 9012–59. Заготовки для шліфів виготовлялися з головок зразків, вилитих для механічних випробовувань. Під час виконання роботи були використані матеріали: сажа ацетиленова (технічний вуглець ТУ 14–7–24–80), порошок алюмінієвий ПА-3–ПА-4 ГОСТ 6058–73, просіяне мливо алюмінієвої стружки, лігатури феросиліцію ФС75 та ін. Порошкова шихта просушувалася, перемішувалася, ущільнювалася і після цього розміщувалася у камері металотермічного реактора.

Одне із завдань дослідження полягало у тому, щоб розробити методику розрахунку складу шихти на основі стехіометричного співвідношення компонентів реакції із введенням відповідних коефіцієнтів, яка б враховувала активність компонентів і коефіцієнти їх засвоєння сплавом. Ця розроблена методика дозволяє встановити склад металотермічних шихт і розрахувати адіабатичну температуру її горіння. Головною умовою такого металотермічного процесу є необхідність отримати реальну температуру горіння шихти вище температури плавлення шлаку [2–7], яка для Al_2O_3 дорівнює 2400 K. У подальшому тео-

ретичні розрахунки перевірялися під час проведення експериментальних мікроплавлень. З метою здешевлення собівартості шихти замість алюмінієвого порошку в подальшому використовували мливо алюмінієвої стружки. Проведена корекція хімічного складу шихти дозволила провести зварювання заготовок у дослідно-промислових умовах.

Експериментальні дослідження. Під час проведення експериментальних досліджень синтез високоміцних чавунів виконувався у металотермічному реакторі, який працює таким чином (рис. 1) – у верхній камері *10* проходить металотермічна реакція горіння фероалюмінієвого терміту і розчинення у термітній сталі графітового порошку, а також розділення рідких продуктів реакції на металічну і шлакову фази. В результаті шлакова фаза спливає, а рідкий чавун збирається у нижній частині камери і пропалює тонку пластинку *12*.

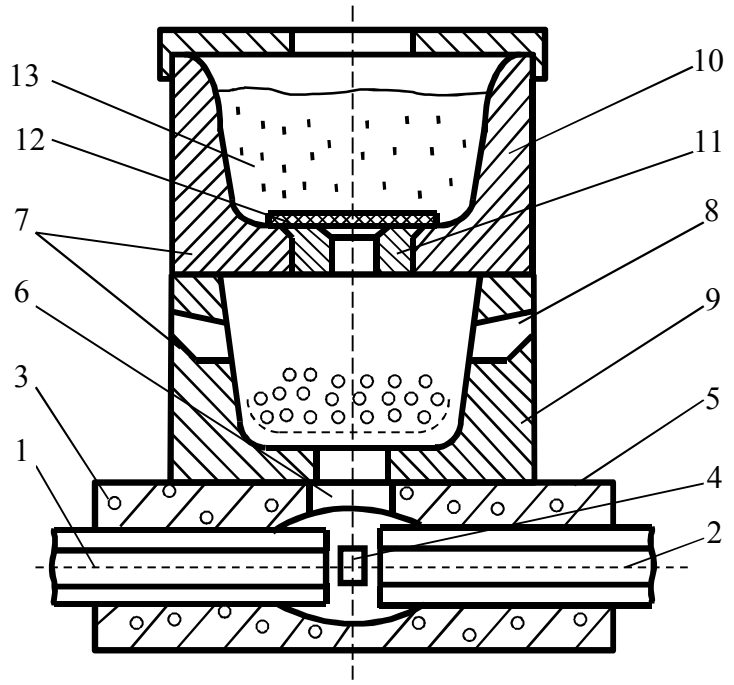
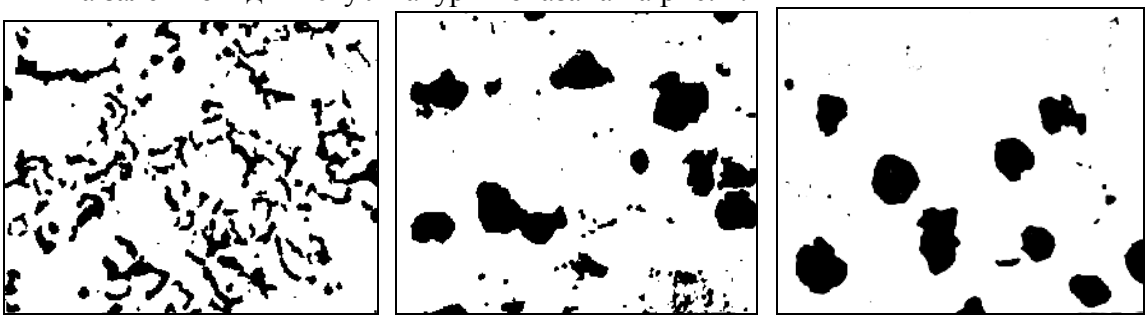


Рис. 1. Конструкція металотермічного реактора для зварювання: 1, 2 – чавунні плити з СЧ20 товщиною 30 мм, 3 – формувальна суміш, 4 – пінополіуретанова вставка у порожнині зварювання, 5 – опока, 6 – вертикальний ливарний канал, 7 – двокамерний реактор, 8 – отвір, 9 – нижня камера, 10 – верхня камера, 11 – стержень з отвором, 12 – пластинка, 13 – суміш терміту та графітового порошку

У камері легування та модифікування *9* відбувалася взаємодія утвореного розплаву чавуну з лігатурою залізо–силіцій–магній–рідкісноземельні метали під час перетікання його у порожнину термітного зварювання *4*. При цій взаємодії проходило насичення рідкого чавуну силіцієм і елементами-модифікаторами для глобуляризації графіту.

Плити *1* і *2* заформовували у піщано-глиняну суміш *3*, при цьому щілина між ними шириною *10* мм заповнювалася пінополіуретаном *4*. Плити *1*, *2* та поліуретановий прошарок *4* прикривалися опокою з формувальною сумішшю *5*, яка мала рівні лади. У верхній напівформі існував канал *6*, на якому встановлювався двокамерний реактор *7*. У формувальній суміші передбачався тимчасовий отвір *8*, через який подавали полум'я газового пальника, що пропалювало пінополіуретановий прошарок *4* (який запобігав зміщенню зварюваних заготовок у процесі їх виформовування і не дозволяв зволожувати зону зварювання). Полум'я розжарювало торці плит *1* і *2* та прогрівало порожнину термітного зварювання, а одночасно і канал *6*, нижню *9* та верхню *10* камери реактора. Після завершення операції прожарювання у камеру *9* закладали лігатуру ферум–силіцій–магній–рідкісноземельні метали і стержень *11* з отвором, який перекривали тонкою пластиною із сталі. У камеру *10* засипали суміш терміту і графітового порошку

13. Розігрів плит *1* і *2* пальником проводився до 300 С. Суміш підпалювалась термітним сірником або запалом з порошку титану, який, у свою чергу, підпалювали звичайним сірником. Приблизно через 20–25 секунд після початку технологічної операції горіння пластина *12* пропалювалась термітним чавуном, який виливався у камеру *9*, розчиняючи на своєму шляху лігатуру ферум–силіцій–магній–рідкісноземельні метали, а далі стікав у канал *6* і у порожнину зварювання. Шар на торцях плит *1* та *2* відновлювався розплавом чавуну, який вміщував силіцій. Плити приварювалися одна до одної у процесі їх оплавлення перегрітим чавуном і його твердіння. Досліджена мікроструктура зони шва залежно від вмісту лігатури показана на рис. 2.



а *б* *в*

Рис. 2. Мікроструктури термітних чавунних швів: а – вміст лігатури у шихті 2 %; б – вміст лігатури у шихті 4 %; в – вміст лігатури у шихті 5 %, х100

Під час дослідження використовувався термітний чавун з глобулярним графітом, отриманий у двокамерному реакторі в результаті горіння термітної суміші [1] такого складу (% за масою): порошок графіту – 3,5–6,3; лігатура ферум–силіцій–магній–рідкісноземельні метали (наприклад, церій) – 3,0–6,0; плавиковий шпат – 2,0–3,0; феро-алюмінієвий терміт – решта.

Надалі досліджувався матеріал зварного шва. Результати цих випробувань показано у табл. Розроблені склади термітних сумішей можна використовувати і в технології термітних ливарних додатків високого температурного градієнта [1].

Синтезований високоміцний чавун дозволяє проводити зварювання чавунних заготовок з отриманням зварного шва міцністю ~550 МПа.

Обговорення результатів дослідження. Термітне зварювання чавуну цим способом у 2–3 рази дорожче за традиційну технологію зварювання чавунних деталей.

Економічний ефект досягається тільки в тому випадку, коли чавунні деталі необхідно зварювати в умовах відсутності звичайного зварювального обладнання, зовнішніх джерел енергії. У процесі зварювання досягається висока якість з'єднання за рахунок відсутності у зварному шві зони відбілу. В результаті зварювання сірого чавуну шов набуває структури і властивостей високоміцного чавуну, про що свідчать результати експериментальних досліджень, показані у табл.

Таблиця

Властивості термітного зварного шва

№ з/п	Метал	Властивості зони зварювання			
		Кількість глобулярного графіту [8] у структурі	Твердість, НВ	$\sigma_в$, МПа	σ_{10}[1], %
1	Сірий чавун	0	170	210	0
2	Перехідна зона[2]	30–70	–	–	–
3	Високоміцний чавун	85–95	190	550	4,5

Примітка: [1]механічні властивості визначено на стандартних зразках діаметром 10 мм;
[2]відбілу немає.

Висновки і пропозиції. Теоретично й експериментально показана принципова можливість термітного зварювання високоміцних чавунів, встановлено їх механічні властивості, мікроструктуру. Дослідження термітних чавунів показало, що їх механічні властивості відрізняються підвищеною міцністю під час отримання глобулярної структури графіту.

Список використаних джерел

1. *Жигуц Ю. Ю.* Сплави, синтезовані металотермією і СВС-процесами / Ю. Ю. Жигуц. – Ужгород : Ґражда, 2008. – 276 с.

2. *Жигуц Ю. Ю.* Методика розрахунку складу екзотермічних шихт на основі термохімічного аналізу / Ю. Жигуц, В. Широков // Машинознавство. – 2005. – № 4. – С. 48–50.

3. *Жигуц Ю. Ю.* Технологія синтезу термітних кременистих чавунів / Ю. Ю. Жигуц // Прогресивні технології і системи машинобудування. – 2013. – № 1/2. – С. 108–111.

4. *Жигуц Ю. Ю.* Сірі і білі спеціальні термітні чавуни / Ю. Ю. Жигуц // Вісник національного університету «Львівська політехніка». Оптимізація виробничих процесів і технічний контроль у машинобудуванні та приладобудуванні. – 2003. – № 480. – С. 148–153.

5. *Zhiguts, Yu.* The features of properties and structure of thermite high-strong cast iron / Yu. Zhiguts, V. Shurokov // Міжвузівський збірник Луцького національного технічного університету «Наукові нотатки». – 2013. – № 41, ч. 1. – С. 23–32.

6. *Жигуц Ю. Ю.* Технологія отримання термітних зносостійких чавунів [Електронний ресурс] / Ю. Ю. Жигуц // Збірник наукових праць Дніпродзержинського державного технічного університету. Технічні науки. – 2013. – № 1 (21). – С. 27–31. — Режим доступу : http://www.http: // archive.nbuv.gov.ua/ portal/natural/Znpddtu/htm.

7. *Zhiguts, Yu.* Special grey and white termite cast irons / Yu. Zhiguts, V. Lazar // British Journal of Science, “London University Press”. – 2014. – № 2 (6), vol. 1. – P. 201–207.

8. *Литовка В. И.* Количественная оценка формы графита в высокопрочном чугуне / В. И. Литовка, Г. И. Хубенов, Л. А. Котова // Литейное производство. – 1979. – № 5. – С. 11–12.

РОЗДІЛ V. ІНФОРМАЦІЙНО-КОМП'ЮТЕРНІ ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 004.94

В.В. Казимир, д-р техн. наук
М.В. Харченко, асистент
Чернігівський національний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

ТЕХНОЛОГІЯ ПОБУДОВИ ВБУДОВАНИХ ПРОГРАМНИХ МОДЕЛЕЙ БІЗНЕС-ПРОЦЕСІВ НА ОСНОВІ ЇХ XML-ОПИСІВ

В.В. Казимир, д-р техн. наук
М.В. Харченко, ассистент
Черниговский национальный технологический университет, г. Чернигов, Украина

ТЕХНОЛОГИЯ ПОСТРОЕНИЯ ВСТРАИВАЕМЫХ ПРОГРАММНЫХ МОДЕЛЕЙ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ НА ОСНОВЕ ИХ XML-ОПИСАНИЙ

Volodymyr Kazymyr, Doctor of Technical Sciences
Maryna Kharchenko, assistant
Chernihiv National University of Technology, Chernihiv, Ukraine

THE TECHNOLOGY OF CREATING EMBEDDED SOFTWARE MODELS OF BUSINESS-PROCESSES BASED ON THEIR XML DESCRIPTIONS

Розглянуто можливості використання мови XML для побудови програмних моделей бізнес-процесів. Запропоновано метод конвертації XML-опису концептуальної моделі бізнес-процесу в XML-опис формалізованої моделі за допомогою введення додаткових структур. Розроблено метод вбудовування програмних моделей бізнес-процесів у контур управління управляючого web-порталу.

Ключові слова: *бізнес-процес, технологія, вбудована модель, управління, xml.*

Рассмотрены возможности использования языка XML для построения программных моделей бизнес-процессов. Предложен метод конвертации XML-описания концептуальной модели бизнес-процесса в XML-описание формализованной модели путем ввода дополнительных структур. Разработан метод встраивания программных моделей бизнес-процессов в контур управления управляющего web-портала.

Ключевые слова: *бизнес-процесс, технология, встраиваемая модель, управление, xml.*

Possibilities of using XML for building software models of business processes are describe in the article. The method for converting XML-description of the conceptual model of the business process to XML-description of formalized model by adding additional structures is proposed. A method of embedding software models of business processes in a control loop of a managing web-portal is developed and described in the article.

Key words: *a business process, a technology, an embedded model, a management, xml.*

Постановка проблеми. Проблема комплексної автоматизації управлінської діяльності дуже актуальна для кожного підприємства. Цей процес повинен відбуватися із застосуванням певного методу, який дозволив би провести зміни з максимальною ефективністю [1]. Таким методом на сьогодні є моделювання бізнес-процесів підприємств. Пропонується для побудови моделі бізнес-процесу застосовувати такі самі етапи, що і для побудови імітаційної моделі. А саме, розроблення таких моделей, як концептуальної, формальної, програмної [2]. У роботі [3] авторами запропоновано використовувати формальний апарат управляючих Е-мереж для формалізації бізнес-процесів. Щоб мати змогу створити за отриманим формалізованим описом програмну модель бізнес-процесу і в подальшому використовувати її для реалізації концепції управляючих web-порталів [4], необхідно розробити технологію перетворення формалізованої моделі у програмний код алгоритму виконання бізнес-процесу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питання моделювання й автоматизації управління бізнес-процесами розглядається у працях Б. Старінського, Л.В. Кузнєцової, А.В. Ніколаєва, О.І. Максимова, А.Є. Глухова [5] та ін. Однак, незважаючи на свою актуальність, рівень дослідження питання вбудовування моделей бізнес-процесів у контур управління управляючих web-порталів не достатній.

Мета статті. Головною метою цієї статті є розроблення інформаційної технології побудови програмної моделі бізнес-процесу, яка може бути вбудована в контур управління управляючого web-порталу.

Виклад основного матеріалу. Графічно представлені концептуальна і формальна моделі дозволяють якнайкраще відобразити логіку виконання бізнес-процесу, але їх не можна застосовувати для управління процесами. У зв'язку з цим виникає необхідність перетворення даних моделей у такий формат, який можна використовувати у подальшому для реалізації інформаційної підтримки управління бізнес-процесами.

Використання XML для опису бізнес-процесів

Кожна модель бізнес-процесу має ієрархічну структуру, яка складається із послідовності виконуваних етапів (операцій), станів, ресурсів (виконавців бізнес-процесу та інформаційних ресурсів), товарів і послуг. Як відомо, дані такого типу легко представити у вигляді структурованого опису даних. До того ж одним із об'єктів управління бізнес-процесів є документи. Згідно зі стандартом ISO 23081-1:2006 [6] для управління документами, бізнес-правилами та бізнес-процесами використовуються їх метадані. У стандарті визначено, що структура таких метаданих описуються на мові XML [7].

На рис. 1 у вигляді схеми показана ієрархія структури документа XML, що містить кореневий елемент, декілька вузлових елементів, а також вузлів нижчого рівня і так далі.

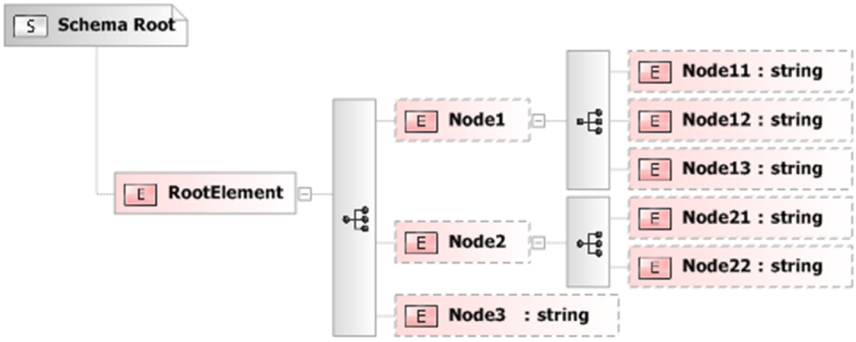


Рис. 1. Ієрархія структури документа XML

XML – це ієрархічна структура, призначена для зберігання будь-яких даних, візуально структура яких може бути представлена як дерево. Найважливіша обов'язкова синтаксична вимога – те, що документ має тільки один кореневий елемент. Текст або інші дані всього документа мають бути розташовані між єдиним початковим кореневим тегом і відповідним йому кінцевим тегом. Таким чином, як мову опису бізнес-процесів оберемо XML.

Технологічно процес побудови програмних моделей бізнес-процесів і їх вбудовування в управляючий web-портал полягає у послідовному виконанні шести етапів.

1. Визначення XML-опису концептуальної моделі бізнес-процесу.
2. Розширення XML-опису концептуальної моделі з урахуванням формального апарату управляючих Е-мереж і отримання XML-опису формалізованої моделі бізнес-процесу.
3. Визначення XML-структури управляючого web-порталу.
4. Додаткова розмітка XML-документів.
5. Визначення піддокументів.
6. Відображення піддокументів.

XML-опис концептуальної моделі бізнес-процесу можна легко отримати за допомогою експорту її графічного представлення (IDEF0 та IDEF3) засобами системи моделювання бізнес-процесів, наприклад, BPWin.

Реалізація другого етапу відбувається за методом конвертації, що описується нижче.

Етапи 3–6 також описуються нижче в методі вбудовування моделей бізнес-процесів у контур управління управляючого web-порталу.

Метод конвертації XML-опису концептуальної моделі в XML-формат формалізованої моделі бізнес-процесу

Суть методу полягає в конвертації описів концептуальних моделей бізнес-процесів із стандартного формату XML у спеціалізований формат [8]. Оскільки формалізована модель будується із використанням формального апарату управляючих Е-мереж, то для перетворення використаємо запропоноване у роботі [9] розширення визначенням CEN (Contol E-Nets – управляючі Е-мережі) формату Petri Net Markup Language (PNML). Основу схеми визначення мережі складають: схема визначення позиції, схема визначення переходу і схема визначення дуги.

На рис. 2–5 наведені схеми PNML-визначень основних компонентів CEN.

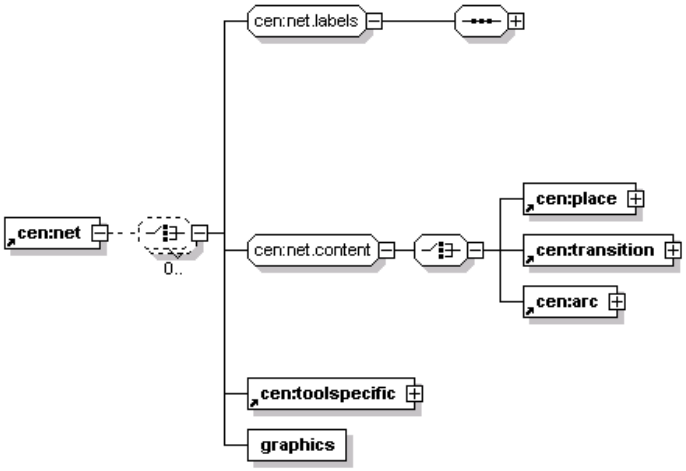


Рис. 2. Схема PNML – визначення мережі

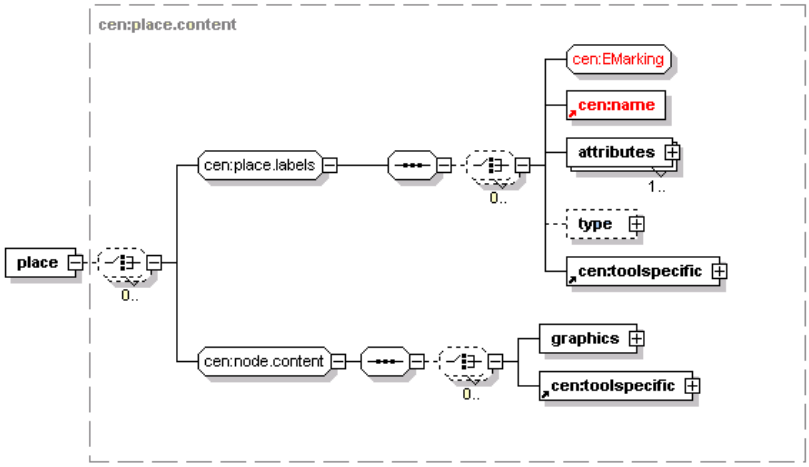


Рис. 3. Схема PNML – визначення позиції

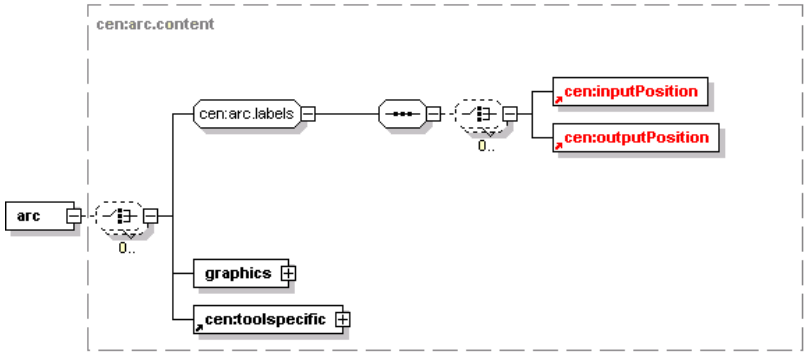


Рис. 4. Схема PNML – визначення дуги

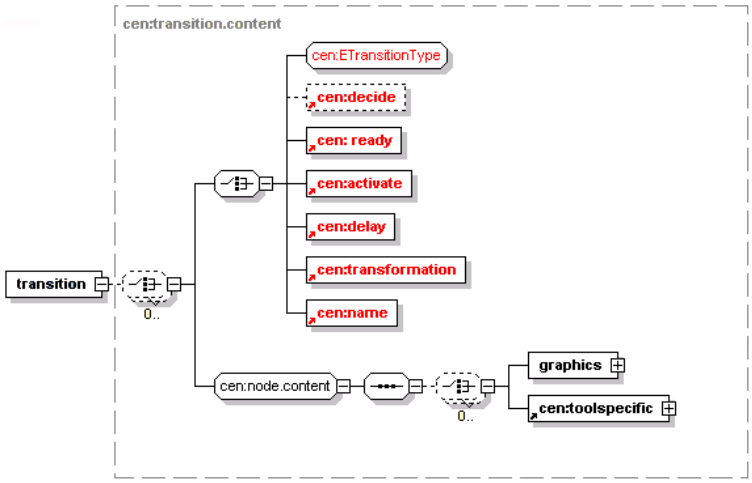


Рис. 5. Схема PNML – визначення переходу

На підставі наведених схем генерується XSD-файл, який використовується для конвертації XML-опису концептуальної моделі у XML-опис CEN-моделі (формалізованої моделі у форматі PNML).

Кожному елементу (позиції, переходу, дузі) формалізованої моделі підібрано шлях для збереження даних про модель у файлі PNML. Наприклад:

а) одній позиції елементу:

1) у файлі PNML відповідає шлях виду Xpath:
“pnml\content\net\content\place”;

2) Xpath у файлі XML:
“ProcessModeler\PMModel\PMDiagram_Groups\PMDiagram\PMBox_Groups\PMBox”;

б) дуга матиме вигляд:

1) Xpath у файлі PNML: “pnml\content\net\content\arc”;

2) Xpath у файлі XML:
“ProcessModeler\PMModel\PMActivity_Groups\PMActivity”;

в) перехід матиме вигляд:

1) Xpath у файлі PNML: “pnml\content\net\content\transition”;

2) Xpath у файлі XML:
“ProcessModeler\PMModel\ PMJunction _Groups\ PMJunction”.

Під час конвертації формалізованого опису моделі бізнес-процесу у форматі XML відбувається пошук та поєднання необхідних даних про об’єкти моделі на основі закладеної в конверторі інформації про місцезнаходження та відповідності метаданих.

У процесі читання файла виконується послідовне визначення об’єктів:

– позицій – основних елементів діаграм;
– переходів;
– взаємозв’язків між позиціями і переходами на основі посилань, що трапляються у властивостях дуг та позицій.

Коли всі знайдені дані структуровані необхідним чином, так що є елементи, переходи та посилання між ними, виконується запис у файл PNML кожної позиції, кожної структури у такому порядку: позиції, переходи, дуги за встановленими правилами та визначеними шляхами Xpath. Усі відповідні властивості заповнюються на основі відповідностей об’єктів.

Тому позиція, що у початковому файлі XML мала опис у вигляді:

<PMBox id="{517322F2-E663-422A-AA37-9F95F3955E95}+00000000"
Name="Prog">

<PMBoxProps>

<PMBoxCoordinates member_name="left">695</PMBoxCoordinates>
<PMBoxCoordinates member_name="top">100</PMBoxCoordinates>
<PMBoxCoordinates member_name="right">760</PMBoxCoordinates>
<PMBoxCoordinates member_name="bottom">215</PMBoxCoordinates>
<PMActivityRef>{0FEBE7B1-F9BD-4C83-BBE0-23E30728E745}+00000000
</PMActivityRef>
<PMUowIdNumber>2</PMUowIdNumber>
<PMPersistentBoxNumber />
<PMDrawStyle>0</PMDrawStyle>
<PMObjectFontReference>{9ACD20C4-C74C-4099-B9BF-1E6880774C22}+
00000000</PMObjectFontReference>
<PMTextColorReference />
<PMTitleColorReference />
<PMBackgroundColorReference />
<PMBitmapRef>{21B92027-26A1-4D4C-A91C-
82295C501E6E}+00000000</PMBitmapRef>
<PMBitmapJustification>0</PMBitmapJustification>
<PMShapeId>0</PMShapeId>
</PMBoxProps>
</PMBox>,

у новому файлі має вигляд:

```
<tns:pnml xmlns:tns="http://www.stu.chernihiv.ua/CEN"
xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance"
xsi:schemaLocation="http://www. stu.chernihiv.ua/CEN E:\CEN_PNML.xsd" >
<tns:place id="517322F2-E663-422A-AA37-9F95F3955E95">
<tns:graphics>
    <tns:position>
        <attribute name="x">695</attribute>
        <attribute name="y">100</attribute>
    </tns:position>
</tns:graphics>
<tns:attributes>
    <tns:attribute>
        <tns:name>Prog</tns:name>
    </tns:attribute>
</tns:attributes>
<tns:attributes>
    <tns:attribute>
        <tns:type>Position</tns:type>
    </tns:attribute>
</tns:attributes>
</tns:place>
</tns:pnml>.
```

Отже, за XSD-схемою, на яку є посилання у шапці створеного файла «E:\CEN_PNML.xsd», можна створити PNML-файл.

Запропонований метод дає змогу конвертувати XML-опис концептуальної моделі бізнес-процесу у XML-опис формалізованої моделі у форматі PNML і вбудовувати отриману програмну модель в управляючий web-портал.

Метод вбудовування моделей бізнес-процесів у контур управління управляючого web-порталу

Цей метод ґрунтується на запропонованому у статті [10] підході, за яким функціонування управляючого web-порталу описується формальними моделями бізнес-процесів, представленими у форматі XML. У загальному випадку весь процес роботи web-порталу можна представити у вигляді ієрархічної структури виду:

```
<root><!-- суперкористувач-->
    <admin><!--адміністратор системи -->
      <post/><!-- посада-->
      <doctype/><!-- тип документа-->
      <department><!-- відділ -->
          <user><!-- співробітник-->
                <file><!--завантажений файл -->
                </file>
          </user>
          <customer><!--співробітник, що ініціює процес -->
          </customer>
      </department>
      <model>
          <alias><!-- екземпляри документів, що будуть переміщатись у моделі-->
                <doctype><![CDATA[link to /root/admin/doctype]]></doctype>
          </alias>
          <defination/><!--визначення структури основного документа моделі -->
          <config/><!--налаштування моделі (початковий етап, атрибути і файли,
доступні після завершення роботи моделі)-->
          <action><!--дія (етап)-->
                <subaction><!-- піддія-->
                      <action/><!--посилання на наступну дію -->
                </subaction>
                <responsible><!-- виконавець дії-->
                </responsible>
          </action>
          ...
      </model>
    </admin>
</root>.
```

Згідно із запропонованим методом наведена структура абстрактного XML-документа розділяється на окремі складові, які зберігаються у БД. Застосовуючи технологію XML, один запис БД зберігає разом дані і метадані з проекції назв об’єктів і їх атрибутів на XML-теги, а даних – на значення тегів. Оскільки об’єкти (складові) можуть бути пов’язаними, передбачено створення посилань між ними. Для цього у БД створена окрема таблиця. Таким чином, є БД, в якій у вигляді текстових записів зберігаються XML-структури, що містять відомості про моделі процесів, документи і дані користувачів, а також у БД зберігаються зв’язки між цими даними. Нижче як приклад наводиться запис про модель:

```
<name>Модель рецензування</name>
<author>Науково-дослідна частина </author>
<description>Модель процесу рецензування авторефератів, дисертацій та науково-методичної літератури </description>.
```

Наведена структура явно не пов'язана з іншими даними, але використовуючи таблицю зв'язків створюється абстрактний XML-документ, структура якого була наведена вище.

Визначення значень складових тегу model відбувається завдяки конвертації XML-опису формалізованої моделі бізнес-процесу. Так, атрибути тегу defination визначаються із значення атрибутів мітки в початковій позиції формалізованої моделі. Атрибути тегу config отримують свої значення із початкового переходу і кінцевої позиції. Тегу action відповідають дії, що виконуються під час переходу, тег subaction визначається управляючою функцією переходу. Тег responsible отримує своє значення з атрибуту «виконавець» мітки управляючої Е-мережі.

Оскільки у БД дані зберігаються у форматі XML, інтерфейс користувача також оперує даними у форматі XML. Для цього краще всього підходять дві технології – XSL та XSLT [8].

Використовуючи розроблену БД та технологію зберігання об'єктних даних, розроблення інтерфейсу користувача можна поділити на два етапи: формування даних у форматі XML згідно з моделлю відображення; перетворення підготовлених даних у формат HTML.

Формування даних являє собою підготовку DOM-документа, що містить увесь необхідний набір даних, який буде в подальшому перетворений у web-сторінку. Для побудови ієрархічного документа був розроблений набір спеціальних інструкцій для формату XSL, після оброблення яких здійснювалось підключення інших DOM-документів і їх об'єднання в один XML-документ.

Сформовані дані передаються в XSLT-шаблон, який їх обробляє та виконує перетворення у web-сторінку.

Приклад інструкцій вибірки даних з БД і формування XML-документа наведено нижче. В ньому формується список моделей.

```
<xsl:stylesheet xmlns:xsl="http://www.w3.org/1999/XSL/Transform" version="1.0">
    <xsl:template match="/">
      <xsl:element name="models">
          <xsl:attribute name="id"><xsl:value-of select="/*/@id" /></xsl:attribute>
          <xsl:element name="model">
            <xsl:attribute name="action">link</xsl:attribute>
            <xsl:attribute name="tmpl">short</xsl:attribute>
            <xsl:attribute name="doctype">model</xsl:attribute>
            <xsl:element name="criteria"> ( type='model' ) order by cdate ASC
            </xsl:element>
          </xsl:element>
      </xsl:element>
    </xsl:template>
</xsl:stylesheet>.
```

Результатом вибірки з БД буде наступний XML-документ з даними:

```
<?xml version="1.0"?>
<models id="-1" oid="101" pid="101" utype="admin" v="1">
  <model id="560" pid="101" utype="admin" v="1">
    <name> Модель рецензування </name>
    <description> Модель процесу рецензування авторефератів, дисертацій та
науково-методичної літератури </description>
    <author> Науково-дослідна частина </author>
    <used count="2"/>
  </model>
</models>.
```

Подальша робота з отриманими даними відбувається за допомогою набору XSLT-шаблонів, на основі яких будується інтерфейс користувача. Використання XSLT-шаблонів значно впливає на швидкість розроблення інтерфейсу, оскільки виокремлюючи частини інтерфейсу, що найчастіше використовуються, в окремі XSLT-шаблони, а потім, використовуючи їх шляхом комбінування, можна швидко та ефективно створювати однотипні web-сторінки. Наприклад, web-сторінки у великому об'ємі містять різні елементи управління: кнопки, поля вводу, форми, меню, таблиці та ін. Визначивши заздалегідь такі частини інтерфейсу, зникає необхідність розробляти їх знову. Достатньо під час проектування інтерфейсу задавати відповідні XSLT-шаблони його частин. XSLT-парсер, у свою чергу, під час розбору шаблонів web-сторінок буде замінювати виклики шаблонів частин інтерфейсу відповідними елементами.

Для прикладу нижче наведено фрагмент коду, що відповідає за формування посилання на сторінку із виводом списку моделей бізнес-процесів. У ньому атрибут action – одна із заздалегідь заданих дій, яку може виконати користувач. У такому випадку він встановлюється у значенні view, що означає відображення даних. Атрибут doctype визначає тип зв'язку, в цьому випадку це список моделей, відповідно models. Атрибут tmpl задає шаблон, в якому міститься запит до БД для отримання списку моделей і код формування XML-документа. Атрибут xslt визначає XSLT-шаблон, за правилами якого буде сформована web-сторінка з результатами (списком моделей). Якщо цей шаблон буде містити посилання, наприклад, для більш детального перегляду моделі, відповідно він буде містити схожі виклики формування посилань для побудови інших web-сторінок.

```
<xsl:call-template name="design_url">
    <xsl:with-param name="action">view</xsl:with-param>
    <xsl:with-param name="doctype">models</xsl:with-param>
    <xsl:with-param name="tmpl">list</xsl:with-param>
    <xsl:with-param name="xslt">page_models_view.xslt</xsl:with-param>
</xsl:call-template>.
```

Запропонований метод дозволяє вбудовувати моделі бізнес-процесів в управляючий web-портал та управляти його роботою. До того ж його використання дозволяє збільшити швидкість розроблення подібних систем за рахунок використання технологій XML, XSL, XSLT.

Висновки і пропозиції. Розглянуто можливості мови XML для програмного опису концептуальної та формалізованої моделей бізнес-процесів.

Враховуючи те, що формалізована модель бізнес-процесу будується із використанням формального апарату управляючих Е-мереж, запропоновано метод конвертації XML-опису концептуальної моделі в XML-формат формалізованої моделі за допомогою введення додаткових визначень (структур) XML для відображення елементів управляючих Е-мереж (позицій, міток, переходів).

Розроблено метод вбудовування програмних моделей бізнес-процесів у контур управління управляючого web-порталу.

Список використаних джерел

1. *Бусыгин А. В.* Эффективный менеджмент / А. В. Бусыгин. – М. : Финпресс, 2000. – 1056 с.

2. *Шабашов В. М.* Імітаційне моделювання складних систем : навч. посіб. / В. М. Шабашов, В. Я. Марецький. – Донецьк : РВВ ДНУ, 2000. – 72 с.

3. *Казимир В. В.* Модельно-орієнтована інформаційна система підтримки управління якістю ВНЗ / В. В. Казимир, М. В. Харченко // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. Серія «Технічні науки» : науковий збірник. – 2012. – № 1 (55). – С. 140–147.

4. *Казимир В. В.* Управляючі веб-портали та їх властивості / В. В. Казимир, М. В. Харченко // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. Серія «Технічні науки» : науковий збірник. – 2015. – № 1 (77). – С. 75–82.

5. *Способы* оптимизации бизнес-процессов для автоматизации управления компанией / Л. В. Кузнецова, А. В. Николаев, О. И. Максимов, А. Е. Глухов // Технические науки. Информатика, вычислительная техника. – 2008. – № 3. – С. 73–81.

6. *ISO 23081-1:2006.* Information and documentation – Records management processes – Metadata for records – Part 1: Principles.

7. *Либерти Дж.* Создание документов XML для WEB : учеб. пособие / Дж. Либерти, М. Крейли. – М. : Вильямс, 2000. – 256 с.

8. *Казимир В. В.* Моделювання робочих процедур в системі підтримки управління якістю / В. В. Казимир, М. В. Харченко // Математичне та імітаційне моделювання систем. МОДС'2011 : шоста науково-практична конференція з міжнародною участю : тези доповідей (27 червня–30 червня). – Чернігів, 2011. – С. 438–442.

9. *Казимир В. В.* Модельно-ориентированное управление интеллектуальными производствами и системами : дис. … д-ра техн. наук : спец. 05.13.06 / Казимир Владимир Викторович. – К., 2005. – 328 с.

10. *Казимир В. В.* Метод проектирования Internet-ориентированных информационно-управляющих систем на основе стандарта XML / В. В. Казимир, В. М. Мирошниченко, А. В. Пастухов // Проблемы программирования. – 2002. – № 1–2. Специальный выпуск. – С. 326–332.

УДК 004.42:004.75

С.Д. Точилин, канд. физ.-мат. наук
Запорожский национальный технический университет, г. Запорожье, Украина

АНАЛИЗ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ SOAP И RESTFUL JAVA WEB-СЛУЖБ ПОИСКА В ДАННЫХ СУБД POSTGRESQL

С.Д. Точилін, канд. фіз.-мат. наук
Запорізький національний технічний університет, м. Запоріжжя, Україна

АНАЛІЗ ПРОДУКТИВНОСТІ SOAP ТА RESTFUL JAVA WEB-СЛУЖБ ПОШУКУ В ДАНИХ СКБД POSTGRESQL

Sergey Tochilin, PhD in Physico-mathematical Sciences
Zaporozhye National Technical University, Zaporozhye, Ukraine

PERFORMANCE ANALYSIS OF SOAP AND RESTFUL JAVA WEB SERVICES FOR DATA SEARCH IN POSTGRESQL DBMS

Разработаны SOAP и RESTful Web-службы поиска в данных СУБД, а также программа-тестер для определения их производительности. С помощью созданных программ получены данные о производительности Web-служб при обработке различных объемов информации, хранящейся в СУБД PostgreSQL. Анализ данных тестирования был выполнен на основе математической аппроксимации. Полученные результаты свидетельствуют как о существенном влиянии технологии разработки службы на ее производительность, так и о целесообразности использования RESTful Web-служб при создании SOA-приложений для работы с СУБД PostgreSQL.

***Ключевые слова**: производительность, SOAP, RESTful, JAX-WS, JAX-RS, Web-служба, PostgreSQL.*

Розроблені SOAP та RESTful Web-служби пошуку в даних СКБД, а також програма-тестер визначення їх продуктивності. За допомогою створених програм отримані дані про продуктивність Web-служб під час оброблення різних обсягів інформації, яка зберігається в СКБД PostgreSQL. Аналіз даних тестування був виконаний на основі математичної апроксимації. Отримані результати свідчать як про істотний вплив технології розроблення служби на її продуктивність, так і про доцільність використання RESTful Web-служб під час створення SOA-додатків для роботи з СКБД PostgreSQL.

***Ключові слова:** продуктивність, SOAP, RESTful, JAX-WS, JAX-RS, Web-служба, PostgreSQL.*

SOAP and RESTful Web services for data search in the DBMS, as well as, a test program for determination of their performance had been developed. By means of created software applications obtained Web services performance data, while processing different amount of information, saving in PostgreSQL DBMS. Data analysis of test was executed on the basis of mathematical approximation. The results indicate a significant influence of service technology on its performance, as well as the feasibility of using RESTful Web Services by developing SOA applications for PostgreSQL DBMS.

***Key words:** performance, SOAP, RESTful, JAX-WS, JAX-RS, Web service, PostgreSQL.*

Введение. В настоящее время интенсивно развиваются технологии создания различного рода распределенных приложений, в частности, особое внимание уделяется программной реализации и оптимизации работы Web-служб.

Web-службы предоставляют IT-услуги в рамках слабосвязанных приложений, используя для этого, как правило, язык разметки XML и протокол HTTP [1; 2].

На основе Web-служб создаются как отдельные приложения, так и программные комплексы с сервис-ориентированной архитектурой (Service-Oriented Architecture – SOA), используемые многими компаниями. К ним можно отнести Amazon, Google Maps, Flickr и др.

Web-службы эффективно реализуют услуги облачных вычислений [3].

В тоже время, особое значение имеют службы, предоставляющие доступ к данным, хранящимся на Web-узлах. При этом в соответствии с [4], запросы на поиск являются наиболее важным типом транзакций информационного Web-узла. В этой связи актуальной является задача получения информации от Web-службы с максимальной оперативностью, которая зависит от того, каким образом она программно реализуется [5; 6].

Отметим также, что задача выбора оптимального программного обеспечения, реализующего Web-службу, тесно связана с задачей выбора или разработки программы-тестера службы, позволяющей определять ее производительность [6].

Постановка задачи. Программные средства Java™ являются эффективной платформой для SOA. На ее основе разрабатываются Web-службы, поддерживающие различные протоколы и технологии [1;2]. В частности, службы, основанные на обмене XML-сообщениями, используют как простой XML-RPC, так и широко распространенный в настоящее время SOAP-протокол.

Для разработки SOAP Web-служб в Java, как правило, применяют JAX-WS-технологию, которая описывается спецификацией JSR 224 [2].

В последнее время для создания распределенных приложений используют RESTful Web-службы. RESTful Web-служба – служба, обмен данными с которой осуществляется по HTTP-протоколу. Для их разработки в Java применяют JAX-RS-технологию, которая соответствует спецификации JSR 311 [2].

JAX-WS и JAX-RS технологии позволяют программисту гибко настраивать службу. Кроме того, скрывают от него механизм клиент-серверного взаимодействия, предоставляя возможность полностью сосредоточиться на реализации логики приложений.

В частности, Java Web-службы, широко используются для доступа к информации, хранящейся в базах данных СУБД, размещенных на Web-узлах.

Как известно, к наиболее распространенным и производительным СУБД, которые распространяют на условиях открытых исходных кодов, относят PostgreSQL [7].

Особенности производительности XML-RPC Java Web-служб поиска в данных PostgreSQL были изучены нами ранее в работе [6]. Однако подобных исследований для SOAP и RESTful Java Web-служб не было проведено.

В настоящей работе была поставлена задача анализа производительности SOAP и RESTful Java Web-служб поиска в данных СУБД PostgreSQL, для определения оптимального программного обеспечения, работающего с данными СУБД. В этих целях предполагалось также разработать программу-тестер с простым интерфейсом пользователя.

Результаты исследований и их обсуждение. Для решения поставленной задачи было разработано два варианта распределенных приложений, имевших общую клиентскую часть (программа-тестер) и функционально подобные Web-службы.

Кроме того, был подготовлен объект исследования, он представлял собой базу данных (БД) СУБД PostgreSQL, которая имела восемь отношений (Data1 – Data8), с одной и той же структурой полей (два поля – ключевое и данных), но различным объемом хранимой информации V, в которой осуществлялся поиск (от 1,25 МБайт до 10 Мбайт, шаг – 1,25 МБайт).

Для оценки и сравнения производительности SOAP и RESTful Java Web-служб, при работе с данной БД, мы определяли их время отклика τ (время, которое затрачивает служба на выполнение запроса пользователя) при работе с каждым отношением.

В соответствии с [4] для τ справедливо следующее выражение:

$$\tau = \mathrm{T} - t, \quad (1)$$

где T – полное время выполнения запроса в распределенном приложении; t – время обдумывания пользователя (среднее время, проходящее между получением пользователем ответа на свой запрос и отправкой нового запроса).

Определение времени отклика τ Web-служб осуществлялось нами с помощью компактной программы-тестера JaxTochno. В этих целях она вначале получала значения T и t при последовательном выполнении распределенным приложением двух подобных алгоритмов.

Первый из них состоял из следующей последовательности действий:

1. В клиентском приложении зафиксировать время начала работы распределенного приложения.
2. Выполнить п. 3–8 определенное число раз (число задает пользователь).
3. Сформировать параметры запроса к Web-службе.
4. Отправить из клиентского приложения запрос.
5. В программной реализации Web-службы получить параметры запроса клиента.
6. Осуществить поиск в данных СУБД с использованием параметров из п. 4.
7. Отправить результат поиска клиенту.
8. Получить в клиентском приложении результат поиска в данных СУБД.
9. Зафиксировать время.
10. Определить время работы распределенного приложения и сохранить его значение.

Второй алгоритм представлял собой сокращенную версию первого (без п. 4–8).

При этом запрос к каждой службе состоял из имени таблицы данных СУБД PostgreSQL, а также параметра поиска в ней, который в ходе эксперимента случайным образом изменял значение от 1 до максимально возможного для каждого отношения.

В тоже время программа-тестер имела простой интерфейс пользователя.

Он состоял из пяти полей ввода, трех кнопок, раскрывающегося списка, а также двух таблиц, которые использовались аналогичным образом при работе как с SOAP, так и с RESTful Java Web-службой поиска в данных PostgreSQL.

При этом программное обеспечение, использованное в данной работе, включало в себя сервер Apache Tomcat 7.0.55, Java-драйвер доступа к СУБД postgresql-9.3-1102.jdbc4.jar, jaxws-ri-2.2.8.zip и jersey-archive-1.18.zip, API для разработки JAX-WS и JAX-RS Web-служб соответственно.

Кроме того, в работе использовалась СУБД PostgreSQL-9.3.5.

Программы работали на персональном компьютере (CPU – 1,6 ГГц, RAM – 1 ГБайт).

При подготовке к проведению исследований производительности разработанных приложений на сервер Apache Tomcat устанавливались SOAP и RESTful Web-службы поиска в отношениях Data1 – Data8 СУБД PostgreSQL.

В ходе измерений, вначале в программе JaxTochno, в раскрывающемся списке “Service” выбирался тип Web-службы (SOAP или RESTful), после чего формировалась таблица “Request” с именами отношений СУБД, а также максимальными значениями параметров поиска в них. Для этих целей использовались поля ввода “Table” и ”Max”, а также кнопка “Enter” интерфейса пользователя.

Затем в поля ввода “URI” и “Reapet” вводились URI Web-службы, а также число ее обращений к отношениям при поиске в данных СУБД.

В наших исследованиях как SOAP, так и RESTful Web-служба выполняла 10 000 транзакций поиска для каждого из восьми отношений Data1 – Data8.

Запуск тестирования осуществлялся нажатием на кнопку “Run” программы-тестера.

В процессе тестирования распределенное приложение последовательно работало с данными всех таблиц БД.

При этом программа-тестер, для каждого отношения, определяла значение полного времени выполнения запроса T, затем время t обдумывания пользователя при формировании запроса и время отклика τ Web-службы при поиске в данных. После чего в таблице “Times” приложения JaxTochno появлялась информация о τ, t и T при поиске в отношениях Data1 – Data8 СУБД PostgreSQL.

С помощью кнопки “Save” результаты тестирования и его параметры, содержащиеся в полях ввода, раскрывающемся списке и таблицах программы JaxTochno, сохранялись в текстовом файле. В этих целях предварительно в поле ввода “File” вводилось имя файла для хранения данных.

На рис. точками и треугольниками изображены значения τ, полученные при тестировании. Точки – результат эксперимента для SOAP, треугольники – RESTful Web-службы.

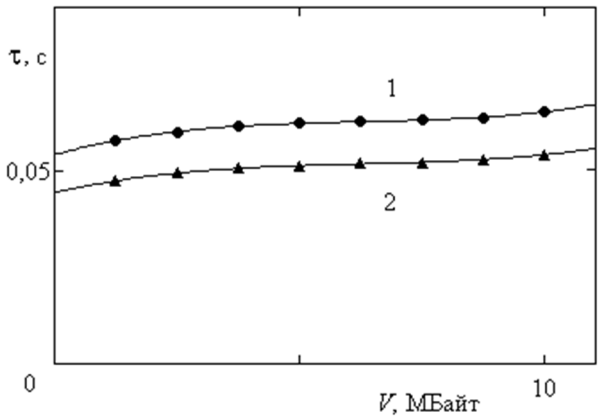


Рис. Зависимости $\tau(V)$, при поиске в данных СУБД PostgreSQL, для SOAP и RESTful Web-служб, кривые 1 и 2, соответственно. Точки и треугольники на рисунке – результаты тестирования

Как видно из этого рисунка, при восьмикратном увеличении объема информации поиска V в СУБД время отклика τ возрастало незначительно (не более чем на 20 % по отношению к начальным значениям как для SOAP, так и RESTful служб).

В тоже время зависимость τ от V, при поиске в данных СУБД PostgreSQL, имела нелинейный характер. Появление данной нелинейности может быть обусловлено влиянием различного рода факторов на время отклика Web-служб. Их описание приведено в работе [4].

Результаты тестирования были обработаны нами с помощью математической аппроксимации.

Для этих целей была использована дополнительная компьютерная программа, написанная нами на языке программирования Java на основе данных работы [8]. Эта программа реализовывала один из наиболее эффективных методов нелинейного оценивания параметров, а именно квазиньютоновский метод переменной метрики.

При этом предполагалось, что время отклика τ для Web-служб поиска в данных СУБД PostgreSQL может быть представлено в виде многочлена степени m:

$$\tau = \sum_{n=0}^{m} k_n V^n, \qquad (2)$$

где $k_0, k_1, ..., k_m$ – постоянные коэффициенты.

Как выяснилось, в результате математической аппроксимации результатов тестирования на основе (2), коэффициент детерминации D для использованной модели имел значения: 0,922 и 0,939 (при m=1), 0,951 и 0,961 (m=2), 0,997 и 0,998 (m=3), для SOAP и RESTful служб соответственно.

Зависимости (2) с m=3, полученные в результате аппроксимации данных эксперимента и наиболее точно их описывающие, также приведены на рис.

При этом, как показывают дополнительные исследования, функции $\tau(V)$ с m=3 являются монотонно возрастающими для $V \leq 10{,}0$ Мбайт.

В тоже время как приведенные на рис. экспериментальные значения τ, так и зависимости $\tau(V)$, полученные в результате их математической аппроксимации, указывают на то, что производительность Web-служб на основе JAX-RS-технологии была выше, чем на основе JAX-WS, для всего исследованного интервала значений V.

То есть для создания высокопроизводительных Java Web-служб для работы с данными СУБД PostgreSQL целесообразно использовать программное обеспечение JAX-RS-технологии.

Выводы. Таким образом, в настоящей работе нами был выполнен анализ производительности SOAP и RESTful Java Web-служб поиска в данных СУБД PostgreSQL.

Как выяснилось, для разработанных служб зависимость времени отклика при поиске в данных с объемом $V \leq 10{,}0$ МБайт, хранящихся в БД, может быть описана монотонно возрастающей кривой третьего порядка.

В тоже время при исследованных объемах данных V, хранящихся в БД СУБД PostgreSQL, RESTful Java, Web-служба является более производительной, чем аналогичная, на основе SOAP.

В дальнейшем предполагается провести подобные исследования с другими Web-серверами и СУБД. Кроме того, предполагается модернизировать разработанную программу-тестер для измерения производительности Web-служб при масштабируемых запросах.

Список использованных источников

1. *Хабибуллин И. Ш.* Разработка Web-служб средствами Java / И. Ш. Хабибуллин. – СПб. : БХВ-Петербург, 2003. – 400 с.

2. *Машнин Т. С.* Современные Java-технологии на практике / Т. С. Машнин. – СПб. : БХВ-Петербург, 2010. – 560 с.

3. *Облачные* сервисы масштаба WWW / Т. Ноор, К. Шенг, Э. Нгу, Ш. Дустдар // Открытые системы. СУБД. – 2014. – № 07. – С. 26–29.

4. *Менаске Д.* Производительность Web-служб. Анализ, оценка и планирование / Д. Менаске, В. Алмейда. – СПб., 2003. – 480 с.

5. *Performance* Comparison of Web Service Engines in PHP, Java, and C / T. Suzumura, S. Trent, M. Tatsubori, A. Tozawa, T. Onodera // Proceedings of the IEEE International Conference on Web Services (ICWS 2008), 23–26 September, 2008, Beijing, China: proceedings. – 2008. – P. 385–392.

6. *Точилин С. Д.* Производительность XML-RPC Web-служб поиска в данных СУБД MySQL и PostgreSQL / С. Д. Точилин, Д. С. Точилин // Вісник ЗДУ. – 2010. – № 1. – С. 109–113.

7. *Уорсли Дж.* PostgreSQL. Для профессионалов / Дж. Уорсли, Дж. Дрейк. – СПб. : Питер, 2003. – 496 с.

8. *Носач В. В.* Решение задач аппроксимации с помощью персональных компьютеров / В. В. Носач. – М. : МИКАП, 1994. – 382 с.

УДК 005.311.2:004.94

В.В. Трейтяк, канд. техн. наук
Національний авіаційний університет, м. Київ, Україна

ТЕХНОЛОГІЯ ОБМІНУ ДАНИМИ МІЖ КОРИСТУВАЧАМИ РІЗНИХ ІНТЕГРОВАНИХ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ ВИРОБНИЧОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

В.В. Трейтяк, канд. техн. наук
Национальный авиационный университет, г. Киев, Украина

ТЕХНОЛОГИЯ ОБМЕНА ДАННЫМИ МЕЖДУ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯМИ РАЗНЫХ ИНТЕГРИРОВАННЫХ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Viacheslav Treitiak, PhD in Technical Sciences
National Aviation University, Kyiv, Ukraine

TECHNOLOGY OF DATA EXCHANGE BETWEEN USERS OF DIFFERENT INTEGRATED AUTOMATED SYSTEMS OF PRODUCTION PURPOSES

Формалізовано задачу інтеграції автоматизованих систем на рівні обміну даними між користувачами. Запропоновано технологію обміну виробничими даними, яка базується на розробленні та використанні інтегрованого інформаційного середовища та уніфікатора обміну даними. Дослідження ґрунтуються на досвіді розроблення, впровадження та використанні сучасних інтегрованих автоматизованих систем виробничого призначення. Представлена технологія обміну даними пройшла експериментальну апробацію на базових для досліджень промислових підприємствах України.

Ключові слова: *обмін даними, інтегрована автоматизована система, виробничі дані, уніфікатор обміну даними, інформаційне середовище підприємства.*

Формализована задача интеграции автоматизированных систем на уровне обмена данными между пользователями. Предложена технология обмена данными, которая базируется на разработке и использовании интегрированной информационной среды и унификатора обмена данными. Исследования базируются на опыте разработки, внедрения и использования современных интегрированных автоматизированных систем производственного назначения. Представленная технология обмена данными прошла экспериментальную апробацию на базовых для исследования промышленных предприятиях Украины.

Ключевые слова: *обмен данными, интегрированная автоматизированная система, производственные данные, унификатор обмена данными, информационная среда предприятия.*

In the article was formalized the task of integration of integrated automated system at the level of exchange by data between users. Technology of exchange is offered by data, that is based on development and use of the integrated informative environment and unificator of exchange data. Researches are based on experience of development, introduction and use of the modern integrated automated system of the productive setting. The presented technology of exchange passed experimental approbation data on base for research industrial enterprises of Ukraine.

Key words: *exchange by data, integrated automated system, productive data, unificator of exchange by data, informative environment of enterprise.*

Постановка проблеми. Історично на кожному підприємстві існують різні інформаційні автоматизовані системи, які частіше всього функціонують незалежно одна від одної та вирішують свій клас задач. Певні виробничі задачі вирішуються неефективно або не вирішуються взагалі без колаборативного використання даних одразу кількох автоматизованих систем, що і робить актуальною задачу інтеграції автоматизованих систем за даними. Безумовно, що актуальність задачі інтеграції тим вища, чим вищий рівень її користувачів у системі управління (для прийняття рішень у масштабі підприємства з великою часткою вірогідності потрібні дані з різних підрозділів, різних предметних галузей та, відповідно, різних автоматизованих систем).

Вирішуючи проблему інтеграції даних, ІТ-фахівці підприємства або компанії-підрядники частіше всього йдуть очевидним шляхом, створюючи часткові інтеграційні рішення, налагоджуючи обмін даними між двома конкретними автоматизованими системами. Потрібно відзначити очевидну ефективність такого підходу як з боку продуктивності обміну даними (за рахунок використання «власних» для автоматизованих систем механізму обміну), так і з боку вартості створення такого рішення. Тим не менш, очевидними є недоліки, які пов’язані з недостатньою гнучкістю та масштабованістю такого рішення. У результаті економія на розробленні може нівелюватись суттєвими

витратами на підтримку працездатності часткових рішень в умовах постійно змінюваного інформаційного середовища.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Існують більш уніфіковані підходи до вирішення задачі інтеграції даних на рівні компанії, наприклад, використання так званих інтеграційних платформ. На ринку автоматизованих систем представлені універсальні інтеграційні платформи, такі як Microsoft BizTalk [1], IBM WebSphere [2] та інші. Їх відмінною особливістю є інваріантність предметної сфери, яка дозволяє гнучко налагоджувати інтеграційні рішення для різних галузей промисловості. Універсальність та гнучкість, як правило, обертається неефективністю в силу перевантаження функціоналу, складності архітектури та відсутністю предметної орієнтації. Важливим фактором вибору інтеграційного рішення є висока вартість загального та прикладного програмного забезпечення, яке є невід'ємною частиною інтеграційної платформи.

Невирішені частини проблеми. На нашу думку, вдалою альтернативою розглянутим підходам є створення галузевих інтеграційних платформ, які поєднують у собі гнучкість та потужні можливості універсальних платформ з продуктивністю і предметною орієнтованістю часткових рішень. Розуміючи це, розробники програмного забезпечення для інтеграції створюють галузеві шаблони інтеграційних рішень, які ґрунтуються на універсальних платформах. Проте шаблони інтеграції доступні лише для обмеженої кількості галузей та класів систем (в основному невиробничі сфери, фінансово-економічні) і не вирішують проблему додаткової вартості впровадження та обслуговування.

Машинобудівна промисловість – одна з тих, для якої задача створення ефективної та гнучкої галузевої інтеграційної платформи особливо актуальна. На сьогодні більшість промислових підприємств України не мають раціональної стратегії їх автоматизації, що призводить до відсутності інтеграції між закупленими програмними продуктами, які необхідні різним структурним підрозділам і є суттєвою перепоною для створення єдиного інформаційного простору підприємства [3]. Різноманітність цих програмних продуктів не дозволяє розробити ефективний механізм обміну даними між структурними підрозділами та ускладнює виконання виробничих процесів на промисловому підприємстві.

Мета роботи. Представити результати досліджень з розроблення технології інтеграції автоматизованих систем виробничого призначення на рівні обміну даними між користувачами в інтегрованому інформаційному середовищі підприємства.

Виклад основного матеріалу. Інформаційне забезпечення виробничих процесів на промисловому підприємстві становить оброблення великого масиву різних даних, які створюються, модифікуються та використовуються на кожному етапі виробничого циклу. Основні типи виробничих даних представлено у табл.

Аналіз типів даних, які використовуються структурними підрозділами підприємства, показав, що більшість даних не замкнуті та не використовуються виключно в межах одного структурного підрозділу підприємства. Навпаки, ефективність реалізації виробничих процесів багато в чому залежить саме від ефективної організації обміну виробничими даними між усіма її учасниками.

Типовими класами задач, які потребують інтеграції інтегрованих автоматизованих систем за виробничими даними, є:

– створення єдиної інформаційної бази з великою кількістю віддалених один від одного об'єктів і підрозділів підприємства;

– виконання інженерних розрахунків в одній системі на основі даних з інших ІАС; забезпечення високошвидкісної передачі по каналах зв'язку будь-яких видів інформаційних потоків;

– інформаційна підтримка діяльності всіх підрозділів та об'єктів підприємства;

– автоматизація всіх процесів підприємства, їх оперативний контроль та управління;

– використання технічних засобів оброблення, аналізу інформації та зведення звітів;

– забезпечення необхідного рівня безпеки та захисту інформаційних ресурсів підприємств тощо.

Таблиця

Дані, що використовуються на основних етапах життєвого циклу виробу

Тип даних	Опис
Проектні	Дані про виріб (фізико-механічні та розмірні характеристики, 3D моделі, експлуатаційні дані, креслення), дані про технологічні процеси (технологічні операції, послідовність) та ін.
Виробничі	Дані про вже виготовлені вироби, матеріальні ресурси (технологічне обладнання, його характеристики, енергоспоживання, технологічну оснастку, необхідні матеріали і сировину), трудові ресурси (перелік професій з вказівкою кваліфікації та трудові розцінки) та ін.
Планові	Дані про завантаження обладнання, строки виконання замовлення, календарне планування про собівартість виготовлення виробів на замовлення, вартість матеріалів та сировини, дані про виробничу програму підприємства, дані про портфель замовлень і замовників тощо
Нормативно-довідкова інформація	Набір класифікаторів, довідників, словників, стандартів, регламентів, які використовують на підприємстві

Як було зазначено вище, в інформаційному забезпеченні окремих виробничих процесів частіше за все задіяні самостійні ІАС. Таким чином, необхідність інформаційного обміну між виконавцями виробничих процесів, які використовують різні ІАС, вимагає вирішення задачі передачі виробничих даних між ІАС виробничого призначення (рис. 1).

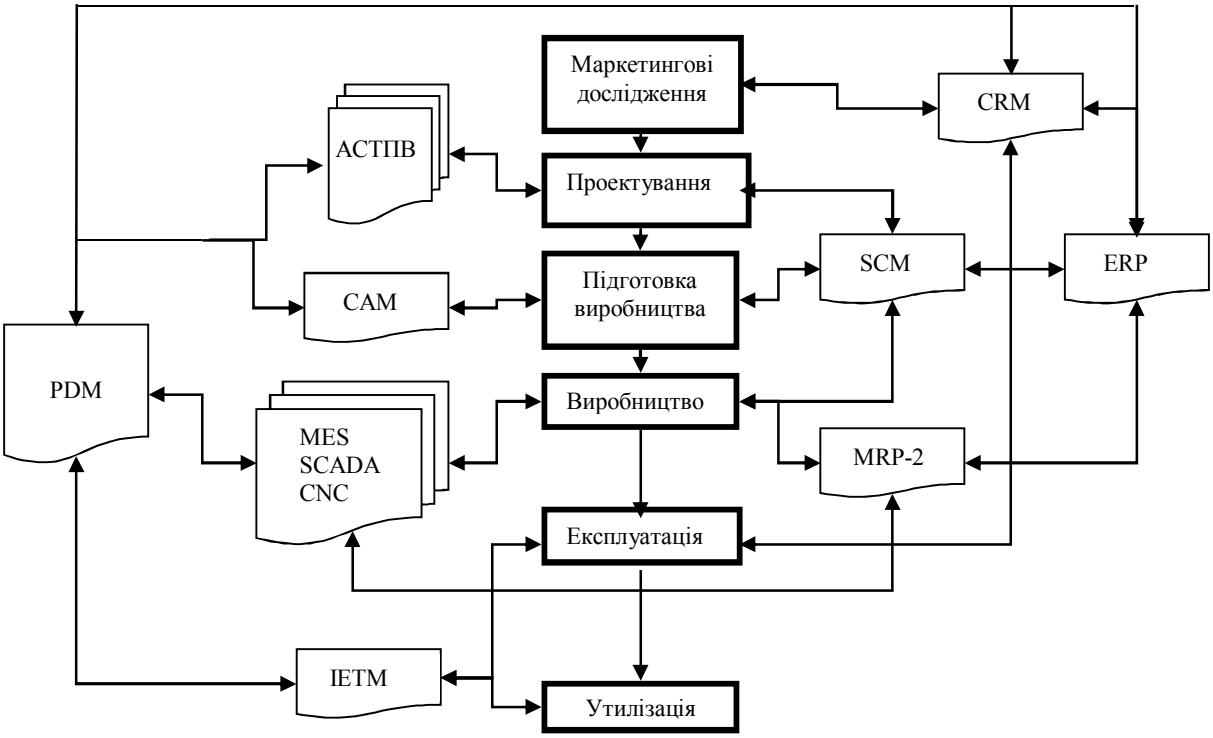


Рис. 1. Схема інформаційної підтримки етапів життєвого циклу виробу в інформаційному середовищі підприємства

Автором введено поняття «консолідації даних». Цей термін широко використовується під час створення єдиного інформаційного середовища промислового підприємства. Реалізація самої консолідації даних передбачає побудову єдиного консолідованого середовища з центральною ланкою – окремою ІАС, яка виконує функції управління процесами інтеграції та обміну даними між різними виробничими системами.

При цьому в центральному вузлі (концентраторі даних) формуються та розміщуються не лише логічні зв'язки перетворення даних та відомості про те, де саме (в якій ІАС-першоджерелі) дані знаходяться, але й самі дані. Іншими словами: сам концентратор даних є окремою ІАС з власною базою даних та за відсутності видачі необхідних даних може бути як сховищем даних, так і здійснювати оброблення цих даних. Необхідно зазначити, що концентратор даних при цьому виконує функції системи збереження даних, відповідно, має власну базу даних та програмні інструменти, які дозволяють організувати єдине консолідоване інформаційне середовище даних. Деталізовану концептуальну схему єдиного консолідованого середовища та концентратора даних на рис. 2 представлено узагальненою схемою потоку даних.

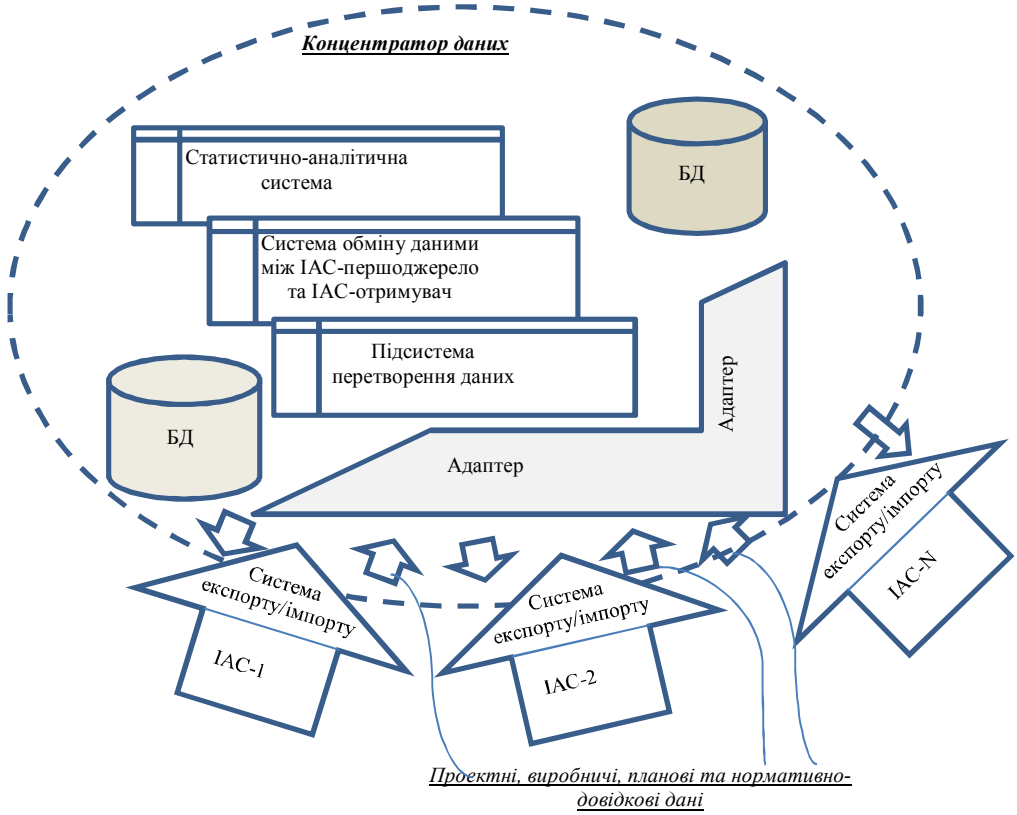


Рис. 2. Концептуальна схема єдиного консолідованого інформаційного середовища

На нижньому рівні розміщені ІАС-першоджерела, які наповнені власними реєстрами та довідниками у «своїх» форматах і структурах представлення даних. Системи передають дані зі своїх баз даних на більш високий рівень. При цьому передбачено, що дані ІАС можуть також бути ІАС-першоджерелами, отримуючи дані з більш високого рівня.

Слід зазначити, що обмін даними з більш високим рівнем передбачається з використанням окремого модуля – системи експорту-імпорту ІАС. Це може бути як модуль, який вбудовано безпосередньо в ІАС, так і модуль, який є зовнішнім та розроблений спеціально для організації єдиного консолідованого інформаційного середовища.

Центральним елементом схеми є ІАС «Концентратор даних». Вона складається з центральної бази даних, а також з програмних модулів, які забезпечують, з одного боку, взаємодію з ІАС-першоджерелами даних (та з ІАС-«отримувачами даних»), а з іншого боку – оброблення даних, які зберігаються у центральній базі даних та складання будь-яких звітів, що входять у зовнішній контур єдиного консолідованого інформаційного середовища.

На схемі показано, що під кожну функціонуючу ІАС потрібно створити перетворювач-інтерфейс взаємодії, який на схемі позначено як «Адаптер для ІАС-і», де і-умовний

порядковий номер функціонуючої ІАС. Для забезпечення швидкості підключення нових ІАС до єдиного консолідованого інформаційного середовища, зниженню загальної собівартості розроблення та супроводження всієї архітектури адаптер повинен бути універсальним та налагоджуваним, а не розроблюватись кожен раз «з нуля» під кожну ІАС.

Для забезпечення достовірності представлення даних необхідно провести відповідну конвертацію даних з одного формату в інший. Задачі конвертації даних умовно можна вирішувати двома варіантами:

1. Написання функцій прямої конвертації даних з однієї структури в іншу.
2. Створення узагальнюючого, найбільш повного формату даних, який здатен конвертувати будь-які формати ІАС.

Перший варіант частіше використовується для інтеграції даних у силу своєї простоти: необхідно розставити відповідність різних полів баз даних та перенести дані кількома (частіше всього) нескладними запитами. Задача буде легко вирішена, якщо розглядати перенос даних з одної ІАС в іншу, тобто з більш повної та чіткої структури в більш просту, проте виникають складнощі при зворотному перетворенні даних.

Другий варіант більш універсальний для реалізації масштабної інтегруючої інформаційної системи, яку покладено в основу інформаційної технології консолідації та синхронізації виробничих і нормативно-довідкових даних. Переваги цього варіанта такі:

1. Можливість створення «еталонного» представлення даних. У подальшому під час внесення коректив в наявні ІАС виробничого призначення може бути прийнято рішення про використання цього формату як основного – «внутрішнього стандарту».
2. Конвертори даних з ІАС виробничого призначення можна розроблювати без урахування того, для якої ІАС відбувається представлення даних (рис. 3). Дані, які будуть переведені в єдиний «еталонний» формат, можуть бути конвертовані у формат будь-якої ІАС виробничого призначення, що бере участь в обміні даними у межах єдиного консолідованого інформаційного середовища.
3. Цей формат можна розширювати незалежно від формату представлення у функціонуючих ІАС. Створення такого формату – перший крок на шляху створення єдиного консолідованого інформаційного середовища даних, оскільки формат стає універсальною мовою обміну даними. Залучення у конвертацію та перенесення даних третьої і наступних ІАС буде здійснюватись незалежно, оскільки вже буде існувати єдиний формат обміну даними в консолідованому інформаційному середовищі.

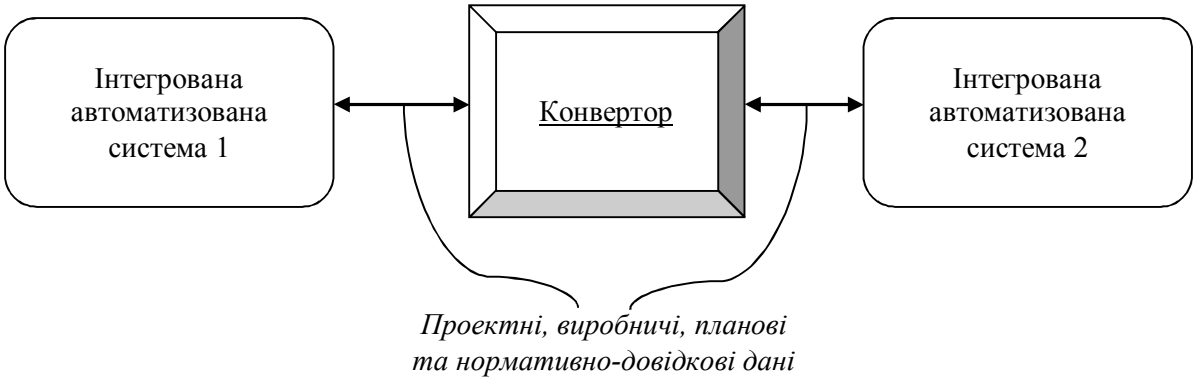


Рис. 3. Схема конвертації даних з використанням конвертора

Розглянемо більш детально цей варіант конвертації даних (рис. 4). У центрі схеми перетворення даних не конвертор між двома ІАС виробничого призначення, а Уніфікатор обміну даними (УОД). На практиці кількість конверторів не збільшується, їх практична реалізація спрощується, особливо для тих ІАС, структура даних яких буде достатньо близька до УОД. Крім того, показана пунктирна стрілка до конвертора, який пов’язує

УОД з третьою ІАС, демонструє можливість легкого підключення інших ІАС через розроблення всього лише одного додаткового конвертора. При цьому третя ІАС виробничого призначення отримує доступ до даних, які знаходяться в інших двох ІАС.

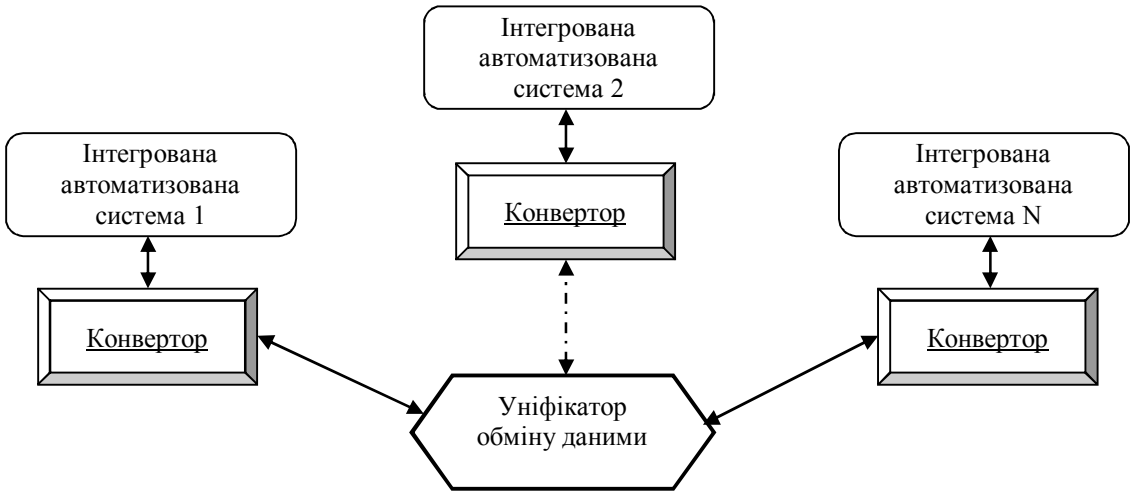


Рис. 4. Місце Уніфікатора обміну даними у схемі представлення даних

Для спрощення процедури конвертації даних та можливості її оброблення сформулюємо вимоги до УОД:

1. УОД повинен бути зрозумілим як ІАС, так і фахівцю (програмісту, аналітику).
2. УОД повинен бути розширеним, оскільки перетворення формату даних у будь-якій ІАС може вплинути на УОД.
3. Чітка структурованість та ієрархічність для простоти написання та зміни конверторів. Можливість відсічення цілих блоків даних дозволить конверторам використовувати лише ті частини даних, які необхідні для конкретної ІАС.
4. Формат повинен бути стандартизований та мати готові засоби перегляду, редагування формату.

УОД є центральним елементом під час процедури конвертації виробничих даних у різних форматах і повинна здійснюватись його оброблення у центральному елементі системи – в концентраторі даних. Ідеальним є випадок, коли формат даних, який використовується концентратором даних для збереження інформації, збігається з форматом УОД. У такому випадку дані в УОД, виступаючи як стандартний формат представлення даних, без додаткових перетворень зберігаються в центральному концентраторі.

Крім того, УОД повинен підтримуватись самими ІАС. Тобто для більш ефективного використання консолідованого інформаційного середовища даних потрібно створити умови, за яких ІАС у процесі імпорту або експорту даних з ІАС-першоджерел здійснюють завантаження даних одразу у структурі УОД. Проте, враховуючи складність та особливу специфіку налагодження під ці вимоги ІАС, постає питання конвертації у схемі архітектури єдиного консолідованого інформаційного середовища даних у самому концентраторі даних. Тобто дані, які надходять у концентратор у звичному для ІАС-першоджерел форматі, перетворюються в УОД уже в центральному елементі єдиного консолідованого інформаційного середовища даних.

Таким чином, на основі системного аналізу розроблено інструмент опису структур даних – Уніфікатор обміну даними, який є універсальною мовою в єдиному консолідованому середовищі даних. Крім можливості використання його як основного засобу опису структур даних, УОД дає можливість скоротити час та ресурси на розроблення конверторів даних.

Висновки. Використання запропонованої у статті технології обміну даними між користувачами ІАС дозволяє здійснювати оброблення даних різних ІАС виробничого

призначення та забезпечити обмін даними між цими ІАС, що дозволяє «зв'язати» між собою системи через створення зв'язків між об'єктами в системах. Обмін даними між різними ІАС в єдиному консолідованому середовищі підприємства за допомогою концентратора даних дозволяє системам бути пов'язаними одна з одною та одночасно не залежати безпосередньо одна від одної. Це забезпечує легкість підключення та відключення різних ІАС, а також дозволяє здійснювати обмін даними між різними системами безпечніше прямого обміну між ними.

Список використаних джерел

1. *Хоп Г.* Шаблоны интеграции корпоративных приложений / Г. Хоп, Б. Вульф. – М. : Вильямс, 2007. – 672 с.

2. *Браун К.* Создание корпоративных Java-приложений для IBM WebSphere / К. Браун, Г. Крейг, Г. Хестер. – М. : КУДИЦ-ПРЕСС, 2005. – 860 с.

3. *Павленко П. М.* Формалізація процесу прийняття управлінських рішень у ході паралельних і спільних проектних та виробничих робіт / П.М. Павленко, В.В.Трейтяк // АВІА-2015: XII Міжнар. наук.-техн. конф. (28–29 квіт. 2015 р.). – К. : НАУ, 2015. – Т. 1. – С. 3.1–3.4.

УДК 004.421:005.32:331.101.3:65(045)

С.В. Козьяков, здобувач
Національний авіаційний університет, м. Київ, Україна

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА АПРОБАЦІЯ ПІДСИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ МОТИВАЦІЄЮ ІТ-ФАХІВЦІВ У ВИРОБНИЧИХ УМОВАХ

С.В. Козьяков, соискатель
Национальный авиационный университет, г. Киев, Украина

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ АПРОБАЦИЯ ПОДСИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ МОТИВАЦИЕЙ ИТ-СПЕЦИАЛИСТОВ В ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ УСЛОВИЯХ

Serhii Koziakov, candidate
National Aviation University, Kyiv, Ukraine

EXPERIMENTAL APPROBATION OF MANAGEMENT SUBSYSTEM OF MOTIVATION OF IT SPECIALISTS IN THE PRODUCTION ENVIRONMENT

Наведено результати перевірки адекватності отриманих даних розробленої технології інформаційної підтримки процесу управління мотивацією ІТ-фахівців, що визначається ступенем відповідності результатів розрахунків, які отримані за допомогою застосування запропонованих у цій технології моделей та методу, експертним показникам промислових підприємств.

Ключові слова: *ІТ-спеціалісти, мотивація, управління, багатокритеріальний вибір мотиваторів.*

Приводятся результаты проверки адекватности полученных данных разработанной технологии информационной поддержки процесса управления мотивацией ИТ-специалистов, определяется степенью соответствия результатов расчетов, полученных путем применения предложенных в данной технологии моделей и метода, экспертным показателям промышленных предприятий.

Ключевые слова: *ИТ-специалисты, мотивация, управление, многокритериальный выбор мотиваторов.*

The results verify the adequacy of the data developed technology promoted management process motivated IT professionals determined by the compliance calculation results obtained by applying this technology in the proposed models and methods, expert in industrial enterprises.

Key words: *IT-specialists, motivation, management, multicriteria choice motivators.*

Вступ. Наявні закордонні та вітчизняні HRM (Human resource management) – системи та відповідні програмні модулі ERP (Enterprise Resource Planning) – систем автоматизують основні функції управління персоналом промислових підприємств.

Разом з тим важливе науково-практичне завдання щодо управління вмотивованістю фахівців є малорозвиненим та не орієнтованим на ринок країн СНД. Причин такого стану декілька:

- різноманітність методів оцінювання вмотивованості фахівців та їх критеріїв;
- недостатній рівень формалізації та алгоритмізації наявних методів;

– орієнтованість систем на європейський ринок;
– та ін.

Автором протягом 4-х років була розроблена технологія інформаційної підтримки процесу оцінювання й управління мотивацією ІТ-фахівців [1]. Така технологія вирішує наведені вище проблеми управління персоналом.

Постановка проблеми. Для визначення адекватності розроблених у технології моделей та методів було прийнято рішення впровадити та експериментально випробувати підсистему «ICS_MC» [2].

Результати дослідження. Інформаційна технологія дозволяє аналізувати складні альтернативні рішення з метою вибору переважного комплексу мотиваторів із урахуванням складу співробітників підприємства за їх мотиваційними типами та рівня забезпечення мотиваторів, які задовольняють відповідні потреби персоналу, і ухвалювати рішення щодо застосування того або іншого комплексу мотиваторів. Організацію процесу інформаційної підтримки процесу управління мотивацією ІТ-фахівців наведено на рис. 1.

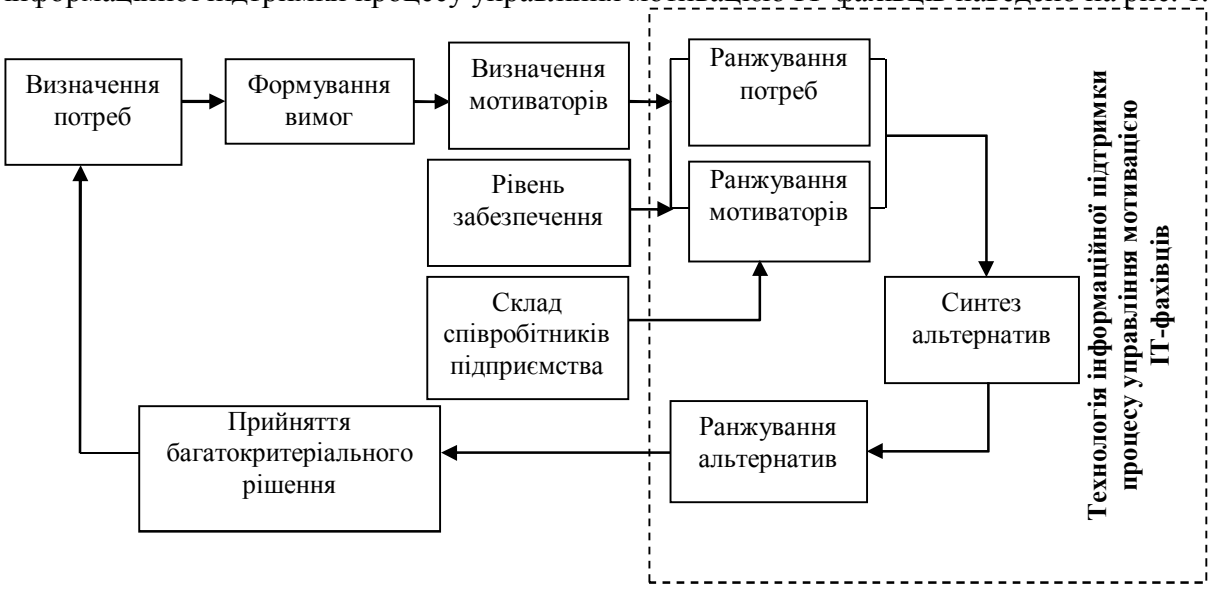


Рис. 1. Організація інформаційної підтримки процесу управління мотивацією ІТ-фахівців

Розглянемо етапи реалізації цього процесу інформаційної підтримки.

Етап 1. Визначення потреб співробітника. Маючи результати декомпозиції потреб людини на основні групи [3], завдання формалізації зводиться до встановлення відповідності мотиваторів тим або іншим потребам (вирішується за допомогою експертного оцінювання).

Етап 2. Ранжування потреб і мотиваторів. На основі відомого складу співробітників підприємства з урахуванням наявних експертних оцінок за мотиваційними типами формується ранжований перелік потреб, який є основою для отримання ранжованого переліку мотиваторів діяльності персоналу. За наявності обмежень щодо забезпечення (фінансування, як окремого випадку для забезпечення) визначається рівень забезпечення стосовно заданої кількості мотиваторів, який враховується під час ранжування.

Етап 3. Використовуючи отримані на попередніх етапах дані, проводимо синтез альтернатив і моделювання варіантів застосування мотиваційних комплексів відповідно до розроблених методів [4; 5]. Оцінка альтернатив ґрунтується на результатах ранжирування їх відповідності мотиваційним комплексам з урахуванням кількісного та якісного складу співробітників і рівня фінансового забезпечення визначеної групи мотиваторів. На основі отриманої оцінки приймається рішення про застосування того або іншого мотиваційного комплексу.

Етап 4. У разі неприйняття рекомендованого мотиваційного комплексу з будь-яких причин моделювання проводиться повторно з іншими коефіцієнтами фінансування мо-

тиваторів та/або іншим складом співробітників підприємства, що надає змогу отримати декілька альтернативних шляхів вирішення поставленого управлінського завдання.

Реалізовано послідовність дій, під час виконання якої користувач отримує необхідну інформацію для вибору того або іншого комплексу мотиваторів з погляду прогнозу рівня задоволення потреб ІТ-фахівців завдяки застосуванню набору мотиваторів з певними рівнями їх фінансування [4]. Практична реалізація розробленої інформаційної технології здійснюється автоматизованою інформаційною системою «ICS_MC».

Функціональна структура інформаційної технології описує взаємозв'язок запропонованих у роботі теоретичних положень, методів, алгоритмів, процедур та прикладних програм інформаційної системи «ICS_MC».

Автоматизована інформаційна система являє собою інструмент, що дозволяє відбирати інформаційні ресурси та реалізувати інформаційні процеси. Інформаційна система, як система управління, тісно пов'язується як з системами збереження та видачі інформації, так і з іншими системами, що забезпечують обмін інформацією. Зберігання інформації запропоновано здійснювати централізовано в єдиній базі даних.

Обґрунтування адекватності отриманих результатів розробленої технології інформаційної підтримки процесу управління мотивацією ІТ-фахівців буде визначатися ступенем відповідності результатів розрахунків, отриманих за допомогою застосування запропонованих у цій роботі моделей та методу, експертним показникам промислових підприємств.

Практична цінність отриманих результатів визначатиметься їх адекватністю сторонам об'єкта, які вивчаються, а також тому, наскільки отримані результати відповідають даним конкретних підприємств [6; 7]. Питання адекватності моделі в теорії моделювання є дуже важливим. Під адекватністю розуміють систему характеристик. Отримані комплекси показників мотивації ІТ-фахівців є коректними до сприйняття, оскільки для його формалізації використовувалися положення, теорії множин та експертних оцінок даних.

Для оцінювання достовірності результатів використовувалися статистичні дані про плинність кадрів на 10 українських підприємствах міст Чернігова та Києва (табл. 1). Суть експерименту полягала в отриманні даних про кількість співробітників, віднесення їх до визначених мотиваційних типів, фіксуванні кількості звільнених за цими групами за 2014 календарний рік (при цьому кількісний склад співробітників фіксувався на початок року, нові співробітники ігнорувалися, а стан системи мотиваторів на підприємстві вважався стабільним на всьому часовому інтервалі), а також визначенні експертних оцінок коефіцієнтів фінансування за мотиваторами (табл. 2).

Таблиця 1

Підприємства, що оцінювалися

№ з/п	Назва підприємства	Загальна кількість співробітників	Умовне позначення
1	ЗАО «МЕТПРОМ»	10	Q_1
2	ЗАО «ФАЛКОН»	13	Q_2
3	ЗАО «АЛЕКС»	31	Q_3
4	ТОВ «ТРАНСМЕТ»	37	Q_4
5	ЗАО «ПРОСТОР ЛОГИСТИК»	46	Q_5
6	ЗАО «ДЕНЭЛЕКТРО»	47	Q_6
7	ЗАО «ДЕКЛА»	83	Q_7
8	ВАТ «ЛАРТІС»	90	Q_8
9	ВАТ «МОНАДА»	97	Q_9
10	ВАТ «АВІА-ПРО»	99	Q_{10}

Таблиця 2

Фрагмент експертних оцінок коефіцієнтів фінансування за мотиваторами

Мотиватор		Підприємство									
		Q_1	Q_2	Q_3	Q_4	Q_5	Q_6	Q_7	Q_8	Q_9	Q_{10}
m_1^1	розмір заробітної платні	0,9	1	1	0,9	1	1	1	1	1	0,8
m_2^1	своєчасність виплати заробітної платні	1	1	1	1	0,9	1	1	1	1	0,5
m_3^1	доплати за понаднормовий робочий час, святкові дні, нічний час, за особливі умови праці	0,1	0,5	1	0,5	0,9	1	1	1	0,9	0,1
m_4^1	доплати за додаткові результати праці	0,2	0,6	1	0,5	0,7	1	1	1	0,8	0
m_5^1	премії за надпланові, наднормативні досягнення у праці, виконання важливих завдань, ініціативу, що дала конкретний результат	0,1	0,7	1	0,5	1	1	1	1	0,8	0,1
m_3^4	інтенсивність контактів між керівництвом організації та персоналом	1	1	1	0,9	1	0,8	1	0,9	0,7	0,8
m_4^4	позитивний обмін інформацією між робітниками	1	1	1	1	1	1	1	0,8	0,6	0,7
m_5^4	доступність необхідної для робітника інформації	1	1	1	1	1	0,9	1	0,9	0,8	0,7
m_6^4	регулярне навчання, групові тренінги	1	0	1	0,8	0,9	0,7	1	1	0,7	0,3
m_7^4	знайомство з передовим досвідом	1	0	1	0,7	0,9	0,5	0,9	0,9	0,4	0,2

За отриманою статистичною інформацією здійснено розрахунок коефіцієнтів стабільно працюючих співробітників R_C (як різниця одиниці та відношення кількості звільнених співробітників у межах поточного мотиваційного типу до їх загальної кількості), а із застосуванням підсистеми «ICS_MC» розраховано значення коефіцієнтів вмотивованості R_K (табл. 3).

Таблиця 3

Фрагмент таблиці результатів експериментальної оцінки мотиваторів за різними мотиваційними типами

Під пр.	Мотиваційні типи											
	Винагородний				Досягнення				Ідейний			
	Кільк. Звільн.	R_K	R_C	$\lvert R_K - R_C \rvert$	Кільк. Звільн.	R_K	R_C	$\lvert R_K - R_C \rvert$	Кільк. Звільн.	R_K	R_C	$\lvert R_K - R_C \rvert$
Q_1	3/1	0,71	0,66	0,05	3/0	0,71	1	0,29	1/0	0,72	1	0,28
Q_2	6/3	0,69	0,5	0,19	3/1	0,67	0,66	0,01	1/0	0,68	1	0,32
Q_3	14/1	0,93	0,92	0,01	8/1	0,94	0,88	0,06	4/0	0,94	1	0,06
Q_4	19/3	0,81	0,84	0,03	8/1	0,82	0,88	0,06	4/1	0,82	0,75	0,07
Q_5	18/1	0,91	0,91	0,00	9/1	0,92	0,89	0,03	5/0	0,92	1	0,08
Q_6	12/2	0,86	0,82	0,04	9/1	0,87	0,89	0,02	5/2	0,87	0,8	0,07
Q_7	30/2	0,95	0,93	0,02	12/1	0,95	0,92	0,03	8/0	0,95	1	0,05
Q_8	27/2	0,94	0,92	0,02	13/1	0,94	0,92	0,02	7/0	0,94	1	0,06
Q_9	29/5	0,82	0,82	0,00	14/2	0,82	0,85	0,03	8/1	0,83	0,88	0,05
Q_{10}	26/10	0,62	0,61	0,01	16/5	0,63	0,69	0,06	11/4	0,63	0,63	0,00

Для нашого експерименту відхилення ($|R_K - R_C|$) становить (табл. 3):

- для винагородного мотиваційного типу – мін. 0, макс. 0,19;
- для соціального мотиваційного типу – мін. 0, макс. 0,32;
- для процесного мотиваційного типу – мін. 0, макс. 0,68;
- для мотиваційного типу досягнення – мін. 0, макс. 0,29;
- для ідейного мотиваційного типу – мін. 0, макс. 0,32.

Під час оброблення даних експерименту число інтервалів k певною мірою залежить від об'єму вибірки N і обирається за рекомендаціями: $5 < k < 7$, при $N < 40$; $7 < k < 9$, при $40 < N < 100$. У нашому випадку $N = 10$, тому варіаційний ряд розбиваємо на $k = 6$ інтервалів (табл. 4).

Таблиця 4

Оброблення результатів експерименту

№ інтервалу	Інтервал для $\|R_K - R_C\|$			Середнє x_i для інтервалу	Кількість значень в інтервалі n_i	Частота n_i/N
Винагородний						
1	0	…	0,0318	0,015917	7	0,7
2	0,0318	…	0,0637	0,04775	2	0,2
3	0,0637	…	0,0955	0,079583	0	0
4	0,0955	…	0,1273	0,111417	0	0
5	0,1273	…	0,1592	0,14325	0	0
6	0,1592	…	0,19	0,175083	1	0,1
Соціальний						
1	0	…	0,054	0,027	6	0,6
2	0,054	…	0,108	0,081	1	0,1
3	0,108	…	0,162	0,135	1	0,1
4	0,162	…	0,216	0,189	1	0,1
5	0,216	…	0,27	0,243	0	0
6	0,27	…	0,32	0,297	1	0,1
Процесний						
1	0	…	0,1138	0,056917	7	0,7
2	0,11	…	0,2277	0,17075	1	0,1
3	0,23	…	0,3415	0,284583	1	0,1
4	0,34	…	0,4553	0,398417	0	0
5	0,46	…	0,569	0,51225	0	0
6	0,57	…	0,68	0,626083	1	0,1
Досягнення						
1	0	…	0,0478	0,023917	6	0,6
2	0,05	…	0,0957	0,07175	3	0,3
3	0,1	…	0,1435	0,119583	0	0
4	0,14	…	0,191	0,167417	0	0
5	0,19	…	0,239	0,21525	0	0
6	0,24	…	0,29	0,263083	1	0,1
Ідейний						
1	0	…	0,053	0,0265	3	0,3
2	0,053	…	0,106	0,0795	5	0,5
3	0,106	…	0,159	0,1325	0	0
4	0,159	…	0,212	0,1855	0	0
5	0,212	…	0,265	0,2385	0	0
6	0,265	…	0,32	0,2915	2	0,2

У зв'язку з обмеженістю кількості вимірювань замість математичного очікування і дисперсії використовуємо наближені статистичні оцінки – відповідно вибіркове (емпіричне) середнє (1) і вибіркове виправлене стандартне відхилення (2), які характеризують середній результат вимірювань і ступінь розсіювання результатів. Ці оцінки визначають за формулами:

$$\bar{x} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{k} x_i \cdot n_i, \quad (1)$$

де x_i – значення, яке відповідає середині *i-го* інтервалу;

n_i – кількість значень у *i*-м інтервалі;

k – число інтервалів;

N – загальна кількість вибірки.

$$S \approx \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{k}(x_i - \bar{x})^2 \cdot n_i}. \quad (2)$$

Чим менше величина S, тим вище точність, тобто тим менше величини випадкових похибок, тому параметр S є мірою точності:

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{S}{\sqrt{N-1}}.$$

Вибір надійності визначається характеристикою, яка вимірюється. Наприклад, для систем загального призначення можна прийняти надійність 0,9; для систем підвищеної надійності – 0,95; для високонадійних систем – 0,99.

За даними таблиці Стьюдента, для довірчої імовірності β = 0,9 для вибірки N = 10 значення квантиля Стьюдента t_β = 1,812461102.

Для проведеного експерименту отримаємо такі результати:

– <u>для винагородного мотиваційного типу:</u>

$$\bar{x} = 0{,}0573,\ S = 0{,}051468,\ \sigma_{\bar{x}} = \frac{S}{\sqrt{N-1}} = \frac{0{,}051468}{3} \approx 0{,}017156;$$

довірчий інтервал

…..0,0573 – 1,812461102·0,017156 < *MX* < 0,0573 + 1,812461102·0,017156,

звідки 0,026206 < *MX* < 0,088394412;

в експериментальній вибірці з відхиленнями $|R_K - R_C| < 0{,}088394412$ є 9 значень, що становить 90 %;

– <u>для соціального мотиваційного типу:</u>

$$\bar{x} = 0{,}0972,\ S = 0{,}087306,\ \sigma_{\bar{x}} = \frac{S}{\sqrt{N-1}} = \frac{0{,}087306}{3} \approx 0{,}029102;$$

довірчий інтервал

0,0972 – 1,812461102·0,029102 < *MX* < 0,0972 + 1,812461102·0,029102,

звідки 0,044453 < *MX* < 0,149946542;

в експериментальній вибірці з відхиленнями $|R_K - R_C| < 0{,}149946542$ є 8 значень, що становить 80 %;

– <u>для процесного мотиваційного типу:</u>

$$\bar{x} = 0{,}2049,\ S = 0{,}184,\ \sigma_{\bar{x}} = \frac{S}{\sqrt{N-1}} = \frac{0{,}184}{3} \approx 0{,}0613;$$

довірчий інтервал

0,2049 – 1,812461102·0,0613 < *MX* < 0,2049 + 1,812461102·0,0613,

звідки 0,0937 < *MX* < 0,316091;

в експериментальній вибірці з відхиленнями $|R_K - R_C| < 0{,}316091$ є 9 значень, що становить 90 %;

– для мотиваційного типу досягнення:

$$\bar{x} = 0{,}0861,\ S = 0{,}0773,\ \sigma_{\bar{x}} = \frac{S}{\sqrt{N-1}} = \frac{0{,}0773}{3} \approx 0{,}0258;$$

довірчий інтервал

$$0{,}0861 - 1{,}812461102 \cdot 0{,}0258 < MX < 0{,}0861 + 1{,}812461102 \cdot 0{,}0258,$$

звідки $0{,}0394 < MX < 0{,}132823$;

в експериментальній вибірці з відхиленнями $|R_K - R_C| < 0{,}132823$ є 9 значень, що становить 90 %;

– для ідейного мотиваційного типу:

$$\bar{x} = 0{,}0954,\ S = 0{,}08569,\ \sigma_{\bar{x}} = \frac{S}{\sqrt{N-1}} = \frac{0{,}08569}{3} \approx 0{,}028563;$$

довірчий інтервал

$$0{,}0954 - 1{,}812461102 \cdot 0{,}028563 < MX < 0{,}0954 + 1{,}812461102 \cdot 0{,}028563,$$

звідки $0{,}04363 < MX < 0{,}14717$;

в експериментальній вибірці з відхиленнями $|R_K - R_C| < 0{,}14717$ є 8 значень, що становить 80 %.

Також можна стверджувати, що отримані результати ефективності мотивації ІТ-фахівців є ефективними, оскільки вартість і час моделювання не є багатовитратними. Отримані результати стійкі до змін, тому що оцінювання вмотивованості в межах вибірки здійснювалася на основі різних вихідних даних.

Висновок. За результатами проведення експерименту з оцінювання рівнів вмотивованості ІТ-фахівців для різних мотиваційних типів 10 промислових підприємств, із використанням системи характеристик адекватності, встановлено, що 90 % отриманих значень знаходяться в довірчому інтервалі для винагородного мотиваційного типу, 80 % – для соціального мотиваційного типу, 90 % – для процесного мотиваційного типу, 90 % – для мотиваційного типу досягнення, 80 % – для ідейного мотиваційного типу, що дозволяє стверджувати про адекватність технології інформаційної підтримки процесу оцінювання та управління мотивацією ІТ-фахівців.

Список використаних джерел

1. *Koziyakov S. V.* The technology of informational support of IT-specialists motivation managing processes / S. V. Koziyakov // Вісник НАУ. – 2014. – № 2. – С. 123–127.

2. *Козьяков С. В.* Підсистема інформаційної підтримки процесу управління мотивацією ІТ-фахівців / С. В. Козьяков // Політ. сучасні проблеми науки : тези доповідей IX Міжнародної науково-практичної конференції студентів та молодих вчених. – К. : НАУ, 2014. – С. 215.

3. *Козьяков С. В.* Декомпозиція потреб ІТ-фахівця підприємства за видами його діяльності / С. В. Козьяков // Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем : матеріали II Міжнародної науково-практичної конференції. – Чернігів : ЧДТУ, 2012. – 174 с.

4. *Козьяков С. В.* Метод оцінювання вмотивованості праці ІТ-фахівців промислового підприємства / С. В. Козьяков // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2013. – № 3. – С. 162–166.

5. *Павленко П.* Метод багатокритеріального вибору комплексу мотивації ІТ-фахівців промислового підприємства / П. Павленко, С. Козьяков // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2013. – № 4. – С. 138–142.

6. *Колодницький М. М.* Основи теорії математичного моделювання систем : навчально-довідковий посібник / М. М. Колодницький. – Житомир : ЖТТУ, 2001. – Т. 1. – 718 с.

7. *Колчков В. И.* Метрология, стандартизация и сертификация : учебное пособие / В. И. Колчков. − М., 2011. – 398 с.

VISNYK OF CHERNIHIV STATE TECHNOLOGICAL UNIVERSITY

УДК 517.7

Б.Р. Сосса, нач. ВТП
ТОВ «Укргео-Проект», м. Київ, Україна

ПОРІВНЯЛЬНЕ ОЦІНЮВАННЯ ТОЧНОСТІ КООРДИНАТ ТОЧКОВИХ МАРОК, ОТРИМАНИХ СПОСОБОМ НАЗЕМНОГО ЛАЗЕРНОГО СКАНУВАННЯ

Б.Р. Сосса, нач. ОТП
ООО «Укргео-Проект», г. Киев, Украина

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ КООРДИНАТ ТОЧЕЧНЫХ МАРОК, ПОЛУЧЕННЫХ СПОСОБОМ НАЗЕМНОГО ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ

Bohdan Sossa, Head of TS
Ukrgeo-Proekt LLC, Kyiv, Ukraine

COMPARATIVE ESTIMATION OF THE ACCURACY OF POINT-BASED TARGETS COORDINATES, OBTAINED WITH TERRESTRIAL LASER SCANNING

Виконано емпіричний розрахунок точності тривимірних координат точкових марок, що використовуються при наземному лазерному скануванні для реєстрації сканів і калібруванні наземних лазерних сканерів. Створено дослідний полігон та проведено цикл вимірювань з визначенням координат марок за допомогою високоточного електронного тахеометра та наземним лазерним сканером двома способами – ручним та автоматичним. Здійснено статистичний аналіз отриманих результатів. Проведено порівняння двох вказаних способів визначення координат центра марки. За допомогою статистичного аналізу оцінено вплив вибору способу визначення на кінцеву точність та, як результат, – на точність реєстрації сканів або калібрування сканерів.

Ключові слова: *наземне лазерне сканування, калібрування сканерів, реєстрація сканів, точність, точкові марки.*

Сделан эмпирический расчет точности трехмерных координат точечных марок, используемых при наземном лазерном сканировании для регистрации сканов и калибровки наземных лазерных сканеров. Создан исследовательский полигон и проведен цикл измерений с определением координат марок с помощью высокоточного электронного тахеометра и наземного лазерного сканера двумя способами – ручным и автоматическим. Выполнен статистический анализ полученных результатов. Проведено сравнение указанных способов определения центра марки. С помощью статистического анализа проведена оценка влияния выбора способа определения на окончательную точность и, как результат, – на точность регистрации сканов или калибровки сканеров.

Ключевые слова: *наземное лазерное сканирование, калибровка сканеров, регистрация сканов, точность, точечные марки.*

An empirical accuracy calculation of point-based targets' spatial coordinates is made. Those targets are using at terrestrial laser scanning for several scan registration and terrestrial laser scanners calibration. A research polygon was created where target coordinates were obtained with precision total station as well as terrestrial laser scanner using two methods – manual and automatic. A statistical analysis of obtained data was fulfilled and comparing of two mentioned methods of target center coordinates determination was done. Using the statistical analysis, an effect of coordinates determination method choice for eventual accuracy was estimated and, as a result – its direct effect on scan registration accuracy and scanners calibration.

Key words: *terrestrial laser scanning, scanners calibration, scan registration, accuracy, point-based targets.*

Постановка проблеми. Розповсюдження технологій наземного лазерного сканування (НЛС) для вирішення прикладних задач останніми роками значно пришвидшилось, а подекуди сканери навіть замінюють традиційні геодезичні прилади [5], бо точність визначення просторових координат деякими фазовими сканерами наближається до кількох міліметрів.

Аналізуючи дані провідних виробників апаратної частини технології НЛС (Sokkia Topcon, Zoller-Fröhlich, Surphaser, Faro, Riegl, Callidus), можна помітити, як постійно підвищується точність обладнання. Однак деякі види інженерно-геодезичних робіт, передусім, високоточні, поки можна виконати лише традиційними методами [2]. Підвищення точності НЛС перш за все дозволить вирішувати задачі інженерної геодезії, пов'язані з високоточними вимірюваннями, наприклад, проводити високоточне виконавче знімання, моніторинг об'єктів підвищеної категорії складності тощо.

Для підвищення точності систем НЛС застосовують калібрування, яке можна визначити як «процес визначення параметрів, за допомогою яких мають бути виправлені виміряні величини для отримання їхніх дійсних значень» [12]. Найчастіше калібрування пов'язане з визначенням інструментальних похибок, а саме розбіжностей між реальним та ідеальним інструментом, які виникають через недосконаліть механічних й електрон-

них компонентів. Калібрування НЛС зазвичай проводять, використовуючи різні типи марок: точкові (плоскі або сферичні) або площинні.

Крім того, при реєстрації (зшиванні) сканів також використовують марки – у цьому випадку тільки точкові. Реєстрація відбувається або в умовній системі координат, коли скани трансформуються відносно декількох відомих точок (марок, що наявні на сусідніх хмарах точок, створюючи перекриття), або завдяки використанню відомих координат марок, визначених традиційними геодезичними методами та наступним виконанням просторової оберненої засічки для кожного скана у системі координат користувача. Були спроби використання площинних марок, проте точність реєстрації в такому випадку погіршується [9].

Отже, постає питання, з якою точністю можливо визначити координати марок під час використання наземного лазерного сканування.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На сьогодні питання калібрування НЛС та реєстрації сканів досліджено досить широко. Це питання досліджують учені за кордоном, в університетах Калгарі (Канада), Штутгарта, Ганновера (Німеччина), Стокгольма (Швеція), Цюриха (Швейцарія), Сіднея (Австралія), [7; 8; 10–13] та в Україні – у Київському національному університеті будівництва і архітектури [3; 4].

Незважаючи на деякі розбіжності щодо вибору математичних моделей калібрування та реєстрації, методику та алгоритми цих процесів розроблено досить добре. Проте питанню точності визначення координат точкових марок не приділялось достатньої уваги [6].

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. Недоліком методів калібрування та реєстрації, що використовують точкові марки, є необхідність вручну вимірювати їх положення на хмарі. Проте це стосується далеко не всіх сучасних НЛС. У деяких сканерах, наприклад, виробництва Sokkia Topcon (Японія) та Zoller + Frohlich (Німеччина) наявна апаратна або програмна функція розпізнавання плоских марок. Такі марки достатньо розставити в області сканування, щоб потім в автоматичному або напівавтоматичному режимі розпізнати їх за допомогою програмного забезпечення та отримати координати. На рис. 1 показано марку для сканерів виробництва Z+F, а на рис. 2 – для сканерів Topcon.



Рис. 1. Схема точкової марки, що використовується зі сканерами Z+F

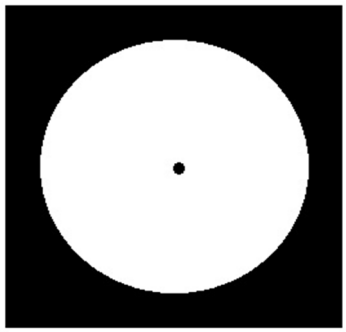


Рис. 2. Схема точкової марки, що використовується зі сканерами Topcon

У разі ручного визначення координат береться точка, найближча до геометричного центра марки. У цьому випадку використовується комбінація контрастних сегментів з різною відбивною здатністю. Цей спосіб забирає більше часу, проте традиційно залишається основним.

У разі автоматичного визначення користувач не знає алгоритму визначення геометричного центра через патентні обмеження, використовуючи сканер як «чорну скриньку» [4].

Мета статті. Головною метою цієї роботи є отримання точності визначення тривимірного положення точкових марок, визначених за допомогою наземних лазерних сканерів у двох режимах (ручному й автоматичному) та їх порівняння. На підставі порівняльного аналізу запропоновано оптимальний спосіб визначення координат марок під час проведення калібрування та/або реєстрації.

Виклад основного матеріалу. Для дослідження використовувався наземний лазерний сканер Topcon GLS-1500. Під час роботи з ним використовуються спеціальні марки, які мають поверхню з великим альбедо на фоні поверхні з малим альбедо. Схему такої марки наведено на рис. 2. Розміри такої марки можуть бути 50х50, 100х100, або 200х200 мм залежно від того, на якій відстані від сканера передбачається її використовувати.

У меню сканера наявна опція "Scan Target", за допомогою якої сканується область навколо марки для наступного визначення координат її центра.

Для порівняння точності визначення координат центра опорної марки в ручному й автоматичному режимі проведемо вимірювання у двох режимах. Дослідження було проведено на двох полігонах.

Принцип вимірювання на обох полігонах був такий:

1. Фіксація марок у полі зору сканера (360^o по горизонталі, 70^o по вертикалі).

2. Сканування марок у режимі скан (ручне вимірювання) або в режимі сканування марок (автоматичне вимірювання).

3. Вимірювання марок високоточним електронним тахеометром повним прийманням з подальшим врівноваженням отриманих даних в умовній системі координат.

У результаті було отримано два набори координат тих самих точок. У першому випадку було знято 8 точок, у другому – 12. Їх наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Координати опорних марок, виміряні електронним тахеометром і сканером

	№ тт	Тахеометр			Сканер		
Ручне вимірювання координат	01	39,559	57,904	1,732	19,452	2,030	0,320
	02	41,396	57,876	0,358	17,869	2,961	-1,053
	03	42,706	54,685	1,339	15,093	0,915	-0,074
	04	61,908	41,808	1,552	-8,006	-0,106	0,139
	05	56,667	43,681	1,564	-2,557	-1,230	0,151
	06	51,925	49,752	1,709	4,650	1,489	0,298
	07	51,485	49,246	2,481	4,765	0,829	1,063
	08	51,534	49,298	-0,118	4,753	0,904	-1,529
Автоматичне вимірювання координат	1	3,628	-0,174	-0,905	2,986	-2,247	-0,841
	2	2,586	1,349	-0,116	3,003	-0,401	-0,052
	3	1,258	3,284	0,590	3,019	1,945	0,654
	4	-0,373	3,076	-1,419	1,562	2,709	-1,355
	5	-2,123	1,873	-0,132	-0,561	2,724	-0,068
	6	-3,730	0,771	0,681	-2,511	2,738	0,745
	7	-3,426	-0,197	-1,394	-2,814	1,77	-1,329
	8	-2,335	-1,796	-0,138	-2,835	-0,166	-0,074
	9	-1,070	-3,599	0,689	-2,828	-2,368	0,752
	10	0,104	-3,344	-1,294	-1,718	-2,831	-1,229
	11	1,671	-2,196	-0,092	0,223	-2,787	-0,028
	12	3,481	-0,965	0,585	2,413	-2,812	0,649

Для оцінювання точності координат марок було використано непрямий спосіб — порівняння відстаней між усіма точками. Відстані між марками визначались як функції координат: $S = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2 + \Delta Z^2}$, де ΔX, ΔY, ΔZ – прирости відповідних координат.

Після цього порівнювались відповідні відстані. У випадку з 8 марками цих відстаней було 28, а у випадку з 12 – 66.

За еталонні марки і відстані було прийнято ті, що виміряні за допомогою електронного тахеометра.

Апріорна точність визначення координат. Результати дослідження точності електронного тахеометра на спеціалізованому обладнанні дали таку точність: вимірювання горизонтальних і вертикальних кутів – 1"; вимірювання відстаней у режимі «на плівку» і «без відбивача» – 0,9 мм. Заявлені виробником технічні характеристики сканера ста-

новлять, відповідно, 6” та 4 мм. Для апріорного оцінювання точності скористаємось виразами, наведеними в [2] для апріорного оцінювання точності наземного лазерного сканування. У результаті отримаємо 1 мм для електронного тахеометра та 4 мм для сканера. Тому при розрахунках координати, визначені за допомогою тахеометра, брались з точністю до 4 знака, а зі сканера – до 3 знака після коми. Відстані визначались з точністю до 4 знака після коми, а різниці відстаней, відповідно, – до десятих часток міліметра. Через значний об’єм даних в табл. 2 наведено фрагмент зведеної таблиці з розрахунку значень різниць відстані як функції від виміряних координат.

Таблиця 2

Розрахунок значень різниці відстані як функції від координат (фрагмент)

Назва лінії	Тахеометр			Сканер			S, м		ΔS, мм
	ΔX	ΔY	ΔZ	ΔX	ΔY	ΔZ	Тахеометр	Сканер	
1-2	-1,042	1,523	0,789	0,017	1,846	0,789	2,0069	2,0076	0,7
1-3	-2,370	3,458	1,495	0,033	4,192	1,495	4,4508	4,4507	-0,1
1-4	-4,001	3,250	-0,514	-1,424	4,956	-0,514	5,1802	5,1821	1,9
1-5	-5,751	2,047	0,773	-3,547	4,971	0,773	6,1532	6,1555	2,3
1-6	-7,358	0,945	1,586	-5,497	4,985	1,586	7,5861	7,5883	2,2
1-7	-7,054	-0,023	-0,489	-5,800	4,017	-0,488	7,0710	7,0721	1,1

Статистичний аналіз отриманих даних. Оскільки точність визначення координат електронним тахеометром, як видно з різниць ΔS та апріорного розрахунку точності, одного порядку з точністю визначення координат сканером, то приймати ці значення, як істинні, буде некоректно. Тому згідно з [1] стандартне відхилення для значень ΔS визначалось за формулою Бесселя:

$m_{\Delta S} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(\Delta S - \overline{\Delta S})}{n-1}}$, де $\overline{\Delta S}$ – середнє значення ΔS, n – кількість ліній.

Для ручного способу визначення координат величина $m_{\Delta S}$ становила 2,72 мм, а для автоматичного – 1,10 мм.

Середня квадратична похибка середньої квадратичної похибки обчислюється за формулою $m_m \approx \frac{m}{\sqrt{2(n-1)}}$ і становить 0,4 мм для ручного визначення і 0,1 мм для автоматичного визначення.

Середня квадратична похибка арифметичної середини визначається за формулою $M = \frac{m}{\sqrt{n}}$ і становить 0,51 мм для ручного визначення і 0,14мм для автоматичного визначення.

СКП середньої квадратичної похибки арифметичної середини визначається за формулою $m_M \approx \frac{m}{\sqrt{2n(n-1)}}$ і становить 0,07 мм для ручного визначення і 0,01 мм для автоматичного визначення.

Для перевірки виконання умови [1] $m_{\Delta s} \geq t_\beta m_m$ визначимо t за таблицями розподілу Стьюдента, залежно від заданої імовірності β та числа ступенів вільності n. Зведемо дані для обох типів визначення в табл. 3.

Таблиця 3

Визначення ступеня довіри по t-розподілу Стьюдента при ручному й автоматичному визначенні координат опорних марок (СКП)

Задана ймовірність	95 %	98 %	99 %	99,5 %	99,8 %	99,9 %
Ручне визначення ($m_{\Delta S}$=2,72 мм, m_m=0,4 мм)						
t_β	2,052	2,473	2,771	3,057	3,421	3,690
$t_\beta m_m$	0,821	0,989	1,108	1,223	1,368	1,476
Автоматичне визначення ($m_{\Delta S}$=1,10 мм, m_m=0,1 мм)						
t_β	2,000	2,390	2,660	2,915	3,232	3,460
$t_\beta m_m$	0,200	0,239	0,266	0,292	0,323	0,346

Як видно, в обох випадках отримані значення вказують на високий ступінь довіри до результатів – 99,9 %, що свідчить про те, що оцінка m отримана достатньо надійно.

Надійність визначення СКП арифметичної середини проконтролюємо за допомогою умови $M \geq t_\beta m_M$. Аналогічно зведемо дані в таблицю (табл. 4).

Таблиця 4

Визначення ступеня довіри по t-розподілу Стьюдента при ручному й автоматичному визначенні координат опорних марок (СКП арифметичної середини)

Задана ймовірність	**95 %**	**98 %**	**99 %**	**99,5 %**	**99,8 %**	**99,9 %**
Ручне визначення (M=0,51 мм, m_M=0,07 мм)						
t_β	2,052	2,473	2,771	3,057	3,421	3,690
$t_\beta m_M$	0,144	0,173	0,194	0,214	0,240	0,258
Автоматичне визначення (M=0,14 мм, m_M=0,01 мм)						
t_β	2,000	2,390	2,660	2,915	3,232	3,460
$t_\beta m_M$	0,020	0,024	0,027	0,030	0,032	0,035

Як видно, аналогічно попередній таблиці, отримані значення вказують на високий ступінь довіри до результатів – 99,9 %, що свідчить про те, що оцінка M отримана надійно.

Визначимо довірчі інтервали для можливого значення істинної величини та можливих значень результатів вимірів: $\bar{X} - t_\beta M \leq X \leq \bar{X} + t_\beta M$; $\bar{X} - t_\beta m \leq x_i \leq \bar{X} + t_\beta m$.

Для можливого значення істинної величини довірчий інтервал становить

$-2{,}64 \leq X \leq 1{,}12$ – для ручного визначення і $0{,}39 \leq X \leq 1{,}35$ – для автоматизованого.

Для можливих значень результатів вимірів довірчий інтервал становить

$-10{,}80 \leq x_i \leq 9{,}28$– для ручного визначення і $-2{,}94 \leq X \leq 4{,}68$ – для автоматизованого.

Порівнюючи отримані дані з результатами вимірів, бачимо, що всі результати вимірів належать розрахунковому інтервалу, а тому є доброякісними.

Для визначення довірчого інтервалу дисперсії та стандарту арифметичної середини, а також стандартного відхилення ΔS, скористаємось виразами [1]:

$\gamma_1 M^2 \leq M^2 \leq \gamma_2 M^2$; $\gamma_1 M \leq M \leq \gamma_2 M$; $\gamma_1 m_{\Delta S} \leq m_{\Delta S} \leq \gamma_2 m_{\Delta S}$,

де $\gamma_1 = \sqrt{\frac{(n-1)}{\chi_2^2}}$, $\gamma_2 = \sqrt{\frac{(n-1)}{\chi_1^2}}$.

Статистики (квантилі) χ_1^2 і χ_2^2 вибираються з таблиць розподілу Пірсона за числом ступенів вільності n-1 та заданій імовірності β при: $p_2 = \frac{(1-\beta)}{2}$ і $p_1 = 1 - p_2$.

Для отриманої раніше імовірності 99,9 % та відомих ступенях вільності значення для ручного й автоматичного визначення рівні і становлять: $p_1 = 0{,}9995$; $p_2 = 0{,}0005$.

Отже, значення статистик χ^2 становлять:

$\chi_1^2 = 9{,}8028$; $\chi_2^2 = 55{,}4760$ – для ручного визначення і

$\chi_1^2 = 35{,}3616$; $\chi_2^2 = 105{,}9881$ – для автоматичного визначення.

Відповідно, розраховуємо коефіцієнти:

$\gamma_1 = 0{,}6976$; $\gamma_2 = 1{,}6596$ – для ручного визначення і

$\gamma_1 = 0{,}7832$; $\gamma_2 = 1{,}3558$ – для автоматичного визначення.

Тепер визначимо довірчі інтервали. Дисперсія арифметичної середини M^2 становить $0{,}182 \leq 0{,}260 \leq 0{,}432$ – для ручного визначення і $0{,}015 \leq 0{,}020 \leq 0{,}027$ – для автоматичного.

Стандарт середнього арифметичного M становить $0{,}36 \leq 0{,}51 \leq 0{,}85$ – для ручного визначення і $0{,}11 \leq 0{,}14 \leq 0{,}19$ – для автоматичного.

Для стандартного відхилення ΔS величина $m_{\Delta S}$ становить $1{,}90 \leq 2{,}72 \leq 4{,}51$ – для ручного визначення і $0{,}86 \leq 1{,}10 \leq 1{,}49$ – для автоматичного.

Зведемо зазначені дані в одну таблицю (табл. 5):

Таблиця 5

Зведена таблиця статистичного оброблення результатів вимірів при ручному й автоматичному визначенні координат опорних марок

Назва параметра	Позначення	Значення	
		Ручне визначення	Автоматичне визначення
Середня квадратична похибка ΔS	$m_{\Delta S}$	2,72 мм	1,10 мм
СКП середньої квадратичної похибки	m_m	0,4 мм	0,1 мм
СКП арифметичної середини	M	0,51 мм	0,14 мм
СКП СКП арифметичної середини	m_M	0,07 мм	0,01 мм
Ступінь довіри по t-розподілу Стьюдента	β	99,9 %	99,9 %
Довірчий інтервал для можливого значення істинної величини	X	-2,64...1,12	0,39…1,35
Довірчий інтервал для можливих значень результатів вимірів	x_i	-10,80...9,28	-2,94...4,68
Реальні значення результатів вимірів	x_i	-7,10...4,81	-1,40...3,11
Довірчий інтервал дисперсії арифм. середини	M^2	0,182...0,432	0,015...0,027
Довірчий інтервал СКП арифм. середини	M	0,36...0,85	0,11...0,19
Довірчий інтервал стандартного відхил. ΔS	$m_{\Delta S}$	1,90...4,51	0,86...1,49

Визначення похибки вимірювання координат опорної марки. Для визначення похибки вимірювання координат опорної марки $m_{ОМ}$ скористаємось тим, що виміри обох точок, що утворюють лінію, рівноточні:

$$m_{\Delta S} = \sqrt{m^2{}_{ОМ1} + m^2{}_{ОМ2}} = \sqrt{2m^2_{ОМ}} = m_{ОМ}\sqrt{2},$$

отже, $m_{ОМ} = \frac{m_{\Delta S}}{\sqrt{2}}$.

Таким чином, точність визначення координат вручну становить 1,9 мм, а розпізнавання в автоматичному режимі – 0,8 мм.

Висновки і пропозиції. З результатів статистичного дослідження отриманих даних чітко видно, що для зазначеної моделі наземного лазерного сканера оптимальніше використовувати автоматичне визначення координат геометричного центра точкової марки під час проведення калібрування або реєстрації сканів. За поданою методикою зручно визначати реальну точність систем наземного лазерного сканування та ступінь довіри до отриманих даних.

У випадку, якщо апаратна чи програмна частина системи НЛС не дозволяє отримати координати марок автоматично, доцільно провести порівняльне дослідження точності даних, отриманих за допомогою вимірювань у ручному режимі та під час використання площинних марок. Враховуючи принципові розбіжності вказаних способів, це можливо зробити тільки опосередковано. Таким чином, це може слугувати темою для подальших досліджень у цьому напрямку.

Список використаних джерел

1. *Войтенко С. П.* Математична обробка геодезичних вимірів. Теорія похибок вимірів / С. П. Войтенко. – К. : КНУБА. – 2003. – 216 с.

2. *Катушков В. О.* Співвідношення між очікуваною точністю наземного лазерного сканування та вимогами до точності виконання інженерно-геодезичних робіт / В. О. Катушков, Р. В. Шульц, Б. Р. Сосса // Містобудування та територіальне планування : науково-технічний збірник. – 2012. – № 44. – С. 238–248.

3. *Шульц Р. В.* Аналіз методів та моделей калібрування наземних лазерних сканерів / Р. В. Шульц // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – Л. : Вид-во Львівської політехніки, 2011. – Вип. II. – С. 128–133.

4. *Шульц Р. В.* Теорія і практика використання наземного лазерного сканування в задачах інженерної геодезії : автореф. дис. … д-ра техн. наук : спец. 05.24.01 / Р. В. Шульц ; Київський національний університет будівництва і архітектури. – К., 2012. – 36 с.

5. *Шульц Р. В.* Технологія визначення деформацій опор резервуарів за даними наземного лазерного сканування / Р. В. Шульц, Б. Р. Сосса // Вісник геодезії та картографії. – К., 2012. – Вип. 5. – С. 14–17.

6. Alba M. Investigations about the accuracy of target measurement for deformation monitoring / Alba M., Roncoroni F., Scaioni M. // The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. – Vol. XXXVII. Part B5. – Beijing, 2008. – P. 1053–1059.

7. *Bae K.* On-site self-calibration using planar features for terrestrial laser scanners / K. Bae, D. Lichti // The international Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences 36 (Part 3/W52). – Espoo, Finland, 2007. – P. 14–19.

8. *Block-to-Point* Fine Registration in Terrestrial Laser Scanning [Електронний ресурс] / J. Wang // REMOTE SENSING. – 2013. – № 5. – P. 6237–6921. – Режим доступу : http://www.mdpi.com/2072-4292/5/12/6921.

9. *Chow J.* In-situ Self-calibration of Terrestrial Laser Scanners and Deformation Analysis Using Both Signalized Targets and Intersection of Planes for Indoor Applications / Jacky C. K. Chow, William F. Teskey and J.W. (Bill) Lovse // 14th FIG Symposium on Deformation Measurements and Analysis, 5th IAG Symposium on Geodesy for Geotechnical and Structural Engineering, and 2nd International Workshop on Spatial Information Technologies for Monitoring the Deformation of Large-Scale Man-Made Linear Features Hong Kong, China, November 2-4, 2011. – Hong Kong, 2011. – P. 2–16.

10. *Lichti D.* Experiences with terrestrial laser scanner modelling and accuracy assessment / D. D. Lichti, M. G. Licht // The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences 36 (Part 5). – Newcastle upon Tyne, 2006. – P. 155–160.

11. *Rabbani T.* An integrated approach for modelling and global registration of point clouds / T. Rabbani, S. Dijkman, F. van den Heuvel, G. Vosselman // Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. – ELSEVIER B.V., 2007. – № 61 (6). – P. 355–370.

12. *Reshetyuk Y.* Self-calibration and direct georeferencing in terrestrial laser scanning: Doctoral thesis in Infrastructure / Y. Reshetyuk, Geodesy. Royal Institute of Technology (KTH), Department of Transport and Economics, Division of Geodesy, Sweden, Stockholm, January 2009. – Stockholm, 2009. – 173 p.

13. *Schultz T.* Calibration of a Terrestrial Laser Scanner for Engineering Geodesy: Dissertation for the degree of Doctor of Sciences / T. Schultz. ETH Zurich. – Zurich, 2007. – 172 p.

УДК 658.512.4:519.237

А.В. Топал, магістрант
О.А. Сергієнко, магістрант
С.П. Вислоух, канд. техн. наук
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна

ВИРІШЕННЯ ЗАДАЧ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ПІДГОТОВКИ ВИРОБНИЦТВА ЗАСОБАМИ ШТУЧНИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ

А.В. Топал, магистрант
А.А. Сергиенко, магистрант
С.П. Выслоух, канд. техн. наук
Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», г. Киев, Украина

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА СРЕДСТВАМИ ИСКУССТВЕНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Artur Topal, Master's Degree student
Oleksandr Serhiienko, Master's Degree student
Serhii Vysloukh, PhD in Technical Sciences
National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine

SOLVING PROBLEMS OF TECHNOLOGICAL PREPRODUCTION BY METHODS OF NEURAL NETWORKS

Розглянуто метод використання засобів штучних нейронних мереж при автоматизації процесу технологічної підготовки виробництва. Розроблено алгоритм та методику використання цього методу під час вирішення задач такого типу, а також програму, що реалізує цей метод. Виконано апробацію розроблених програм при вирішенні задач прогнозування технологічних параметрів оброблення матеріалу та перевірено правильність розрахунків за

допомогою стандартного пакета Neural Network Wizard. Доведено, що використання цього програмного засобу на виробництві дозволяє значно підвищити ефективність при збереженні оптимальної точності розрахунків.

Ключові слова: *технологічна підготовка виробництва, штучні нейронні мережі, програмне забезпечення.*

Рассмотрено метод использования средств искусственных нейронных сетей при автоматизации процесса технологической подготовки производства. Разработан алгоритм и методика использования данного метода при решении задач такого типа, а также приложение, реализующее данный метод. Проведена апробация разработанных программ при решении задач прогнозирования технологических параметров обработки материала, и проверена верность расчетов с помощью стандартного пакета Neural Network Wizard. Доказано, что использование данного программного средства на производстве позволяет значительно повысить эффективность при сохранении оптимальной точности расчетов.

Ключевые слова: *технологическая подготовка производства, искусственные нейронные сети, программное обеспечение.*

The method of use of neural networks in the automation of the process of technological preparation of production was reviewed. The algorithm and method of use of this method for solving problems of this type was developed, as well as an application that implements the method. The approbation of the developed programs for solving problems of forecasting of technological parameters of material processing was done, and the correctness of the calculations was checked by using the standard package Neural Network Wizard. It is proved that the use of software tools in production can significantly improve the efficiency while maintaining optimum accuracy of calculations.

Key words: *technological preparation of production, neural networks, software.*

Постановка проблеми. Сучасне приладобудування вимагає постійного підвищення якості та скорочення строків технологічної підготовки виробництва та безпосередньо виробів, які будуть конкурентоспроможними на світовому ринку. Це важко реалізувати на використовуваній нині інформаційно-методологічній базі без застосування сучасних науково обґрунтованих методів оброблення технологічної інформації.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Інтелектуальні системи на основі штучних нейронних мереж (ШНМ) дозволяють з успіхом вирішувати проблеми розпізнавання образів, виконання прогнозів, оптимізації, асоціативної пам'яті і керування. Традиційні підходи до вирішення цих проблем не завжди надають необхідної гнучкості і багато застосувань виграють від використання нейромереж.

На сьогодні штучні нейронні мережі досить широко застосовуються у різноманітних галузях науки, в тому числі й у приладо- та машинобудуванні при вирішенні різноманітної складності (моделювання та оптимізація, прогнозування, проектування автоматизованих систем керування, класифікації, діагностування та контролю якості, створення довідників тощо) задач [1–4].

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. Використання штучних нейронних мереж для вирішення задач конструкторської та технологічної підготовки виробництва є одним з перспективних напрямків розвитку приладо- та машинобудівної галузі науки. Штучні нейронні мережі на сьогодні є досить потужним інструментом, з використанням якого можна вирішити задачі, що постають перед проектувальником у процесі проведення технологічної підготовки виробництва, а саме прогнозування параметрів оброблення матеріалу для отримання необхідних параметрів поверхонь готового виробу, вибору оптимального матеріалу різального інструменту, класифікації матеріалів тощо.

За допомогою підсистеми, створеної на основі цього методу, можна значно скоротити час вирішення завдань технологічної підготовки виробництва за рахунок автоматизації вирішення певних етапів проектування та раціонального планування матеріальних витрат, а також підвищити якість отриманої продукції.

Головною **метою цієї роботи** є перевірка можливості використання засобів штучних нейронних мереж під час розв'язання задач технологічної підготовки виробництва. Поставлена задача розроблення методології та програмного забезпечення, які дали б змогу виконувати розрахунки, пов'язані з технологічною підготовкою виробництва, а також апробації цього програмного забезпечення під час вирішення конкретних задач технологічної підготовки виробництва.

Нині існує багато стандартних програмних засобів, які дають змогу розробити та навчити штучну нейронну мережу, яка була б здатна вирішити всі поставлені задачі,

як-то Neural Network Wizard, NeuroSolutions, Matlab Neuro тощо. Проте використання таких методів не завжди є доцільним, оскільки, зазвичай, вони дуже складні у використанні, потребують специфічних навичок від користувача, а результат їх виконання не можна інтегрувати в інші програми.

З метою вирішення цієї проблеми було поставлено завдання розроблення простого у використанні програмного засобу, який міг би повною мірою вирішувати повний спектр поставлених проблем.

Виклад основного матеріалу. Сьогодні існує велика кількість різноманітних схем навчання штучних нейронних мереж. Вибір штучної нейронної мережі виконується на основі аналізу задач, які мережа повинна вирішувати. Порівняльна характеристика декількох найбільш широко вживаних методів навчання ШНМ наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Порівняльна характеристика методів навчання штучних нейронних мереж

№ п/п	Метод	Переваги	Недоліки
1	Мережа зустрічного поширення	Простота мережі дає можливість витягати статистичні властивості з множини вхідних сигналів	Не дає можливості будувати точні апроксимації (точні відображення), слабкий теоретичний базис модифікацій мережі зустрічного поширення
2	Імовірнісна нейронна мережа	Простота навчання мережі	Великий розмір, оскільки вона фактично вміщує в собі всі навчальні дані, потребує багато пам’яті і може повільно працювати
3	Мережа Хопфілда	Простота навчання мережі	Існує проблема обмеженості можливостей мережі, крім того, якщо два образи А і Б сильно схожі, вони, можливо, будуть викликати у мережі перехресні асоціації
4	Машина Больцмана	Алгоритм дає можливість мережі вибиратися з локальних мінімумів адаптивного рельєфу простору станів	Відносна повільність алгоритму навчання
5	Мережа зі зворотним поширенням похибки	Достатньо висока ефективність, легка реалізація, висока ступінь загальності	Можливість паралічу мережі, потраплян-ня мережі в локальний мінімум

Зважаючи на наведені переваги та недоліки цих методів для подальшого проведення досліджень було обрано метод зворотного поширення похибки, оскільки саме цей метод дозволяє вирішувати всі поставлені перед проектувальником завдання повною мірою без застосування додаткових засобів.

Згідно з методикою навчання штучної нейронної мережі спочатку задаються дані для роботи нейронної мережі – матриця вхідних даних мережі та стовпчики вихідної інформації. Після цього вся сукупність дослідів поділяється на дві частини: дані для тренування мережі, дані для тестування. На основі введених даних відбувається побудова штучної нейронної мережі, визначення вагових коефіцієнтів їх та корегування. Після того, як значення похибки досягне прийнятного рівня, систему можна використовувати. Результатом роботи системи є матриця ваг та зміщень, яку в подальшому можна використовувати під час розв’язання задач класифікації та прогнозування.

Програма написана на мові програмування С++, проста у використанні, має низькі системні вимоги, може використовуватись автономно або у складі автоматизованої системи оброблення технологічної інформації та автоматизованого проектування.

Алгоритм методики використання штучної нейронної мережі наведено на рис.

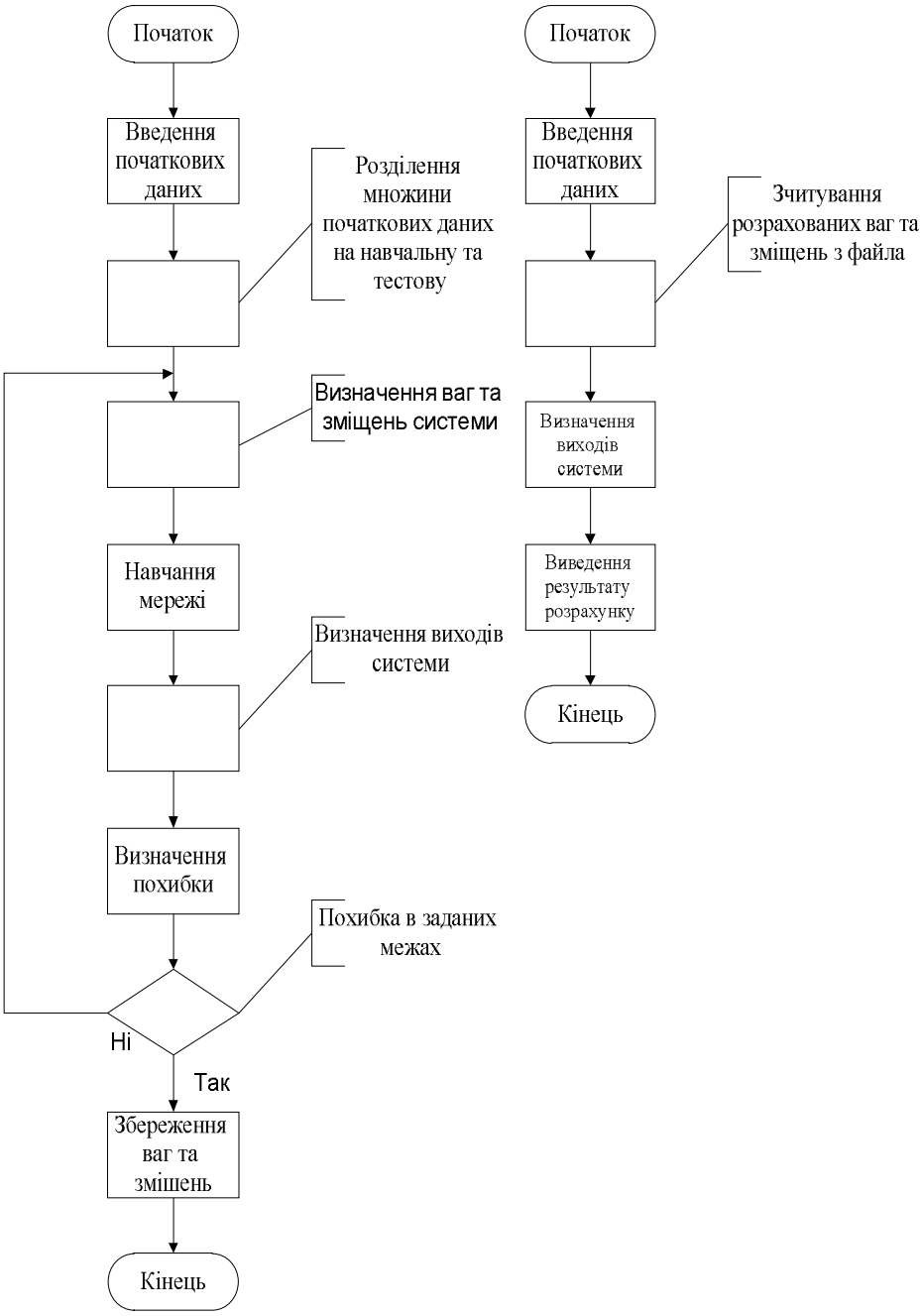


Рис. Алгоритм методики використання штучної нейронної мережі

Для перевірки якості прогнозування технологічних параметрів за допомогою запропонованої системи моделювання проведено експериментальні дослідження процесу оброблення заготовки зі сталі жаростійкої 10Х11Н20Т3Р (хім. склад C < 0,1 %; Si <= 1,0 %; Mn <= 1,0 %; Cr = 11,0 %; Ni = 20,0 %; Ti = 3,0 %; Al <= 0,8 %; S <= 0,02 %; P <= 0,025 %) торцевими фрезами зі швидкорізальної сталі Р6М5К5. Входами є: діаметр фрези, глибина різання, ширина фрезерування, подача та швидкість оброблення. Виходом системи є потужність верстата.

Для моделювання процесу фрезерування ШНМ представлена багатошаровим перцептроном з одним прихованим шаром та п’ятьма вхідними нейронами – сенсорами. При цьому прихований шар налічував десять нейронів. У табл. 2 наведено порівняльні значення потужності обробки, що отримані в результаті проведених експериментальних досліджень та прогнозування за допомогою налаштованої ШНМ.

Таблиця 2

Порівняльні значення потужності, що отримані у ході експериментальних досліджень та прогнозування за допомогою побудованої ШНМ

№ п/п	Діаметр фрези, мм	Глибина різання, мм	Ширина фрезерування, мм	Подача, мм	Швидкість різання, мм	Значення потужності, отримане в результаті експерименту, кВт	Значення потужності, отримане в результаті прогнозування за допогою ШНМ, кВт
1	80	2	55	70	36	0,7	0,75
2	125	3	85	100	24	2,30	2,4
3	160	1	100	175	24	1,73	1,81
4	200	3	120	110	19	3,1	3,16

Аналіз отриманих результатів показує, що розходження реальних та прогнозованих значень не перевищує 10 %.

Таким чином, можна стверджувати, що штучні нейронні мережі – це унікальний інструмент, що дозволяє вирішувати задачі дуже широкого кола. І хоча для їх вирішення існують ефективні математичні методи рішення та, незважаючи на те, що нейронні мережі програють спеціалізованим методам для конкретних завдань завдяки універсальності і перспективності для вирішення глобальних завдань, наприклад, побудови та моделювання процесу мислення, вони є важливим напрямом дослідження, що вимагає ретельного вивчення.

Висновки і пропозиції. На основі проведених досліджень розроблені методика й алгоритм навчання та тренування штучних нейронних мереж дозволяють ефективно розв'язувати задачі прогнозування та класифікації. На основі методики й алгоритму створено підсистему та проведено її апробацію.

Використання цієї підсистеми є ефективним і дає можливість зменшити витрати енергії, матеріалу та часу на проведення експериментальних досліджень.

Така підсистема може з успіхом використовуватись під час вирішення повного комплексу задач технологічної підготовки виробництва, а саме прогнозування параметрів поверхонь деталей, класифікації конструкційних матеріалів, виборі оптимального матеріалу ріжучого інструменту, виходячи з пари «заготовка – інструмент» тощо.

Список використаних джерел

1. *Выслоух С. П.* Нейросетевое моделирование технологических параметров процесса резания / С. П. Выслоух // Резание и инструмент в технологических системах : Межд. научн.-техн. сборник. – Х. : НТУ «ХПИ», 2005. – Вып. 68. – С. 109–116.

2. *Аверченков В. И.* Автоматизация процедур кластеризации технических объектов на основе использования самоорганизующейся нейронной сети / В. И. Аверченков, В. Л. Жога // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2005. – № 6 (12). – С. 2–7.

3. *Шаламов А. В.* Нейронные сети как новый подход к управлению технологическим оборудованием / А. В. Шаламов, П. Г. Мазеин // Известия Челябинского научного центра. – 2003. – Вып. 1 (18). – С. 60–64.

4. *Рязанов Д. Ю.* Принципы управления токарной обработкой на основе нейронных сетей с целью повышения точности / Д. Ю. Рязанов // Горный информационно-аналитический бюллетень : научно-технический журнал. – 2011. – Вып. № S4-6. – С. 36–39.

РОЗДІЛ VI. ЕНЕРГЕТИКА

УДК 681.518.5:539.87

С.О. Білокінь, канд. техн. наук
М.О. Бондаренко, канд. техн. наук
Ю.Ю. Бондаренко, канд. техн. наук
Черкаський державний технологічний університет, м. Черкаси, Україна
В.С. Антонюк, д-р техн. наук
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ ФІЗИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДІЕЛЕКТРИЧНИХ ПОВЕРХОНЬ ЗА ДОПОМОГОЮ ДІАГНОСТИЧНОГО СТЕНДА НА БАЗІ АТОМНО-СИЛОВОГО МІКРОСКОПА

С.А. Билоконь, канд. техн. наук
М.А. Бондаренко, канд. техн. наук
Ю.Ю. Бондаренко, канд. техн. наук
Черкасский государственный технологический университет, г. Черкассы, Украина
В.С. Антонюк, д-р техн. наук
Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», г. Киев, Украина

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ С ПОМОЩЬЮ ДИАГНОСТИЧЕСКОГО СТЕНДА НА БАЗЕ АТОМНО-СИЛОВОГО МИКРОСКОПА

Svitlana Bilokin, PhD in Technical Sciences
Maksym Bondarenko, PhD in Technical Sciences
Yuliia Bondarenko, PhD in Technical Sciences
Cherkasy State Technological University, Cherkasy, Ukraine
Viktor Antoniuk, Doctor of Technical Sciences
National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine

RESEARCH OF PHYSICAL CHARACTERISTICS OF DIELECTRIC SURFACES BY MEANS OF DIAGNOSTIC STAND ON THE BASE OF ATOMIC-FORCE MICROSCOPE

Розглянуто актуальне завдання розроблення методичного забезпечення для визначення механічних характеристик діелектричних матеріалів у нанометровому діапазоні. Для комплексного дослідження пружних сил, капілярних сил та визначення залишкового трибозаряду пропонується використання діагностичного стенда, який створено на базі атомно-силового мікроскопа. Розроблена та описана в роботі блок-схема стенда та схема автоматизації технологічного процесу дозволяє усунути негативні зовнішні впливи на процес діагностування з боку оператора. За результатами дослідження матеріалів, які знайшли широке використання у галузі точного приладобудування (на прикладі кремнію Кр0, оптичного скла К8 та п'єзоелектричної кераміки ЦТС-19) встановлено похибку визначення їх механічних характеристик, яка не перевищує 7,5 %.

Ключові слова: *діагностичний стенд, атомно-силова мікроскопія, діелектрик, пружна сила, капілярна сила, трибозаряд.*

Рассмотрена актуальная задача разработки методического обеспечения для определения механических характеристик диэлектрических материалов в нанометровом диапазоне. Для комплексного исследования упругих сил, капиллярных сил и определения остаточного трибозаряда предлагается использование диагностического стенда, который создан на базе атомно-силового микроскопа. Разработанная и описанная в работе блок-схема стенда и схема автоматизации технологического процесса позволяет устранить ряд негативных внешних влияний на процесс диагностирования со стороны оператора. По результатам исследования материалов, которые нашли широкое использование в области точного приборостроения (на примере кремния Кр0, оптического стекла К8 и пьезоэлектрической керамики ЦТС-19) установлена погрешность определения их механических характеристик, которая не превышает 7,5 %.

Ключевые слова: *диагностический стенд, атомно-силовая микроскопия, диэлектрик, упругая сила, капиллярная сила, трибозаряд.*

In the article the actual task of development of the methodical providing is examined for determination of mechanical descriptions of dielectric materials in a nanometer range. For complex research of resilient forces, capillary forces and determination of remaining tribo-charge the use of diagnostic stand that is created on the base of atomic-force microscope is offered. The flow-chart of stand and chart of automation of technological process worked out and described in-process allow

to remove the row of negative external influences on the process of diagnosticating from the side of operator. On results research of materials that found deployment in area of exact instrument-making (on the example of silicon of Kp0, optical glass of K8 and piezoelectric ceramics of ЦТС-19) the error of determination of its mechanical descriptions is set, that does not exceed 7,5 %.

Key words: *diagnostic stand, atomic-force microscopy, dielectric, resilient force, capillary force, tribo-charge.*

Постановка проблеми. Сьогоденні наука і техніка прагнуть до мініатюризації своїх систем і компонентів, внаслідок чого активно набуває популярності нова галузь науки – нанотехнології. Проте її розвиток неможливий без сучасних методів дослідження, а забезпечення якості технологічних процесів та систем неможливе без поліпшення фізичних характеристик матеріалів. Існує велика кількість методів дослідження, що принципово відрізняються один від одного, проте більшість цих методів мають можливість досліджувати лише рельєф поверхні. Водночас, універсальні методи, призначені для комбінованого дослідження як мікрорельєфу, так і поверхневих фізико-механічних характеристик матеріалів, є, як правило, руйнуючими.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Серед універсальних методів дослідження матеріалів особливої уваги слід приділити сканувальній зондовій мікроскопії (СЗМ) [1]. Цей метод є універсальним, має високу роздільну здатність, а вимірювальним інструментом є зонд, який підводиться до поверхні, чим відкриває нові можливості для дослідження фізичних і механічних характеристик поверхонь на поверхневому, нанометровому рівні. Зусиллям вітчизняних та зарубіжних учених, а саме: С.А. Чижика, М.А. Журавкова, Т.А. Кузнецової, Ю.Д. Трет’якова, О.В. Свірідової, С.О. Білокінь створено теоретичні та практичні засади неруйнівного контролю та діагностування нанорельєфу різноманітних матеріалів та їх фізико-механічних характеристик із застосуванням методу СЗМ та його різновиду – методу атомно-силової мікроскопії (АСМ) [2–4].

Невирішені частини проблеми. Проте, незважаючи на явні переваги методу АСМ, відсутність методичного забезпечення та засобів його реалізації не дозволяє підвищити якість та точність визначення саме механічних характеристик поверхонь, а також застосовувати цей метод як універсальний у нетривіальних дослідницьких задачах (наприклад, встановлення залежності електропровідності тонких покриттів від зовнішнього їх навантаження). Тому розширення можливостей методу АСМ під час дослідження фізичних характеристик діелектричних поверхонь на сьогодні є питанням актуальним.

Метою дослідження є розроблення діагностичного стенда, що ґрунтується на методі атомно-силової мікроскопії та дослідження фізичних характеристик діелектричних поверхонь за допомогою такого стенда.

Використовувані матеріали та обладнання. Для досягнення поставленої мети базовим обладнанням є атомно-силовий мікроскоп NT-206 (виробник ТДВ «Мікротест-машини», м. Гомель, Білорусь), який був конструктивно дооснащений розробленою нами системою діагностування. Дослідними зразками були різні за фізичними властивостями діелектричні матеріали, що знайшли широке застосування в сучасному приладобудуванні, а саме: тонкі пластини (товщиною 0,2 мм) із кремнію Кр0, диски з оптичного скла К8 (Ø25×8 мм) та п’єзоелектричної кераміки ЦТС-19 (Ø50×1 мм), що бралися по три зразки кожний. Робота стенда перевірялася експериментально за таких умов навколишнього середовища: температура 22 °С, вологість 65 %. У дослідженнях використовувалися стандартні кремнієві зонди виробництва фірми MicroMash, які були модифіковані нами тонким вуглецевим покриттям [4].

Будова та принцип дії діагностичного стенда. Розроблюваний діагностичний стенд складається з трьох блоків: блок дослідження пружних сил, блок дослідження капілярних сил та блок зняття трибоелектричного заряду (рис. 1).

Блок дослідження пружних сил дозволяє здійснити проникнення зонда у зразок із зусиллям, яке задається оператором з подальшим відведенням зонда від зразка і скану-

ванням місця взаємодії зонда з поверхнею. Потім за графіком підведення-відведення і результатами сканування визначаються: локальна твердість матеріалу, модуль Юнга, коефіцієнт пружного відновлення зразка тощо.

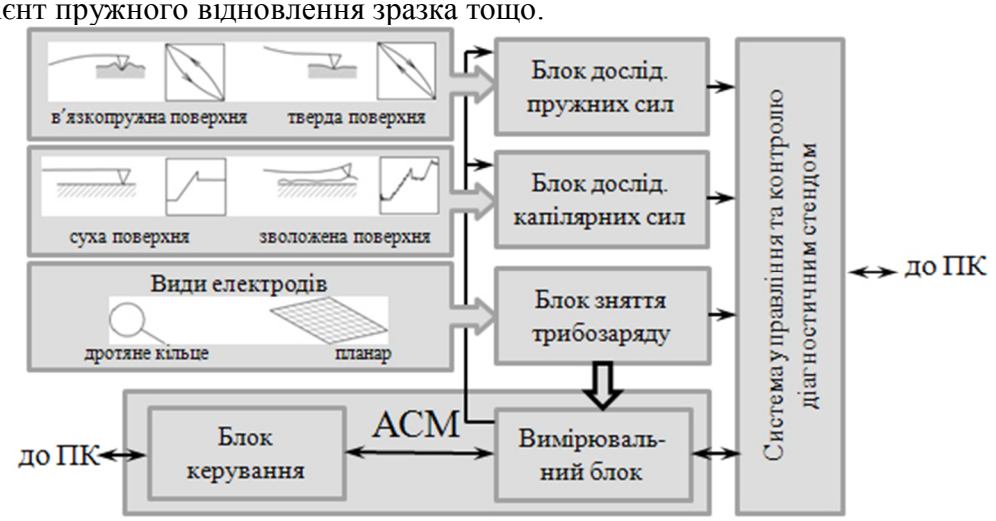


Рис. 1. Блок-схема діагностичного стенда, розробленого на основі атомно-силового мікроскопа

Блок дослідження капілярних сил призначений для дослідження сил, що виникають між зондом та плівкою рідини, яка абсорбована на досліджуваній поверхні. При такому дослідженні проводиться підведення та відведення зонда до поверхні, внаслідок чого будується графік залежності сили від відстані між зондом і зразком. За кривизною цього графіка, а також кількості піків і спадів визначається характер адсорбованої рідини, або рідин, а також товщина шару абсорбованої рідини.

Блок зняття трибоелектричного заряду призначений для фіксування заряду, що виникає внаслідок тертя зонда о діелектричну поверхню. Приймачем у цьому блоці є електроди, які можуть бути як накладеними на діелектричну поверхню у формі кільця, так і у вигляді планару – металевої сітки, нанесеної методом термовакуумного осадження на випробуваний діелектрик. Вимірювальні величини знаходяться у широкому діапазоні значень, що повністю перекриває діапазон їх теоретичних (розрахункових) значень.

Зовнішній вигляд діагностичного стенда та розробленого авторами блока системи діагностування, а також функціональної схеми роботи стенда наведено на рис. 2.

Діагностичний стенд складається з чотирьох блоків: блок керування АСМ; блок сканування АСМ; система управління діагностичним стендом; сервер збереження даних.

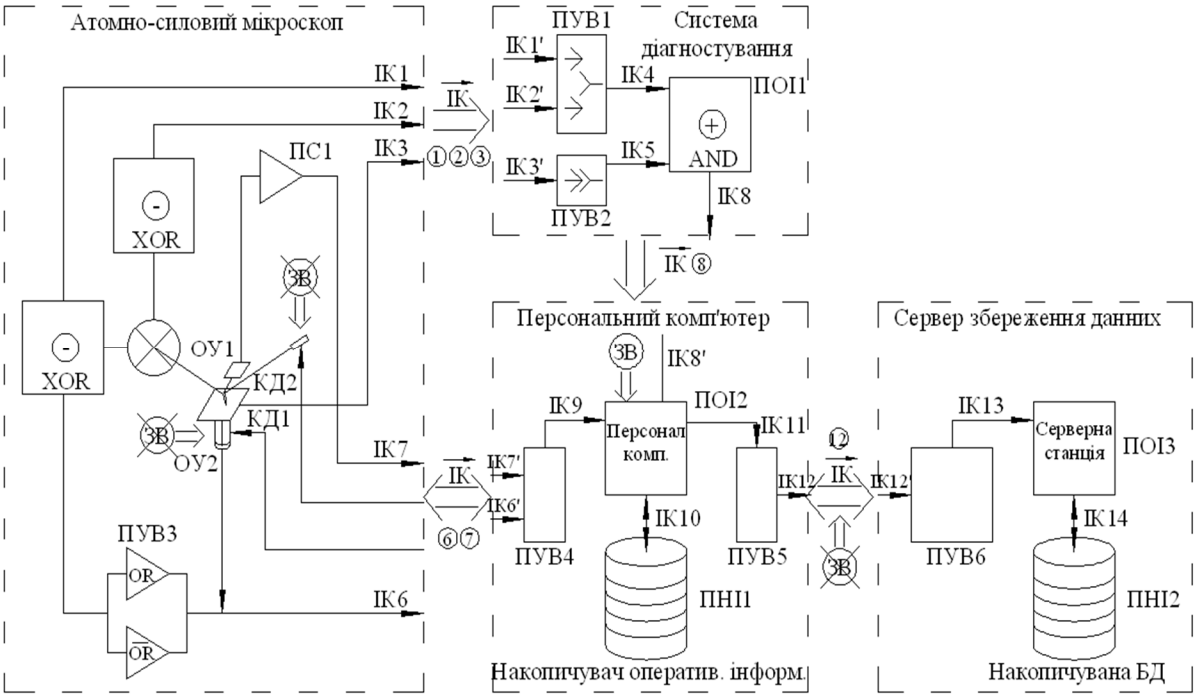
Основними вузлами блока керування АСМ є п'єзосканер КД1, що являє собою пристрій підведення та переміщення зразка під вимірювальним інструментом (зондом). Обмін інформацією між п'єзосканером та ПК здійснюється по інформаційному каналу ІК6, а також поступає по каналу ІК3 на пристрій діагностування. Вимірювальний інструмент закріплений у п'єзочіпі і являє собою тонку довгу консоль з голкою нанометричних розмірів (зондом) на одному з її кінців.

Під дією міжмолекулярних сил тяжіння та відштовхування у процесі підведення зразка до зонда та його сканування відбуваються горизонтальні та вертикальні відхилення цієї консолі від початкового положення, внаслідок чого на п'єзочіпі КД2 виникає потенціал певного знака та значення, що дозволяє визначити величину відхилення зонда. Отриманий сигнал з п'єзочіпа попередньо підсилюється підсилювачем ПС1 і передається каналом зв'язку ІК7 на ПК. У той же час, інформація з зонда дублюється за допомогою лазерного позиціонера КД2, що генерує висококогерентний промінь, який віддзеркалюється від консолі і далі потрапляє на чотирипозиційний фотодетектор ОУ1. При цьому кожне відхилення консолі впливатиме на зміщення цього променя відносно фотодетектора по координатам, що, у свою чергу, дозволяє встановити відхилення консолі як у ве-

ртикальній площині, так і її кручення навколо осі. Отриманий сигнал про розподіл інтенсивності лазерного променя по горизонтальній та вертикальній площині поступає по інформаційним каналам ІК1 та ІК2 на систему діагностування, а також частково на блок зворотного зв'язку ПУВ3. Отриманий сигнал з блока зворотного зв'язку та сигнал, що поступає з п'єзосканера ОУ2, компаруються та передаються на ПК по каналу ІК6.



а *б*



в

Рис. 2. Зовнішній вигляд діагностичного стенда (а), блока діагностування (б) та функціональна схема діагностичного стенда (в): 1 – блок керування АСМ; 2 – блок сканування АСМ; 3 – система управління діагностичним стендом; 4 – монітор ПК; 5 – РК-дисплей для виведення поточної інформації; 6 – вузол узгодження з ПК; 7 – вузол узгодження з АСМ; 8 – плата управління діагностичним стендом (інші пояснення – по тексту статті)

Таким чином, цей блок має сім каналів зв'язку з зовнішніми пристроями: два канали прийому (КД1, КД2) та два канали передачі (ІК6, ІК7) на ПК, а також три канали передачі на блок діагностування (ІК1-ІК3).

Блок автоматизації призначений для оперативного контролю та керування робочими режимами АСМ. Складається з таких вузлів. Вузол, призначений для узгодження сигналів, які поступають з АСМ по каналам зв'язку ІК1' та ІК2' (через пристрій узгодження ПУВ1). За допомогою інформації, що передається цими каналами, блок автоматизації формує поправки до режимів сканування АСМ (час затримки, крок сканування). Через пристрій узгодження ПУВ2, у свою чергу, поступає сигнал з каналу зв'язку ІК3', що дозволяє блоку автоматизації у процесі роботи корегувати швидкість горизонтального сканування.

Узгоджені сигнали з ПУВ1 та ПУВ2 потрапляють на пристрій оброблення інформації ПОІ1, де вони обробляються, кодуються та передаються на ПК по каналу ІК8.

Керуючий ПК є основним елементом розглянутої системи діагностування, що узгоджує роботу АСМ та блока автоматизації, формує початкові дані процесу роботи приладу, дозволяє накопичувати, обробляти, аналізувати та зберігати отримані результати. Сигнали ІК6'–ІК8' через пристрій узгодження ПУВ4 поступає до виконуючого пристрою ПОІ2, де реалізуються усі переліченні вище функції, а також за допомогою каналу ІК10 можуть зберігатися на пристрої накопичення інформації ПНІ1.

Основною перевагою використання запропонованої схеми є залучення до неї блока автоматизації, що дозволяє усунути зовнішні впливи з боку оператора (ручне налагодження системи позиціонування АСМ та ручне налаштування системи фотодетектування). Це, у свою чергу, дозволить уникнути систематичних методичних похибок, чим підвищить точність, швидкодію та надійність результатів нанометричних досліджень.

Обговорення результатів досліджень. Дослідження таких фізичних характеристик поверхонь, як пружні та капілярні сили, а також залишковий трибозаряд на поверхні діелектричних зразків проводилися за допомогою вищерозробленого діагностичного стенда, а результати таких експериментальних досліджень перевірялися теоретичними розрахунками. При цьому було встановлено, що вплив, який чинили пружні сили від дії зонда на поверхню зразків, не перевищували значень 7,46–10,76 пН, тоді як значення капілярних сил знаходилися в діапазоні 110–230 пН. Значення залишкового трибозаряду на поверхні діелектричних матеріалів після повного циклу сканування поверхні становило 10,11–11,98 мКл. Отримані дані корелюють з даними, отриманими в результаті проведених теоретичних розрахунків [5–8], що підтверджує високу точність та адекватність роботи діагностичного стенда. При цьому відхилення між експериментально отриманими та теоретичними результатами не перевищує 7,5 %.

Загалом, діапазони значень основних вимірювальних характеристик та точність вимірювання діагностичним стендом зведені в табл.

Таблиця

Основні вимірювальні характеристики діагностичного стенда

Вимірювальні характеристики	Діапазон значень	Точність вимірювання, %
Трибозаряд, $\times 10^{-3}$, Кл	19...25	± 2,7...5
Капілярні сили, $\times 10^{-12}$, Н	0,2...6500	± 5...7,5
Пружні сили, $\times 10^{-12}$, Н	2...10800	± 3...4,5

Висновки. Встановлена висока точність визначення таких фізичних характеристик поверхонь, що діагностувались, як: дія пружних та капілярних сил, а також залишковий трибозаряд на діелектричних поверхнях. При цьому похибка визначення залишкового трибоелектричного заряду не перевищувала 5 %, капілярних сил – 7,5 %, пружних сил – 4,5 %. Це дозволяє зробити висновки про оперативне та якісне визначення таких фізичних характеристик діелектричних матеріалів, як: заряд, що накопичується в поверхні внаслідок тертя, капілярні сили, які виникають між вимірювальним інструментом – зондом АСМ та досліджуваною поверхнею або тонким покриттям на ній.

Значення цих сил дозволяє визначити адгезійну міцність поверхневих шарів або тонких покриттів, нанесених на поверхню. Також можуть бути визначені пружні сили, виходячи із значень яких можливе знаходження модуля пружності, коефіцієнтів тертя тощо.

У подальшому планується проводити вдосконалення діагностичного стенда з метою визначення мікротвердості, зносостійкості, а також поверхневої енергії.

Список використаних джерел

1. *Binning G.* Atomic force microscope / G. Binning, C.F. Quate, Ch. Gerber // Phys. Rev. Lett. – 1986. – Vol. 56. – P. 930–933.

2. *Миронов В. Л.* Основы сканирующей зондовой микроскопии / В. Л. Миронов. – Нижний Новгород : Российская академия наук, Институт физики микроструктур, 2004. – 110 с.

3. *Мікроскопія* в нанотехнологіях : монографія / В. С. Антонюк [та ін.]. – К. : НТУУ «КПІ», 2014. – 260 с.

4. *Formation* of wear-resistant coatings on silicon probes for atomic force microscopy by thermal vacuum evaporation / V. Antonyuk, S. Bilokin', M. Bondarenko, Yu. Bondarenko [etc.] // Journal of Superhard Materials. – 2015. – Vol. 37, Is. 2. – P. 112–119.

5. *Білокінь С. О.* Комплексне дослідження нанометричних елементів за допомогою атомно-силової мікроскопії / С.О. Білокінь, М.О. Бондаренко // Шевченківська весна : XII конф. (25–28 березня 2014 р.) : у 2 ч. Ч. 2. – К., 2014.

6. *Билоконь С. А.* Влияние сил адгезии между исследуемой поверхностью и зондом для атомно-силовой микроскопии / С. А. Билоконь, М. А. Бондаренко, В. С. Антонюк // Наноинженерия. – 2012. – № 6 (12). – С. 41–45.

7. *Особенности* измерения микротвердости диэлектрических поверхностей кремниевым зондом атомно-силового микроскопа / В. С. Антонюк, С. А. Билоконь [и др.] // Наноинженерия. – 2014. – № 3 (33). – С. 13–16.

8. *Механізм* виникнення та нейтралізація залишкової трибоелектрики при скануванні кремнієвим зондом атомно-силового мікроскопа діелектричних поверхонь / М. О. Бондаренко, С. О. Білокінь, В. С. Антонюк, Ю. Ю. Бондаренко // Журнал нано- та електронної фізики. – 2014. – Том 6, № 2. – С. 02018-1–02018-5.

УДК 621.472:629.78

Р.В. Зайцев, канд. техн. наук
М.В. Кириченко, канд. техн. наук
Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», г. Харьков, Украина

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ИЗМЕРЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ

Р.В. Зайцев, канд. техн. наук
М.В. Кіріченко, канд. техн. наук
Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна

РОЗРОБЛЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ВИМІРЮВАНЬ ПАРАМЕТРІВ НАПІВПРОВІДНИКОВИХ ПРИЛАДІВ

Roman Zaytsev, PhD in Technical Sciences
Mikhail Kirichenko, PhD in Technical Sciences
National Technical University "Kharkov Polytechnical Institute", Kharkov, Ukraine

THE DEVELOPMENT OF THE SEMICONDUCTOR DEVICES PARAMETERS AUTOMATION MEASUREMENT SYSTEM

Основным методом определения параметров полупроводниковых приборов является метод измерения и аналитической обработки их вольтамперных характеристик (ВАХ). Существующие на сегодняшний день измерительные комплексы для реализации этого метода представляют собой дорогие и сложные системы, которые экономически не выгодно использовать в условиях отечественного производства. В работе разработан экономичный автоматизированный измерительный комплекс ВАХ на основе микроконтроллерной системы управления с соответствующим программным обеспечением, позволяющий в связке с компьютером проводить экспрессную аттестацию фотоэлектрических преобразователей и полупроводниковых приборов по их вольтамперным характеристикам. Апробация комплекса показала его способность проводить измерения ВАХ с достаточно высокой точностью при средней погрешности измерения не больше 1 %.

Ключевые слова: *полупроводниковый прибор, вольтамперная характеристика, автоматизация измерения, микроконтроллер.*

Основним методом визначення параметрів напівпровідникових приладів є метод вимірювання та аналітичного опрацювання їх вольтамперних характеристик (ВАХ). Наявні нині вимірювальні комплекси для реалізації цього методу являють собою коштовні та складні системи, використання яких в умовах вітчизняної промисловості є економічно не вигідним. У роботі розроблено економічний автоматизований вимірювальний комплекс ВАХ на основі мікроконтролерної системи керування із відповідним програмним забезпеченням, що дозволяє у зв'язці із персональним комп'ютером проводити експресну атестацію фотоелектричних перетворювачів та напівпровідникових при-

ладів за їх вольтамперними характеристиками. Апробація комплексу продемонструвала його здатність проводити вимірювання ВАХ з достатньо високою точністю при середній похибці виміру не більше 1 %.

Ключові слова: *напівпровідниковий прилад, вольтамперна характеристика, автоматизація вимірювань, мікроконтролер.*

The basic method of semiconductor devices parameters determination is current-voltage characteristics (CVC) measurement and analytical processing. The existing measurement systems for realization of this method are expensive and complex systems that are not economically profitable in terms of Ukrainian production. In this paper we developed a cost-effective automated CVC measurement system, based on microcontroller control system with corresponding software that allows in conjunction with a computer to carry out the express certification of solar cells and semiconductor devices by their current-voltage characteristics. Approbation of the complex showed its ability to measure the CVC with high accuracy at an average measurement error is not more than 1%.

Key words: *semiconductor device, current-voltage characteristic, measurement automatization, microcontroller.*

Постановка проблемы. Постоянный рост объемов производства фотоэлектрических преобразователей (ФЭП) солнечной энергии обуславливает актуальность задачи проведения экспрессной, экономичной и достоверной аттестации таких приборов как на этапе разработки и совершенствования, так и на этапе производства. Основной и наиболее применяемой методикой аттестации ФЭП остается измерение световых вольтамперных характеристик (ВАХ), аналитическая обработка которых позволяет получить выходные параметры и КПД приборов. В настоящее время за рубежом разработан целый ряд компьютеризированных комплексов, позволяющих производить автоматизированное измерение и аналитическую обработку ВАХ с высокой точностью. Однако данные комплексы отличаются крайне высокой ценой и высокой сложностью, что исключает их использование отечественными разработчиками.

Анализ последних исследований и публикаций. Современные успехи в развитии микроэлектроники, в частности создание достаточно мощных и дешевых микроконтроллеров и компьютеров с ARM [1;2] и AVR [3–5] архитектурой позволили создать на их основе ряд автоматизированных измерительных систем для экспрессной аттестации ФЭП с различными рабочими параметрами, позволяющие проводить также обработку результатов измерений в режиме реального времени. Также в последние годы был совершен прорыв в разработке высокоэффективных сверхярких белых светодиодов со сплошным спектром излучения основанных на принципе «голубой светодиод+люминофор». Это позволило включить в состав автоматизированных измерительных комплексов имитаторы солнечного излучения на основе таких светодиодов, отличающиеся экономичностью в работе и улучшенным соответствием спектральных и энергетических характеристик излучения к солнечному [6].

Нерешенные части проблемы. Современные комплексы аттестации ФЭП представляют собой весьма сложные и дорогостоящие приборы [7–9], что не позволяет их применять повсеместно и экспрессно. Такие комплексы обычно представляют собой отдельные приборы, выполненные в едином корпусе и включающие, в том числе и встроенные компьютеры, обладающие зачастую избыточной вычислительной мощностью, что и обуславливает их повышенную стоимость приобретения и эксплуатации. Наряду с этим очевидно, что в каждой лаборатории присутствует широкий ассортимент универсальной вычислительной техники – персональных компьютеров (ПК), производительность которых на сегодняшний день позволяет выполнять практически любые сложные задачи. На основании этого актуальной задачей представляется разработка современного измерительного комплекса ВАХ в виде экономичной приставки к ПК, которая бы отличалась низкой ценой и при этом обеспечивала достаточную для большинства измерений точность и простоту использования.

Целью исследования является разработка экономичного автоматизированного измерительного комплекса ВАХ на основе микроконтроллерной системы управления с соответствующим программным обеспечением, позволяющего в связке с ПК проводить экспрессную аттестацию ФЭП и полупроводниковых приборов по их вольт-амперным характеристикам.

Изложение основного материала. С учетом изложенного предлагается конструктивно выполнить измерительный комплекс в виде приставки к ПК, состоящего из двух функциональных блоков: управляющего и измерительного, как это показано на рис. 1. Управляющий блок обеспечивает преобразование поступающего от ПК управляющего цифрового сигнала в аналоговую форму и его дальнейшую подачу на исполнительные элементы для создания требуемых физических условий проведения эксперимента. В измерительном блоке на аппаратном уровне реализованы принципы измерения физических параметров исследуемого образца, например, тока и напряжения, и их последующее преобразование в цифровую форму для дальнейшей передачи на ПК. Обмен цифровой информацией с установленной на ПК программой управления и обработки данных производится посредством подключения управляющего и измерительного блоков к ПК через стандартный USB концентратор.

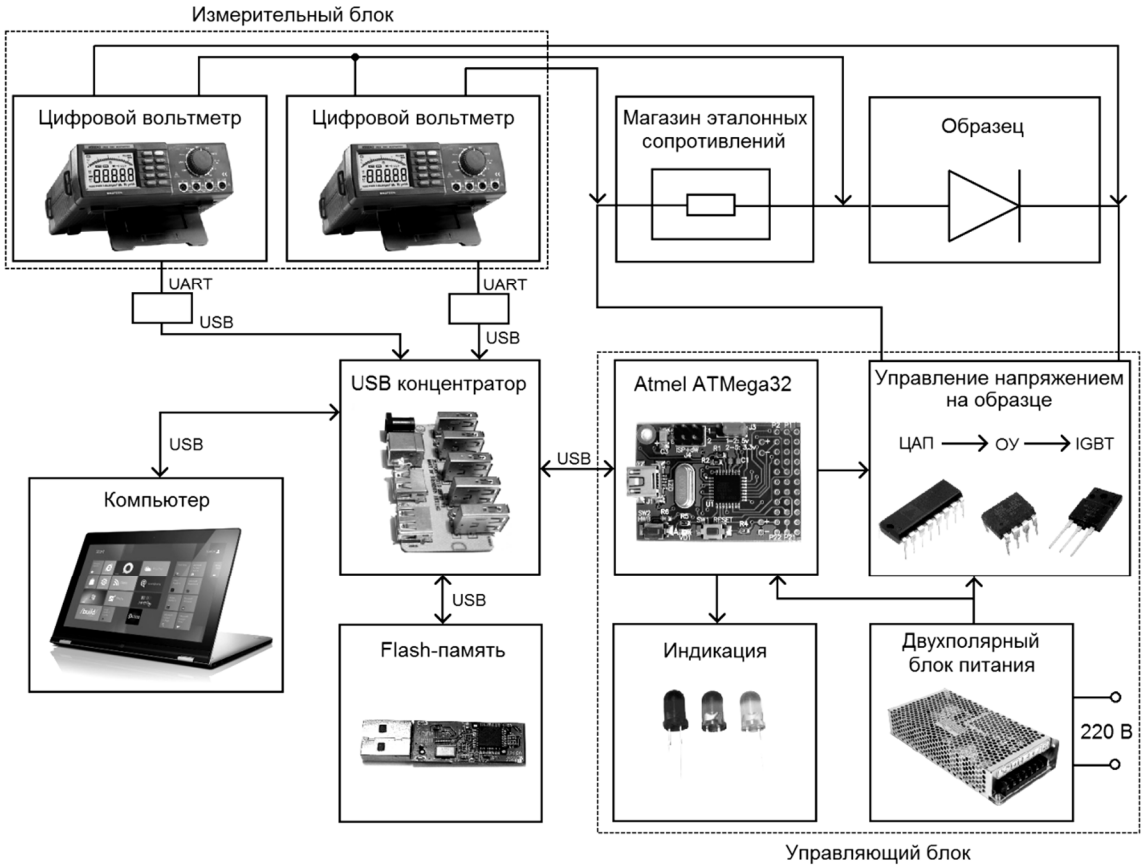


Рис. 1. Функциональная блок-схема измерительного комплекса для проведения исследований вольтамперных характеристик

Как видно из рис. 1, конструктивно управляющий блок основан на серийном микроконтроллере Atmel ATMega32, с прошивкой прозрачного программного обеспечения, аналогичного программам типа «framework», для обеспечения полного контроля над процессами со стороны программы управления и обработки данных на ПК.

К микроконтроллеру последовательно подключены 10-разрядный цифро-аналоговый преобразователь Analog Devices AD7533 (аналог КР572ПА1), необходимые операционные усилители, например, Texas Instruments LM358 (аналог 154УД3) и выходные ключи типа КТ816 и КТ817. Указанная последовательность включения позволяет на выходе блока задавать напряжение в диапазоне ±12 В при токе до 1 А с минимальным шагом около 5 мВ, чего вполне достаточно для проведения исследований ВАХ широкого ассортимента ФЭП и полупроводниковых приборов различной конструкции.

Измерительный блок, во избежание внесения дополнительной погрешности, было решено выполнить на основе калиброванных измерительных приборов, изготавливаемых промышленно, например, типа Mastech MS8040, которые имеют цифровой выход по интерфейсу RS232C. При измерении ВАХ ФЭП данные приборы способны выполнять функции измерителей напряжения и тока, а подключенные к ним преобразователи UART-USB обеспечивают преобразование цифровых сигналов в форму, необходимую для дальнейшей передачи на ПК по интерфейсу USB.

Согласно вышеописанным конструктивным решениям был изготовлен образец измерительного комплекса для проведения исследования ВАХ, общий вид которого приведен на рис. 2. Для управления процессом обработки и хранения полученных результатов была разработана и написана на языке C# управляющая программа, вид главного окна которой приведен на рис. 3.



Рис. 2. Внешний вид разработанного измерительного комплекса для проведения исследований вольтамперных характеристик

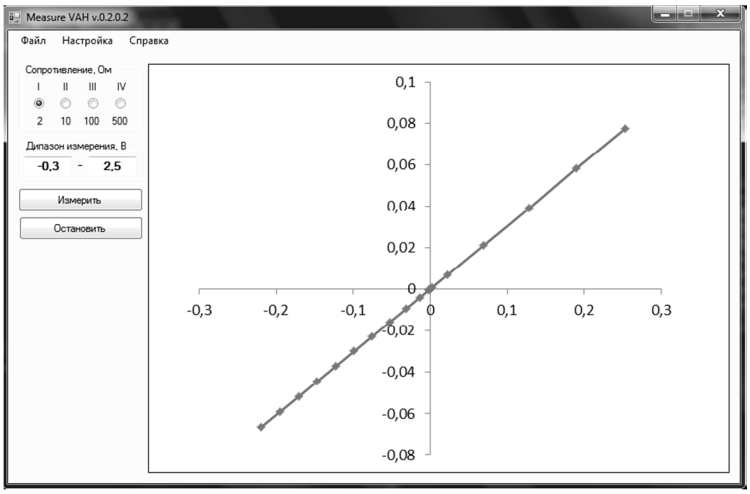


Рис. 3. Главное окно программы управления измерительным комплексом ВАХ

Апробация изготовленного образца измерительного комплекса проводилась путем измерения вольтамперных характеристик ключевых элементов электронной техники, таких как резисторы, диоды и фотоэлектрические преобразователи солнечной энергии и их последующего сопоставления с ВАХ, измеренными с помощью классических приборов: характериографа, осциллографа, мостов постоянного тока и др.

Так, в табл. 1 приведены значения сопротивлений, полученные как в результате аналитической обработки экспериментальных ВАХ резисторов, так и измеренные с использованием моста постоянного тока.

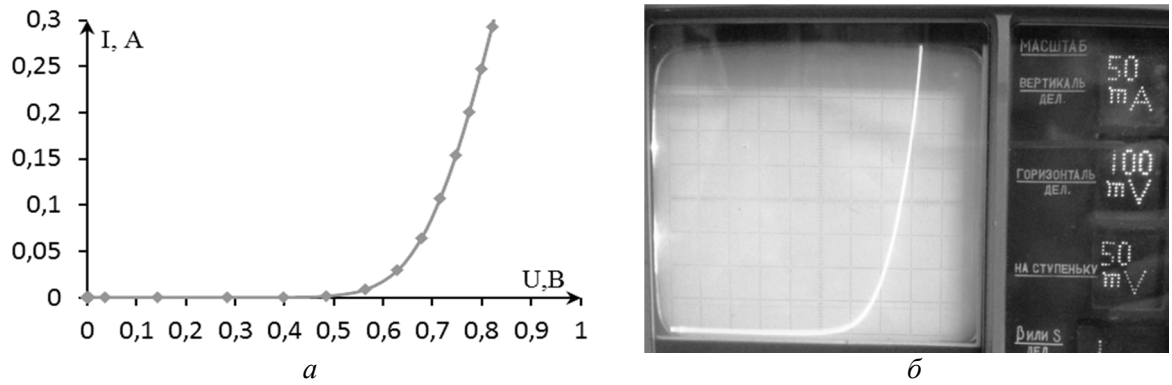
Таблица 1

Значения сопротивлений резисторов, определенные при помощи моста постоянного тока Р4833 R_M и при помощи разработанного комплекса R_K, а также рассчитанные значения погрешности измерения комплекса δ

R_M, Ом	R_K, Ом	δ, %
1991	2045	1,01
10,13	10,15	0,18
3,33	3,28	1,01

Из приведенных данных видно, что погрешность измерения сопротивления измерительным комплексом находится на уровне 1 %, что сопоставимо с точностью указания номинала большинства резисторов, применяемых при производстве изделий электронной техники.

На рис. 4 приведены экспериментальные ВАХ полупроводникового диода КД208, измеренные с помощью разработанного комплекса (рис. 4, *а*) и характериографа Л2-56 (рис. 4, *б*).



а *б*

Рис. 4. Экспериментальные ВАХ полупроводникового диода КД208 измеренные: а – при помощи разработанного комплекса; б – при помощи характериографа Л2-56

Расчет усредненной погрешности измерения, проведенный для экспериментальных ВАХ полупроводникового диода, приведенных на рис. 4, показал, что погрешность измерения тока при исследовании ВАХ такого прибора не превышает 1 % при максимальном отклонении 1,3 %.

Важным этапом апробации изготовленного измерительного комплекса было исследование световых вольтамперных характеристик поликристаллических кремниевых ФЭП. В качестве объекта исследования использовались ФЭП на основе поликристаллического кремния производства Yingli Solar (КНР). Измерения проводились с использованием ранее разработанного [6] светодиодного осветителя при мощности излучения 1000 Вт/м^2 и спектральном составе излучения, приближенном к стандартному режиму АМ1,5. На рис. 5 приведены световые ВАХ типичного образца исследованного ФЭП, полученные с помощью разработанного комплекса и с помощью метода противо-э.д.с., реализованного в ручном режиме [10]. Аналитическая обработка экспериментальных ВАХ ФЭП осуществлялась с помощью авторского специализированного программного обеспечения. Полученные в результате значения выходных и диодных параметров исследованного ФЭП приведены в табл. 2.

Из табл. 2 видно, что величины ключевых выходных параметров исследованного ФЭП, такие как ток короткого замыкания $I_{кз}$ и фактор заполнения световой ВАХ FF и напряжение холостого хода $U_{хх}$, определенные по ВАХ измеренным различными методами являются практически идентичными. Определенные в результате аналитической обработки световых ВАХ значения диодных параметров ФЭ, таких как диодный ток насыщения I_0, коэффициент идеальности диода А, последовательное $R_п$ и шунтирующее $R_ш$ сопротивления, также

демонстрируют высокую сходимость результатов для разных методов измерения световых ВАХ. Численную оценку погрешности измерения проводили для величины КПД, которая, как известно, является интегральным показателем качества, характеризующим общее совершенство конструкции ФЭП [11]. Проведенный расчет погрешности определения величины КПД при измерении световых ВАХ различным способом позволил установить, что погрешность измерения при использовании образца измерительного комплекса не превышает 0,7 %, что сопоставимо с погрешностью, вносимой типовыми измерительными приборами при реализации метода противо-э.д.с. в ручном режиме.

Таблица 2

Значения выходных и диодных параметров исследованного ФЭП, определенные с помощью разработанного комплекса и методом противо-э.д.с. в ручном режиме

Параметр	Разработанный комплекс	Метод противо-э.д.с. в ручном режиме
КПД, %	10,25	10,18
$U_{хх}$, мВ	585	581
$I_{кз}$, мА	256	256
FF, отн. ед.	0,69	0,69
$P_{нм}$, мВт	102	102
$R_{п}$, Ом	0,115	0,114
$R_{ш}$, кОм	15,3	15,6
A, отн. ед.	2,31	2,29
I_0, А	$1{,}37 \cdot 10^{-6}$	$1{,}34 \cdot 10^{-6}$

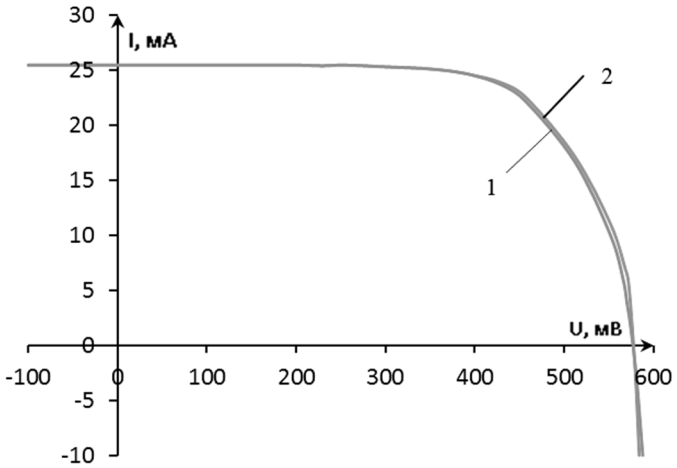


Рис. 5. Световые ВАХ типичного исследованного ФЭП: 1 – измеренная с помощью разработанного комплекса; 2 – измеренная методом противо-э.д.с. в ручном режиме

Выводы. Таким образом, можно сделать вывод, что предложенный экономичный измерительный комплекс ВАХ способен обеспечить проведение экспрессной и экономичной аттестации широкого ассортимента приборов электронной техники, в частности фотоэлектрических преобразователей, с достаточно высокой точностью при средней погрешности измерения не больше 1 % путем измерения и последующей аналитической обработкой темновых и световых вольтамперных характеристик исследуемых приборов. При этом предположительная стоимость такого комплекса не превышает 200 $, что позволит широко его применять в связке с ПК на всех рабочих и исследовательских местах, требующих проведения промежуточного и конечного контроля полупроводниковых приборов.

Список использованных источников

1. *Mostafa G.* Development of an 8-bit RISC microcontroller learning kit using Atmel ATmega32 architecture // Advances in Electrical Engineering (ICAEE), 2013, International Conference on 19–21 Dec. 2013. – P. 154–159.

2. *Wei Zhang*, LinYi The design of ATmega32 MCU SPI and MAX191 serial A/D communication // Business Management and Electronic Information (BMEI), 2011 International Conference on 13–15 May 2011 (Volume 2). – P. 526–528.

3. *Zhu Zhengwei*, Zhao Huihui, Shen Lin Design of Multi-machine Communication System Based on TWI // Electrical and Control Engineering (ICECE), 2010 International Conference on 25–27 June 2010. – P. 3590–3593.

4. *Joseph Yiu.* The Definitive Guide to ARM® Cortex®-M3 and Cortex®-M4 Processors, Third Edition / Burlington : Elsevier, 2007.

5. *Jonathan W.* Valvano Embedded Systems: Real-Time Interfacing to the Arm Cortex-M Microcontrollers // CreateSpace Independent Publishing Platform, 2011.

6. *Патент* України на корисну модель № 94622. Світлодіодно-галогеновий освітлювач. – Зареєстровано в Державному реєстрі патентів України на корисні моделі 25.11.2014 р.

7. *Chin M.,* Kilpatrick S., Osgood R. Metal-Insulator-Metal Diode Process Development for Energy Harvesting Applications / Army Research Laboratory, Annual Report. – 2010. – 24 p.

8. *Lee. K.-J.*, Kim J.-H., Kim H.-S. et al. Study on a Solar Simulator for Dye Sensitized Solar Cells // International Journal of Photoenergy. – 2012. – Vol. 12. – P. 1–11.

9. *Pravettoni M.*, Galleano R., Dunlop E. et al. Characterization of a pulsed solar simulator for concentrator photovoltaic cell calibration / Measurement science and technology. – 2010. – Vol. 21. – P. 1–8.

10. *Emery K.* Measurement and characterization of solar cells and modules // Handbook of photovoltaic science and engineering / Ed. by A. Luque and S. Hegedus. – Chichester : John Wiley & Sons, Ltd., 2003. – P. 702–752.

11. *Колтун М. М.* Солнечные элементы / М. М. Колтун. – М. : Наука, 1987. – 210 с.

УДК 621.316

С.А. Іванець, канд. техн. наук
О.В. Красножон, аспірант
Чернігівський національний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

ОТРИМАННЯ АНАЛІТИЧНОГО ОПИСУ ПОВЕРХНІ КЕРУВАННЯ ДЛЯ СИСТЕМИ ВІДСТЕЖЕННЯ ТОЧКИ МАКСИМАЛЬНОЇ ПОТУЖНОСТІ ФОТОЕЛЕКТРИЧНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА

С.А. Иванец, канд. техн. наук
А.В. Красножон, аспирант
Черниговский национальный технологический университет, г. Чернигов, Украина

ПОЛУЧЕНИЕ АНАЛИТИЧЕСКОГО ОПИСАНИЯ ПОВЕРХНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ СИСТЕМЫ ОТСЛЕЖИВАНИЯ ТОЧКИ МАКСИМАЛЬНОЙ МОЩНОСТИ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

Serhii Ivanets, PhD in Technical Sciences
Oleksii Krasnozhon, PhD student
Chernihiv National University of Technology, Chernihiv, Ukraine

OBTAINING OF AN ANALYTICAL DESCRIPTION OF THE CONTROL SURFACE FOR THE SYSTEM TRACKING MAXIMUM POWER POINT OF A PHOTOVOLTAIC CELL

Проведено загальний аналіз алгоритмів функціонування систем відстеження точки максимальної потужності фотоелектричних перетворювачів. Запропоновано метод побудови таких систем, що ґрунтується на отриманні поверхні керування (завдяки інтерполяції та апроксимації) як функції двох змінних: густини потоку падаючого сонячного випромінювання та робочої температури фотоелектричного перетворювача. Обґрунтовано вибір поліномів для апроксимації інтерпольованих експериментальних даних, отриманих за допомогою моделювання роботи реально наявного фотоелектричного перетворювача. Наведено оцінювання похибок для запропонованих поліномів. Проаналізовано переваги та недоліки запропонованого методу.

Ключові слова: *максимальна потужність, поверхня регулювання, інтерполяція експериментальних даних, апроксимаційний поліном, поправочна функція, відносна похибка, реперна точка, функція двох змінних, дослідна модель фотоелектричного перетворювача.*

Проведён общий анализ алгоритмов функционирования систем отслеживания точки максимальной мощности фотоэлектрических преобразователей. Предложен метод построения таких систем, который основывается на получении поверхности управления (путём интерполяции и апроксимации) как функции двух переменных: плотности потока падающего солнечного излучения и рабочей температуры фотоэлектрического преобразователя. Обоснован выбор полиномов для аппроксимации интерполированных экспериментальных данных, полученных путём моделирования работы реально существующего фотоэлектрического преобразователя. Приведена оценка погрешностей для предложенных полиномов. Проанализированы преимущества и недостатки предложенного метода.

Ключевые слова: *максимальная мощность, поверхность регулирования, интерполяция экспериментальных данных, аппроксимационный полином, поправочная функция, относительная погрешность, реперная точка, функция двух переменных, экспериментальная модель фотоэлектрического преобразователя.*

Conducted a general analysis of algorithms of functioning of systems for tracking the maximum power point of the photovoltaic. A method of constructing such systems, which is based on the preparation of the control surface (by interpolation and approximation) as a function of two variables: the flux density of fallen solar radiation and the operating temperature of the photovoltaic. The choice of polynomials to approximate the interpolated experimental data obtained by simulation of real-life photovoltaic. The estimation of errors for the proposed polynomials. The advantages and disadvantages of the proposed method.

Key words: *maximum power, control surface, interpolation of the experimental data, an approximation polynomial, a correction function, the relative error, reference point, a function of two variables, the experimental model of photovoltaic.*

Вступ. Згідно з концепцією «Smart Grid» впровадження таких джерел розподіленої генерації електричної енергії, як фотоелектричні перетворювачі, є доцільним, оскільки дозволяє отримувати суттєві переваги. Однак проблема побудови ефективних пристроїв для керування такими перетворювачами на сьогодні остаточно не вирішена. Внаслідок особливостей внутрішньої будови фотоелектричних перетворювачів координати точки максимальної потужності генерованої електричної енергії визначаються параметрами довкілля, а також робочою температурою самого пристрою, які не є постійними. Найголовніший параметр довкілля, що впливає на потужність генерації, – густина потоку падаючого сонячного випромінювання [1].

Оскільки стан атмосфери не є постійним, тому й густина потоку падаючого випромінювання постійно коливається, що вимагає керування режимом роботи фотоелектричного перетворювача. Саме для вирішення таких задач використовуються системи відстеження точки максимальної потужності. Очевидно, що внутрішня структура таких систем залежить від алгоритму їх функціонування. Існує кілька варіантів алгоритму функціонування таких систем.

Аналіз наявних алгоритмів функціонування систем відстеження точки максимальної потужності. У статті [2] зазначалося, що за методом побудови всі такі системи можна розділити на такі групи: методи, що ґрунтуються на зворотному зв’язку за напругою; методи, що ґрунтуються на зворотному зв’язку за струмом; методи, що ґрунтуються на спостереженнях за коливаннями потужності.

Алгоритми функціонування систем, що відносяться до першої групи, складаються з таких кроків: виміряти рівень вихідної напруги фотоелектричного перетворювача; виміряти рівень опорної напруги перетворювача; порівняти отримані величини між собою (наприклад, знайти різницю цих напруг); оцінити величину та знак цієї різниці; змінити опір навантаження фотоелектричного перетворювача певним чином.

Функціонування систем, що відносяться до другої групи, реалізується завдяки виконанню таких кроків: виміряти рівень вихідного струму фотоелектричного перетворювача; виміряти рівень опорного струму перетворювача; порівняти отримані величини між собою (наприклад, знайти різницю цих струмів); оцінити величину та знак цієї різниці; змінити опір навантаження фотоелектричного перетворювача певним чином.

Алгоритм функціонування системи із третьої групи має такі кроки: згенерувати коливання на вході фотоелектричного перетворювача таким чином, щоб змінилися його вихідні параметри; оцінити величину зміни вихідної потужності (знайти похідну); оцінити величину зміни вихідної напруги (знайти похідну); знайти відношення похідної потужності до похідної напруги; якщо величина відношення рівна 0, точку максималь-

ної потужності знайдено; якщо відношення похідних не дорівнює 0, виконати дії щодо зміни величини опору навантаження.

З наведеного аналізу легко зрозуміти, що пристрій керування в будь-якому з типів систем відстеження точки максимальної потужності фотоелектричного перетворювача оперує лише величинами параметрів самого перетворювача, крім того, в них безпосередньо не враховуються такі важливі фактори, як густина падаючого потоку сонячного випромінювання та робоча температура самого фотоелектричного перетворювача.

Мета статті. Враховуючи вищезазначене, можна припустити, що існує такий метод побудови систем відстеження точки максимальної потужності фотоелектричного перетворювача, який би, передусім, враховував зазначені фактори – густину потоку падаючого сонячного випромінювання та робочу температуру перетворювача.

Отже, метою цієї статті є спроба обґрунтувати та розробити метод побудови системи відстеження точки максимальної потужності фотоелектричного перетворювача на основі поверхні керування. Сама поверхня являє собою площину, тобто функцію двох змінних – густини падаючого потоку сонячного випромінювання та робочої температури фотоелектричного перетворювача. Як інструментальний набір для виконання поставлених цілей буде використовуватися оболонка Simulink програмного пакета MATLAB, а також математичний пакет Mathcad.

Виклад основного матеріалу. Як відомо, будь-яку математичну залежність можна представити декількома способами: аналітичним виразом, таблицею значень, графічно. Одним із найпростіших способів забезпечення функціонування пристрою керування режимом генерації енергії фотоелектричного перетворювача є встановлення ним величини вихідного опору на основі аналітичного виразу, тобто необхідно отримати залежність виду (1). Слід зазначити, що напівпровідникові фотоелектричні комірки, які входять до складу фотоелектричних перетворювачів, характеризуються низькою температурною стабільністю, тобто сильне перегрівання або охолодження перетворювача істотно знижують рівень генерації електричної енергії.

За відсутності можливості проводити вимірювання параметрів фотоелектричного перетворювача в лабораторних умовах скористаємося результатами моделювання. Для цього зберемо дослідну модель, яку зображено на рис. 1. Як параметри моделі фотоелектричного перетворювача будемо використовувати параметри реально наявного перетворювача KVAZAR KV-250M [3]:

$$R = f(S,t), \tag{1}$$

де R – опір навантаження фотоелектричного перетворювача, який забезпечує генерацію максимально можливої потужності електричної енергії (Ом);

S – густина потужності падаючого на поверхню перетворювача потоку сонячного випромінювання (Вт/м^2);

t – робоча температура фотоелектричного перетворювача (^{o}C).

Використовуючи модель, що зображено на рис. 1, можемо отримати таку таблицю значень (табл. 1) оптимального опору навантаження для фотоелектричного перетворювача при заданих величинах робочої температури та густини падаючого потоку сонячного випромінювання. Компонент “Parametr” запропонованої моделі – осцилограф, за показаннями якого і наповнювалася табл. 1. Враховуючи технічні характеристики великої кількості наявних фотоелектричних перетворювачів, був обраний діапазон допустимих значень та величина зміни значення для кожної зі змінних:

– для густини потоку падаючого сонячного випромінювання – 100...1200 Вт/м^2, крок зміни – 100 Вт/м^2;

– для робочої температури – 30... +80 ^{o}C, крок зміни – 10 ^{o}C.

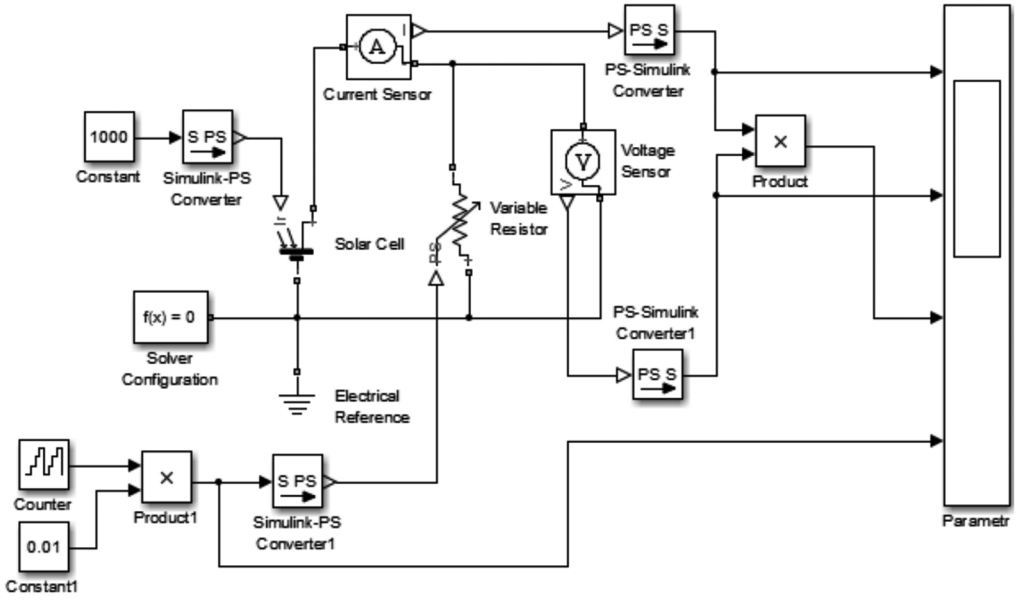


Рис. 1. Дослідна модель для отримання параметрів фотоелектричного перетворювача

Таблиця 1а

Оптимальні опори навантаження фотоелектричного перетворювача (для діапазону густин потоку сонячного випромінювання 100–600 Вт/м^2)

Робоча температура, ^{o}C	**Густина потоку падаючого сонячного випромінювання, Вт/м^2**					
	100	**200**	**300**	**400**	**500**	**600**
-30	32,3	16,15	10,74	8,02	6,385	5,285
-20	33,5	16,74	11,1125	8,285	6,58	5,44
-10	34,71	17,32	11,475	8,54	6,775	5,59
0	35,95	17,875	11,825	8,785	6,95	5,73
10	37,09	18,43	12,16	9,015	7,12	5,85
20	38,25	18,97	12,485	9,23	7,27	5,955
30	39,42	19,4825	12,795	9,425	7,41	6,06
40	40,54	19,99	13,075	9,615	7,525	6,13
50	41,655	20,47	13,35	9,775	7,63	6,195
60	42,755	20,93	13,605	9,925	7,705	6,23
70	43,83	21,37	13,825	10,045	7,765	6,255
80	44,87	21,78	14,025	10,135	7,805	6,25

Таблиця 1б

Оптимальні опори навантаження фотоелектричного перетворювача (для діапазону густин потоку сонячного випромінювання 700–1200 Вт/м^2)

Робоча температура, ^{o}C	**Густина потоку падаючого сонячного випромінювання, Вт/м^2**					
	700	**800**	**900**	**1000**	**1100**	**1200**
-30	4,5	3,91	3,455	3,09	2,785	2,535
-20	4,63	4,015	3,54	3,16	2,845	2,585
-10	4,75	4,115	3,615	3,22	2,895	2,625
0	4,85	4,195	3,68	3,27	2,935	2,655
10	4,945	4,265	3,735	3,31	2,96	2,67
20	5,025	4,32	3,775	3,335	2,98	2,68
30	5,09	4,365	3,795	3,345	2,975	2,67
40	5,135	4,39	3,805	3,345	2,965	2,65
50	5,165	4,395	3,805	3,325	2,935	2,615
60	5,175	4,385	3,775	3,295	2,9	2,58
70	5,165	4,365	3,74	3,245	2,855	2,55
80	5,14	4,32	3,695	3,205	2,825	2,545

За допомогою даних з табл. 1 можна побудувати сімейство функцій, кожна функція якого є залежністю виду:

$$R_i = f(S) \mid t_i, \tag{2}$$

де R_i – опір навантаження фотоелектричного перетворювача, при змінному значенні S та постійному значенні температури t_i;

i – номер побудованої функції.

Таким чином, за допомогою пакета Mathcad спробуємо будувати сімейство функцій однієї змінної (очевидно, що таких функцій буде 12), оскільки інша змінна – температура – набуває сталого значення. Отже, за допомогою значень опорів, що містяться у рядках табл. 1, побудуємо спочатку лінійно інтерпольовану експериментальну криву, використовуючи вбудовані функції інтерполяції (наприклад, linterp()).

Також слід зазначити такий важливий факт: середовище Simulink пакета MATLAB, за допомогою якого отримуються необхідні дослідні дані, не дає змоги отримати значення опору навантаження фотоелектричного перетворювача при значенні густини потоку падаючого сонячного випромінювання, рівному 0 Вт/м^2 (оскільки при цьому опір навантаження є нескінченною величиною) [4]. Тому в табл. 1 відсутній відповідний стовпчик. Однак у процесі побудови сімейства функцій у пакеті Mathcad для вказаного випадку було вибрано фіксоване значення опору навантаження, рівне 1000 Ом. Очевидно, що такий вибір буде впливати на точність отримання подальших результатів.

Для більшої наочності на рис. 2 замість побудови графіків інтерпольованих експериментальних даних для усього температурного діапазону (від -30 до +80 °С) побудуємо лише дві криві для крайніх значень температури -30 та +80 °С ($R_1(S)$ та $R_{12}(S)$ відповідно). З аналізу отриманих кривих можна зробити такі висновки:

– збільшення робочої температури фотоелектричного перетворювача приводить до зростання величини опору навантаження (так, крива $R_{12}(S)$ проходить вище, ніж крива $R_1(S)$);

– всі наведені криві мають дуже характерний вигляд, наближений до гіперболічної функції.

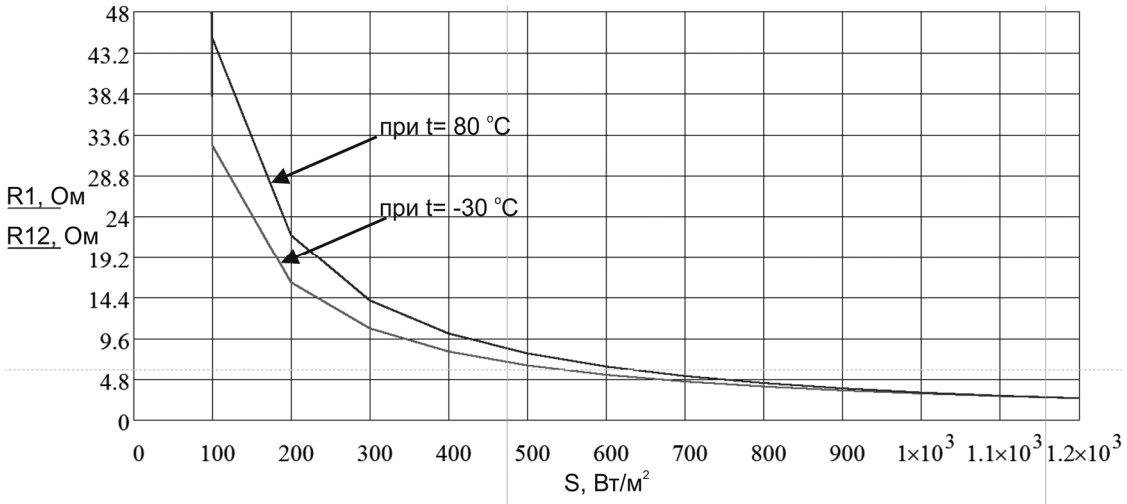


Рис. 2. Лінійно-інтерпольовані експериментальні дані для залежності опору навантаження фотоелектричного перетворювача від освітленості сонячного випромінювання при значеннях робочої температури перетворювача -30 та +80 °С

Використання інтерполяції дозволяє лише оцінити вигляд функції, для отримання аналітичного вигляду кожної з функцій слід виконувати апроксимацію. Для апроксимації було запропоновано використовувати гіперболічну функцію виду (3):

$$Ra_i = (K_i(S)/S)\,|\,t_i, \tag{3}$$

де Ra_i – апроксимація залежності опору навантаження фотоелектричного перетворювача від значення змінної S при постійному значенні температури t_i;

$K_i(S)\,|\,t_i$ – запропонована поправочна функція.

i – номер побудованої кривої.

У результаті проведення аналізу виявилося, що збіг інтерполяції з апроксимацією забезпечується за умови використання поправочної функції виду (4). Отже, для апроксимації залежності (3) будемо використовувати поправочну функцію $K_i(S)\,|\,t_i$ у вигляді:

$$K_i(S)\,|\,t_i = k \cdot S + c, \tag{4}$$

де k – коефіцієнт нахилу прямої;

c – вільний член, що визначає постійну складову.

Таким чином, поправочну функцію для кожної з дванадцяти експериментальних кривих будемо апроксимувати за допомогою лінійної функції (4). Для обрахування значень коефіцієнтів k і c цієї прямої необхідно обрати 2 будь-яких точки. Очевидно, що вибір координат цих точок буде істотно впливати на параметри режиму функціонування фотоелектричного перетворювача.

З аналізу особливостей функціонування фотоелектричного перетворювача випливає, що доцільність його використання (тобто прийнятні коефіцієнт корисної дії та величина потужності електричної енергії) забезпечується при значеннях густини падаючого потоку сонячного випромінювання в діапазоні 300–1000 Вт/м^2 [5; 6]. Використання фотоелектричних перетворювачів при значеннях густини потоку сонячного випромінювання менше за 300 Вт/м^2 не є доцільним і може призвести до нестабільної роботи, а значення густини потоку, більші за 1000 Вт/м^2, можуть траплятися лише в умовах пустелі. Отже, будемо обчислювати значення коефіцієнтів залежності (4) у точках, де значення густини падаючого потоку сонячного випромінювання становить S_1 = 300 Вт/м^2 та S_2 = 1000 Вт/м^2. Для цього будемо користуватися відомими формулами (5) та (6) відповідно:

$$k_i = \frac{K_i(S_2) - K_i(S_1)}{S_2 - S_1}, \tag{5}$$

$$c_i = K_i(S_1) - a \cdot S_1. \tag{6}$$

Після виконання зазначених вище дій було отримано апроксимації для всіх функцій виду (2). Для більшої наочності на рис. 3 попарно зображено інтерпольовану криву (має відповідне позначення $R_1(S)$) та отриману для неї апроксимацію ($Ra_1(S)$) при значенні робочої температури фотоелектричного перетворювача у -30 °С.

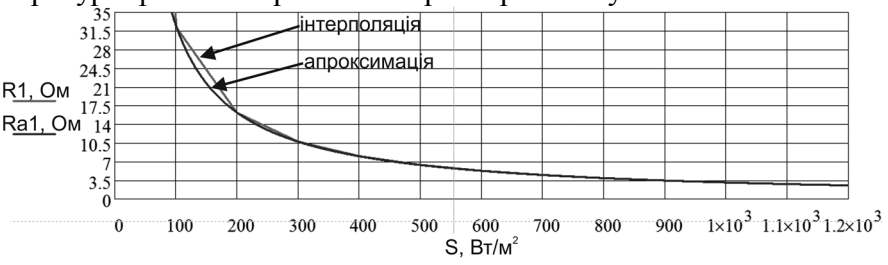


Рис. 3. Інтерполяція та отримана апроксимація залежності (2) при t = -30 °С

З метою перевірки точності та якості отриманих апроксимацій будемо обраховувати відносну похибку між відповідною апроксимацією та побудованою інтерполяцією за такою формулою:

$$\varepsilon = \frac{R_i(S) - Ra_i(S)}{R_i(S)} \cdot 100\,\%. \qquad (7)$$

Очевидно, що такі обчислення похибки проводилися при кожному із 12 значень температури (для більшої наочності на рис. 4 зображено графік відносної похибки між кривими, які містяться на рис. 3). З графіка видно і можна з упевненістю стверджувати, що в діапазоні доцільного функціонування фотоелектричного перетворювача відносна похибка апроксимації за модулем не перевищує значення у 1,2 % за будь-яких значень робочої температури, що свідчить про високу точність отримання апроксимації (також очевидно, що у контрольних точках 300 та 1000 Вт/м^2 відносна похибка взагалі нульова).

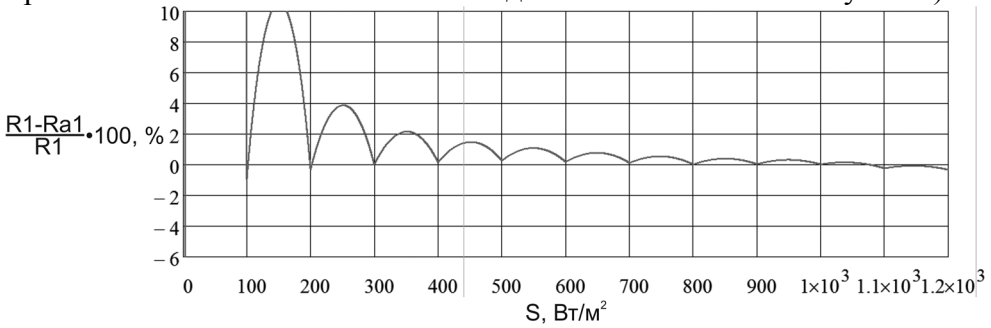


Рис. 4. Відносна похибка між інтерполяцією та апроксимацією залежності виду (2) при t = -30 °С

"Параболічний" вигляд графіка, зображений на рис. 4, між реперними значеннями густини потоку падаючого сонячного випромінювання пояснюється великою різницею між кроком отримання експериментальних даних і заданим кроком для апроксимування та інтерполювання засобів пакета Mathcad. Отже, слід опиратися на значення похибок лише у тих точках, значення густини потоку падаючого сонячного випромінювання яких відповідає наведеним у табл. 1.

Таким чином, після виконання всіх зазначених вище кроків були отримані апроксимації для всіх дванадцяти залежностей виду (2). Оскільки кожна з апроксимуючих прямих має схожі значення коефіцієнтів k і c можна спробувати провести апроксимацію для кожного з цих параметрів окремо, тобто знайти таку функцію, яка б з достатньою точністю описувала залежність виду (1). Таким чином, ми зможемо отримати поверхню керування, яку ми й шукаємо, оскільки в такому разі параметр робочої температури перестає бути сталою величиною. Значення отриманих коефіцієнтів поправочних функцій наведено в табл. 2.

Таблиця 2

Коефіцієнти одержаних апроксимуючих поліномів

Робоча температура, °С	**Значення коефіцієнтів поправочних функцій**	
	k	**c**
-30	132	3278,571
-20	173,75	3408,236
-10	222,5	3537,857
0	277,5	3666,429
10	338	3792,857
20	410,5	3921,429
30	493,5	4050
40	577,5	4170
50	680	4296,429
60	786,5	4418,571
70	902,5	4534,286
80	1002,5	4637,143

З аналізу значень, які може набувати коефіцієнт k, видно, що його залежність від температури не є лінійною. Тому для апроксимації такої залежності слід використовувати нелінійний поліном (слід також враховувати, що використання поліномів дуже високих порядків не є ефективним). Отже, для вирішення такої задачі скористаємося функцією polyfit(), що входить до складу програмного пакета MATLAB. Однією з переваг її використання є можливість налаштування максимального ступеня апроксимуючого полінома.

Після виконання декількох експериментів було встановлено, що найбільш оптимально і точно залежність коефіцієнта k від температури можна апроксимувати поліномом другого порядку, що має вигляд:

$$ka(t) = 0,0396 \cdot t^2 + 6,0269 \cdot t + 277,1614. \quad (8)$$

Отже, вираз (8) і є загальний вигляд апроксимуючого полінома для залежності ka(t). З метою перевірки точності та якості отриманої апроксимації будемо обраховувати відносну похибку між відповідною апроксимацією та побудованою інтерполяцією за такою формулою:

$$\varepsilon = \frac{k(t) - ka(t)}{k(t)} \cdot 100\ \%. \quad (9)$$

На рис. 5 зображено графік відносної похибки для інтерпольованої та отриманої для неї апроксимованої кривої (мають відповідне позначення $k(t)$ та $ka(t)$), що дає підстави упевнено стверджувати, що в усьому діапазоні допустимих робочих температур фотоелектричного перетворювача відносна похибка апроксимації за модулем не перевищує значення у 1,3 %.

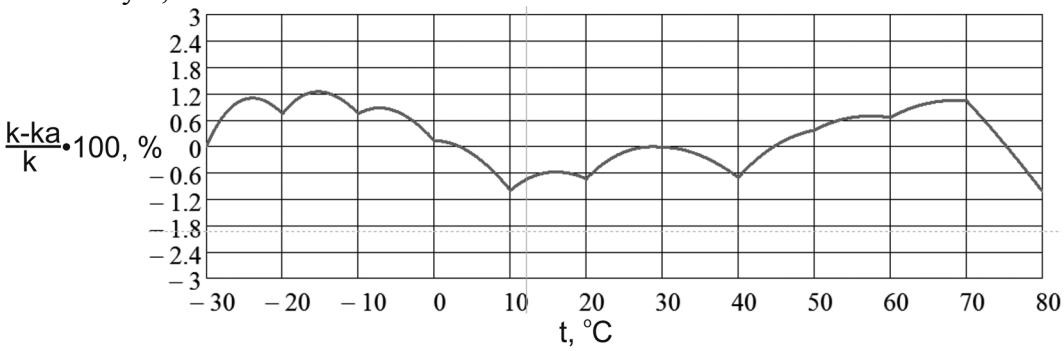


Рис. 5. Відносна похибка між інтерполяцією та апроксимацією залежності k(t)

Користуючись повністю аналогічними міркуваннями під час пошуку апроксимаційного полінома для залежності $c(t)$, можна одержати такі результати. Апроксимаційний поліном для такої залежності має вигляд:

$$ca(t) = \frac{880,7}{70} \cdot t + 3663,743. \quad (10)$$

З метою перевірки точності та якості отриманої апроксимації будемо обраховувати відносну похибку між відповідною апроксимацією та побудованою інтерполяцією за такою формулою:

$$\varepsilon = \frac{c(t) - ca(t)}{c(t)} \cdot 100\ \%. \quad (11)$$

На рис. 6 зображено графік відносної похибки для інтерпольованої та отриманої для неї апроксимованої кривої (мають відповідне позначення $c(t)$ та $ca(t)$), що дає підстави впевнено стверджувати, що в усьому діапазоні допустимих робочих температур фотоелектричного перетворювача відносна похибка апроксимації за модулем не перевищує значення у 0,75 %.

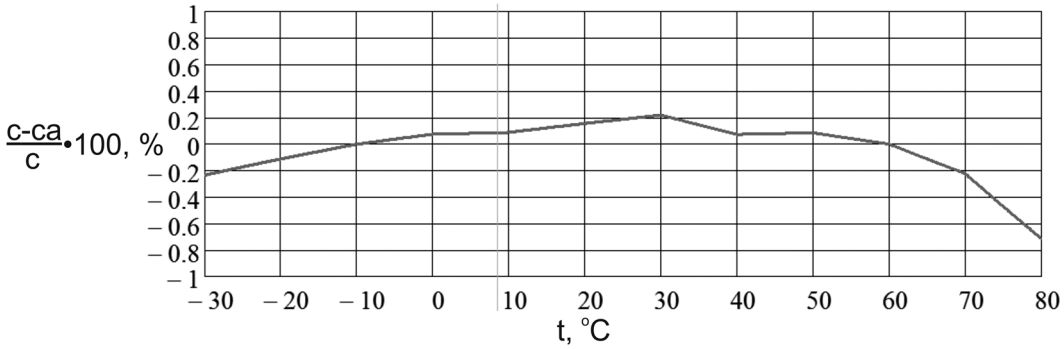


Рис. 6. Відносна похибка між інтерполяцією та апроксимацією залежності c(t)

Таким чином, тепер можна повернутися до вирішення початкової задачі – отримання аналітичного виразу для залежності (1). Очевидно, що на цей момент ми маємо всі необхідні для цього співвідношення та апроксимаційні поліноми. Остаточний вираз можна отримати, виконавши деяке перетворення для співвідношення (3):

$$R(S,t) = Ra(S,t) = \frac{Ka(S,t)}{S}. \tag{12}$$

У свою чергу, $K_a(S,t)$ можна знайти за допомогою раніше отриманого нами співвідношення:

$$Ka(S,t) = \frac{ka(t)}{700} \cdot S + ca(t). \tag{13}$$

Отже, в результаті послідовного виконання всіх описаних у статті кроків аналітично була одержана поверхня регулювання як функція двох змінних, загальний вигляд якої представлено на рис. 7. Візуалізація отриманої поверхні здійснювалася за допомогою пакета MATLAB (за допомогою функції surf()). Очевидно, що отримане співвідношення може використовуватися для обрахування дійсних значень опору навантаження фотоелектричного перетворювача з метою генерації ним електричної енергії з максимально можливою за цих умов потужністю.

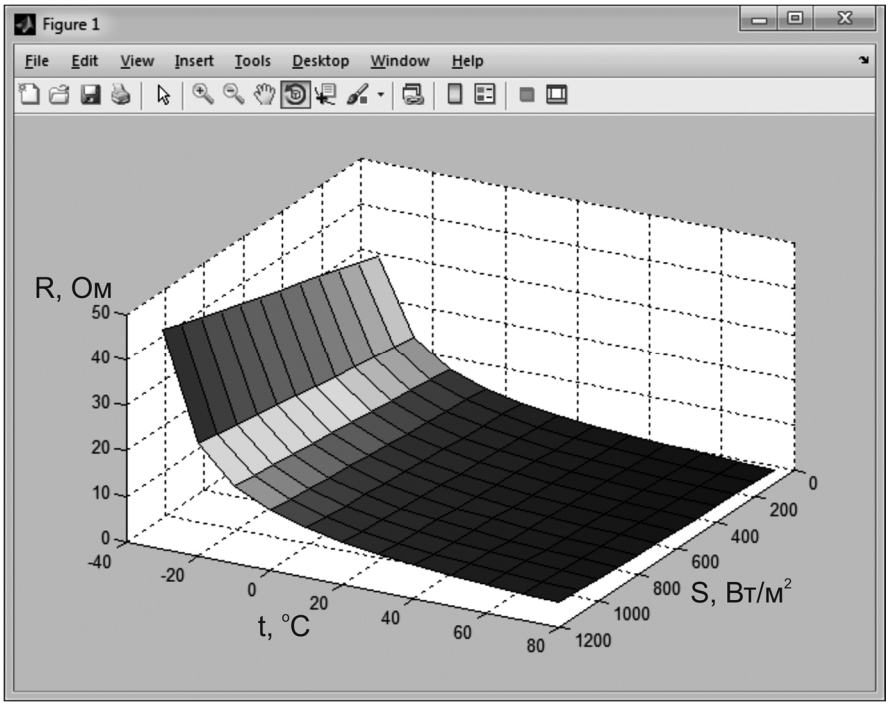


Рис. 7. Загальний вигляд одержаної регулюючої поверхні згідно зі співвідношенням (12)

Висновки. У статті запропоновано та описано послідовність кроків, у результаті виконання яких (за допомогою програмних засобів MATLAB, Simulink та Mathcad) була отримана поверхня регулювання на основі параметрів реально наявного фотоелектричного перетворювача з метою подальшої реалізації пристрою керування для системи відстеження точки максимальної потужності фотоелектричного перетворювача. Величини похибок, обраховані для запропонованих апроксимаційних поліномів, свідчать про достатньо високу точність отримання регулюючої поверхні.

Список використаних джерел

1. *Кобец Б. Б.* Инновационное развитие электроэнергетики на базе концепции Smart Grid / Б. Б. Кобец, И. О. Волкова. – М. : ИАЦ Энергия, 2010. – 208 с.

2. *Іванець С. А.* Використання нечіткої логіки в системах відстеження точки максимальної потужності фотоелектричних перетворювачів / С. А. Іванець, О. В. Красножон // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. Серія «Технічні науки». – 2014. – № 2 (73). – С. 180–187.

3. *Офіційний* сайт компанії Kvazar [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://www.kvazar.com/images/stories/production/KV_220-255_M.PDF.

4. *Моделирование* электротехнических устройств в MATALB. SimPowerSystems и Simulink. – М. : ДМК Пресс, 2007. – 288 с.

5. *Altas I. H.*, Sharaf A. M. A Photovoltaic Array Simulation Model for MATLAB -Simulink GUI Environment. – 5 p.

6. *Development* of Generalized Photovoltaic Model Using MATLAB/SIMULINK / Huan-Liang Tsai, Ci-Siang Tu, Yi-Jie Su // Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science. – 2008, October 22–24. – 6 p.

РОЗДІЛ VII. ТЕХНОЛОГІЇ ДЕРЕВООБРОБНОЇ, ЛЕГКОЇ ТА ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

УДК 641.12

Г.В. Дейниченко, д-р техн. наук
І.В. Золотухіна, канд. техн. наук
В.І. Федак, здобувач
Харківський державний університет харчування та торгівлі, м. Харків, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ УФ-ПОХІДНИХ БІЛКОВО-ВУГЛЕВОДНОЇ МОЛОЧНОЇ СИРОВИНИ

Г.В. Дейниченко, д-р техн. наук
И.В. Золотухина, канд. техн. наук
В.И. Федак, соискатель
Харьковский государственный университет питания и торговли, г. Харьков, Украина

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ УФ-ПРОИЗВОДНЫХ БЕЛКОВО-УГЛЕВОДНОГО МОЛОЧНОГО СЫРЬЯ

Hryhorii Deinychenko, Doctor of Technical Sciences
Inna Zolotukhina, PhD in Technical Sciences
Viktoriia Fedak, PhD student
Kharkiv State University of Food Technology and Trade, Kharkiv, Ukraine

RESEARCH OF TECHNOLOGICAL PROPERTIES OF BUTTERMILK UV-DERIVATIVES

Першочерговим завданням у зростанні рівня споживання молочної продукції є раціональне використання знежиреної молочної сировини, розроблення ресурсозберігаючих технологій харчових продуктів. Ультрафільтраційне концентрування харчових рідин сприяє підвищенню їх харчової цінності та технологічних властивостей. Досліджено піноутворюючі та піностабілізуючі властивості сколотин та УФ-концентрату сколотин із різним фактором концентрування. Розглянуто технологічний процес виготовлення структурованої десертної продукції на основі знежиреної молочної сировини.

Ключові слова: *ультрафільтрація, сколотини, структуровані десерти, піноутворення.*

Первоочередной задачей в росте уровня потребления молочной продукции является рациональное использование обезжиренного молочного сырья, разработка ресурсосберегающих технологий пищевых продуктов. Ультрафильтрационное концентрирование жидкостей способствует повышению их пищевой ценности и технологических свойств. Исследованы пенообразующие и пеностабилизирующие свойства пахты и УФ-концентрата пахты с разным фактором концентрирования. Рассмотрен технологический процесс изготовления структурированной десертной продукции на основе обезжиренного молочного сырья.

Ключевая слова: *ультрафильтрация, пахта, структурированные десерты, пенообразование.*

The first priority in the growth of dairy products consumption is rational use of low-fat dairy raw materials the development of resource-saving technologies of food. Ultrafiltration concentration of liquids improves their nutritional value and technological properties. Foaming and foam-stabilizing properties of buttermilk and buttermilk UV concentrate with different concentration factors are investigated. The manufacturing process of structured dessert products based on low-fat dairy raw materials is considered.

Key word: *ultrafiltration, buttermilk, structured desserts, foam formation.*

Постановка проблеми. Сьогодення свідчить, що в Україні існує стійка проблема дефіциту білкових речовин у харчуванні людини, що значно впливає на тривалість життя та стан здоров'я. Білки є одними з найважливіших харчових складових компонентів молока. До білково-вуглеводної молочної сировини (БВМС) відносять знежирене молоко, сколотини та молочну сироватку, отримані під час традиційної промислової переробки молока. Актуальним є використання їх у маловідходних та ресурсозберігаючих технологіях харчових продуктів, розроблених з врахуванням цінних технологічних властивостей такої сировини.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Серед основних шляхів виходу України з економічної кризи є інтенсивний розвиток регіональних аграрних ринків. Аналіз тен-

денцій та перспектив розвитку українського ринку молока та молочних продуктів дозволяє зробити висновок, що ця ринкова ніша одна з найбільш динамічних та рентабельних, а отже, і найбільш перспективних.

Зберегти натуральні компоненти молока, що важливі у здоровому харчуванні українців, під час оброблення молочної сировини максимальним чином дозволяє ультрафільтрація (УФ). Під час УФ-концентрування молочної сировини в основному видаляється водна фаза і досягається висока концентрація молочних білків без додавання сухих молочних сумішей, тим самим підвищується ефективність виробництва десертної продукції на основі молочної сировини з підвищеним вмістом молочних білків на основі використання натуральної сировини.

Результати досліджень щодо вмісту мікроелементів свідчать про те, що концентрат знежиреного молока за цим показником не поступається і навіть перевищує вихідну сировину. Під час УФ-концентрування масова частка цинку, заліза, міді трохи збільшується, а кобальту, нікелю, марганцю – практично не змінюється.

Основна кількість усіх водорозчинних вітамінів у знежиреному молоці представлена вітамінами B_1 та B_2. У процесі УФ-концентрування загальний вміст тіаміну та рибофлавіну дещо збільшується. Це пояснюється тим, що в молоці ці вітаміни знаходяться у вільному та зв'язуючому стані. В останньому випадку тіамін фосфорилюється та поєднується з білковим носієм, перебуваючи, таким чином, коферментом карбоксилази, а рибофлавін легко етерифікується фосфорною кислотою і в такому вигляді входить до складу певних ферментів як їх активна група. Отже, зв'язані з білком тіамін та рибофлавін затримуються напівпроникною мембраною і їх масова частка у знежиреному молоці у процесі УФ-концентрування зростає. Із цього витікає, що за своєю вітамінною цінністю УФ-концентрат не поступається знежиреному молоку.

Ультрафільтраційний концентрат знежиреного молока дає міцні піни, стійкі дисперсії з жиром, добре зв'язує вологу, тому використовується як сировина у виробництві кисломолочних напоїв, сметани, сиру, пастоподібних та жельованих продуктів із різними добавками, кондитерських та хлібобулочних виробів тощо.

Сколотини – біологічно активний знежирений продукт, одержуваний як залишок після збивання вершкового масла або у результаті додавання у нежирне молоко спеціальних штамів бактерій, що перетворюють природні цукри субстрату в молочну кислоту.

Загальновідома досить висока харчова та біологічна цінність молочної сколотини або знежирених вершків, які містять основні поживні речовини молока, – протеїни і мінерали. Білки сколотин денатурують під час нагрівання до 70–80 °С так, що продукт втрачає майже всі свої корисні властивості, тому найчастіше його додають у випічку швидкого приготування спільно із содою (оладки, млинці), холодні супи, заправки для салатів і морозиво.

Сколотини містять молочний цукор (до 5 %), білки (3,5 %), жири (не більше 0,5 %), органічні кислоти (в основному молочну кислоту), мінеральні речовини (калій, магній, фосфор, кальцій, натрій, залізо), вітаміни (B, E, A, PP, D, біотин, холін) і фосфатиди, включаючи значну кількість лецитину, регулюючого ліпідний обмін в організмі. Енергетична цінність сколотин становить всього лише близько 33 ккал у 100 г, при цьому їх біологічне значення дуже високе: багато білка, трохи жиру, вітаміни, мікроелементи та фосфоліпіди роблять продукт важливим елементом збалансованого харчування.

Фосфоліпіди сколотин відіграють першочергове значення у нормалізації жирового і холестеринового обміну, надають протиатеросклерозну дію і покращують стан при серцево-судинних захворюваннях. Лецитин бере участь у синтезі складних фосфоровмісних комплексів, зокрема нуклеїнових структур в ядрі клітин різних тканин і органів людини. Саме у сколотин лецитин знаходиться в найбільш активній, пов'язаній з біл-

ком формі, тому вона може бути рекомендована для повсякденного харчування літнім людям, вагітним жінкам і дітям. Холін сколотин благотворно впливає на стан центральної нервової системи і печінки, тому продукт корисний при їх захворюваннях. Сколотини добре переносяться людьми з алергічними реакціями на молоко внаслідок мінімальної концентрації в ній казеїну і високого вмісту молочної кислоти.

На вітчизняному ринку структуровані десерти на основі молочної сировини посідають особливий сегмент. Солодкі молочні продукти сприймаються споживачем як більш виграшна альтернатива іншим видам десертів, вони відмінно вписуються у концепцію здорового способу життя і правильного харчування. На думку фахівців, ринок таких десертів вважається одним із таких, що найбільш динамічно розвивається. Висока затребуваність структурованих молочних десертів приводить до розширення асортименту в цій групі продуктів, до якої відносять пудинги, сирні маси, глазуровані сирки, збиті та м'які сирки, креми та суфле.

Технологічний процес виготовлення молочних десертів на основі БВМС передбачає попередню підготовку молочно-білкового компонента та структуроутворювача, їх поєднання та перемішування до отримання однорідної маси, додавання плодоовочевого напівфабрикату у вигляді пюреподібної маси, рафінадної пудри, перемішування суміші, збивання, порціонування.

Під час розроблення нової технології виробництва структурованої десертної продукції на основі сколотин істотну роль відіграють функціональні властивості вихідної сировини, вплив на неї фізичних і хімічних факторів [2].

Не потрібно ототожнювати функціональні властивості, які належить оцінювати, як можливість виконувати ту чи іншу функцію в технологічному процесі, з технологічними властивостями. Оскільки більшість продуктів містять у своєму складі поживні речовини (білки, жири, вуглеводи, мінеральні речовини, вітаміни), то технологічні властивості цих продуктів проявляються як функціональні властивості цих складових частин [5].

Піноутворюючі властивості, як і інші властивості білкових препаратів зі сколотин, залежать від багатьох факторів. Серед них слід насамперед назвати ступінь термічної денатурації, залишковий вміст ліпідів і фосфоліпідів, вміст кальцію, величину pH і ступінь ферментативного гідролізу білків.

У технології виробництва десертної продукції одним із визначальних показників сумішей є їх здатність поглинати й утримувати певний об'єм повітря або газу. Здатність сумішей до збивання та утворення пінних систем обумовлює їх склад, а саме вміст поверхнево-активних речовин (ПАР) [3].

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. Першочерговим завданням у зростанні рівня споживання молочної продукції є раціональне використання знежиреної молочної сировини, розроблення нових видів продукції на її основі, зокрема, десертної.

Мета статті. Головною метою цієї роботи є вивчення технологічних властивостей сколотин та їх УФ-концентрату і їх впливу на якість нової структурованої десертної продукції на їх основі.

Виклад основного матеріалу. З метою вивчення впливу сколотин та УФ-концентрату сколотин на якість структурованої десертної продукції нами було досліджено піноутворюючу здатність та стійкість піни цієї сировини.

Піноутворюючу здатність та стійкість пін визначали за методом Лур'є. Розрахунок піноутворюючої здатності здійснювали за формулою:

$$ПЗ = \frac{Vпіни}{Vсуміші} \cdot 100,$$

де $ПЗ$ – піноутворююча здатність, %;

Vпіни – об'єм піни після збивання, мл;

Vсуміші – об'єм суміші до збивання, мл.

Стійкість (стабільність) пінної структури системи визначали після 15-хвилинного вистоювання збитої суміші за формулою:

$$СП = \frac{B_n^{15}}{B_n} \cdot 100,$$

де *СП* – стійкість піни, %;

Bn^{15} – висота піни через 15 хв після збивання, м;

Вп – висота піни початкова, м.

У технології виробництва десертної продукції одним із визначальних показників сумішей є їх здатність поглинати й утримувати певний об'єм повітря або газу. Здатність сумішей до збивання та утворення пінних систем обумовлює їх склад, а саме вміст ПАР [1, с. 140]. Оскільки механізм утворення бульбашок піни полягає у формування адсорбційного шару на міжфазній поверхні газоподібної або пароподібної фази в рідкому середовищі, що містить ПАР. Швидкість формування цього шару визначається швидкістю дифузії молекул ПАР із глибини розчину до поверхні фази. Під час виходу бульбашок на поверхню розчину він оточується подвійним шаром орієнтованих молекул. Якщо плівка міцна, то пухирці накопичуються на поверхні, утворюючи пінну структуру [4, с. 290].

Об'єктами дослідження як знежиреної молочної сировини були: молоко питне знежирене ультрапастеризоване; сколотини, отримані методом збивання вершків на масловиготовлювачах безупинної дії; УФ-концентрати зі сколотин із фактором концентрування 1,5 та 2,0, що отримували в лабораторних умовах кафедри устаткування харчової та готельної індустрії ім. М. І. Беляєва Харківського державного університету харчування та торгівлі.

Під час проведення досліджень як контрольний зразок використовували знежирене молоко. Досліджували піноутворюючі та піностабілізуючі властивості сколотин і УФ-концентрату сколотин із різним фактором концентрування.

Отримані результати представлено у табл. та наведено на рис.

Таблиця

Значення піноутворення сколотин і УФ-концентрату сколотин із різним фактором концентрування

Найменування зразка	**Піноутворююча здатність, %**	**Стійкість піни, %**
Молоко питне знежирене ультрапастеризоване (контроль)	112	1,5
Сколотини	120	1,9
УФ-концентрат сколотин із фактором концентрування 1,5	136	62,5
УФ-концентрат сколотин із фактором концентрування 2,0	143	80

Проведені дослідження свідчать, що контрольний зразок має невисоку піноутворюючу здатність, яка становить 112 %. Для сколотин цей показник був дещо вищим та дорівнює 120 %. Що ж стосується УФ-похідних сколотин, вони легко спінюються навіть при незначному перемішуванні. Значення показника піноутворюючої здатності для УФ-концентрату сколотин із підвищенням фактора концентрування до 1,5; 2,0 зростає та становить 136 та 143 % відповідно. Це можна пояснити тим, що зростання фактора концентрування, а отже, вмісту сухих речовин у зразках, сприяє кращому поглинанню повітря.

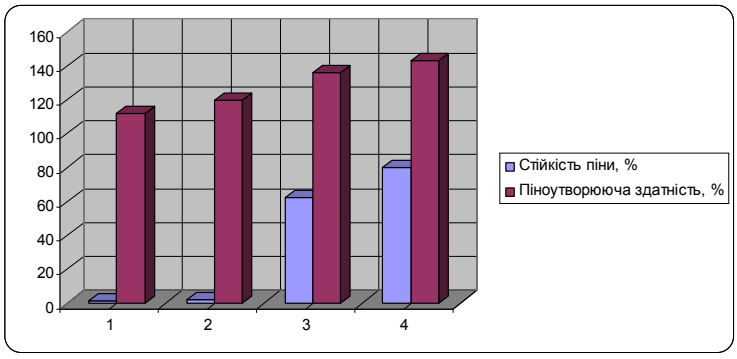


Рис. Значення піноутворюючої здатності (ПЗ) та стійкості піни (СП): контролю (1), сколотин (2) та УФ-концентрату сколотин із фактором концентрування 1,5 (3) та 2,0 (4)

Концентрування розчинів приводить до збільшення в'язкості зразків з одночасним збільшенням концентрації білків, які є поверхнево-активними речовинами та сприяють піноутворенню.

Згідно з отриманими результатами стійкість пін, утворених як контрольним зразком (1,5 %), так і сколотинами (1,9 %), не є високою. Значення показників стійкості пін УФ-концентратів сколотин є вищими (62,5 та 80 %), оскільки з підвищенням в'язкості зразків знижується швидкість витікання рідини по каналах Плато-Гіббса, в результаті чого така піна має вищу стійкість.

Здатність харчової сировини до піноутворення має визначальне значення у технології структурованої продукції. Тому отримані результати свідчать про доцільність використання УФ-концентратів сколотин як рецептурних та функціональних компонентів структурованої десертної продукції.

Висновки і пропозиції. Таким чином, на підставі вищесказаного, можна зробити висновок про те, що специфічний хімічний склад УФ-концентратів сколотин визначає їх технологічні властивості, серед яких, передусім, необхідно відзначити піноутворюючу здатність. Стійкість же таких пін є невисокою та залежить від фактора концентрування досліджуваних зразків. Вважаємо за доцільне для фіксації стійкості пінної структури продукції із УФ-концентратів знежиреної молочної сировини використання відповідних харчових добавок.

Список використаних джерел

1. *Дейниченко Г. В.* Ультрафільтраційні процеси та технології раціональної переробки білково-вуглеводної молочної сировини : монографія / Г. В. Дейниченко, З. О. Мазняк, І. В. Золотухіна. – Х. : Факт, 2008. – 208 с.

2. *Золотухіна І. В.* Технологія напівфабрикатів на основі сколотин для виробництва збитої десертної продукції : дис. … канд. техн. наук / Золотухіна Інна Василівна. – Х., 2006. – 157с.

3. *Пивоваров П. П.* Теоретична технологія продукції громадського харчування : навчальний посібник / П. П. Пивоваров. – Х. : ХДАТОХ, 2000. – 116 с.

4. *Плахотін В. Я.* Теоретичні основи технологій харчових виробництв : навчальний посібник / В. Я. Плахотін, І. С. Тюрікова, Г. П. Хомич. – К. : Центр навчальної літератури, 2006. – 640 с.

5. *Сабадош Г. О.* Технологія десертів молочних з використанням карагінанів : дис. … канд. техн. наук / Сабадош Ганна Олександрівна. – Х., 2010. – 154 с.

УДК 664.3

С.П. Вежлівцева, канд. техн. наук
Київський національний торговельно-економічний університет, м. Київ, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ МІКРОБІОЛОГІЧНОГО СТАНУ НОВИХ М'ЯКИХ МАРГАРИНІВ ПІДВИЩЕНОЇ БІОЛОГІЧНОЇ ЦІННОСТІ

С.П. Вежливцева, канд. техн. наук
Киевский национальныий торгово-экономический университет, г. Киев, Украина

ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОБИОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ НОВЫХ МЯГКИХ МАРГАРИНОВ ПОВЫШЕННОЙ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ЦЕННОСТИ

Svitlana Vezhlivtseva, PhD in Technical Sciences
Kyiv National Trade and Economic University, Kyiv, Ukraine

THE MICROBIOLOGICAL STUDY OF THE STATE OF NEW SOFT MARGARINES OF HIGH BIOLOGICAL VALUE

Досліджено вплив введених природних рослинних добавок (цикорлакту, еламіну, лимонної ефірної олії, екстрактів з листя стевії, петрушки, поліекстракту горобинового) та різних пакувальних матеріалів (тубів та полістирольних стаканчиків) на мікробіологічну безпечність нових м'яких бутербродних маргаринів підвищеної біологічної цінності та її динаміку під час зберігання.

***Ключові слова**: м'які маргарини, гідрогенізовані та переетерефіковані жири, транс-ізомери жирних кислот, природні рослинні добавки, біологічно активні речовини, загальна мікробна забрудненість, плісневі гриби, вегетативні клітини, спори.*

Исследовано влияние введенных природных растительных добавок (цикорлакта, эламина, лимонного эфирного масла, экстрактов из листьев стевии, петрушки, полиэкстракту рябинового) и различных упаковочных материалов (туб и полистирольных стаканчиков) на микробиологическую безопасность новых мягких бутербродных маргаринов повышенной биологической ценности и ее динамику в процессе хранения.

***Ключевые слова:** мягкие маргарины, гидрогенизированные и переэтэрефицированные жиры, транс-изомеры жирных кислот, природные растительные добавки, биологически активные вещества, общая микробная загрязненность, плесенные грибы, вегетативные клетки, споры.*

The influence of introduced natural herbal supplements (tsykorlaktu, *alumina, lemon essential oil, extracts from the stevia leaf, parsley, palestrante rowanberry) and various packaging materials (tubes and polystyrene cups) on the microbiological safety of new soft spread Margarines high biological value and its dynamics the process of storage.*

***Key words:** soft margarine, hydrogenated and pareeerica fats, TRANS-fatty acids, natural vegetable additives, biologically active substances, total microbial contamination, fungi, vegetative cells, spores.*

Постановка проблеми. Створення багатокомпонентних продуктів поліфункціонального призначення для здорового харчування – достатньо складний процес, оскільки вимагає забезпечення більш повної збалансованості продуктів за широким колом нутрієнтів. На сьогодні у зв'язку зі стрімким підвищенням загального ритму життя сучасної людини все більше набуває актуальності проблема створення продуктів нового покоління підвищеної харчової та біологічної цінності, які мають збалансований склад основних інгредієнтів і характеризуються комплексом корисних властивостей. Саме до таких продуктів відносяться м'які бутербродні маргарини.

Враховуючи те, що український асортимент бутербродних маргаринів є обмеженим і складається здебільшого із маргаринів, рецептури яких включають гідрогенізовані жири, які є джерелом транс-ізомерів жирних кислот та штучні харчові добавки, формування його асортименту завдяки вдосконаленню та розробленню нових рецептур на основі традиційних технологій є актуальною проблемою.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз літературних джерел показав, що нині є актуальним дослідження у сфері комбінування складу рецептур продуктів харчування бутербродного призначення, в тому числі і маргаринів. Формуванню асортименту м'яких бутербродних маргаринів підвищеної біологічної цінності присвячено багато робіт. Останнім часом досліджуються та впроваджуються у виробництво маргарини з включенням до їх рецептур природних добавок, які містять комплекс біологічно активних речовин та мають антиоксидантні властивості [1–4].

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. Використання у складі нових м'яких маргаринів природних рослинних добавок, які містять біологічно активні

речовини, не виключає можливості зміни якісного складу та кількісного вмісту мікроорганізмів і пов'язаних з цим змін мікробіологічного стану маргаринів у процесі зберігання.

Мета статті. Головною метою цієї роботи є дослідження впливу рослинних добавок природного походження та різних пакувальних матеріалів (туб та полістирольних стаканчиків) на мікробіологічну безпечність нових м'яких маргаринів підвищеної біологічної цінності та на її динаміку у процесі зберігання.

Виклад основного матеріалу дослідження. Сьогодні висуваються високі вимоги щодо безпечності харчових продуктів, у тому числі й до мікробіологічної безпечності м'яких маргаринів [5]. У попередніх дослідженнях було науково обґрунтовано раціональну концентрацію внесених природних рослинних добавок (цикорлакту, еламіну, йодказеїну, інуліну, олігофруктози, лимонної ефірної олії; екстрактів з листя стевії, петрушки, поліекстракту горобинового) до складу рецептур нових м'яких маргаринів, які зумовлюють покращення споживних властивостей останніх, а саме сприяють покращенню вуглеводного складу, зниженню вмісту легкозасвоюваних вуглеводів, підвищенню вмісту йоду та подовженні термінів зберігання цієї продукції. Вибір природних добавок був обумовлений, передусім, доцільністю і необхідністю їх використання у здоровому харчуванні, наявністю, доступністю і перспективністю їх використання у складі рецептур м'яких маргаринів.

Враховуючи оптимізацію жирового складу та розрахунок раціональних концентрацій введених природних добавок було розроблено чотири рецептури м'яких маргаринів: середньокалорійні – «Ерудит» і «Лимонний+» та низькокалорійні – «Пікантний» і «Трав'яний» із введенням 16–20 % переетерифікованих жирів, ріпакової олії 11–25 %, заміною частини цукру екстрактом стевії 0,037–0,013 %, включенням природних добавок: цикорлакту – 7,4 %, йодказеїну – 0,002 %, олігофруктози та інуліну – 3 %, еламіну – 0,5 %, екстрактів горобини та петрушки – 1,5 % та 0,6 % відповідно.

Контролем слугували наявні бутербродні маргарини «Шоколадно-горіховий» (контроль 1), «Лимонний» (контроль 2), «Масляна корівка» (контроль 3). Нові та наявні маргарини порівнювалися відповідно: «Ерудит» до «Шоколадно-горіхового» (контроль 1) «Лимонний+» до «Лимонного» (контроль 2), «Трав'яний» та «Пікантний» до «Масляної корівки» (контроль 3).

Оцінювання мікробіологічного стану нових м'яких маргаринів встановлювали за такими показниками – загальної мікробної забрудненості (КМАФАнМ), кількості бактерій групи кишкової палички (БГКП), кількості пліснявих грибів та дріжджів, а також наявності патогенних організмів, у тому числі сальмонел, вміст яких визначає тривалість до зберігання продукції, а відповідно її якість та безпечність.

Мікрофлора м'яких маргаринів визначається залишковою мікрофлорою основної і додаткової сировини – мікроорганізмами, які перенесли режими теплового оброблення (спорові форми мікроорганізмів, термостійкі бактерії) та мікроорганізмами, які потрапили в готовий продукт після закінчення процесу приготування з устаткування, виробничої атмосфери, виду пакування тощо. Режими температурного оброблення м'яких маргаринів є достатніми для знищення більшості вегетативних клітин, але недостатні для знищення спор мікроорганізмів. На чисельність і склад мікрофлори маргаринів впливають, головним чином, санітарні умови виробництва, БГКП (бактерії групи кишкової палички), дріжджі і плісені у процесі теплового оброблення практично повністю знищуються. Наявність цих мікроорганізмів у готовому продукті говорить про вторинну мікробну контамінацію. З метою мінімізації мікробного забруднення впродовж технологічного процесу необхідно уникати контакту продукту з обладнанням позавиробничою лінією, контролювати санітарний стан приміщень та персоналу.

Аналіз результатів мікробіологічних показників дозволив виявити певні закономірності, які загальні для всіх маргаринів, що досліджувались. У маргаринах середньокалорійних кількість МАФАнМ була найбільшою у маргарині «Ерудит», що можна пояс-

нити включенням до його рецептури, на відміну від контролю 1, цикорлакту, який містить у своєму складі 70 % сухого знежиреного молока. Маргарин «Лимонний» містив найменшу кількість МАФАнМ, їх вміст був нижчим у порівнянні з контролем 2, що пояснюється зменшенням кількістю цукру в їх рецептурному складі та вищим вмістом вологи, яка сприяє більш інтенсивному відмиранню спор у процесі теплового оброблення, а також бактерицидною дією ефірної цитринової олії (табл. 1).

Таблиця 1

Динаміка зміна мікробіологічних показників якості середньокалорійних маргаринів протягом зберігання

Мікробіологічні показники	**Термін зберігання**	**Температура зберігання +4±1 ^{0}С**							
		Контроль 1		**«Ерудит»**		**Контроль 2**		**«Лимонний»**	
		с	**т**	**с**	**т**	**с**	**т**	**с**	**т**
КМАФАМ, норма КУО/г, не більше 50000	0	355	355	480	480	370	370	315	315
	60	320	285	435	405	325	290	240	205
	120	160	145	175	160	165	150	110	85
	150	105	80	110	100	90	85	65	50
	160	80	60	85	70	75	60	50	35
	180	70	55	55	40	65	45	30	20
БГКП в г/см3	0	В 0,001; 0,01; 0,1 і 1г продукту не виявлені		В 0,001; 0,01; 0,1 і 1г продукту не виявлені		В 0,001; 0,01; 0,1 і 1г продукту не виявлені		В 0,001; 0,01; 0,1 і 1г продукту не виявлені	
	60								
	120								
	150								
	160								
	180								
Дріжджі, норма КУО/г не більше 1000	0	8	8	6	6	3	3	2	2
	60	10	8	8	6	6	8	5	3
	120	22	17	8	8	15	10	8	5
	150	28	22	15	10	18	13	10	9
	160	35	27	20	13	22	18	15	12
	180	41	33	23	17	29	25	21	16
Плісені, норма КУО/г не більше 100	0	3	3	2	2	3	3	2	2
	60	9	5	5	2	5	5	5	2
	120	15	10	8	3	10	8	7	5
	150	18	12	10	5	13	12	10	8
	160	22	15	14	5	18	14	12	8
	180	26	20	18	8	23	17	15	10

*Примітка: **С** – стаканчики, **Т** – туби.*

Серед маргаринів низькокалорійних найбільша кількість МАФАнМ відмічена в контролю 3. Маргарин «Трав'яний» містив їх найменшу кількість за рахунок введення екстракту петрушки, у складі якого наявні бактерицидні речовини.

Підвищення вмісту вологи у маргарині «Пікантний» також сприяло зменшенню кількості МАФАнМ у порівнянні з контролем 3 (табл. 2).

Таблиця 2

Динаміка зміна мікробіологічних показників якості низькокалорійних маргаринів протягом зберігання

Мікробіологічні показники	**Термін зберігання**	**Температура зберігання +4±1 ^{0}С**					
		Контроль 3		**«Трав'яний»**		**«Пікантний»**	
		с	**т**	**с**	**т**	**с**	**т**
1	2	3	4	5	6	7	8
КМАФАМ, норма КУО/г, не більше 50000	0	420	420	365	365	390	390
	60	305	300	250	235	280	270
	120	240	225	185	170	200	160
	150	135	115	120	105	125	90
	160	70	60	55	40	60	50
	180	60	50	35	15	45	20

Закінчення табл. 2

1	2	3	4	5	6	7	8
БГКП в г/см3	0	В 0,001; 0,01; 0,1 і 1г продукту не виявлені		В 0,001; 0,01; 0,1 і 1г продукту не виявлені		В 0,001; 0,01; 0,1 і 1г продукту не виявлені	
	60						
	120						
	150						
	160						
	180						
Дріжджі, норма КУО/г не більше 1000	0	15	15	12	12	10	10
	60	20	15	14	14	12	10
	120	22	18	16	15	15	13
	150	25	21	18	17	17	14
	160	26	23	21	20	18	16
	180	31	27	25	23	21	19
Плісені, норма КУО/г не більше 100	0	6	6	5	5	3	3
	60	10	8	7	5	5	3
	120	14	10	9	8	8	6
	150	20	15	13	10	10	8
	160	27	22	18	15	12	10
	180	36	31	25	20	15	10

Примітка: ***С*** *– стаканчики,* ***Т*** *– туби.*

Отримані результати проведених досліджень засвідчили відповідність розроблених продуктів вимогам нормативної документації і показали, що кількість мезофільних аеробних та факультативно-анаеробних мікроорганізмів (КМАФАнМ) у контрольних та дослідних зразках не перевищує встановлених для м'яких маргаринів норм. БГКП та патогенних мікроорганізмів, у тому числі роду Сальмонел, у процесі досліджень не виявлено. Незначна кількість пліснявих грибів та дріжджів, яка знаходяться у продукті, суттєво не впливає на якість продукції і свідчить про безпечність маргаринів під час їх споживання.

Маргарини, як і інші продукти харчування, повинні мати високу харчову і біологічну цінність, високі органолептичні показники якості та достатньо високу стійкість під час зберігання. Наступним етапом нашої роботи було дослідження впливу виду пакування та умов зберігання на зміни мікробіологічних показників нових маргаринів під час зберігання. Для маргаринів, технологічний процес виробництва яких передбачає використання термічного оброблення, характерний невисокий рівень життєздатної мікрофлори, тому зміна мікробіологічних показників у процесі зберігання не повинна бути суттєвим фактором ризику для безпеки споживачів. Проте мікробіологічний стан готових маргаринів під час зберігання залежить від кількості мікроорганізмів у вихідній нежировій сировині, виду пакування, умов і термінів зберігання. Лише перешкода зовнішній мікробній контамінації і суворе дотримання режимів зберігання є гарантією відсутності ризику мікробного забруднення.

М'які маргарини зберігали за температури (+4±1) °С і (+14±1) °С при відносній вологості повітря 85 %. Дослідження мікробіологічних показників проводили через кожні 30 діб зберігання.

Впродовж 60 діб зберігання за температури (+4±1) °С загальна кількість мезофільних аеробних і факультативно-анаеробних мікроорганізмів (МАФАнМ) суттєво не змінилась, однак прослідковувалася тенденція до зменшення їх кількості (рис. 1).

Дотримання санітарних правил та умов виробництва й зберігання, а також обмеження доступу повітря сприяло відмиранню частини вегетативних форм бактерій. При цьому спостерігається залежність динаміки процесу від виду пакування і температурного режиму. Так, маргарини, які зберігалися за температури (+4±1) °С, розфасовані в туби, герметично запаковані та закриті додатковою полістироловою кришкою, характеризувалися більш швидкими темпами відмирання мікрофлори. Це пояснюється ство-

ренням суворих анаеробних умов пакування. Зберігання маргаринів в умовах низьких позитивних температур також сприяло більш інтенсивному зниженню загальної кількості мікроорганізмів.

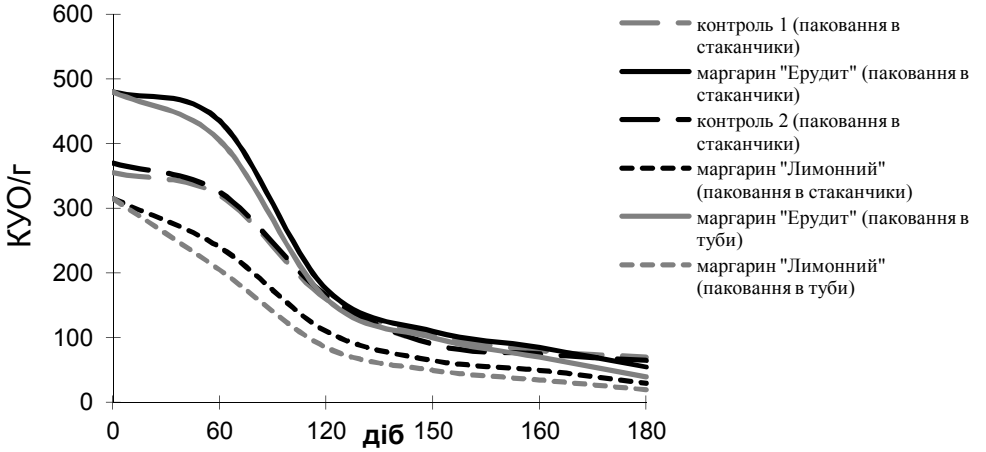


Рис. 1. Динаміка зміни КМАФАМ середньокалорійних маргаринів, які зберігалися за t 4 ± 1 °С

Так, після зберігання нових маргаринів протягом 120 діб за температури (+4±1) °С, пакованих у туби, загальна кількість мікроорганізмів була меншою, ніж в аналогічних зразках, що зберігались за температури (+14±1) °С (рис. 2).

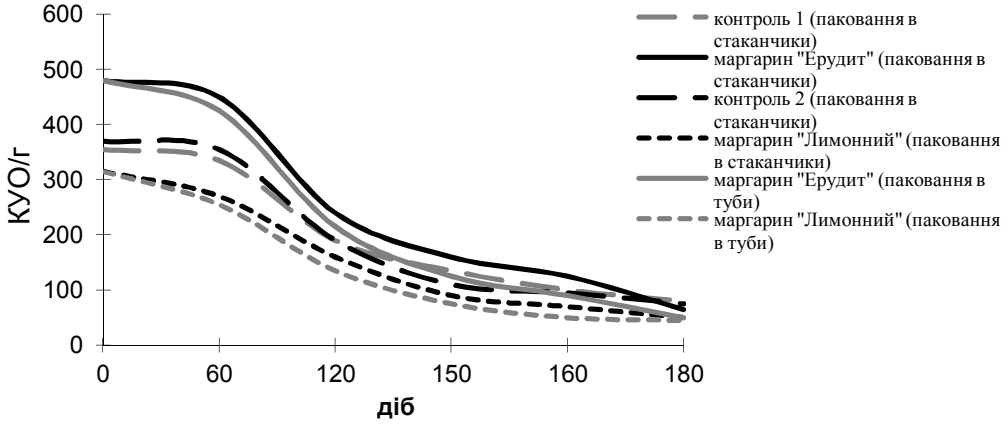


Рис. 2. Динаміка зміни КМАФАМ середньокалорійних маргаринів, які зберігалися за t 14 ± 1 °С

Під час зберігання маргаринів, пакованих у стаканчики, при обох температурних режимах зазначено збільшення кількості пліснявих грибів та дріжджів. У зразках, що зберігались у тубах, розвиток цих мікроорганізмів був значно повільніший. У досліджуваних маргаринах упродовж усього терміну зберігання при різних температурних режимах патогенних мікроорганізмів, у тому числі сальмонел у 25 г, а також бактерій групи кишкової палички в 0,001, 0,01, 0,1 і 1 г виявлено не було (табл. 1).

Висновки і пропозиції. Узагальнюючи результати досліджень, слід зазначити, що гігієнічна надійність та безпечність нових бутербродних маргаринів здебільшого зумовлена високотемпературним обробленням сировини. Нові м'які маргарини характеризуються високою мікробіологічною стійкістю, про що говорить стабільна тенденція зниження в них загальної кількості мікроорганізмів під час зберігання. Водночас можливість розвитку пліснявих грибів та дріжджів при контакті продукту з киснем повітря вимагає використання пакувальних матеріалів з високим ступенем герметичності і газонепроникності. Введення в рецептурний склад нових м'яких маргаринів йодказеїну, еламіну, лецетину, олігофруктози, інуліну, екстрактів горобини, стевії та петрушки не виявило негативного впливу на зміну мікробіологічних показників розроблених проду-

ктів. З огляду на мікробіологічні показники для пакування нових м'яких маргаринів доцільно використовувати туби, що мають високі бар'єрні властивості та дозволяють зберігати вихідну якість виробів найдовше.

Отже, фортифікація рецептур нових м'яких маргаринів такими природними добавками, як цикорлакт, еламін, екстракти стевії, горобини та петрушки, поряд із застосуванням нових видів пакування, а саме тубів, сприятиме подовженню термінів зберігання нових м'яких маргаринів та підвищенню їх біологічної цінності.

Список використаних джерел

1. *Табакаева О. В.* Натуральные антиоксиданты для стабилизации окислительных процесов липидов / О. В. Табакаева, А. В. Табакаев // Масложировая промышленность. – 2014. – № 6. – С. 20–23.

2. *Разработка* рецептур эмульсионных жировых продуктов с биологически активными компонентами / [Н. С. Морина, Ю. В. Николаева, М. Ю. Рудакова, А. П. Нечаев] // Масложировая промышленность. – 2014. – № 6. – С. 33–36.

3. *Родак О. Я.* Дослідження дії природних добавок на стійкість спредів під час зберігання / О. Я. Родак // Вісник Львівської комерційної академії. – 2013. – Вип. 12. – С. 91–95.

4. *Ravi J.* Free Radical Reactions and Antioxidant Activilies of Sesamol: Pulse Radiolytic and Biochemical Studies [Електронний ресурс] / Ravi J., Sudheer M., Kumar K., Satyamoorthy M.K. – Режим доступу : http : //pubs. Acs. Org./10.1021/jf0489769.

5. *Бочарова О. В.* Генеза регулювання безпечності харчових продуктів в Україні / О. В. Бочарова // Харчова наука і технологія. – 2013. – № 4. – С. 91–94.

УДК 621.798:681.5.015.23

О.М. Залета, канд. техн. наук
Луцький національний технічний університет, м. Луцьк, Україна

МОДЕЛЮВАННЯ ПОСЛІДОВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ МАШИНИ ДЛЯ ПАКУВАННЯ СИПКИХ РЕЧОВИН

О.М. Залета, канд. техн. наук
Луцкий национальный технический университет, г. Луцк, Украина

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ МАШИНЫ ДЛЯ УПАКОВКИ СЫПУЧИХ ВЕЩЕСТВ

Olha Zaleta, PhD in Technical Sciences
Lutsk National Technical University, Lutsk, Ukraine

SEQUENCE MODELING OF TECHNOLOGICAL MACHINE FUNCTIONING FOR PACKING OF BULK SUBSTANCES

Представлено спосіб побудови моделі функціонування пакувальної машини на прикладі машини для пакування сипких речовин. Для реалізації цього завдання здійснено формалізацію початкових даних, проаналізовано структуру та принцип роботи типового компонування машини цього призначення та відображено взаємозалежність між виконуваними машиною елементами технологічного процесу пакування і функціональними модулями, які входять до її складу. Також за допомогою методу мереж Петрі показано закономірність спрацьовування функціональних модулів машини. Представлена модель послідовності виконання технологічного процесу пакування може бути основою для програмування машини і керування її роботою. Запропонований алгоритм можна використовувати для моделювання функціонування будь-якого обладнання модульної будови.

Ключові слова: *модель, структура, синтез, пакувальна машина, функціональний модуль.*

Представлен способ построения модели функционирования упаковочной машины на примере машины для упаковки сыпучих веществ. Для реализации данной задачи осуществлено формализацию исходных данных, анализ структуры и принцип работы компоновки машины данного назначения и отражено взаимозависимость между выполняемыми машиной элементами технологического процесса упаковки и функциональными модулями, которые входят в ее состав. Также с помощью метода сетей Петри показана закономерность срабатывания функциональных модулей машины. Представленная модель последовательности выполнения технологического процесса упаковки может быть основой для программирования машины и управления ее работой. Предложенный алгоритм можна использовать для моделирования функционирования любого оборудования модульного строения.

Ключевые слова: *модель, структура, синтез, упаковочная машина, функциональный модуль.*

The article describes a method for constructing model of packing machine functioning on the machine's example for packing of bulk substances. The formalization of initial data was carried out, the structure and working principle of a typical layout of the given purpose machine was analyzed and interdependence between elements of technological process of packing and functional modules that are part of it was reflected. Also, using the method of Petri nets the sequence of the functional modules operation was described. The represented sequence model of the technological process of packing can be the basis for the machine programming and control of its work. The proposed algorithm can be used for operation modeling of any equipment of modular structure.

Key words: *model, structure, synthesis, packing machine, functional module.*

Постановка проблеми. Одним із провідних напрямків модернізації наявних пакувальних машин (ПМ) є оптимізація їх компонувань з метою підвищення показників ефективності виконання службової функції. Найбільш раціональним з погляду пошуку кращого варіанта структури ПМ є застосування методів оптимізаційного синтезу, поєднаних із функціонально-модульним підходом до розгляду її будови. Такі методи, за умови їх адаптації до специфіки обладнання цього призначення, дозволяють за мінімальні строки та з високою достовірністю розв'язувати задачі багатокритеріальної оптимізації довільного рівня складності [1; 2]. Проте розв'язком задачі оптимізаційного синтезу є, здебільшого, набір функціональних модулів (ФМ), сукупність яких у компонуванні машини має забезпечити задану ефективність роботи, але не дає при цьому чітких уявлень про закономірності її функціонування.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Існують методи кодування функцій, технічних характеристик і компонувань машин [3; 4; 5].

Зокрема в [3] запропоновано описувати компонування за допомогою структурних формул, побудованих згідно з принципами алгебри логіки і теорії множин, що відображають структуру машини та розміщення ФМ у координатному просторі. Графічний метод синтезу компонувань машини, наведений у [4; 5], полягає в побудові моделей її структури у вигляді принципово-структурних схем, які описують склад та просторове розташування ФМ, а також зв'язки між ними та траєкторію переміщення рухомих механізмів. Графічний метод надає більш повну інформацію про об'єкт проектування порівняно зі структурними формулами, однак і цього недостатньо для вичерпного опису роботи проектованого об'єкта.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. Важливим завданням, яке доповнює розв'язок задачі структурної оптимізації, є встановлення правильної послідовності виконання окремих елементів технологічного процесу пакування для забезпечення злагодженості спрацьовування ФМ, які формують компонування ПМ.

Мета статті. Головною метою цієї роботи є побудова моделі функціонування пакувальної машини для відображення взаємозалежності між виконуваним машиною набором функцій і технічними засобами реалізації кожної них, а також представлення послідовності їх спрацьовування. Основним призначенням цього алгоритму є програмування роботи ПМ і керування нею в автоматизованому режимі.

Виклад основного матеріалу. Переважна більшість ПМ для пакування сипких речовин працюють автоматично завдяки наявності у них системи керування, яка забезпечує і контролює злагоджене функціонування ФМ.

Для розроблення відповідної програми керування проектант повинен створити модель функціонування машини, яка по суті являє собою алгоритм її роботи. Тому оптимізаційний синтез машини, крім методики пошуку кращого варіанта компонування, повинен передбачати методику синтезу моделі функціонування.

Нижче представлено етапи моделювання функціонування ПМ.

1. Формалізація початкових даних.

Кожен ФМ машини функціонально є дискретним елементом. Це означає, що технологічна операція пакування реалізується кінцевим числом дій, результат яких фіксується в певні моменти часу і в певних станах ФМ. Крім того, ФМ характеризуються також

і безперервними аспектами функціонування, оскільки на ефективності ПМ впливає також і механіка переходів з одного стану в інший. Проте для моделі функціонування ці безперервні властивості модулів значення не мають.

Для опису моделі функціонування введемо вектор-функцію $A(j)$, для якого j – номер такту, розмірність якого збігається з числом ФМ у машині, а i-та компонента цього вектора є кодом стану i-го ФМ на j-му такті роботи.

Значення вектор-функції A(j) на j-му такті роботи назвемо j-ю проміжною ціллю (коротко j-ціллю) процесу пакування. Введенням вектора A(j) підкреслюється, що процес пакування має послідовний впорядкований у часі характер.

На рис. 1 представлено схему замкненого (циклічного) технологічного процесу.

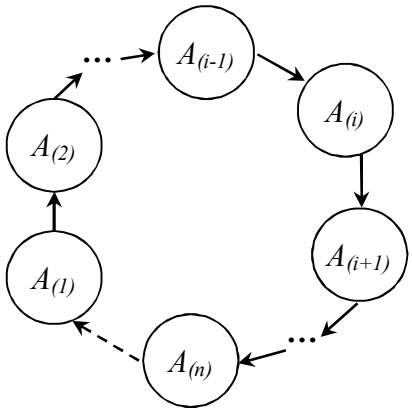


Рис. 1. Схема циклічного технологічного процесу

Перехід від j-цілі до (j+1)-цілі, який будемо називати j-м переходом циклу, полягає у зміні стану хоча б одного ФМ. Якщо A_k^j – k-та компонента вектора $A(j)$, тобто існує значення коду стану k-го ФМ в j-цілі, то принаймні для одного k

$$A_k^j \neq A_k^{j+1}. \quad (1)$$

Якщо умова (1) виконується тільки для одного k, то j-й перехід назвемо послідовним. Інакше, коли умова (1) виконується для двох і більше k, то j-й перехід буде паралельним, оскільки декілька ФМ одночасно змінюють свій стан.

Таким чином, може мати місце послідовно-паралельний процес пакування, якщо він містить хоча б один паралельний перехід.

Розглянемо послідовність побудови моделі функціонування на прикладі машини для пакування сипких речовин у плівкові пакети, скориставшись її типовою узагальненою функціонально-структурною схемою, наведеною на рис. 2 [6].

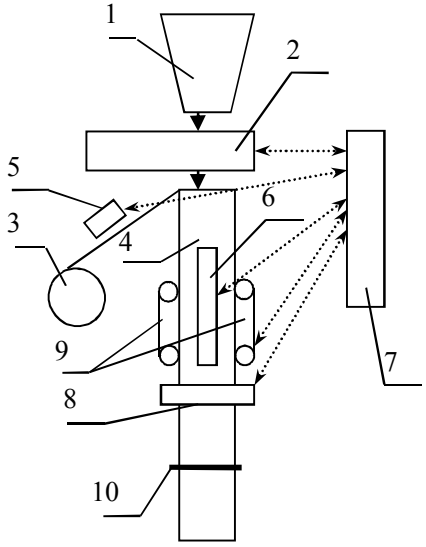


Рис. 2. Узагальнена функціонально-структурна модель машини для пакування сипких речовин: 1 – бункер; 2 – дозатор; 3 – механізм подачі плівки; 4 – рукавоутворювач; 5 – фотоелемент; 6 – пристрій поздовжнього зварювання; 7 − блок керування; 8 – пристрій поперечного зварювання; 9 − механізм протягування рукава;10 – механізм відрізання

Отже, компонування машини містить 10 ФМ. Проте під час побудови моделі функціонування доцільно розглядати тільки керовані ФМ, тобто ті, які здійснюють переміщення під час функціонування для виконання технологічних переходів.

2. Алгоритмізація роботи функціональних модулів пакувальної машини.

Приймемо, що код стану ФМ k =1, якщо він виконує технологічний перехід, k = 0, якщо не виконує.

Нижче умовно позначені ФМ, що у процесі функціонування змінюють свій стан.

M1 – дозатор: у момент дозування сипкої речовини код стану – 0, у момент фасування відміряної дози в пакет код стану – 1;

M2 – пристрій поздовжнього зварювання: у момент зварювання шва пакета код стану – 1, у відведеному положенні код стану – 0;

M3 – пристрій поперечного зварювання: у момент зварювання шва пакета код стану – 1, у відведеному положенні код стану – 0;

M4 – механізм протягування рукава: під час протягування матеріалу код стану – 1, у момент вистою код стану – 0;

M5 – механізм відрізання: у момент відрізання пакета від рукава код стану – 1, у відведеному положенні код стану – 0.

Матриця переходів ФМ з одного стану в інший (змін j-цілей) зведена в табл.

Зауважимо, що для кожного варіанта компонування існує власна матриця станів, що пов'язано зі специфікою конструкції ФМ та кількістю функцій, які вони виконують.

Таблиця

Матриця зміни станів машини для пакування сипких речовин

Технологічний перехід	***j*-ціль**	**Коди станів функціональних модулів**				
		M1	***M2***	***M3***	***M4***	***M5***
Дозування	***A*1**	0	1	1	0	1
Фасування	***A*2**	1	0	0	1	0
Поздовжнє зварювання	***A*3**	0	1	1	0	1
Поперечне зварювання	***A*4**	0	1	1	0	1
Протягування рукава	***A*5**	1	0	0	1	0
Відрізання	***A*6**	0	1	1	0	1

Наведемо пояснення циклу, представленого на рис. 2 та у табл. Процес пакування розпочинається із відмірювання дози продукту (ціль ***A*1**) дозатором ***M1*** (код стану − 0). У цей час формуються поздовжнє зварне з'єднання пакета пристроєм поздовжнього зварювання ***M2*** (код стану − 1) та поперечне зварне з'єднання пристроєм поперечного зварювання ***M3*** (код стану − 1), а також відбувається відрізання попередньо виготовленого пакета механізмом відрізання ***M5*** (код стану − 1). Оскільки ці механізми спрацьовують одночасно, під час кожного наступного циклу для них буде характерною такий же тип стану, як і для цілей ***A*3** та ***A*4** та ***A*6.** Механізм протягування рукава ***M4*** під час виконання вказаних дій перебуває у неробочому положенні (код стану − 0).

У період фасування продукту (ціль ***A*2**) і суміщеного із ним протягування рукава (ціль ***A*5**) дозатор ***M1*** змінює стан з 0 на 1. Пристої ***M2***, ***M3***, ***M4*** переходять у неробочі позиції (код стану − 0), а механізм протягування рукава ***M4*** здійснює переміщення плівкового рукава на крок, рівний висоті пакета (код стану – 1).

Таким чином, усі зміни стану ФМ здійснюються під час переходів від однієї цілі $A(j)$ до наступної $A(j+1)$.

На кожному такому переході $A(j) \rightarrow A(j+1)$ множину ФМ компонування можна розділити на дві підмножини − підмножину активних і підмножину пасивних ФМ.

До підмножини активних на переході $A(j) \rightarrow A(j+1)$ ФМ $M_a(j)$ включимо ті ФМ, які змінюють свій стан на цьому переході, тобто для яких $A_k^j \neq A_k^{j+1}$.

Кількість модулів у цій підмножині може бути 1, якщо процес є послідовним, або більше 1, якщо він паралельний або послідовно-паралельний. ФМ цієї підмножини назвемо активними на переході $A(j) \rightarrow A(j+1)$.

До підмножини пасивних на переході $A(j) \rightarrow A(j+1)$ модулей M_a увійдуть усі інші ФМ, які належать компоновці, тобто такі, для яких $A_k^j = A_k^{j+1}$. Ця підмножина може бути і порожньою, якщо всі ФМ компонування змінюють свій стан на переході.

3. Побудова моделі функціонування пакувальної машини.

Під час моделювання роботи ПМ на переході $A(j) \rightarrow A(j+1)$ використовуються тільки макромоделі активних ФМ.

Нехай ФМ M стає активним на переході $A(j) \rightarrow A(j+1)$. Позначимо далі через k_m число його станів, а через k_m^{j+1} − номер того стану, в який повинен перейти цей ФМ.

Код цього стану A_m^{j+1} зручно вибирати у вигляді вектора-рядка

$$A_m^{j+1} = (0,\ \ldots\ ,\ 0,\ 1,\ 0,\ \ldots\ ,\ 0),$$

де 1 стоїть на місці з номером k_m^{j+1}.

Аналогічним чином, код попереднього стану цього ФМ A_m^{j+1} буде мати такий же вигляд, але «1» повинна стояти на місцях з номером k_m^j. Тому в оперативному вигляді перехід $A(j) \rightarrow A(j+1)$ для цього ФМ можна записати, як

$$A_m^{j+1} = A_m^{j+1} \cdot S_{k_m^{j+1}}^{k_m^j},$$

де $S_{k_m^{j+1}}^{k_m^j}$ − перестановочна матриця з розмірністю $k_m \cdot k_m$.

Відповідно до принципів модульності і структурної подібності модель модульної системи повинна мати модульну структуру. Тому, як і сама система, її модель повинна містити елементи, які приведені у відповідність до елементів системи.

Представимо це у вигляді моделі, побудованої згідно з методом мереж Петрі (рис. 3) [7].

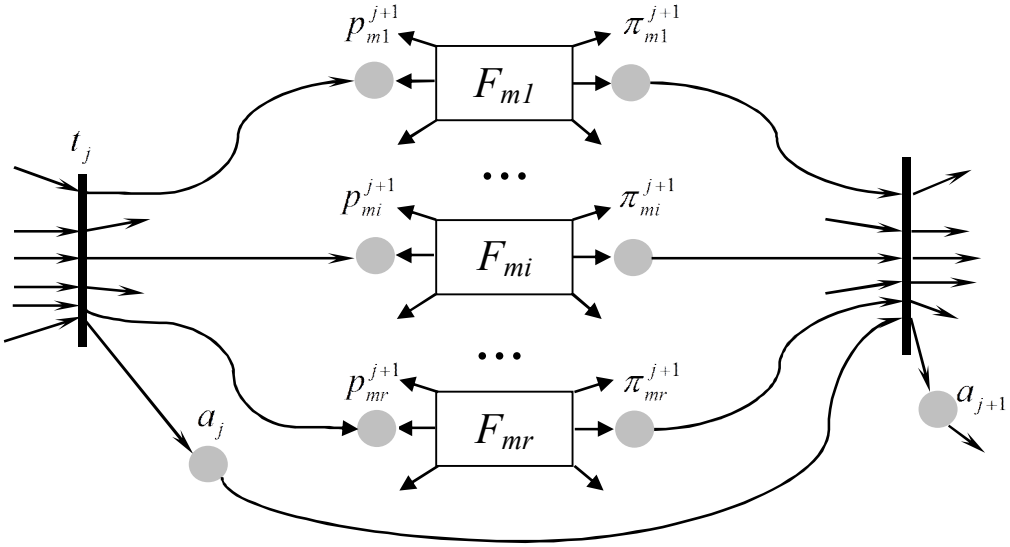


Рис. 3. Фрагмент мережі Петрі модельованого компонування пакувальної машини

Елементом, що виконує цю функцію, є перехід t_j, який зв'язує фрагменти моделі компонування, що відповідають цілям $A(j)$ та $A(j+1)$. На рис. 3 зображено такий фрагмент: тут $F_{m1}, \ldots, F_{mi}, \ldots, F_{mr}$ − макромоделі ФМ із підмножини $M_a(j)$, які є активними на переході $A(j) \rightarrow A(j+1)$ (r − кількість таких ФМ); t_j та t_{j+1} − суміжні переходи сітки Петрі для моделей станів $A(j)$ та $A(j+1)$. Від t_j стрілки направлені тільки до тих вхідних

позицій p_{m1}^{j+1}, … , p_{mi}^{j+1}, … , p_{mr}^{j+1} макромоделей F_{m1}, … , F_{mi}, … , F_{mr}, які відповідають одиничним значенням розрядів кодів A_{m1}^{j+1}, … , A_{mi}^{j+1}, … , A_{mr}^{j+1}.

Таким чином, після спрацювання переходу t_j, який значить, що компонування перейшло у стан $A(j)$, маркери потрапляють на вхідні позиції p_{m1}^{j+1}, … , p_{mi}^{j+1}, … , p_{mr}^{j+1}. При цьому моделі ФМ F_{m1}, … , F_{mi}, … , F_{mr} починають здійснювати переведення цих ФМ у стани, які відповідають кодам A_{m1}^{j+1}, … , A_{mi}^{j+1}, … , A_{mr}^{j+1}. Таке переведення кожного ФМ M з $M_a(j)$ завершується через деякий час, рівний затримці $Q_{k_m^j k_m^{j+1}}$. Після завершення всіх таких переведень, тобто через проміжок часу переведення компонування зі стану $A(j)$ у стан $A(j+1)$, рівне $Q(A(j) \to A(j)) = \max_m Q_{k_m^j k_m^{j+1}}$ у вихідних позиціях π_{m1}^{j+1}, … , π_{mi}^{j+1}, … , π_{mr}^{j+1} знаходяться маркери. Це приводить до спрацьовування переходу t_{j+1}, що і значить перехід компонування у стан $A(j+1)$. Позиції a_j і a_{j+1} введені для відображення факту знаходження компонування у відповідному стані.

Висновки і пропозиції. Представлений у статті спосіб побудови моделі функціонування пакувальної машини дозволяє відобразити взаємозалежність між виконуваними машиною елементами технологічного процесу пакування і технічними засобами реалізації кожного елементу, а також послідовність їх спрацьовування. Отримані результати можуть бути основою для програмування роботи машини й автоматизованого керування її роботою. Запропонований алгоритм моделювання можна використовувати для побудови моделей функціонування будь-якого обладнання модульної будови.

Список використаних джерел

1. *Шаповал О. М.* Багатокритеріальна оптимізація структури пакувальних автоматів / О. М. Шаповал, Б. О. Пальчевський // Автоматизація виробничих процесів у машинобудуванні та приладобудуванні. – 2009. − № 43. – С. 115–120.

2. *Шаповал О. М.* Стратегії оптимізаційного синтезу технологічних машин / О. М. Шаповал, Б. О. Пальчевський // Технологічні комплекси : науковий журнал. – 2010. – Вип. 1(3). – С. 3−11.

3. *Агрегатно-модульне* технологічне обладнання : навч. посіб. для ВНЗ : у 3 ч. Ч. 1 / під заг. ред. Ю. М. Кузнєцова. − Кіровоград, 2003. – 422 с.

4. *Шувалова Л. А.* Методы абстрактного синтеза структуры и последовательности выполнения операций фасовочно-упаковочных машин / Л. А. Шувалова // Вісник Технологічного університету Поділля. – 2005. – № 4. – С. 55−58.

5. *Гусарев В. С.* Синтез структурных П-схем машин автоматического действия / В. С. Гусарев // Научные записки Одесского политехнического института. – 1961. – Т. 35.

6. *Шаповал О. М.* Напрями розвитку будови машин для пакування сипких речовин / О. М. Шаповал, Б. О. Пальчевський // Наукові нотатки : міжвузівський збірник. – 2010. – Вип. 28. – С. 386−392.

7. *Кіндрацький Б. І.* Раціональне проектування машинобудівних конструкцій : монографія / Б. І. Кіндрацький, Г. Т. Сулим. – Львів : КІНПАТРІ ЛТД, 2003. – 280 с.

УДК 674.05.053

Є.М. Миськів, канд. техн. наук
З.П. Копинець, канд. техн. наук
В.О. Маєвський, д-р техн. наук
Національний лісотехнічний університет України, м. Львів, Україна

ОБҐРУНТУВАННЯ ВИКОРИСТАННЯ ОБЛАДНАННЯ ЗІ СТРУГАЛЬНИМИ ВАЛАМИ ЗІ СПІРАЛЬНИМ РОЗМІЩЕННЯМ НОЖОВИХ ПЛАСТИНОК

Е.М. Мыськив, канд. техн. наук
З.П. Копинец, канд. техн. наук
В.О. Маевский, д-р техн. наук
Национальный лесотехнический университет Украины, г. Львов, Украина

ОБОСНОВАНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ СО СТРОГАЛЬНЫМИ ВАЛАМИ СО СПИРАЛЬНЫМ РАЗМЕЩЕНИЕМ НОЖЕВЫХ ПЛАСТИНОК

Yevstakhii Myskiv, PhD in Technical Sciences
Zoia Kopynets, PhD in Technical Sciences
Volodymyr Maievskyi, Doctor of Technical Sciences
Ukrainian National Forestry University, Lviv, Ukraine

GROUNDING OF USING EQUIPMENT WITH KNIFE CUTTERBLOCK AND SPIRAL LOCATION OF KNIFE BLADES

Проаналізовано результати експериментальних досліджень щодо порівняння основних характеристик роботи стругальних валів зі спіральним розміщенням ножових пластинок та класичних стругальних валів з прямими ножами. Наведено результати порівняльного розрахунку витрат на придбання й обслуговування прямих загострюваних ножів HSS та ножових пластинок, які засвідчили економічну ефективність використання стругальних валів зі спіральним розміщенням ножових пластинок. Запропоновано обґрунтовані рекомендації щодо поетапної процедури придбання ножових пластинок рівномірно впродовж ресурсу їх експлуатації.

Ключові слова: *прямі ножі, ножові пластинки, класичний стругальний вал, стругальний вал "silent-power", економія коштів.*

Проанализированы результаты экспериментальных исследований по сравнению основных характеристик работы строгальных валов со спиральным размещением ножевых пластинок и классических строгальных валов с прямыми ножами. Приведены результаты сравнительного расчета затрат на приобретение и обслуживание прямых затачиваемых ножей HSS и ножевых пластинок, которые показали экономическую эффективность использования строгальных валов со спиральным размещением ножевых пластинок. Предложено обоснованные рекомендации по поэтапной процедуре приобретения ножевых пластинок равномерно в течение ресурса их эксплуатации.

Ключевые слова: *прямые ножи, ножевые пластинки, классический строгальный вал, строгальный вал „silent-power", экономия средств.*

The results of experimental researches concerning main characteristics of knife cutterblocks with spiral location of knife blades as well as classic knife cutterblocks with straight knifes were analyzed. The results of comparative calculation of the cost of purchasing and maintenance of straight knife-edged knifes HSS and knife blades which significative about cost efficiency of knife cutterblock and spiral location of knife blades using were presented in this paper. Reasonable recommendations concerning step-by-step procedure of knife blade acquisition (equal amount over a period of knife blade operation activity).

Key words: *straight knifes, knife blades, classic cutterblock, cutterblock "silent-power", savings.*

Постановка проблеми. Серед значного різноманіття операцій з оброблення деревини однією з основних (базових) є операція стругання. Завданням цієї операції є як формування базових поверхонь дерев'яних елементів (пиломатеріалів, заготовок, напівфабрикатів тощо), так і їх калібрування в чорновий або чистовий розмір. Якщо на точність струганих дерев'яних елементів, зокрема площинність поверхонь, паралельність площин і відповідність розмірів напряму впливає обладнання, то на якість струганої поверхні – інструмент, яким оснащено це обладнання. Це спонукає виробників до необхідності постійного вдосконалення наявного та розроблення нового деревообробного обладнання та інструменту з метою підвищення якості та точності операції стругання. Нещодавно на світовому ринку деревообробного обладнання фірмою "Felder KG" запропоновано обладнання із новим стругальним валом "Silent-Power".

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Стругальний вал "Silent-Power" оснащено твердосплавними ножовими пластинками розміром 13,8×13,8×2,5 мм із чотирма заоваленими різальними гранями, які можна легко повертати, а за потреби і замінити.

Ножові пластинки на валу розміщено по двох спіралях (рис. 1) [1]. Цей стругальний вал розроблено для фугувальних, рейсмусових та фугувально-рейсмусових верстатів серій "Felder", "Format-4" та "Hammer" фірми "Felder KG".

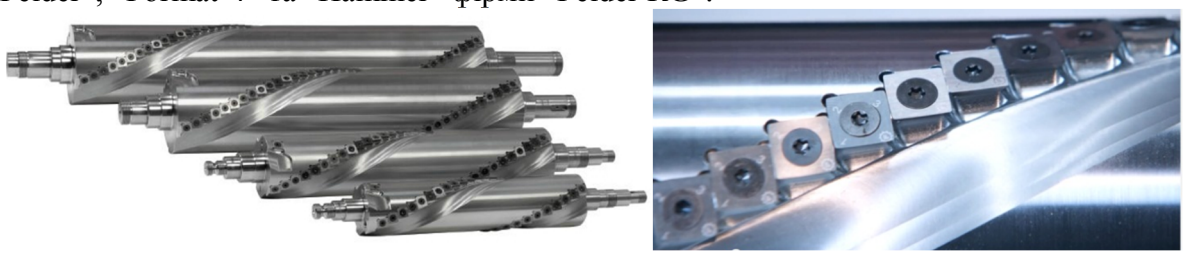


Рис. 1. Зовнішній вигляд валів "Silent-Power"

За ствердженням фірми "Felder KG" стругальний вал "Silent-Power" має певні переваги порівняно з класичними стругальними валами [1].

З метою встановлення переваг чи недоліків цього стругального вала у професійній школі у Хільдесхаймі (Hildesheim – Німеччина) проведено експериментальні дослідження щодо порівняння роботи двох фугувально-рейсмусових верстатів Felder AD951 в ідентичних комплектаціях, крім того, що один із верстатів було оснащено стругальним валом із чотирма одноразовими швидкозмінними (самовстановними) двосторонніми прямими ножами HSS, а інший – стругальним валом "Silent-Power" [2]. За результатами експериментальних досліджень отримано інформацію щодо порівняння основних характеристик роботи стругальних валів.

Стругальний вал "Silent-Power" працює тихіше за рахунок зменшення кількості повітря, яке видаляється одночасно через невеликий повітряний канал, оскільки у процесі різання беруть участь одночасно не всі ножі. Встановлено [2], що рівень гучності шуму під час роботи вала "Silent-Power" був нижчим на 11…16 дБ(А) порівняно з валом з прямими ножами, що є суттєвим чинником з огляду забезпечення належних (санітарних) умов праці [3].

Під час стругання деревини за допомогою вала "Silent-Power" отримується стружка значно менших розмірів, ніж під час стругання за допомогою вала з прямими ножами, що позитивно впливає на роботу аспіраційної системи (витяжки).

Ножові пластинки на валу "Silent-Power" розміщені по спіралі та під кутом до самої спіралі, кожна наступна пластинка своїм різом підрізає стружку від кожної попередньої пластинки. Це унеможливлює виникнення так званого «різу, який тягнеться» та забезпечує високу якість оброблення. Структура поверхні обробленої заготовки має вигляд, зображений на рис. 2 [2]. Така структура абсолютно не відчувається на дотик і навіть при 20-кратному збільшенні вирізнити її надзвичайно складно.

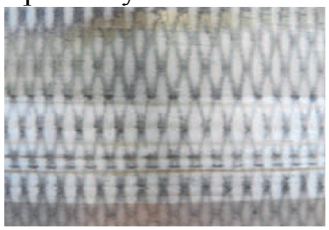


Рис. 2. Структура поверхні заготовки, обробленої валом "Silent-Power"

Використання твердого сплаву в різальних пластинках та 4-різальних граней кожної пластинки збільшує термін використання різального інструменту до 20 разів порівняно з одноразовими двосторонніми прямими ножами HSS.

Експериментальними дослідженнями [2] також встановлено нижче споживання електричного струму під час роботи верстата з валом "Silent-Power".

Метою роботи є обґрунтування доцільності використання фугувального і рейсмусового верстатів із стругальним валом "Silent-Power" в умовах українських деревообробних підприємств.

Виклад основного матеріалу. Прийнявши до уваги вищевикладене, нами проведено власні дослідження (пасивний експеримент) у виробничих умовах. Дослідження проводили на підприємстві «Фабрика меблів "Елегант"», яка знаходиться у смт Гусятин Тернопільської обл. У межах технічного переоснащення цього підприємства фугувальний і рейсмусовий вертати, оснащені класичними валами із плоскими прямими загострюваними ножами, замінено на фугувальний – Felder A951 і рейсмусовий – Felder D 951 верстати із валами "Silent-Power".

За результатами досліджень встановлено, що до технічного переоснащення потреба у загостренні плоских прямих ножів виникала щотижня. Ресурс роботи таких ножів на фугувальному верстаті становив 11,5 місяців, а рейсмусовому – 16,8 місяців. Після технічного переоснащення інтенсивність роботи не змінилася. За цих умов на підприємстві впродовж 14 місяців роботи на фугувальному верстаті з валом "Silent-Power" було спрацьовано три різальні крайки ножових пластинок, а на рейсмусовому – дві. Таким чином, ресурс роботи ножових пластинок для такого ритму роботи підприємства становитиме 18,7 місяців для фугувального і 28 місяців для рейсмусового верстатів.

Незважаючи на переваги того чи іншого обладнання (інструменту), питання ціни є одним із визначальних у сучасних реаліях ринкових відносин. На кожен стругальний вал "Silent-Power" шириною оброблення 510 мм, яким обладнано верстати Felder A951 і Felder D951 потрібно 77 ножових пластинок. Вартість набору (10 шт) ножових пластинок – 52 євро (на момент проведення досліджень). Отже, комплект на один верстат із 8 наборів ножових пластинок обійдеться у 416 євро. Вартість одного плоского прямого загострюваного ножа HSS розмірами 510×35 мм залежно від фірми-виробника становить 25,15…35,8 євро. Якщо взяти мінімальну ціну, то для придбання комплекту ножів для одного верстата з валом на чотири ножі потрібно потратити 100,6 євро. Вартість одного загострення такого ножа становить орієнтовно 1,4 євро (згідно з комерційним курсом грн/євро на момент проведення досліджень), тобто на тиждень на загострення комплекту ножів для одного верстата необхідно затратити 5,6 євро. Витрати на загострення на період ресурсу роботи ножів фугувального верстата становитимуть 268,80 євро, рейсмусового – 392,00 євро.

Якщо врахувати ресурс роботи, то на один комплект ножів для вала "Silent-Power" потрібно 1,62 комплекти плоских прямих загострюваних ножів. Таким чином, вартість комплекту прямих ножів HSS на один комплект ножових пластинок для вала "Silent-Power" для фугувального та рейсмусового верстатів становитиме 163 євро (100,6 євро + 62,4 євро).

Проведемо порівняльний розрахунок витрат на придбання й обслуговування прямих загострюваних ножів HSS та ножових пластинок. Порівняльний розрахунок проводимо на ресурс роботи ножових пластинок для вала "Silent-Power", зокрема: 18,7 місяців (≈80 тижнів) для фугувального верстата і 28 місяців (≈120 тижнів) для рейсмусового. Результати порівняльного розрахунку відображено на рис. 3 та 4.

Зазначимо, що стрибкоподібні збільшення сумарних витрат на придбання й обслуговування прямих загострюваних ножів HSS (рис. 3 та 4) зумовлені необхідністю придбання додаткового комплекту таких ножів.

Отже, сумарні витрати на придбання й обслуговування прямих загострюваних ножів HSS відносно ресурсу роботи комплекту ножових пластинок для вала "Silent-Power" для досліджуваних умов становлять: для фугувального верстата – 599,80 євро, а для рейсмусового – 823,80 євро.

Аналіз отриманих результатів порівняльних розрахунків свідчить, що економія коштів настає для фугувального верстата з ≈50-го тижня експлуатації вала "Silent-Power" (рис. 3), а для рейсмусового – з ≈58-го тижня (рис. 4).

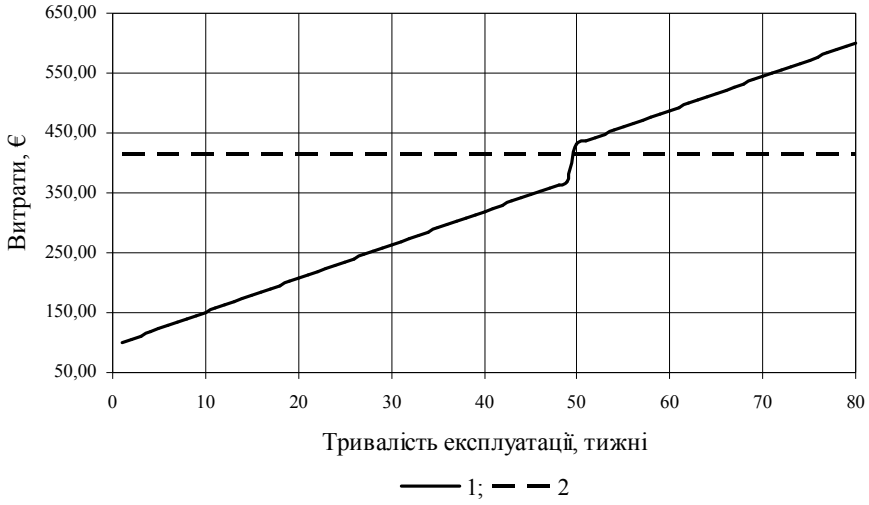


Рис. 3. Сумарні витрати на придбання й обслуговування прямих загострюваних ножів HSS та ножових пластинок для вала "Silent-Power" (фугувальний верстат):
1 – витрати на придбання й обслуговування прямих загострюваних ножів HSS;
2 – витрати на придбання й обслуговування ножових пластинок "Silent-Power"

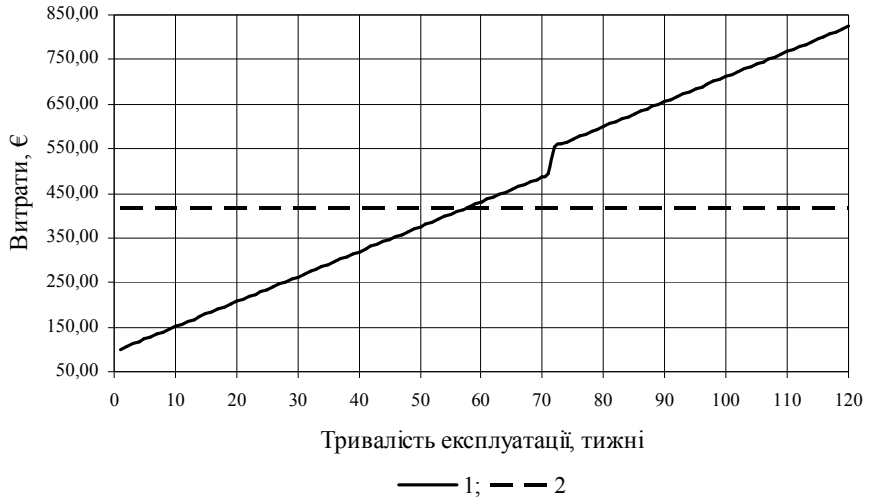


Рис. 4. Сумарні витрати на придбання й обслуговування прямих загострюваних ножів HSS та ножових пластинок для вала "Silent-Power" (рейсмусовий верстат):
1 – витрати на придбання й обслуговування прямих загострюваних ножів HSS;
2 – витрати на придбання й обслуговування ножових пластинок "Silent-Power"

Порівняння середньотижневих витрат на придбання й обслуговування плоских прямих ножів HSS та ножових пластинок "Silent-Power" за період ресурсу роботи ножових пластинок для вала "Silent-Power" наведено в табл.

Таблиця

Порівняння середньотижневих витрат на придбання й обслуговування плоских прямих ножів HSS та ножових пластинок для вала "Silent-Power" (в євро)

Фугувальний верстат			**Рейсмусовий верстат**		
плоскі прямі ножі	ножові пластинки "Silent-Power"	економія коштів на тиждень	плоскі прямі ножі	ножові пластинки "Silent-Power"	економія коштів на тиждень
7,50	5,20	2,30	6,87	3,47	3,40

Як видно з табл., середньотижнева економія коштів для варіанта використання валів "Silent-Power" замість класичних стругальних валів із прямими загострюваними ножами HSS становить 2,30 євро – для фугувального верстата та 3,40 євро – для рейсмусового.

Проте, незважаючи на економію коштів під час використання валів "Silent-Power", основним стримуючим чинником їх використання є витрачання значної суми коштів в один етап на придбання ножових пластинок. Під час використання прямих загострюваних ножів HSS витрати коштів хоч і сумарно більші, але витрачаються у процесі експлуатації поступово, незначними сумами, що є більш психологічно та фінансово прийнятним для більшості підприємств. Тому з метою уникнення одномоментного витрачання значної суми коштів на придбання комплекту ножових пластинок на вал "Silent-Power" вважаємо за доцільне передбачити можливість купівлі по одному або кількох наборів ножових пластинок рівномірно впродовж ресурсу їх експлуатації. Зокрема, для розглянутих умов доцільно передбачити можливість купівлі одного набору ножових пластинок "Silent-Power" раз на 10 чи 15 тижнів для фугувального і рейсмусового верстатів відповідно. Це дозволить рівномірно витрачати кошти незначними сумами та уникнути «небажаного» одномоментного платежу значної суми коштів.

Варто також відзначити великі трудові та часові затрати на заміну плоских прямих ножів після загострення. Зокрема, для заміни плоских прямих ножів ножовий вал фіксують супортним пристроєм, відкручують гвинти кріплення ножів, виймають тупі ножі і клини, очищають пази вала і клини від стружки і смоли, встановлюють загострені ножі. Для заміни і налаштування плоских прямих ножів класичного стругального вала потрібно потратити до однієї години. Тоді як повертання або заміна однієї ножової пластинки на валу "Silent-Power" триває до 30 с, а сумарна витрата часу на один верстат із шириною стругання 510 мм становить до 40 хв. Різниця невелика, однак, якщо врахувати, що заміну ножів після загострення потрібно проводити щотижня, а повертання ножових пластинок раз у декілька місяців, то економія часу буде суттєвою, що впливатиме на продуктивність виробничого процесу.

Важливим чинником для вибору виду стругального вала є також той факт, що за умови руйнування частини різальної крайки, зокрема через потрапляння на оброблення заготовки з металевим включенням, потрібно заміняти весь комплект ножів класичного вала, натомість за використання вала "Silent-Power" – тільки ту частину пластинок, які пошкоджені.

Оскільки стругання валом "Silent-Power" із спіральним розміщенням ножових пластинок одночасно відбувається у двох точках (дві спіралі) та ще й під кутом самих пластинок до спіралі, то об'єм деревини, який знімається за одиницю часу [4], буде набагато меншим, ніж під час стругання прямими ножами всієї ширини заготовки одночасно. За рахунок цього у верстатах із стругальним валом "Silent-Power" не відбувається зростання навантаження на електродвигун та верстат у цілому зі збільшенням ширини оброблювальної поверхні заготовки, що підвищує ресурс роботи обладнання. Внаслідок цього можна знімати максимально допустимий шар стружки при максимальній ширині заготовки за один прохід без збільшення встановленої номінальної потужності верстата.

Висока якість поверхонь заготовок, оброблених валом "Silent-Power" [1], також підтверджена нашими дослідженнями на «Фабриці меблів "Елегант"». Після впровадження у технологічний процес фугувального – Felder A951 і рейсмусового – Felder D951 верстатів зі стругальними валами "Silent-Power" для багатьох деталей відпала потреба в операції шліфування, оскільки якість оброблення поверхні відповідала встановленим вимогам. Відмова від операції шліфування забезпечила зменшення трудозатрат та економію коштів на придбання шліфшкурки й електроенергії.

Висновки та рекомендації. Підтверджено, що розроблений фірмою "Felder KG" стругальний вал "Silent-Power" має певні переваги порівняно зі стругальними валами із прямими ножами: вищою якістю обробленої поверхні; нижчим рівнем шуму; спрощенням роботи аспіраційних систем; довшим ресурсом експлуатації; відсутністю трудозат-

рат на загострення, встановлення та виставлення ножів; меншим електроспоживанням; меншим зусиллям на оброблення та меншими навантаженнями на обладнання в цілому.

Встановлено, що за використання верстатів зі стругальним валом "Silent-Power" (для досліджуваних виробничих умов) забезпечується значна економія коштів, зокрема для фугувального верстата економія становить 2,30 євро/тиждень, а для рейсмусового – 3,40 євро/тиждень.

Рекомендовано для уникнення одномоментного витрачання значної суми коштів на придбання комплекту ножових пластинок на вал "Silent-Power" здійснювати придбання по одному або кількох наборів ножових пластинок рівномірно впродовж ресурсу їх експлуатації.

Обґрунтований аналіз результатів проведених досліджень дає підстави під час придбання фугувальних і рейсмусових верстатів робити свій вибір на стругальних верстатах фірми "Felder KG" із валом "Silent-Power".

Список використаних джерел

1. *Новый* спиралевидный строгальный вал Silent-POWER® [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://www.felder-gruppe.ua/news.php?region=ua-ru&news_id=2283.

2. *Sielaff H.* In der Ruhe liegt die Kraft [Електронний ресурс] / H. Sielaff // BM-Test: Silent-Power-Hobelwelle von Felder. – 05/2013. – Режим доступу : http://www.felder-gruppe.ua/files/pressreports/testbericht_silentpower_bm_mai2013_web_gesperrt.pdf.

3. *Санітарні* норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку [Електронний ресурс] : ДСН 3.3.6.037–99. − [Чинний від 1999–01–12]. − Режим доступу : http: //mozdocs.kiev.ua/view.php?id=1789.

4. *Кірик М. Д.* Механічне оброблення деревини та деревних матеріалів : підручник / М. Д. Кірик. – Львів : Кольорове небо, 2006. – 412 с.

УДК 648.234

В.І. Михайлов, канд. техн. наук
Київський кооперативний інститут бізнесу і права, м. Київ, Україна
С.В. Михайлов, канд. техн. наук
Київський національний торговельно-економічний університет**,** м. Київ, Україна

ОЦІНЮВАННЯ ВПЛИВУ ГРЕБЕНІВ БАРАБАНА НА ЯКІСТЬ МАШИННОГО ПРАННЯ

В.И. Михайлов, канд. техн. наук
Киевский кооперативный институт бизнеса и права, г. Киев, Украина
С.В. Михайлов, канд. техн. наук
Киевский национальный торгово-экономический университет, г. Киев, Украина

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ГРЕБНЕЙ БАРАБАНА НА КАЧЕСТВО МАШИННОЙ СТИРКИ

Volodymyr Mykhailov, PhD in Technical Sciences
Kyiv Cooperative Institute for business and Law, Kyiv, Ukraine
Serhii Mykhailov, PhD in Technical Sciences
Kyiv National University of Trade and Economics, Kyiv, Ukraine

EVALUATION OF THE IMPACT OF THE DRUM RIDGES ON THE MACHINE WASH QUALITY

Запропоновано спосіб оцінювання конструктивних елементів барабана побутової машини на ефективність прання текстильних виробів. Характер взаємодії гребенів барабана з мийним розчином і текстильними матеріалами оцінювали методом математичного моделювання процесу прання. Проведено аналіз впливу гребенів барабана на гідродинаміку мийного розчину і текстильні матеріали в машинах з енергозберігаючими технологіями прання.

***Ключові слова**: прання, пральна машина, гребені барабана.*

Предложен способ оценки конструктивных элементов барабана бытовой машины на эффективность стирки текстильных изделий. Характер взаимодействия гребней барабана с моющим раствором и текстильными материалами оценивали методом математического моделирования процесса стирки. Проведен анализ влияния гребней

барабана на гидродинамику моющего раствора и текстильные материалы в машинах с энергосберегающими технологиями стирки.

***Ключевые слова**: стирка, стиральная машина, гребни барабана.*

The authors offer evaluation method of the constructive elements of the washing machine drum on the efficiency of textile products laundry. Interaction nature of ridges of the drum with washing fluid and textile was evaluated by the method of mathematical modeling of laundry process. Impact of the ridges of the drum on the washing fluid hydrodynamics and textile in the washing machines with energy efficient washing technologies was analyzed.

***Key words**: laundry, washing machine, ridges of the drum.*

Постановка проблеми. Енергозбереження побутових електричних машин і приладів є актуальною проблемою, що вирішується в багатьох країнах на державному рівні. Побутові пральні машини належать до енерговитратних приладів, оскільки процес очищення текстильних матеріалів складається з взаємопов'язаних послідовних операцій. Якість оброблення матеріалів у машинах барабанного типу зумовлена ступенем хімічного, теплового і гідромеханічного впливу на текстильні матеріали.

Гідромеханічна складова процесу прання визначається конструктивним виконанням гребенів барабана, форма і кількість яких, поряд з іншим, є об'єктом удосконалення пральних машин.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Підвищують якість машинного оброблення текстильних матеріалів різними способами, у тому числі зміною гідросистеми пральних машин, конструкції барабана і схеми його реверсування [1–3]. Аналіз патентної інформації та асортименту пральних машин свідчить про різні підходи винахідників і виробників до конструктивного виконання гребенів барабана та його бічної поверхні. Ці та інші конструктивні рішення мають різну науково-методологічну основу.

У роботі [4] зроблено висновок про можливе поліпшення якості прання за рахунок збільшення кількості гребенів барабана. Даних про вплив гребенів на фізико-механічні характеристики текстильних матеріалів не наведено, проте можна припустити, що між цими параметрами існує певна залежність.

Про переважне призначення гребенів барабана пральної машини як інтенсифікаторів механічного впливу барабана на текстильні матеріали наведено в роботі [5]. У роботі [6] зазначено, що ефективність прання залежить від геометричних характеристик і кількості гребенів лише у визначених межах. Збільшення їх кількості понад три лише незначно підвищує величину вихідного параметра машин.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. Аналіз літературних джерел свідчить про відсутність єдиної методології щодо оцінювання впливу конструктивних елементів барабана пральної машини на якість оброблення текстильних виробів. Спектрофотометричний (стандартний) метод дає змогу оцінити ефективність роботи пральної машини в цілому, проте виокремити вплив гідромеханічного чи іншого чинника прання неможливо.

Перехід до низькомодульних технологій прання спричинив зміну пріоритетів щодо визначальних чинників якості оброблення текстильних матеріалів. На наш погляд, показники функціональності та безпечності (ефективність полоскання) пральних машин передусім визначатимуться ступенем заповнення барабана і величиною водного модуля. За умови максимального заповнення об'єму барабана роль гребенів, як ініціатора процесу прання, зростає. Перемішування текстильних виробів сприяє проникненню гідропотоків мийного розчину у структуру матеріалів, їх очищенню від часточок забруднювачів. Звідси випливає, що характер масообмінних процесів у системі «пральний бак – барабан» визначатиметься не лише конструкцією гребенів, а й параметрами отворів перфорації бічної поверхні барабана. Характер взаємодії бічної поверхні барабана з його гребенями та вплив цих елементів на масообмінні процеси в опублікованих раніше роботах не розглядався.

Теоретичний аналіз та опис машинного способу оброблення текстильних матеріалів ускладнюється нестаціонарністю руху окремих гідропотоків, які рухаються у відцент-

ровому напрямку, та їх спонтанним накладанням на основний потік, що рухається в доцентровому напрямку. Тому припускали, що масообмінні процеси мають стаціонарний характер.

Мета статті. Оцінювання ступеня впливу гребенів барабана пральної машини на масообмінні процеси в системі «пральний бак – барабан».

Виклад основного матеріалу. Систему «пральний бак – барабан» можна порівняти з двома циліндрами, розміщеними один в одному. Нижня частина одного з цих циліндрів заповнена рідиною, а іншого – занурена у цю рідину. Збурення (активація) рідини здійснюється внутрішнім циліндром, що обертається. Швидкість рухомих потоків рідини збільшуватиметься зі зростанням колової швидкості барабана. Зовнішній циліндр (пральний бак) і гравітаційне тяжіння обмежують рух цих потоків і, можливо, змінюють характер течії основного потоку так, як це наведено в роботі [7]. Гребені барабана (лопатки), рухаючись по колу, перемішують мийний розчин, окремі турбулентні гідропотоки якого накладаються на основний потік, посилюючи тим самим ступінь активації робочої рідини. З цього випливає, що ступінь активації мийного розчину визначатиметься кількістю і геометричними розмірами гребенів, а також коловою швидкістю барабана.

Ззовні гребінь являє собою ділянку поверхні барабана, вигнуту під деяким кутом у напрямку осі його обертання так, що стосовно внутрішньої поверхні бака вона утворює місткість, яка заповнюється мийним розчином, що знаходиться у нижній частині бака (рис.).

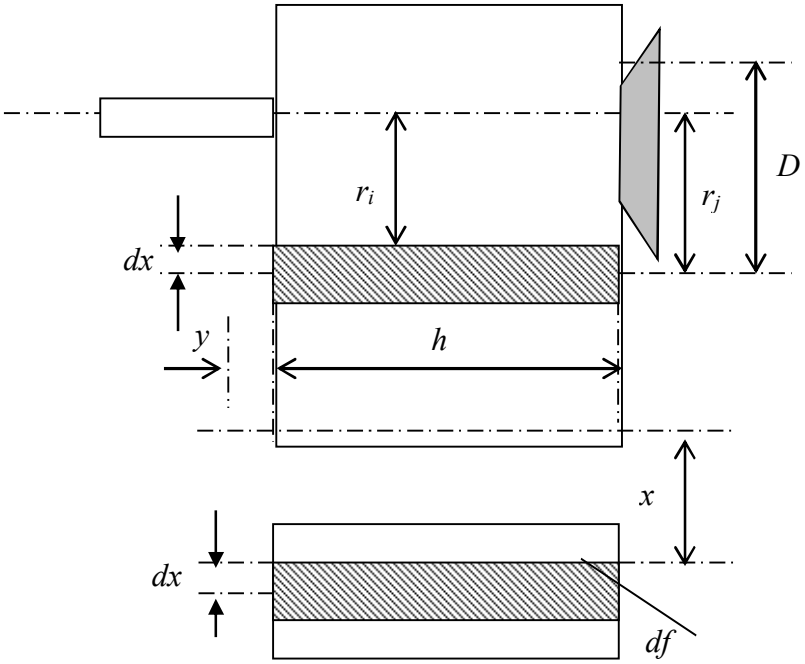


Рис. Ділянка зовнішньої поверхні гребеня барабана

Кожна з елементарних ділянок зовнішньої поверхні гребеня (*df*) віддалена від осі барабана в радіальному напрямку так, що при його обертанні вони утворюють кола з різними радіусами. Матеріальні точки, розміщені на цих колах, будуть мати, відповідно, різні швидкості, внаслідок чого витрати енергії, необхідної для приведення рідини в рухомий стан, для кожної ділянки також будуть різними. Таким чином, елементарна ділянка є площиною, робота якої полягає у переміщенні рідини в напрямку її руху, тобто вона аналогічна лопатевій мішалці, яка обертається навколо осі з постійною коловою швидкістю.

Розміри елементарної ділянки визначаються її площею, тобто

$df = dxh,$

де h – висота ділянки гребеня.

Кінетична енергія ($W_{\text{кін}}$), яку можна визначити як роботу елементарної ділянки за одиницю часу, необхідну для зрушення елементарного об'єму рідини (dv), дорівнює:

$$dW_{\text{кін}} = \frac{1}{2}\theta\bar{\omega}^2, \tag{1}$$

де θ – момент інерції ($\theta = \frac{dvp}{g}$), звідки $dv = \omega\varphi df$;

ϖ – кутова швидкість.

Отже, вираз (1) можна записати у такому вигляді:

$$dW_{\text{кін}} = \frac{\phi\rho df\omega^2}{2g}. \tag{2}$$

Оскільки кутова швидкість $\varpi = d\beta/dt = 2\pi nx$, де n – частота обертання барабана, то, підставляючи значення ϖ та df у вираз (2), його можна записати як:

$$dW_{\text{кін}} = 3{,}87\phi\rho hn^3 zr^4. \tag{3}$$

Оскільки x змінюється від r_i до r_j, у результаті інтегрування виразу (3) у межах від $x = r_j$ до $x = r_i$ отримаємо рівняння роботи гребеня [8]:

$$dW_{\text{кін}} = 3{,}87\phi\rho hn^3 z(r_j - r_i), \tag{4}$$

де r – радіус;

z – кількість гребенів барабана.

Відомо, що значення опору (F), яке чинить рідина ділянці (df), розраховується згідно із законом Ньютона і залежить від її площі (S) і швидкості (ϖ), з якою вона рухається:

$$F = \xi S\frac{\varpi^2}{2g},$$

де ξ – коефіцієнт опору середовища, який залежить від площі ділянки гребеня. Його можна визначити через функцію критерію Рейнольдса (Re), тобто:

$$\xi = f(\mathrm{Re}) = f\left(\frac{nD^2\rho}{\eta}\right), \tag{5}$$

де D^2 – діаметр кола, яке описує ділянка гребеня;

n – частота обертання гребеня;

ρ – густина рідини;

η – коефіцієнт динамічної в'язкості розчину.

Визначити коефіцієнт (ξ) можна, розрахувавши елементарну роботу (dN), яку виконує ділянка на подолання опору середовища:

$$dN = dF\omega^2,$$

звідки df, згідно із законом Ньютона, буде дорівнювати $dF = \xi df$.

Якщо підставити значення $df = hdx$ і $\varpi = 2\pi nx$ у наведений вираз, то його можна записати у вигляді:

$$dN = \xi\frac{(2\pi)^3\rho n^3}{2g}hx^3dx. \tag{6}$$

Після інтегрування виразу (6) у межах значень $x = r_j$ до $x = r_i$ він набуває вигляду:

$$dN = \xi\frac{(2\pi)^3\rho n^3}{2g}h\frac{r^4}{4}, \quad \text{звідки } r^4 = \left(r_j^4 - r_i^4\right), \tag{7}$$

послідовне перетворення якого дає змогу записати рівняння сили опору рідини:

$N = \xi \mathrm{K} \rho n^3 r^5$, у якому К є безрозмірною величиною,

$$\xi = \frac{N}{n^3 \mathrm{K} \rho d^5}, \quad (8)$$

$d = 2r.$

Перепишемо ліву частину виразу (5), яка пов'язує коефіцієнт ξ з критерієм Re:

$$\frac{N}{\mathrm{K} d^5 n^3 \rho} = f\left(\frac{\pi D^2 \rho}{\eta}\right). \quad (9)$$

Одержана залежність (9) за умови, що $f = A$ може мати такий вигляд:

$$\frac{N}{d^5 n^3 \eta} = A\left(\frac{\pi D^2 \rho}{\eta}\right)^{m+1}, \quad (10)$$

звідки $m+1$ є постійною величиною, яка залежить від характеру поверхонь і може мати значення в межах $0 \le m+1 \le 1$. Для конструкції, аналогічній наведеній, її значення дорівнює 0,78 [8].

Таким чином, роботу, яку виконує елементарна ділянка гребеня барабана, можна розрахувати за формулою:

$$\frac{N}{d^3 n^2 \eta} = A\left(\frac{\pi D^2 \rho}{\eta}\right)^{0,78}, \quad \text{звідки} \quad N = A d^{4,56} n^{2,78} \eta^{0,22} \rho^{0,78}. \quad (11)$$

Якщо у виразі (11) не брати до уваги параметри густини (ρ) і в'язкості (η), які характеризують властивості рідини, то енергетичні витрати, пов'язані з переміщенням рідини гребенем або її активація, залежатимуть переважно від геометричних характеристик складових елементів барабана. З цього випливає, що активність мийного розчину в системі «пральний бак – барабан» повинна зростати зі збільшенням кількості гребенів. Проте, зважаючи на гармонійний характер роботи кожного гребеня в рідині та обтікання потоком поверхні барабана, можна зробити висновок про недостатню обґрунтованість застосування багатогребеневої конструкції барабана. Іншими словами, підвищення ступеня активації рідини за рахунок збільшення кількості гребенів на характер масообмінних процесів у системі «пральний бак – барабан» не впливатиме, оскільки гідравлічний опір його поверхні та матеріалів при цьому не буде змінюватися. Отже, гіпотезу про зміну параметричних характеристик гребенів барабана як одного з чинників поліпшення ефективності прання [9] можна відхилити. Додамо, що за результатами проведених пізніше досліджень такої залежності не встановлено [10–12]. Очевидно, що зі збільшенням кількості гребенів зростатиме енергія взаємодії текстильних матеріалів з металевими частинами барабана. За таких умов величина показника «втрата міцності зразків до розривання» може перевищувати нормоване значення.

Висновки і пропозиції. Доцільність збільшення кількості гребенів барабана теоретичними розрахунками не підтверджується: враховуючи особливості технологічного процесу оброблення текстильних виробів, встановлена кількість гребенів (три) є достатньою для активації мийного розчину, перемішування текстильних виробів і необхідною для забезпечення вимог щодо рівномірності оброблення матеріалів.

З погляду на тенденції розвитку сучасних технологій оброблення текстильних матеріалів удосконалення технічних характеристик пральних машин напрям модернізації їх гідросистем є більш перспективним, оскільки саме масообмінні процеси визначають екологічну безпеку цих приладів.

Список використаних джерел

1. *Орчинский С. В.* Влияние геометрии гребней барабана стирально-отжимной машины на ее функциональные и эксплуатационные показатели / С. В. Орчинский, А. М. Усольцев, И. И. Исаенко // Производственно-технический опыт. – М. : ЦНТИ «Поиск», 1989. – № 8. – С. 99–101.

2. *Усольцев А. М.* Моделирование формы поверхностей гребней барабана стиральной машины для обеспечения задаваемого изменения их воздействия на обрабатываемый материал / А. М. Усольцев, И. В. Петко // Вестник Херсонского гос. технич. университета: научно-техн. журнал. – Херсон : ХГТУ, 1999. – № 2. – С. 167–171.

3. *Волков В. А.* Поверхностно-активные вещества в моющих средствах и усилителях химической чистки / В. А. Волков. – М. : Легпромбытиздат, 1985. – 200 с.

4. *Методика* расчета бытовых барабанных стиральных машин / Е. А. Панфилов, А. И. Набережных, И. Ф. Заславский и др. – М. : Электротехника, 1985. – № 6. – С. 33–36.

5. *Верников А. Н.* Обработка текстильных изделий в водных растворах СМС / А. Н. Верников, В. Ф. Андросов. – М. : Легпромбытиздат, 1986. – 223 с.

6. *Анализ* работы и рекомендации по повышению показателей качества бытовых стиральных машин барабанного типа / Е. А. Панфилов, А. И. Набережных, В. Н. Малахов, Б. У. Сыздыкбаева. – М. : Мин. быт. обсл. насел. РСФСР, МТИ, 1980. – 84 с.

7. *Бойко В. Ф.* Движение жидкости в тонких кольцевых щелях / В. Ф. Бойко // Напорное движение жидкости во вращающихся каналах и гидротранспорт. – М. : МИИТА, 1971. – Вып. 386. – С. 73–86.

8. *Кононюк А. Е.* Справочник конструктора оборудования пищевых производств / А. Е. Кононюк, В. А. Басанько. – К. : Техника, 1981. – 320 с.

9. *Альтшуль А. Д.* Гидродинамические сопротивления / А. Д. Альтшуль. – 2-е изд. перераб. и доп. – М. : Недра, 1982. – 224 с.

10. *Орчинский С. В.* Механическое и физико-химическое воздействие на обрабатываемые текстильные изделия как факторы, определяющие качество стирки / С. В. Орчинский, И. И. Исаенко, А. М. Усольцев // Технология. Разработка электробытовых машин : науч.-техн. сборн. КНПО «Веста». – К., 1989. – С. 63–72.

11. *Орчинский С. В.* Математическое моделирование механического фактора стирки в барабанных стиральных машинах / С. В. Орчинский, В. В. Пархоменко // Сб. науч. тр. ВНИЭКИЭМП. – К., 1988. – С. 100–109.

12. *Влияние* конструктивно-технологических факторов на функциональные показатели барабанных стиральных машин / С. В. Орчинский, П. И. Нагорный, Е. И. Похиленко, Ю. Ф. Тарасов, А. И. Разинков // Разработка электробытовых машин. –К. : ЦНТИ «Поиск», 1989. – С. 72–82.

УДК 620.197.3

В.М. Челябієва, канд. техн. наук
О.М. Савченко, канд. техн. наук
О.І. Сиза, д-р техн. наук
Чернігівський національний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

ВПЛИВ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ФАКТОРІВ НА ВМІСТ ВІТАМІНУ С У ФРУКТОВИХ СОКАХ

В.Н. Челябиева, канд. техн. наук
О.Н. Савченко, канд. техн. наук
О.И. Сизая, д-р техн. наук
Черниговский национальный технологический университет, г. Чернигов, Украина

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА СОДЕРЖАНИЕ ВИТАМИНА С ВО ФРУКТОВЫХ СОКАХ

Viktoriia Cheliabiieva, PhD in Technical Sciences
Olesia Savchenko, PhD in Technical Sciences
Olha Syza, Doctor of Technical Sciences
Chernihiv National University of Technology, Chernihiv, Ukraine

INFLUENCE OF TECHNOLOGICAL FACTORS ON THE CONTENT OF VITAMIN C IN FRUIT JUICES

Досліджено вплив технологічних умов виробництва фруктових соків на вміст вітаміну С. Показано залежність кількості аскорбінової кислоти від ферментативної активності специфічної аскорбатоксидази, кисню повітря й інших продуктів окиснення, які утворюються в результаті діяльності різних оксидаз. Запропоновано режим оброблення для збереження вітаміну С у фруктових соках.

Ключові слова: *вітамін С, технологічні умови, фруктові соки.*

Исследовано влияние технологических условий производства фруктовых соков на содержание в них витамина С. Показана зависимость количества аскорбиновой кислоты от ферментативной активности специфической аскорбатоксидазы, кислорода воздуха и других продуктов окисления, которые образуются в результате деятельности разных оксидаз. Предложен режим обработки для сохранения витамина С во фруктовых соках.

Ключевые слова: *витамин С, технологические условия, фруктовые соки.*

Investigated the dynamics of the content of vitamin C in fruits juice depending on the technological conditions of production. Showed that the content of ascorbic acid depends on the activity of specific ascorbatoxidases, quinones and other oxidation products, which are produced by a variety of oxidases. Offered the methods of preservation of vitamin C in fruit juices.

Key words: *vitamin C, technological conditions, fruit juices.*

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Вітамін С, або аскорбінова кислота – найпоширеніший вітамін. Він виявляє антиоксидантні властивості, бере участь у регулюванні обміну вуглеводів та згортанні крові, сприяє регенерації тканин, підвищує стійкість організму до інфекцій, знижує потребу людини у деяких інших вітамінах.

На відміну від багатьох тварин, організм людини не здатен синтезувати вітамін С, тому людина повинна постійно отримувати його з їжею. Добова потреба дорослої людини у вітаміні С становить 100 мг, а для дитини – 20–60 мг. Дефіцит вітаміну С призводить до послаблення імунної системи, уповільнення регенерації тканин, кровоточивості ясен, випадіння зубів, варикозного розширення вен, надлишкової ваги, підвищеної втоми, роздратування, депресій, безсоння, випадіння волосся, погіршення зору [1–4].

Основним джерелом вітаміну С є рослини. Повсякденна потреба у цьому вітаміні задовольняється за рахунок вживання капусти, картоплі, зеленої цибулі, томатів; багато аскорбінової кислоти міститься у зеленому солодкому перці, червоному перці, смородині, ківі, хроні, суниці, щавлі, цитрусах тощо. Природним концентратом вітаміну С є шипшина – у 100 г сушених плодів шипшини міститься до 1500 мг аскорбінової кислоти.

Постановка проблеми. Вміст вітамінів є одним із важливих показників біологічної повноцінності продуктів харчування. Однак на вміст вітаміну С, наприклад, у овочах та фруктах, значно впливають тривалість і спосіб їх зберігання та технологічна обробка.

Відомо, що при виготовленні фруктових соків частина вітаміну С втрачається. У літературних джерелах обмежена інформація щодо впливу технологічних особливостей приготування соків на динаміку вмісту в них вітаміну С. Тому удосконалення технологічних умов виготовлення фруктових соків з метою збереження їх вітамінної цінності є актуальним завданням.

Мета роботи. Дослідження вмісту вітаміну С залежно від умов приготування фруктових соків (яблучного, смородинового, лимонного) та встановлення основних особливостей для запобігання його руйнування.

Викладення основного матеріалу дослідження. Вміст вітаміну С досліджували йодометричним методом через пряме титрування соку яблук (сортів «Айдаред», «Гала»), яблучного соку домашнього консервування (час заготовки серпень-вересень) та торгової марки «Наш сік», смородини свіжозамороженої, лимона. Для визначення відбирали пробу соку об'ємом 10 $см^3$, розбавляли дистильованою водою у мірній колбі до 100 $см^3$. Отриманий розчин переносили у конічну колбу, добавляли 1–2 $см^3$ 1%-го розчину крохмалю і титрували робочим розчином до утворення синього забарвлення, яке не зникає протягом 10 с. Робочий розчин – 0,005 н I_2. Дослідження проводили у березні, тобто після тривалого зберігання фруктів. Результати представлені у табл. 1.

Таблиця 1

Порівняльні дані вмісту вітаміну С у досліджуваних соках

Вміст вітаміну С у соках, мг/100 $см^3$					
Яблук сорту «Айдаред»	Яблук сорту «Гала»	Сік яблучний домашнього консервування	Яблучний сік торгової марки «Наш сік»	Смородини свіжозамороженої	Лимона
7,7	19,8	15,4	5,3	189,2	50,2

За результатами, представленими в табл. 1, можна зробити висновок, що вміст вітаміну С у смородині перевищує у 3,5 раза його вміст у лимоні, а вміст вітаміну С у яблуках залежить від їх сорту й у 2,5–6,5 разів менший, ніж у лимоні. Виявлено, що вміст вітаміну С у консервованих соках домашнього приготування майже у 3 рази перевищує його вміст у промисловому соку торгової марки «Наш сік». Це може бути пояснено використанням різних сортів яблук для виготовлення та особливостями технологічного процесу.

Дослідили вплив на вміст вітаміну С температурної обробки та часу зберігання на відкритому повітрі свіжовіджатого соку з яблук (табл. 2).

Таблиця 2

Вплив температурної обробки та часу зберігання на відкритому повітрі на вміст вітаміну С в яблучному соку (pH соку 4,1)

Режим обробки	**Послідовність та параметри обробки**		**Вміст вітаміну С, мг/100 $см^3$**
1	1	Свіжовіджатий сік з яблук сорту «Гала» (t = 20°C)	19,8
	2	Кип'ятіння соку протягом 10 хв	18,5
	3	Зберігання на відкритому повітрі, протягом 20 хв при t = 20°C	17,6
	4	Зберігання на відкритому повітрі, протягом 30 хв при t = 20°C	15,4
	5	Кип'ятіння соку після зберігання 30 хв на відкритому повітрі	18,5
2	1	Зберігання на відкритому повітрі, протягом 24 год при t = 20°C	6,2
	2	Кип'ятіння соку після зберігання на відкритому повітрі	9,7
3	1	Нагрівання свіжовіджатого соку на водяній бані 25 хв при t=80°C без додавання цукру	19,8
4	1	Нагрівання свіжовіджатого соку на водяній бані 25 хв при t=80°C з додаванням цукру	19,8
5	1	Нагрівання на водяній бані 25 хв при t=80°C свіжовіджатого соку, який простояв на повітрі 30 хв	16,8
	2	Кип'ятіння соку після нагрівання	19,8

Виявлено, що кип'ятіння соку після зберігання на повітрі дозволяє частково відновити вміст вітаміну С. Так, при зберіганні на відкритому повітрі соку яблук протягом 20–30 хв при t =20°С втрачається 11–22 % вітаміну С (табл. 2, режим обробки 1), тоді як наступне кип'ятіння цього соку призводить до відновлення вмісту вітаміну С до 93,4 % від первинної кількості (тобто зростає на 15 %). Якщо свіжовіджатий яблучний сік зберігався більше доби (режим 2), то вміст вітаміну С значно зменшується і становить лише 31,3 %. Після кип'ятіння такого соку вміст вітаміну відновлюється на 17 % і становить 48,3 % від вмісту у свіжовіджатому соку.

Встановлено також, що при зниженні температури обробки до 80 °С (режими 3, 4) вміст вітаміну С зберігається у повному обсязі, тоді як за умов кип'ятіння соку відразу після його отримання вміст вітаміну знижується на 6,6 % (табл. 2, режим 1, пункт 2). Перевірка за режимом 5 показала, що попереднє нагрівання на водяній бані при 80 °С з подальшим кип'ятінням дозволяє повністю відновити вміст вітаміну С.

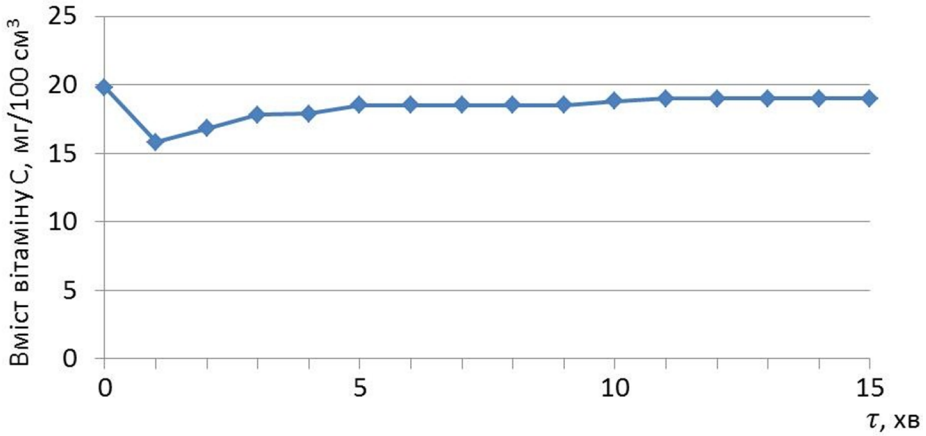


Рис. 1. Залежність вмісту вітаміну С в яблучному соку від часу кип'ятіння

Наступним етапом роботи було дослідження впливу часу стерилізації яблучного соку на вміст вітаміну С (рис. 1). З'ясовано, що найменший вміст вітаміну С спостерігається через 1 хв кип'ятіння соку – 15,5 мг/100 см^3; після 10 хв – зростає до 18,5 мг/100 см^3; за 15 хв – 19,2 мг/100 см^3, а далі, незалежно від тривалості кип'ятіння, вміст вітаміну не змінюється.

Для порівняння було досліджено вплив тривалості кип'ятіння на стійкість чистого препарату вітаміну С у дистильованій воді (рис. 2). Відзначається руйнування вітаміну С на 12 % (при pH 4,3).

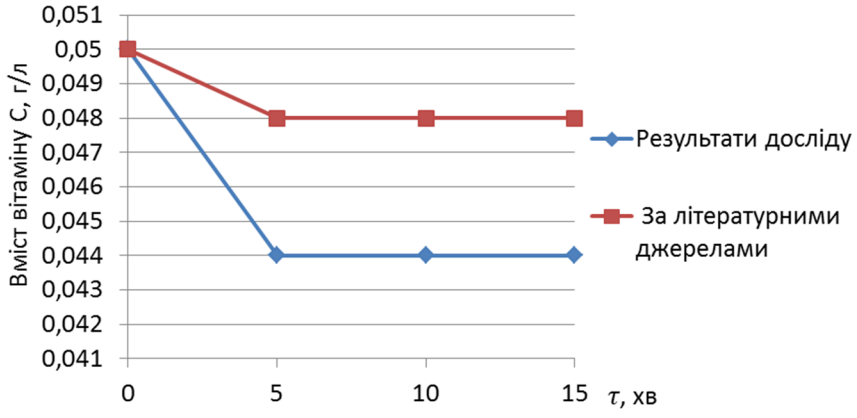


Рис. 2. Вплив тривалості кип'ятіння на стійкість чистого препарату вітаміну С (pH 4,3)

Тобто чистий препарат вітаміну С руйнується при кип'ятінні дещо більше, ніж вітамін С яблучного соку. Таке явище пояснюється найбільшою особливістю вітаміну С – здатніс-

тю до відновлення його окисненої форми ферментом аскорбінредуктазою, що міститься у фруктах. Цей фермент прискорює окиснення аскорбінової кислоти, перетворюючи її в дегідроформу. В аскорбатоксидазі роль активної групи виконує Купрум (вміст його у ферменті 0,24 %), що змінює свою валентність у ході каталізу. Під впливом ферменту L-аскорбінова кислота легко окиснюється киснем повітря у L-дегідроаскорбінову кислоту.

L-аскорбінова кислота та її дегідроформа утворюють окисно-відновну систему, яка може як віддавати, так і приймати Гідроген. Дегідроформа виконує роль акцептора Гідрогену і легко відновлюється в аскорбінову кислоту ферментом аскорбінредуктазою, яка підводить до неї Гідроген, віднімаючи його від різних субстратів. Необхідною умовою активності аскорбінредуктази є присутність глютатіону, який є трипептидом, що складається із залишків глютамінової кислоти, цистеїну й амінооцтової кислоти. Глютатіон зустрічається в усіх рослинних і тваринних клітинах. Роль глютатіону, у процесі переходу дегідроаскорбінової кислоти в аскорбінову під дією аскорбінредуктази, зводиться до передачі йонів Гідрогену дегідроформі, переводячи її в аскорбінову кислоту. Сам глютатіон переходить в окиснену форму, при цьому окиснюється його сульфгідрильна група (SH), утворюючи окиснені молекули глютатіону, зв'язані між собою дисульфідним зв'язком (—S–S—):

$$2R\text{–}SH + C_6H_6O_6 \xrightarrow{\text{аскорбінредуктаза}} R\text{–}S\text{–}S\text{–}R + C_6H_8O_6.$$

Швидкість поновлення вітаміну С залежить від активності аскорбінредуктази, кількості глютатіону та виду продукту. Здатність аскорбінредуктази до поновлення значно вища від окиснювальної активності аскорбатоксидази. Висока активність сприяє більш інтенсивному протіканню процесу відновлення вітаміну С, ніж її окиснювання аскорбіназою.

Інші стабілізатори, що поновлюють окиснену форму вітамінів, такі як цистеїн, тіогліколева, тіомолочна кислоти, відновлюють вітамін С енергійніше й у ширшому діапазоні pH, ніж аскорбінредуктаза.

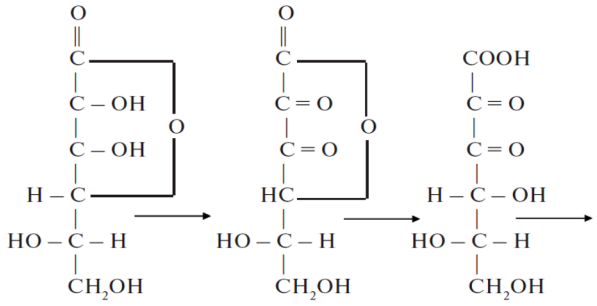
Механізм дії білків, амінокислот, пептонів, глютатіону обумовлений хімічною будовою молекул цих речовин. Вони мають вільні амідні й карбоксильні групи, які здатні хімічно зв'язувати Купрум – окисний ферментативний агент. Під час кип'ятіння стабілізуючий ефект білків посилюється, тому що відбуваються згортання й осадження комплексу «білок – Купрум», і тим самим знижується окисна активність ферменту.

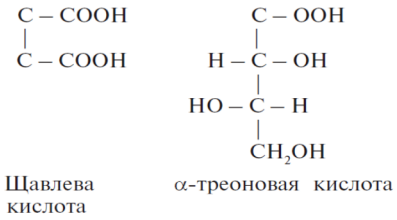
Серед умов, що впливають на швидкість окислення аскорбінової кислоти, дуже важливу роль відіграє водневий показник середовища. Найвищу активність аскорбатоксидаза має при pH 6,0. Тому вітамін С більш стійкий у кислому середовищі, малостійкий у нейтральному і надзвичайно швидко розпадається в лужному (рис. 3).

З рис. 3 видно, що зі зростанням pH яблучного соку вміст вітаміну С знижується, тому що підвищується активність аскорбатоксидази. У лужному середовищі під впливом гідроксильних йонів вітамін С руйнується згідно зі схемою.

У різних рослинних продуктах активність аскорбатоксидази неоднакова. Вона дуже висока в огірках, кабачках і низька в картоплі, капусті. Так, за 2 год при 18 °С аскорбатоксидаза огірків переводить в окислену форму в 60 разів більше аскорбінової кислоти, ніж аскорбатоксидаза картоплі. У деяких овочах (бруква, солодкий перець, ріпчаста цибуля) і фруктах та ягодах (цитрусові, шипшина, смородина) аскорбатоксидази немає [2].

Лимонний сік не містить аскорбатоксидазу, тому вітамін С не руйнується при зберіганні соку лимона на відкритому повітрі впродовж 30 хвилин, нагріванні на водяній бані та кип'ятінні (табл. 3).





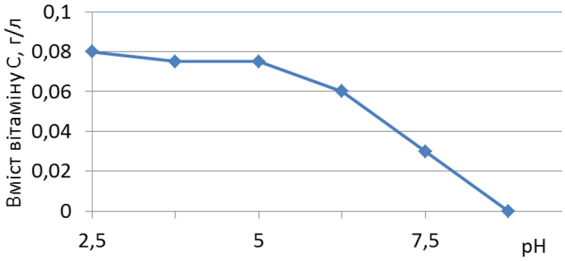


Рис. 3. Вплив pH на стійкість вітаміну С яблучного соку яблук сорту «Айдаред»

Таблиця 3

Вплив температурної обробки на вміст вітаміну С у соку лимона

Умови обробки	**Вміст вітаміну С, мг/100 см^3**
Досліджувався сік лимону з вмістом вітаміну С 50,2 мг/100 см^3	
Зберігання на відкритому повітрі, протягом 30 хв при t=20^{0}С	50,2
Нагрівання на водяній бані 15 хв при t=80^0 С без додавання цукру	50,2
Нагрівання на водяній бані 15 хв при t=80^0 С з додаванням цукру	50,2
Кип'ятіння протягом 10 хв свіжовіджатого соку	50,2

Тривале зберігання призводить до окиснення вітаміну С киснем повітря – через 24 години і його вміст становить 48 мг/см^3, тобто зменшується на 4 % (рис. 4).

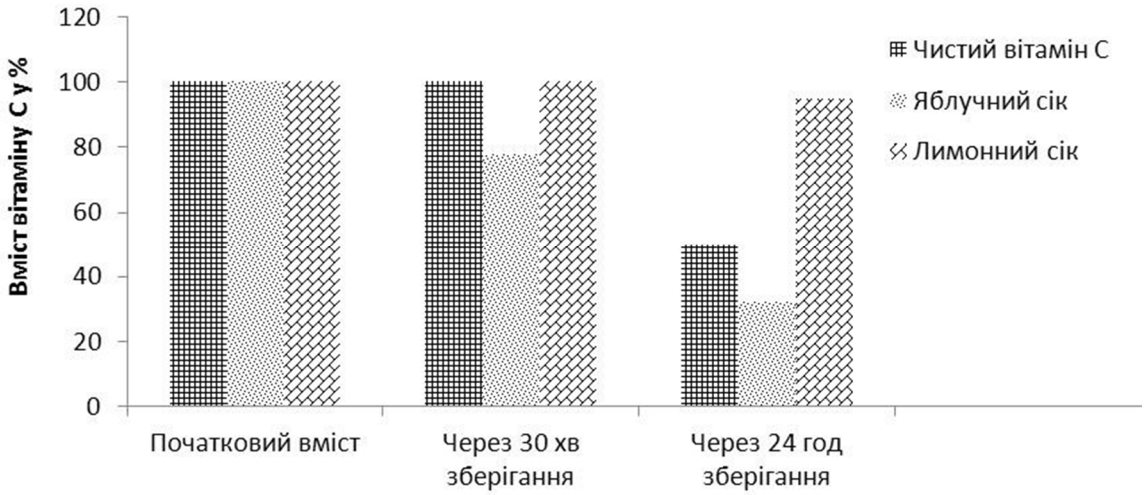


Рис. 4. Залежність вмісту вітаміну С від терміну зберігання соків

Для порівняння в табл. 4 наведений вміст вітаміну С у соках різних популярних торговельних марок.

Таблиця 4

Вміст вітаміну С у цитрусових соках згідно з літературними джерелами

Назва соку	**Вміст вітаміну С, мг/100 см^3**
Свіжовіджатий сік лимона	50,0
Свіжовіджатий сік апельсина	50,0
Сік апельсиновий «Премія»	49,5 – Виробник ООО «Нідан+», м. Берегово, Закарпатська обл. Сік відновлений з натурального концентрованого апельсинового соку, стерилізований
Сік апельсиновий «Смак»	40,5 – Виробник ДП «Напої», м. Ніжин, Чернігівська обл. Сік відновлений з концентрованого соку
Сік апельсиновий «Сандора»	46,5 – Виробник ООО «Сандора», с. Миколаївське, Миколаївська обл. Сік відновлений, неосвітлений
Сік апельсиновий «Мрія»	47,0 – Виробник ООО «МСТ Регіон», м. Київ. Сік відновлений з концентрованого соку

Висновки:

– для отримання вітаміну С організмом людини із соків-фреш, які містять аскорбатоксидазу, є доцільним вживати їх одразу після приготування, не залишаючи на відкритому повітрі;

– у разі консервування соків із фруктів, які містять аскорбатоксидазу, сік необхідно пастеризувати або кип’ятити одразу, оскільки інактивується цей фермент; при цьому оптимальним технологічним режимом виготовлення фруктових соків є попереднє нагрівання при 80 °С з подальшим кип’ятінням;

– для зберігання вітаміну С під час приготування сирі овочі варто занурювати у киплячу рідину, оскільки в такому середовищі відсутній кисень і швидко інактивуються фермент, який окиснює вітамін;

– доцільно споживати окремо овочі та фрукти, які містять аскорбатоксидазу (яблука, огірки), та ті, що її не містять (лимон, смородина, апельсин, зелена цибуля);

– з метою збереження вітаміну С у продуктах харчування не допускається додавання харчової соди або смакових добавок, які підвищують pH середовища, тому що вітамін у лужному середовищі швидко руйнується.

Список використаних джерел

1. *Тюкавкина Н. А.* Биоорганическая химия : учебник для вузов / Н. А. Тюкавкина, Ю. И. Бауков. – М. : Дрофа, 2004. – 544 с.

2. *Смирнов В. А.* Витамины и коферменты : учеб. пособие / В. А. Смирнов, Ю. Н. Климочкин. – Самара : Самар. гос. техн. ун-т, 2008. – 91 с.

3. *Боєчко Ф. Ф.* Біологічна хімія / Ф. Ф. Боєчко. – К. : Вища школа, 1995. – 536 с.

4. *Біохімія* : підручник / М. Є. Кучеренко та ін. – К. : Либідь, 1995. – 464 с.

РОЗДІЛ VIII. ТЕХНОЛОГІЇ ОХОРОНИ ПРАЦІ ТА ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ

УДК 681.5(042.3)

В.В. Семко, канд. техн. наук
Державний університет телекомунікацій, м. Київ, Україна

МОДЕЛЮВАННЯ ТУРБУЛЕНТНОСТІ ПРИЗЕМНОГО ШАРУ АТМОСФЕРИ

В.В. Семко, канд. техн. наук
Государственный университет телекоммуникаций, г. Киев, Украина

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТУРБУЛЕНТНОСТИ ПРИЗЕМНОГО СЛОЯ АТМОСФЕРЫ

Viktor Semko, PhD in Technical Sciences
State University of Telecommunications, Kyiv, Ukraine

SIMULATION OF ATMOSPHERIC BOUNDARY TURBULENCE

Наведено результати оброблення даних метеорологічних спостережень та синтезу ідентифікаційної моделі турбулентності приземного шару атмосфери у вигляді тримірного анізотропного поля швидкостей у класі поліномів канонічного вигляду. Згідно з математичною моделлю розроблено імітаційну модель турбулентності приземного шару атмосфери. Проведено аналіз результатів імітаційного моделювання статистичних даних метеорологічних спостережень та турбулентності приземного шару атмосфери. Отримані результати є актуальними під час створення систем управління та тренажерів безпілотних повітряних суден.

Ключові слова: *математична модель, імітаційна модель, атмосферна турбулентність, ідентифікація, безпілотне повітряне судно.*

Приведены результаты обработки данных метеорологических наблюдений и синтеза идентификационной модели турбулентности приземного слоя атмосферы в виде трехмерного анизотропного поля скоростей в классе полиномов канонического вида. В соответствии с математической моделью разработана имитационная модель турбулентности приземного слоя атмосферы. Проведен анализ результатов имитационного моделирования статистических данных метеорологических наблюдений и турбулентности приземного слоя атмосферы. Полученные результаты являются актуальными при создании систем управления и тренажеров беспилотных воздушных судов.

Ключевые слова: *математическая модель, имитационная модель, атмосферная турбулентность, идентификация, беспилотное воздушное судно.*

The results of the data of meteorological observations and synthesis of identification turbulence model of the surface layer of the atmosphere in the form of three-dimensional anisotropic velocity field in the class of polynomials in the canonical form are presented. According to the mathematical model developed simulation model of the atmospheric boundary layer turbulence. The results are relevant when creating control systems and pilotless air ship simulators.

Key words: *mathematical model, simulation model, atmospheric turbulence, identification, pilotless air ship.*

Постановка проблеми. Моделювання турбулентності приземного шару атмосфери у вигляді тримірного анізотропного поля швидкостей є актуальним щодо опрацювання принципів пілотування безпілотних повітряних суден (БПС) у ручному та директорному режимі управління.

Під час оброблення результатів метеорологічних спостережень і моделюванні руху БПС у приземному шарі атмосфери прийнято поділяти швидкість вітру на середній вітер, що має детермінований закон зміни у просторі, та атмосферну турбулентність, яка за сутністю є хаотичними вихровими рухами атмосфери.

Методи, які використовуються для моделювання атмосферної турбулентності, залежать від особливостей застосування результатів. Вони визначаються режимом польоту БПС, його конструкцією і геометричними розмірами. Якщо геометричні розміри літального апарата малі у порівнянні з характерним розміром турбулентних вихорів, то можна вважати, що в усіх точках його поверхні швидкості поривів вітру однакові.

Якщо при цьому траєкторія польоту БПС близька до прямолінійної, задача моделювання атмосферної турбулентності може бути зведена до моделювання одновимірних випадкових процесів, для опису яких використовується їх спектральна щільність.

Якщо геометричні розміри БПС сумірні з масштабом турбулентності і/або траєкторія його польоту істотно відрізняється від прямолінійного польоту, з'являється необ-

хідність моделювання атмосферної турбулентності у вигляді тривимірного випадкового поля. Це дозволяє врахувати додаткові прирости аеродинамічних сил і моментів, що виникають за рахунок нерівномірного розподілу поривів вітру по поверхні БПС.

Зазвичай під час аналізу результатів метеорологічних спостережень використовується земна система координат, яка орієнтована на напрям середнього вітру. Таким чином, вісь спрямована на напрям середнього вітру. Напрям середнього вітру в нижньому шарі висот вважається незмінним, що характерно для нейтрального стану атмосфери, який трапляється в більшості метеорологічних спостережень.

Аналіз досліджень і публікацій. Турбулентність за функцією щільності розподілу швидкості поривів відрізняється від нормального закону розподілу. В подальшому будемо виходити з припущення про горизонтальну однорідність і стаціонарність поля турбулентності [1]. Такі припущення виправдані для широкого класу завдань. Відомо, що постійна часу зміни статистичних характеристик турбулентності у фіксованій точці простору становить декілька годин. Статистичні характеристики можуть змінюватися в результаті добового ходу температури, проходження атмосферних фронтів і т. ін. Тому для малих інтервалів часу статистичні характеристики атмосферної турбулентності залишаються незмінними [2].

Виділення не вирішених раніше частин глобальної проблеми. Атмосферна турбулентність має вплив на зміну траєкторії просторового руху БПС [3]. З метою дослідження впливу атмосферної турбулентності на просторовий рух БПС створюється імітаційна модель атмосферної турбулентності. У подальшому імітаційна модель може використовуватись як в ергатичній системі управління безпілотного повітряного судна в автоматичному й автоматизованому режимах польоту, так і у тренажерах.

Мета статті. Головною метою роботи є розроблення математичної та імітаційної моделі анізотропного поля швидкостей атмосферної турбулентності як середовища функціонування ергатичної системи управління БПС.

Виклад основного матеріалу. Під час створення моделі атмосферної турбулентності як похідні дані були використані результати метеорологічних спостережень атмосферної турбулентності в районі здійснення польотів БПС.

Після опрацювання даних метеорологічних спостережень була отримана ідентифікаційна модель у класі поліномів шостого ступеня в канонічному вигляді [4] для обчислення значень математичного очікування

$$M(H) = (0,488 + 2,83 \cdot H - 0,8 \cdot H^2 + 0,989 \cdot H^3 + 0,00239 \cdot H^4 - 0,0000596 \cdot H^5 - \\ -0,00000598 \cdot H^6) \cdot 0,00003 + k \quad (1)$$

та дисперсії

$$D(H) = (17,9 + 6,65 \cdot H - 3,06 \cdot H^2 + 0,393 \cdot H^3 + 0,0196 \cdot H^4 - 0,000492 \cdot H^5 - \\ -0,0000243 \cdot H^6) \cdot 0,000025 + m \quad (2)$$

абсолютних значень поривів вітру.

Коефіцієнти k у співвідношенні (1) та m у співвідношенні (2) визначаються за отриманими даними метеорогічних спостережень атмосферної турбулентності в конкретному місці. Для співвідношень (1) та (2) визначені k=27, m=12.

Слід зазначити, що кількість членів поліномів (1) і (2) визначається вимогами точності до функції найкращого наближення за умовами Лагранжа.

За ідентифікаційними моделями, які наведено у співвідношеннях (1) та (2), розроблено програмні засоби.

Результати імітаціонного моделювання математичного очікування (рис. 1) та дисперсії (рис. 2) за співвідношеннями (1) та (2) показали їх відповідність ідентифікаційних моделей похідним даним метеорологічних спостережень.

Під час визначення проекцій зустрічної та бокової складової вектора швидкості вітру V_x були використані припущення про те, що значення математичного очікування зустрічної складової швидкості вітру дорівнює значенню математичного очікування за результатами метеорологічних спостережень, а значення знаходяться у діапазоні

$$\left|\vec{V}_x\right| \in \left[M(H)-\Delta, M(H)+\Delta\right]. \tag{3}$$

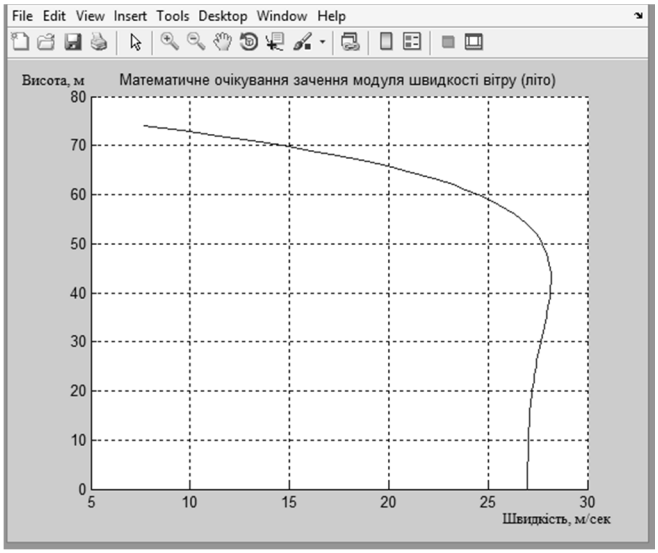


Рис. 1. Результати моделювання математичного спостереження

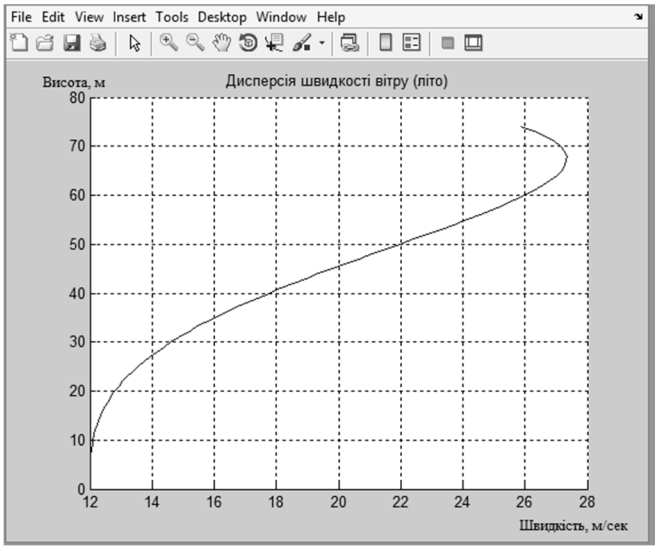


Рис. 2. Результати моделювання дисперсії

Величина Δ у співвідношенні (3) визначається на підставі теореми про те, що відхилення випадкової величини *x*, яка розподілена за нормальним законом, від математичного очікування *M(x)* не буде більшим за значенням, ніж модуль величини $\Delta > 0$.

Визначимо функцію для інтегральної формули Муавра-Лапласа

$$\Phi\left(\frac{\Delta}{2}\right) = P\left(\left|x - M(x)\right|\right) \le \Delta, \tag{4}$$

де $P(|x - M(x)|)$ – значення вірогідності, яке задається; $\Phi\left(\frac{\Delta}{2}\right)$ – функцію для інтегральної формули Муавра-Лапласа.

$$\Phi\left(\frac{\Delta}{2}\right) = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{\frac{\pi}{2}} e^{-\frac{t^2}{2}} dt \,. \tag{5}$$

Для обчислення значення Δ зі співвідношень (4) та (5) за результатами апроксимації знайдено функцію, яка є оберненою до функції $\Phi\left(\frac{\Delta}{2}\right)$,

$$\Delta = -0,21 + 9,78 \cdot y - 53 \cdot y^2 + 103 \cdot y^3 - 50,1 \cdot y^4 + 1 + 1,75 \cdot y^5 - 68,9 \cdot y^6 + 60,9 \cdot y^7, \tag{6}$$

де y – випадкова величина середнього значення швидкості вітру.

Співвідношення (6) дозволяє обчислити діапазон значень $\left|\vec{V}_x\right|$ та $\left|\vec{V}_z\right|$ згідно зі співвідношенням (3). Слід зазначити, що значення $\left|\vec{V}_x\right|$, яке визначене співвідношенням (3), відповідає рівномірному закону розподілу. Знак проекції $\left|\vec{V}_x\right|$ визначається випадковим чином за рівномірним законом розподілу.

Бокова складова вектора швидкості вітру визначається, як

$$\left|\vec{V}_z\right| = \left|\vec{V}_x\right| \cdot \mathrm{Sin}\,\alpha \,, \tag{7}$$

де V_z – величина бокової складової швидкості вітру, V_x – величина зустрічної складової швидкості вітру,

$$\alpha = \overset{\wedge}{\vec{V}\ \vec{V}_z}. \tag{8}$$

Величина кута $\alpha \in [0,2\pi)$ і визначається для співвідношення (8) за нормальним законом розподілення.

Значення модуля проекції швидкості вітру V_z обчислюється згідно зі співвідношенням

$$\left|\vec{V}_y\right| = \sqrt{\left(M(H)\right)^2 - \left(\left|\vec{V}_x\right|\right)^2 - \left(\left|\vec{V}_z\right|\right)^2} \,, \tag{9}$$

а знак визначається за рівномірним законом розподілу.

Вертикальна проекція вектора швидкості вітру V_y має трапецієвидну форму, для якої визначається крутизна зростання фронту пориву вітру, а знак визначається за рівномірним законом розподілу.

Виходячи зі співвідношень (1)–(9), було розроблено імітаційну модель, результати роботи якої наведено на рис. 3.

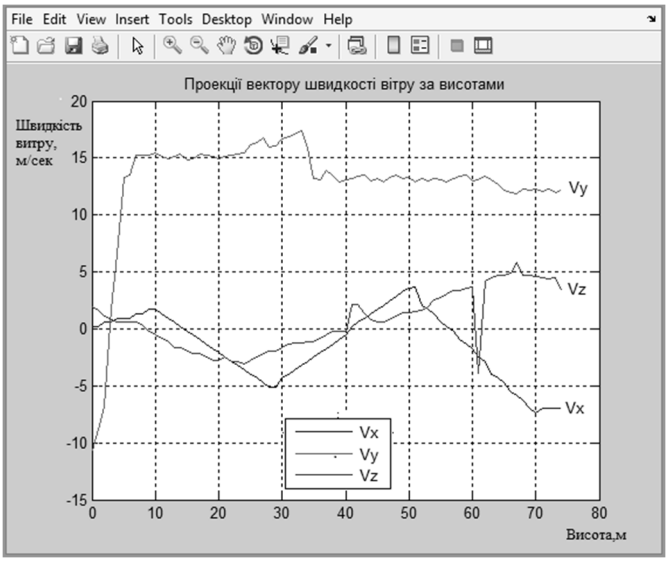


Рис. 3. Результати моделювання атмосферної турбулентності

Порівняння результатів імітаційного моделювання атмосферної турбулентності в діапазоні висот до 75 метрів з експериментальними даними показало відповідність результатів розрахунків даним метеорологічних спостережень.

Імітаційні моделі та програмні засоби можуть бути застосовані у складі ергатичної системи управління БПС під час вирішення задачі конфлікту за умов обмежень та невизначеності, а також у складі тренажерів для пілотів БПС [5].

Висновки і пропозиції. Запропонована модель атмосферної турбулентності може бути використана під час проектування БПС для оцінювання розмірів та конструктивних особливостей, створення ергатичної системи управління, опрацювання моделей використання, створення тренажерів.

Для системи літаководіння імітаційна модель атмосферної турбулентності надає можливість оцінювання навігаційних параметрів польоту БПС (просторового положення та швидкості) у районі польотів.

Список використаних джерел

1. *Богаткин О. Г.* Основы авиационной метеорологии / О. Г. Богаткин. – СПб. : РГГМУ, 2009. – 338 с.

2. *Грязин В. Е.* Моделирование пространственного поля скоростей атмосферной турбулентности приземного слоя атмосферы / В. Е. Грязин // Ученые записки ЦАГИ. – 1999. – Вип. № 3-4, т. XXX. – С. 127–138.

3. *Авіоніка* безпілотних літальних апаратів / В. П. Харченко, В. І. Чепіженко, А. А. Тунік, С. В. Павлова. – К. : Абрис-принт, 2012. – 464 с.

4. *Семко В. В.* Диалоговая система восстановления многомерных эмпирических зависимостей / В. Н. Голего, В. А. Коротеев, В. В. Семко // Кибернетика и вычислительная техника. – 1985. – Вып. 68. – С. 72–78.

5. *Семко В. В.* Применение метода интегрального усечения вариантов при синтезе стратегий управления подвижным объектом / В. В. Семко, В. В. Павлов // Кибернетика и вычислительная техника. – 1989. – Вып. 84. – С. 1–6.

ОСНОВНІ ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ ТА ПОДАЧІ РУКОПИСІВ НАУКОВИХ СТАТЕЙ ДО «ВІСНИКА ЧЕРНІГІВСЬКОГО ДЕРЖАВНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ. СЕРІЯ "ТЕХНІЧНІ НАУКИ"»

Вимоги щодо підготовки рукописів статей для публікації у «Віснику Чернігівського державного технологічного університету. Серія "Технічні науки"», який внесено до Переліку наукових фахових видань ВАК України, затвердженого постановою Президії ВАК України від 1 липня 2010 року № 1-05/5 (Бюлетень ВАК України № 7, 2010).

Шановні дописувачі!

Спочатку просимо надіслати Вашу статтю, рецензію та довідку про автора (ів), оформлені за наведеними нижче вимогами, для попереднього розгляду редакційною колегією «Вісника Чернігівського державного технологічного університету. Серія "Технічні науки"». Після отримання позитивного відгуку прохання сплатити вартість статті і надсилати весь пакет документів до відділу науково-дослідної частини ЧНТУ.

У зв'язку з включенням «Вісника Чернігівського державного технологічного університету. Серія "Технічні науки"» до міжнародної наукометричної бази даних eLIBRARY.RU просимо Вас звернути увагу на деякі зміни в пакеті документів.

1. **Для публікації статті** у «Віснику Чернігівського державного технологічного університету. Серія "Технічні науки"» необхідно в обов'язковому порядку подати:

– електронний варіант статті, оформленої за зразком (Додаток А);

– рецензію на статтю за підписом доктора наук;

– довідку про авторів, заповнену за наведеним бланком (Додаток Б). Звертаємо Вашу увагу, що ім'я та по батькові автора(ів) подаються повністю;

– квитанцію про сплату вартості публікації наукової статті (Додаток В);

– згоду на публікацію у формі Договору про передачу права на використання твору (бланк Договору розміщено на сайті університету).

2. Вимоги до наукової статті. Наукова стаття повинна відповідати тематичному спрямуванню збірника.

Статтю можна подавати однією з трьох мов: українською, російською, англійською.

Обсяг статті повинен бути таким: мінімум – 5 повних сторінок, максимум – 10 сторінок (остання сторінка має бути заповнена не менш ніж на 3/4).

Стаття подається як у роздрукованому вигляді, так і в електронному варіанті на оптичному диску CD (DVD) або надсилається електронною поштою на адресу: chntu.ndch@gmail.com. Текст статті набирається з використанням комп'ютерних текстових редакторів Word for Windows 97/2000/XP.

3. Структура статті. До друку у «Віснику Чернігівського державного технологічного університету. Серія "Технічні науки"» приймаються лише наукові статті, які мають такі необхідні елементи: УДК. Автори. Назва наукової або освітньої установи, де працюють автори. Назва статті. Анотації. Ключові слова. **Вся інформація про автора (ів), назва статті, анотація і ключові слова подається трьома мовами: українською, російською, англійською.** Постановка проблеми. Аналіз останніх досліджень і публікацій. Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. Мета статті. Виклад основного матеріалу. Висновки і пропозиції. Список використаних джерел.

4. Параметри сторінки повинні бути такими:

Формат А4 (210×297 мм).

Поля: верхнє, нижнє та бокові – 25 мм.

Верхній і нижній колонтитули, а також номери сторінок не вводити. Текст повинен бути вирівняний по ширині сторінки.

КАТЕГОРИЧНО ЗАБОРОНЯЄТЬСЯ У СТАТТІ ВИКОРИСТАННЯ АВТОМАТИЧНОЇ РОЗСТАНОВКИ ПЕРЕНОСІВ ТА АВТОМАТИЧНИХ СПИСКІВ. УСІ СПИСКИ ПРОСТАВЛЯЮТЬСЯ У РУЧНОМУ РЕЖИМІ!

5. Вимоги до оформлення структурних елементів статті.

5.1. ***УДК*** – шрифт Times New Roman (кегель 12), курсив, вирівнювання по лівому краю без абзацу.

Автори – ***ініціали та прізвище*** кожного автора починати з нового рядка (шрифт Times New Roman (кегель 12), розміщення по лівому краю, без абзацного відступу, напівжирний), ***науковий ступінь або посада, якщо немає ступеня*** (шрифт Times New Roman (кегель 12), звичайний). Скорочення слід подавати згідно з ДСТУ 3582-97 "Скорочення слів в українській мові у бібліографічному описі. Загальні правила та вимоги" (наприклад: д-р екон. наук; канд. техн. наук; тис., млн, млрд; грн, дол; табл., рис. тощо). Дані про авторів подаються трьома мовами.

Назва організації – місце (я) роботи автора (-ів) (вирівнювання по лівому краю без абзацного відступу, шрифт Times New Roman (кегель 10)). Після назви організації через кому вказуються місто та країна розміщення організації (трьома мовами).

Назва статті – шрифт Times New Roman (кегель 12). Подається прописними напівжирними літерами, вирівнювання по центру без абзацу, трьома мовами.

Анотація – шрифт Times New Roman (кегель 9), курсив, вирівнювання по ширині, абзацний відступ 0,63 см, одинарний інтервал. В анотації має бути чітко сформульована головна ідея статті та коротко обгрунтована її актуальність (обсяг – 8-10 рядків). У статті подаються анотації трьома мовами: українською, російською, англійською (Додаток А).

Ключові слова – шрифт Times New Roman (кегель 9), вирівнювання по ширині, абзацний відступ 0,63 см, одинарний інтервал. Ключові слова подаються трьома мовами. Кількість ключових слів – 5–7 (Додаток А).

Основний текст – текст статті з заголовками (вирівнювання по ширині, абзац – 0,63 см, шрифт Times New Roman (кегель 12), одинарний інтервал).

Розділи статті (Постановка проблеми. Аналіз останніх досліджень і публікацій. Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. Мета статті. Виклад основного матеріалу. Висновки і пропозиції. Список використаних джерел) подаються таким шрифтом: Times New Roman, кегель 12, напівжирний, звичайний. Після назви розділу статті ставиться крапка і продовжується текст самої статті.

5.2. Інтервали між елементами статті такі:

– УДК – автори – 1;
– автори – назва організації – 1;
– назва організації – назва статті – 2;
– назва статті – анотація – 1;
– анотація – ключові слова – 1;
– ключові слова – основний текст – 1;
– основний текст – назва таблиці (верхній край рисунка) – 1;
– назва таблиці – її верхній край (нижній край рисунка – їхні назви) – 1;
– нижній край таблиці (назва рисунка) – основний текст – 1;
– основний текст – список використаних джерел – 1;
– список використаних джерел – перелік джерел – 1.

6. Цитати, таблиці, статистичні дані, цифрові показники, що підвищують рівень аналітичних матеріалів, подаються з посиланням на джерела. Таблиці мають бути пронумеровані й мати заголовок. Відповідальність за наведені показники несе автор.

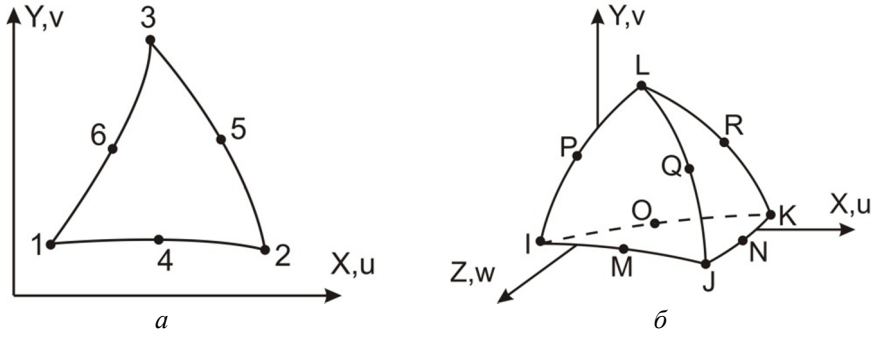
Рисунки і таблиці необхідно подавати у статті безпосередньо після тексту, де вони згадані вперше, або на наступній сторінці.

6.1. Ілюстрації (рисунки та чорно-білі фотографії)

Під час виконання рисунків рекомендується використання Microsoft Visio 2007 (2003). За умови використання закладеної графіки Microsoft Word рисунки повинні бути згрупованими. Шрифт рисунків Times New Roman, кегель 12, курсив.

Рисунки позначають словом "Рис." і нумерують послідовно в межах статті. Якщо у статті є лише один рисунок, він не нумерується. Пояснювальні підписи, номер рисунка, його назву розміщують послідовно під ілюстрацією.

Наприклад:



а *б*

Рис. 3. Види скінченних елементів:
а – 6-вузловий плоский скінченний елемент і б – 10-вузловий об'ємний скінченний елемент

6.2. Таблиці

Цифровий матеріал, що наводиться у статті, повинен оформлятися у вигляді таблиць.

Розмір тексту таблиць – кегель 12. Усі таблиці повинні мати заголовки. Нумераційний заголовок таблиць (кегель 12) вирівнюють по правому краю таблиці, тематичний заголовок таблиці – по центру (кегель 12, курсив).

Наприклад:

Таблиця 1

Граничні значення режимів різання

№ досл.	**$V_к$, м/с**	**$V_{дет}=V_к/60$**	**t, мм**	**$Q_{гр}$, мм²/с**	***a_z*, мкм**	***$a_{z\ max}$***	***$n/n_{піз}$***
1	20	333	0,033	11	5,32	10,17	10/6
2	40	667	0,033	13	3,04	5,83	11/7
3	60	1000	0,028	18	2,01	3,78	15/10
4	80	1333	0,026	26	1,64	3,07	19/12
5	90	1500	0,025	38	1,59	2,84	25/16

Якщо таблиця не вміщується на одній сторінці, всі її колонки нумерують, а над перенесеною частиною таблиці справа надписують: "Закінчення табл. 1".

6.3. Формули

Використовуючи формули, необхідно дотримуватися певних правил.

Великі, довгі та громіздкі формули, які мають у складі знаки суми, добутку, диференціювання, інтегрування, розміщують на окремих рядках. Це стосується також і всіх нумерованих формул. Для економії місця кілька коротких однотипних формул, відокремлених від тексту, можна подати в одному рядку, а не одну під одною. Невеликі і нескладні формули, що не мають самостійного значення, вписують усередині рядків тексту.

Стиль формул: хімічні формули набирають прямим шрифтом. Формули, на які є посилання, нумерують арабськими цифрами в круглих дужках праворуч, не виходячи за поле. Формули необхідно вирівнювати по лівому краю сторінки. Між ними та текстом витримується інтервал в один рядок. Обов'язково подають розшифровку літерних позначень величин у формулах. Для набору позначень фізичних величин використовують редактор формул Microsoft Equation для WINDOWS.

Наприклад:

Пропонується зношення круга визначати пропорційним кількості зрізів більших граничного значення $(a_z)_{max}$:

$$Q_a(a_z) = C_1 \cdot a_z^{k_1} \cdot F(a_z) + C_2 \cdot a_z^{k_2} (1 - F(a_z)), \quad (1)$$

де $k_1<1$, $k_2>1$ – показники ступенів при товщині зрізу;

$F(a_z)$, $(1–F(a_z))$ – значення інтегральної функції розподілення розрахункової товщини зрізів, які визначають частку товщини зрізів, менших та більших вказаного граничного значення a_z. Інтегральна функція розподілу ймовірностей товщини стружок була знайдена за моделлю процесу шліфування в роботі [7].

7. Список використаних джерел необхідно складати за вимогами, що висуваються до оформлення списку використаних джерел у дисертаційних роботах (Бюлетень ВАК України № 5, 2009).

Заголовок "Список використаних джерел" слід розміщувати посередині рядка, шрифт Times New Roman, кегель 12, напівжирний, а список джерел – 11 кегель.

8. Оплата публікації. Опублікування наукових статей у «Віснику Чернігівського державного технологічного університету. Серія "Технічні науки"» є платним. Вартість публікації 1 сторінки наукової статті становить **50 грн** (прохання обов'язково уточнювати вартість публікації). Оплата підтверджується квитанцією, зразок якої наведений у Додатку В.

9. Контактна інформація.

Матеріали необхідно надсилати на адресу: 14027, м. Чернігів, вул. Шевченка, 95, корп. 1, к. 242 (науково-дослідна частина). Всі документи, що містять підписи та печатки, повинні бути відсканованими.

Контактна особа: Подимова Людмила Анатоліївна.

Робочий тел.: (04622) 3-42-44.

E-mail: chntu.ndch@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.

Додаток А
Приклад оформлення статті

УДК 621.3.05

О.В. Будьонний, канд. техн. наук
М.А. Прокопець, магістр
Є.Ю. Коваленко, магістр
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна

БЕЗКОНТАКТНА ЗАРЯДКА АКУМУЛЯТОРНИХ БАТАРЕЙ

А.В. Будённый, канд. техн. наук
М.А. Прокопец, магистр
Е.Ю. Коваленко, магистр
Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», г. Киев, Украина

БЕСКОНТАКТНАЯ ЗАРЯДКА АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ

Oleksandr Budonnyi, PhD in Technical Sciences
Maryna Prokopets, master
Yevhen Kovalenko, master
National Technical University of Ukraine «Kyiv Politechnic Institute», Kyiv, Ukraine

CONTACTLESS CHARGING BATTERIES

Пропонується використання безконтактного заряду акумуляторних батарей на основі теорії теслівських процесів для передачі енергії без дротів на невеликі відстані. Розрахунок енергетичних параметрів схеми передачі енергії проводився методом часткових ємностей між передавальними та приймальними антенами з урахуванням крайових ефектів. Проведено аналіз залежності струму та напруги навантаження від таких факторів: зміщення розташування пристрою, який заряджається, відносно центру блоку підзарядки; відстані між передавальними та приймальними антенами; значення індуктивності в навантаженні; робочої частоти.

Ключові слова: *безконтактна зарядка, батареї, процеси, енергія.*

Предлагается использование бесконтактного заряда аккумуляторных батарей на основе теории тесловских процессов для передачи энергии без проводов на небольшие расстояния. Расчет энергетических параметров схемы передачи энергии проводился методом частичных емкостей между передаточными и приемными антеннами с учетом краевых эффектов. Проведен анализ зависимости тока и напряжения нагрузки от таких факторов: смещение расположения устройства, которое заряжается, относительно центра блока подзарядки; расстояния между передающими и приемными антеннами; значение индуктивности в нагрузке; рабочей частоты.

Ключевые слова: *бесконтактная зарядка, батареи, процессы, энергия.*

The use of noncontact charge of storage batteries is offered on the basis of theory of Tesla processes for the transmission of energy without wires on small distances. The calculation of power parameters of chart of transmission of energy was conducted the method of partial capacities between transmission and receiving aerials taking into account edge effects. The analysis of dependence of current and tension of loading is conducted from such factors: displacement of location of device, what recharging, in relation to the center of subcharging block; distances are between transmission and receiving aerials; a value of inductance is in loading; working frequency.

Key words: *noncontact charge, batteries, processes, energy.*

Постановка проблеми. …
Аналіз останніх досліджень і публікацій. …
Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. …
Мета статті. Головною метою цієї роботи є …
Виклад основного матеріалу. …
Висновки і пропозиції. …

Список використаних джерел

1. Основные источники электромагнитных полей [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://www.ecololife.ru/study-539-1.html.
2. Ландау Л. Д. Электродинамика сплошных сред / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц. – М. : Наука, 1982. – 622 с.
3. Пентегов И. В. О возможности беспроводной передачи энергии с помощью тесловских процессов / И. В. Пентегов, А. Л. Приступа // Техническая электродинамика. – 2005. – № 3. – С. 11–15.
4. ….
5. ….

Додаток Б

Бланк для оформлення довідки про автора

ДОВІДКА ПРО АВТОРІВ

Дані про авторів	Українською мовою	Російською мовою	Англійською мовою
Прізвище			
Ім’я			
По батькові			
Науковий ступінь			
Вчене звання			
Почесне звання			
Місце роботи			
Посада			
Назва статті			
Обсяг статті			
Поштова адреса, на яку необхідно надсилати примірник збірника			
Контактна інформація	роб. тел.		
	дом. тел.		
	моб. тел.		
	e-mail		

ДО УВАГИ АВТОРІВ!

Договір про передачу права на використання твору укладається на кожну статтю і надсилається поштою у паперовому вигляді з повністю заповненими автором (ами) твору реквізитами у 2-х примірниках (один для редакційної колегії, інший – для автора). Договір підписується ректором Чернігівського національного технологічного університету й один примірник повертається у паперовому вигляді автору (ам) твору поштою. Наявність Договору про передачу права на використання твору є обов’язковою умовою публікації наукових статей у наукових виданнях університету для всіх авторів.

Додаток В

Бланк квитанції для оплати публікації

Заява на переказ готівки

Дт **1002** Ідентифікаційний код 05460798

Кт **31259203106996**

Одержувач платежу **Чернігівський національний технологічний університет**

Дата здійснення операції _____

Дата валютування _____

Код установи банку 853592

Найменування установи банку **ГУДКСУ** Укр. в Чернігівській області

Прізвище, ім'я, по-батькові платника _____

Адреса платника _____

Призначення платежу за видання у збірнику

25010100

Сума _____

Загальна сума _____

(словами)

Касир

Підпис платника _____

Квитанція

Дт **1002** Ідентифікаційний код 05460798

Кт **31259203106996**

Одержувач платежу **Чернігівський національний технологічний університет**

Дата здійснення операції _____

Дата валютування _____

Код установи банку 853592

Найменування установи банку **ГУДКСУ** Укр. в Чернігівській області

Прізвище, ім'я, по-батькові платника _____

Адреса платника _____

Призначення платежу за видання у збірнику

25010100

Сума _____

Загальна сума _____

(словами)

Касир

Підпис платника _____

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

ВІСНИК

ЧЕРНІГІВСЬКОГО ДЕРЖАВНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ

СЕРІЯ «ТЕХНІЧНІ НАУКИ»

НАУКОВИЙ ЗБІРНИК

№ 2 (78)

Головний редактор	В.В. Казимир
Відповідальний за випуск	О.І. Пилипенко
Літературний редактор	Л.М. Сила
Коректор	О.С. Смєлова
Комп'ютерна верстка і макетування	В.М. Олефіренко
	Т.В. Коваленко

Підписано до друку 16.04.2015. Формат 60×84/8. Друк різографія.
Гарнітура Times New Roman. Умов. друк. арк. – 28,1.
Тираж 300 пр. Замовлення № 274/15.

Редакційно-видавничий відділ Чернігівського національного технологічного університету
14027, Україна, м. Чернігів, вул. Шевченка, 95.
Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до Державного реєстру видавців, виготівників і розповсюджувачів видавничої продукції
серія ДК № 4802 від 01.12.2014 р.