

ISSN 2411-5363

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



ТЕХНІЧНІ НАУКИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ

НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ

№ 1 (3)

Чернігів 2016

УДК 62:67.05
ББК 30.1:30.6
Т38

Друкується за рішенням вченої ради Чернігівського національного технологічного університету (протокол № 2 від 29.02.2016 р.). Науковий журнал «Технічні науки та технології» внесено до переліку наукових фахових видань України, затвердженого Наказом Міністерства освіти і науки України від 13.07.2015 р. № 747.

З 2013 року входить до міжнародної наукометричної бази даних eLIBRARY.RU (ліцензійний договір № 246-04/2013 від 29 квітня 2013 року).

Технічні науки та технології : науковий журнал / Черніг. нац. технол. ун-т. – Чернігів : Черніг. Т38 нац. технол. ун-т, 2016. – № 1 (3). – 274 с.

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

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

УДК 62:67.05
ББК 30.1:30.6

Головний редактор:

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

Заступник головного редактора:

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

Члени редакційної колегії:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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;

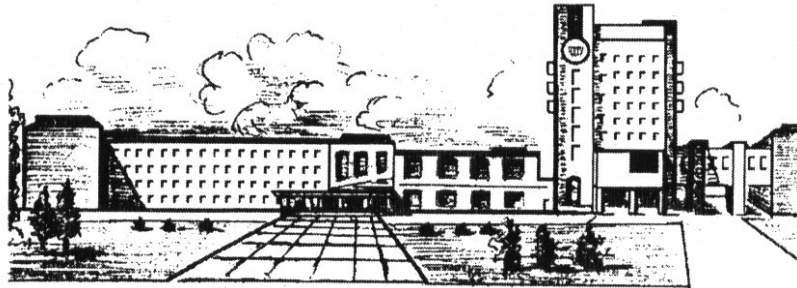
Ilya Galkin, Doctor of Science, Professor, Editor in-Chief of the Scientific Journal "Electrical, Control and Communication Engineering", Riga Technical University, Riga, Latvia;

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

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

ISSN 2411-5363

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



TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

SCIENTIFIC JOURNAL

ISSUE № 1 (3)

Chernihiv 2016

UDC 62:67.05
LBC 30.1:30.6

Published by the decision of the Academic Council of the Chernihiv National University of Technology (protocol № 2 dated 29.02.2016). Scientific journal “Technical sciences and technologies” is included into the list of scientific specialized editions of Ukraine, approved by the Order of the Ministry of Education and Science of Ukraine dated July 13, 2015 № 747.

Since 2013 has been included in the international scientometric database eLIBRARY.RU (license agreement № 246-04/2013 dated April 29, 2013).

Technical sciences and technologies : scientific journal / Chernihiv National University of Technology. – Chernihiv : Chernihiv National University of Technology, 2016. – № 1 (3). – 274 p.

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

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

UDC 62:67.05
LBC 30.1:30.6

Editor in chief:

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

Deputy Editor in chief:

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

Members of the Editorial Board:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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.

ЗМІСТ

РОЗДІЛ I. МЕХАНІКА

| | |
|--|---|
| <i>Грицюк В.</i> Розрахунок поперечного удару тілом по вільному стержню..... | 9 |
|--|---|

**РОЗДІЛ II. ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ
МАШИНОБУДУВАННЯ ТА АВТОТРАНСПОРТУ**

| | |
|---|----|
| <i>Кузнецов Ю.</i> Учебно-исследовательская лаборатория малогабаритных станков с компьютерным управлением на модульном принципе | 15 |
| <i>Михайлов М.</i> Влияние статистических параметров и форм сменных многогранных пластин на точность их расположения относительно корпуса сборного инструмента..... | 24 |
| <i>Филоненко С.</i> Описание энергии акустического излучения при изменении свойств обрабатываемого композиционного материала..... | 31 |
| <i>Анисимов В., Анисимов В., Чуприна А.</i> Перспективные направления исследований в области измерения усилия резания при точении | 37 |
| <i>Веремей Г.</i> Анализ эффективности процесса восстановления сёдел клапанов в авторемонтном производстве | 44 |
| <i>Ковальова Л., Майданюк С.</i> Моделювання зусиль різання круглими пилками з різнонаправленими зубцями | 49 |
| <i>Литвин О., Кравець О., Яцук І.</i> Взаємозв'язок морфології затискного патрона з особливостями конструктивно-функціонального синтезу структур | 54 |
| <i>Пасов Г., Венжега В., Рудик А.</i> Анімаційне моделювання механізмів для створення реверсивного, обертального руху..... | 60 |
| <i>Рудик А.</i> Визначення товщини зрізу кромкою круга із врахуванням стану поверхні інструменту та кінематики | 65 |

РОЗДІЛ III. ТЕХНОЛОГІЇ ЗВАРЮВАННЯ

| | |
|---|----|
| <i>Таранова Т., Вржизжевский Э., Соломийчук Т., Половецкий Е., Новомлинец О.</i> Влияние режимов термической обработки на структуру и свойства сварных соединений жаропрочного титанового сплава, выполненного электронно-лучевой сваркой | 73 |
|---|----|

РОЗДІЛ IV. ІНФОРМАЦІЙНО-КОМП'ЮТЕРНІ ТЕХНОЛОГІЇ

| | |
|--|-----|
| <i>Мошель М., Гриценко М., Рогоза О., Ковтун А., Тепла Т.</i> Практикум з фізики рідких кристалів у навчальному процесі студентів інженерних спеціальностей..... | 83 |
| <i>Мухін В., Корнага Я.</i> Аналіз ефективності оброблення запитів серверами гетерогенних розподілених баз даних | 89 |
| <i>Сахно Є., Маргасов Д., Корнієць К.</i> Побудова інформаційно-вимірювальної системи моніторингу енергоефективності будівель та споруд | 95 |
| <i>Вавіленкова А.</i> Структура інформаційної технології порівняльного аналізу текстових документів | 103 |
| <i>Войтенко В., Федорова О., Єршов Р.</i> Електронна система реєстрації та оброблення біоелектричних сигналів..... | 109 |
| <i>Волокита А., Кондратюк В.</i> Дослідження можливості моделювання хмарних систем з використанням клітинного автомата | 115 |
| <i>Корнієнко І., Корнієнко С., Кошма А.</i> Розроблення моделі мережі роздільного збирання твердих побутових відходів..... | 122 |
| <i>Крячок С.</i> Удосконалення безбазисного створного способу визначення сталої електронного віддалеміра..... | 130 |
| <i>Ревко А., Фесенко А.</i> Електронна система розпізнавання образів для керування частково автономною рухомою платформою на колесах Ілона | 139 |

| | |
|---|-----|
| <i>Малік Т., Бурачек В., Брик Я.</i> Метод автоматичного геодезичного суцільного контролю деформацій інженерних споруд | 145 |
| <i>Науменко Т.</i> Особливості управління розвитком електронного інструментарію у складі системи оцінювання якості знань | 152 |
| <i>Машейко Г., Орловський Д.</i> Інформаційна технологія діагностування та аналізу стану клієнтів для підприємства, що підтримує клієнтоорієнтовану стратегію | 161 |
| <i>Казутыр В., Лытун С., Посадська А.</i> Real time network planning in cloud | 169 |
| <i>Verovko M., Posadska I.</i> Analysis and comparison of the functionality of network monitoring tools..... | 175 |

РОЗДІЛ V. ЕНЕРГЕТИКА

| | |
|--|-----|
| <i>Михайленко В., Сапегін А., Левочка К., Карпчук Г., Дрьомов Р., Бабенко А.</i> Дослідження електромагнітних процесів у напівпровідниковому перетворювачі з дев'ятнадцятизонним регулюванням вихідної напруги | 183 |
| <i>Наумчик П., Миронцов В.</i> Універсальний прилад для визначення ефективності джерел світла | 188 |
| <i>Беца М.</i> Використання енергогенеруючих установок..... | 193 |

РОЗДІЛ VI. ТЕХНОЛОГІЇ ДЕРЕВООБРОБНОЇ, ЛЕГКОЇ ТА ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

| | |
|---|-----|
| <i>Сидоренко О., Якобчук Ю., Победаш М.</i> Ринок фасованої мінеральної води в Україні: проблеми якості та безпеки..... | 197 |
| <i>Бондар О.</i> Похідні піримідину та їх інгібувальна дія на корозію маловуглецевої сталі..... | 205 |
| <i>Гуменюк О., Ксенюк М., Ільїн Р.</i> Удосконалення способу приготування білого хліба з добавкою пшеничних зерен | 210 |
| <i>Золотухіна І.</i> Визначення оптимального співвідношення компонентів білково-вуглеводних напівфабрикатів | 217 |
| <i>Пилипенко Т., Чигиринець О., Воробйова В., Єфімова В.</i> Дослідження фізико-хімічних показників якості піномийних косметичних засобів | 222 |
| <i>Савченко О., Сиза О., Зінченко Ю., Деркач Т., Михайлова М.</i> Вплив цикорію, кави, лимонного соку на ферментативну активність дріжджів та якість пшеничного хліба | 228 |
| <i>Савченко О., Сиза О., Коваленко М., Купчик О.</i> Фітодобавки на основі зелених паростків пшениці у хлібопекарському виробництві..... | 234 |

РОЗДІЛ VII. ТЕХНОЛОГІЇ ОХОРОНИ ПРАЦІ ТА ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ

| | |
|--|-----|
| <i>Сахно Є., Двоєглазова М., Ітченко Д.</i> Створення навчальної лабораторії для визначення параметрів якості виробничих процесів..... | 240 |
| <i>Дубровская В., Переварюха А., Соловьёва И.</i> Кризис технологии моделирования популяционных процессов и варианты ее корректировки | 248 |
| <i>Никифоров А., Менейлюк И., Ершов М.</i> Выбор альтернатив при проведении противоаварийных мероприятий и конструктивно-технологических ограничений | 259 |
| До пам'яті видатних науковців..... | 264 |

| | |
|---|-----|
| ОСНОВНІ ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ ТА ПОДАЧІ РУКОПИСІВ НАУКОВИХ СТАТЕЙ..... | 266 |
|---|-----|

CONTENT

SECTION I. MECHANICS

| | |
|---|---|
| <i>Hrytsiuk V.</i> Calculation of transversal impact by a body on a free rod..... | 9 |
|---|---|

SECTION II. INTEGRATED TECHNOLOGIES OF MACHINEBUILDING
AND MOTOR TRANSPORT

| | |
|---|----|
| <i>Kuznetsov Iu.</i> Teaching and research laboratory of small-sized machine tools with computer management on a modular principle..... | 15 |
| <i>Mikhailau M.</i> Influence of statistical parameters and forms of removable multifaceted plates on the precision of their location relative to the housing modular tool..... | 24 |
| <i>Filonenko S.</i> The description of acoustic radiation energy during the change of properties of machined composite material | 31 |
| <i>Anisimov V., Anisimov V., Chuprina A.</i> Progressive research directions in the sphere of cutting forces measurement in turning | 37 |
| <i>Veremei G.</i> The efficiency analysis of valve seats overhaul process in auto repairing industry..... | 44 |
| <i>Kovalova L., Maidaniuk S.</i> Modeling of cutting forces circular saws with multi-directional teeth | 49 |
| <i>Lytvyn O., Kravets O., Yashchuk I.</i> Relationship between morphology of clamping chuck with the features of constructive and functional structures' synthesis..... | 54 |
| <i>Pasov H., Venzheha V., Rudyk A.</i> Animation simulation of mechanisms for creating reverse rotary motion | 60 |
| <i>Rudyk A.</i> Definition of cutting thickness of wheel edge taking into account the surface condition and kinematics | 65 |

SECTION III. WELDING TECHNOLOGIES

| | |
|--|----|
| <i>Taranova T., Vrzhezhevskii E., Solomiichuk T., Polovetskii E., Novomlins O.</i> The influence of the modes of heat treatment on the structure and properties of the welded connections of the heat-resistant titanium alloy carried out using the electron-beam welding | 73 |
|--|----|

SECTION IV. INFORMATION AND COMPUTER TECHNOLOGIES

| | |
|---|-----|
| <i>Moshel M., Hrytsenko M., Rohoza O., Kovtun A., Tepla T.</i> Workshop on physics of liquid crystals in the process of learning of students of engineering specialties | 83 |
| <i>Mukhin V., Kornaha Ya.</i> Efficiency analysis of requests' processing by the server in the heterogeneous distributed databases..... | 89 |
| <i>Sakhno Ye., Marhasov D., Korniiets K.</i> Building of information-measuring system for monitoring the energy efficiency of buildings and structures..... | 95 |
| <i>Vavilenkova A.</i> The structure of information technology of text documents comparative analysis ... | 103 |
| <i>Voitenko V., Fedorova O., Yershov R.</i> Electronic system for bioelectrical signal registration and processing | 109 |
| <i>Volokyta A., Kondratiuk V.</i> Research of the possibility of simulation of the cloud systems with the cellular automaton..... | 115 |
| <i>Korniienko I., Korniienko S., Koshma A.</i> Development of a network's model of separate collection of solid waste..... | 122 |
| <i>Kriachok S.</i> Improvement of the method determining constant correction electronic rangefinder with installation of the devices in line | 130 |
| <i>Revko A., Fesenko A.</i> Electronic system of pattern recognition for partly autonomous mobile platform on bengt ilon wheels | 139 |
| <i>Malik T., Burachek V., Bryk Ya.</i> Method of automatic geodetic total control of deformation of engineering structures | 145 |

| | |
|--|-----|
| <i>Naumenko T.</i> Peculiarities of management of the electronic toolbox development in the structure of the knowledge quality evaluation system | 152 |
| <i>Masheiko H., Orlovskiy D.</i> Information technology of diagnostics and analysis of the state of clients for the company that supports customer-oriented strategy | 161 |
| <i>Kazymyr V., Lytvyn S., Posadska A.</i> Real time network planning in cloud | 169 |
| <i>Verovko M., Posadska I.</i> Analysis and comparison of the functionality of network monitoring tools..... | 175 |

SECTION V. POWER ENGINEERING

| | |
|--|-----|
| <i>Myhailenko V., Sapelin A., Levochka K., Karpchuk H., Dromov R., Babenko A.</i> Study of the electric magnetic processes in semiconductor converter with nineteen zoned regulation of the output voltage | 183 |
| <i>Naumchyk P., Myrontsov V.</i> The universal device for determining the efficiency of light sources .. | 188 |
| <i>Betsa M.</i> Implementation of electrical energy generating installations | 193 |

SECTION VI. TECHNOLOGIES OF WOODWORKING, LIGHT AND FOOD INDUSTRY

| | |
|--|-----|
| <i>Sydorenko O., Yakobchuk Yu., Pobedash M.</i> Market of bottled mineral water in Ukraine: problems of quality and safety..... | 197 |
| <i>Bondar O.</i> Inhibition action of pyrimidine derivatives on corrosion of mild steel | 205 |
| <i>Humeniuk O., Kseniuk M., Ilin R.</i> Improving of the method for producing white bread with addition of wheat grains | 210 |
| <i>Zolotukhina I.</i> Determination of optimum ratio of components of protein-carbohydrate semi-product..... | 217 |
| <i>Pylypenko T., Chyhyrynets O., Vorobiova V., Yefimova V.</i> Investigation of the physical and chemical indexes of quality of the cosmetic cleansers which form suds | 222 |
| <i>Savchenko O., Sizaya O., Zinchenko Yu., Derkach T., Mikhailova M.</i> The impact of chicory, coffee and lemon juice on the enzymatic activity of yeast and the quality of wheat bread | 228 |
| <i>Savchenko O., Sizaya O., Kovalenko M., Kupchyk O.</i> Phyto supplements based on green shoots of wheat in bread making | 234 |

SECTION VII. TECHNOLOGIES OF LABOUR PROTECTION AND NATURAL RESOURCE MANAGEMENT

| | |
|--|------------|
| <i>Sakhno Ye., Dvoieglazova M., Itchenko D.</i> The establishment of a training laboratory for determination of parameters of quality of production processes..... | 240 |
| <i>Dubrovskaya V., Perevariukha A., Soloveva I.</i> The crisis in the simulation technology of population processes and options for its correction..... | 248 |
| <i>Nikiforov A., Meneiliuk I., Ershov M.</i> The selection of alternatives during emergency repair and constructive and technological constrains | 259 |
| To the memory of outstanding scientists | 264 |

| | |
|--|------------|
| BASIC REQUIREMENTS FOR EXECUTION AND SUBMISSION OF MANUSCRIPTS OF SCIENTIFIC ARTICLES | 266 |
|--|------------|

РОЗДІЛ I. МЕХАНІКА

УДК 539.3:539.4

Віталій Грицюк

РОЗРАХУНОК ПОПЕРЕЧНОГО УДАРУ ТІЛОМ ПО ВІЛЬНОМУ СТЕРЖНЮ

Віталій Грицюк

РАСЧЁТ ПОПЕРЕЧНОГО УДАРА ТЕЛОМ ПО СВОБОДНОМУ СТЕРЖНЮ

Vitalii Hrytsiuk

CALCULATION OF TRANSVERSAL IMPACT BY A BODY ON A FREE ROD

Існують різні моделі ударної взаємодії тіл. Найбільш досконалою можна вважати модель С.П. Тимошенка, яка проілюстрована розрахунком удару тіла по шарнірно опертій балці. Враховуються не тільки деформації балки, але й місцеві деформації обох тіл, що взаємодіють. Розглянуто поперечний удар тілом по вільному стержню.

Ключові слова: розрахунок, вільний стержень, тіло, удар.

Рис.: 3. Бібл.: 9.

Существуют различные модели ударного взаимодействия тел. Наиболее совершенной можно считать модель С.П. Тимошенко, которая проиллюстрирована расчетом удара тела по шарнирно опертой балке. Учитываются не только деформации балки, но и местные деформации обоих взаимодействующих тел. Рассмотрен поперечный удар телом по свободному стержню.

Ключевые слова: расчёт, свободный стержень, тело, удар.

Рис.: 3. Библ.: 9.

There are various models of the impact of bodies. The most perfect can consider model of S. P. Timoshenko which is illustrated with impact of a body on a beam on hinge supports. Are considered not only deformations of a beam, but also local deformations of both interacting bodies. In this work the transversal impact to a free rod is considered by a body.

Key words: calculation, free rod, body, impact.

Fig.: 3. Bibl.: 9.

Постановка проблеми, аналіз останніх досліджень і публікацій, виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, мета статті. Широко відома модель С.П. Тимошенка – розрахунок балки на дію поперечного удару тілом [1]. Ця модель враховує місцеві деформації під час взаємодії тіла і балки. Вона проілюстрована розрахунком удару тіла по шарнірно опертій балці. У дослідженнях [2–7] також розглядався удар по кінематично незмінюваним системам. У цій статті проаналізовано удар тілом по балці без опор (по кінематично змінюваній системі). Математична реалізація розрахунку деформованої кінематично змінюваної системи викликає певні ускладнення. Мета цієї роботи – показати варіанти вирішення такої проблеми.

Математична модель

Розглянемо удар тілом по стержню (рис. 1).

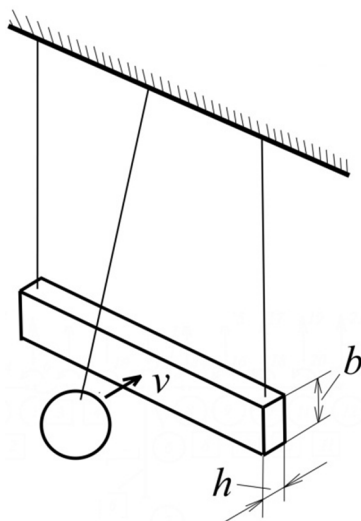


Рис. 1. Схема поперечного удару тілом по вільному стержню

Силу контактної взаємодії $F(t)$ тіла і балки можна знайти з рівняння

$$d(F) = \alpha(F) + w_F(x_F, F), \quad (1)$$

де $d(F)$ – переміщення тіла;

$\alpha(F)$ – переміщення тіла, викликані контактними деформаціями у місці взаємодії тіл (тіла і стержня);

$w_F(x_F, F)$ – переміщення стержня у місці знаходження тіла;

x_F – координата місця знаходження тіла на подовжній осі стержня.

Рівняння (1) є відомим рівнянням поперечного удару тілом по балці, запропонованого С.П. Тимошенком [1].

Переміщення тіла d можна визначити за допомогою формули

$$d(t) = d_0 + \dot{d}_0 t + g \frac{t^2}{2} - \frac{1}{M_G} \int_0^t F(t_1)(t - t_1) dt_1, \quad (2)$$

де d_0, \dot{d}_0 – початкові переміщення і швидкість тіла;

g – прискорення земного тяжіння;

M_G – маса тіла;

t – час.

Якщо удар не вертикальний, а боковий (рис. 1), то третій доданок у формулі (2) не враховується.

Переміщення α можна визначити за допомогою відомої статичної контактної задачі Герца.

Переміщення стержня можна моделювати різними способами.

Варіант 1.

Спочатку розглянемо застосування *методу скінченних елементів* для опису руху стержня. Взагалі цей метод застосовується для розрахунку кінематично незмінюваних систем. Вільний стержень (рис. 2, а) за допомогою введення фіктивного елемента малої жорсткості перетворюємо у кінематично незмінювану систему (рис. 2, б). Цю систему моделюємо скінченними елементами. На рис. 2, в показані номери переміщень вузлів системи (іх 22), у кружечках наведені номери вузлів (іх 12), у прямокутниках наведені номери елементів (іх 11). Треба зауважити, що варіанти перетворення кінематично змінюваної системи у кінематично незмінювану можуть бути різними. Наприклад, можна ввести два фіктивні елементи по кінцях стержня.

Рівняння руху записуються у вигляді

$$[M]\{\ddot{\delta}\} + [C]\{\dot{\delta}\} + [K]\{\delta\} = \{F(t)\}, \quad (3)$$

де $[M]$, $[C]$, $[K]$ – матриці інерційної властивості системи, розсіяння енергії системи, жорсткості системи;

$\{\ddot{\delta}\}$, $\{\dot{\delta}\}$, $\{\delta\}$ – вектори прискорень, швидкостей, переміщень системи;

$\{F(t)\}$ – вектор вузлових зведених збуджуючих сил.

Для стержня початкові умови нульові

$$\{\delta\} = 0, \quad \{\dot{\delta}\} = 0. \quad (4)$$

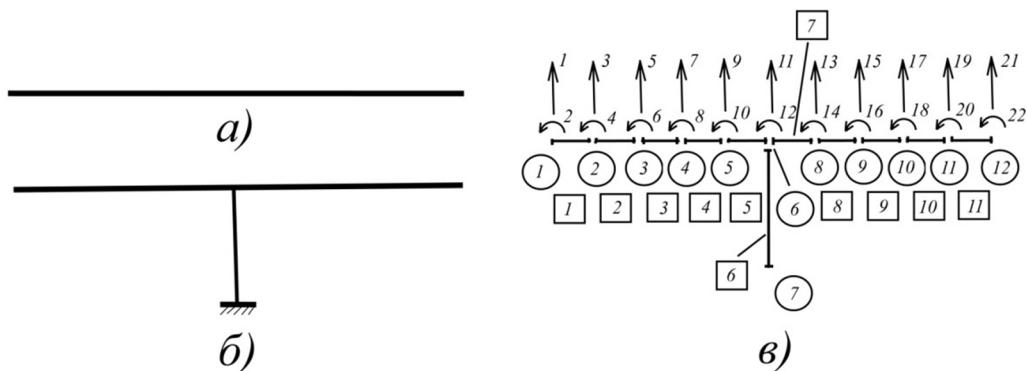


Рис. 2. Моделювання вільного стержня (балки) методом скінченних елементів

Розкладаємо цей рух за власними формами

$$\{\delta\} = [\Phi]\{T\}, \tag{5}$$

де $[\Phi]$ – матриця власних форм власних форм коливань $\{\varphi_i\} \{\varphi_i\}$;

$\{T\}$ – вектор функцій часу t .

Якщо розсіяння енергії мале, то, не враховуючи його, із загальної проблеми власних значень

$$[K][\Phi] - \omega^2[M][\Phi] = 0, \tag{6}$$

за допомогою методу Якобі знайдемо частоти власних коливань системи ω_i і відповідні їм вектори форм коливань $\{\varphi_i\}$.

Зручно вибрати такий масштаб власних форм коливань, щоб виконувалися умови нормування власних форм коливань

$$M_i = \{\varphi_i\}^T [M] \{\varphi_i\} = 1. \tag{7}$$

У нашому випадку перші дві частоти нульові (майже нульові завдяки введенню фіктивного елемента малої жорсткості). Перша частота відповідає поступальному руху стержня без урахування деформацій, друга – обертальному руху тіла без урахування деформацій.

Потім систему пов'язаних рівнянь (3) зручно звести до системи непов'язаних рівнянь

$$\ddot{T}_i + 2\xi_i \omega_i \dot{T}_i + \omega_i^2 T_i = f_i(t), \tag{8}$$

де узагальнена сила

$$f_i = \{\varphi_i\}^T \{F(t)\}, \tag{9}$$

а початкові умови

$$T_i(0) = \frac{\{\varphi_i\}^T [M] \{\delta(0)\}}{M_i}, \quad \dot{T}_i(0) = \frac{\{\varphi_i\}^T [M] \{\dot{\delta}(0)\}}{M_i}. \tag{10}$$

Метод розкладання за власними формами можливий у разі виконання умов ортогональності

$$\{\varphi_i\}^T [M] \{\varphi_j\} = 0, \quad i \neq j, \tag{11}$$

$$\{\varphi_i\}^T [K] \{\varphi_j\} = 0, \quad i \neq j, \tag{12}$$

$$\{\varphi_i\}^T [C] \{\varphi_j\} = 0, \quad i \neq j. \quad (13)$$

Перші дві умови звичайно задовольняються (не задовольняються для двох форм з однаковими частотами). А остання умова – лише при спеціальних видах матриці розсіювання енергії $[C]$.

Можна застосувати модель затухання коливань Релея, за якої матриця $[C]$ у матричному рівнянні (3) записується у вигляді

$$[C] = \alpha[M] + \beta[K], \quad (14)$$

де α і β – константи, які треба визначити за двома значеннями коефіцієнтів демпфірування для двох різних власних частот.

При нормованих власних формах (10) можна записати

$$\alpha + \beta\omega_i^2 = 2\omega_i\xi_i. \quad (15)$$

Застосовуючи (15) для двох форм, із системи двох алгебраїчних рівнянь одержуємо значення коефіцієнтів α і β . Тоді для всіх форм

$$\xi_i = \frac{\alpha + \beta\omega_i^2}{2\omega_i}. \quad (16)$$

Існують різні чисельні методи реалізації задачі. Одним із сучасних ефективних методів є метод Ньюмарка [8]. Цей метод можна застосувати як для системи пов'язаних рівнянь (3), так і для кожного непов'язаного рівняння (7).

Варіант 2.

Переміщення стержня у місці знаходження тіла можна записати у вигляді

$$w_F(x_F, F) = d^*(x_F, F) + w_F^*(x_F, F). \quad (17)$$

де $d^*(x_F, F)$ – переміщення стержня, як недеформованого, у місці взаємодії тіл;

$w_F^*(x_F, F)$ – переміщення стержня, пов'язані тільки з його деформаціями, у місці взаємодії тіл.

Перші переміщення у нашому випадку можна визначити таким чином

$$d^*(x_F, F) = d_0^*(x_F, F) + \dot{d}_0^*(x_F, F)t + g\frac{t^2}{2} + \frac{1}{M_B} \int_0^t F(t_1)(t-t_1)dt_1, \quad (18)$$

де M_B – маса стержня.

У формулі (18) для нашого випадку $g = 0$ і початкові умови нульові.

Для врахування розсіювання енергії у матеріалі стержня пружні характеристики його матеріалу запишемо у комплексній формі

$$E = E(1 \pm i\beta), \quad (19)$$

де E – модуль Юнга матеріалу балки;

β – коефіцієнт розсіювання енергії у матеріалі балки;

i – уявна одиниця.

Розкладаючи переміщення стержня і навантаження у тригонометричні ряди, одержуємо

$$w^*(x, t) = \sum_{j=1}^{\infty} X_j(x) \cdot T_j(t). \quad (20)$$

Для вільного стержня (балки) довжиною l (рис. 1, б) власні форми коливань балки [9]

$$X_j(x) = (ch\alpha_j l - \cos\alpha_j l)(sh\alpha_j x + \sin\alpha_j l) - (sh\alpha_j l - \sin\alpha_j l)(ch\alpha_j x + \cos\alpha_j x). \quad (21)$$

Числа α_j треба визначати з рівнянь

$$\cos\alpha_j l \cdot ch\alpha_j l = 1. \quad (22)$$

Функції часу

$$T_j(t) = e^{-\mu_j t} \left[T_j(0) \left(\frac{\mu_j}{\omega_j} \sin \omega_j t + \cos \omega_j t \right) + \frac{\dot{T}_j}{\omega_j} \sin \omega_j t \right] + \frac{X_j(x_F)}{m \cdot \int_0^l X_j(x)^2 dx \cdot \omega_j} \int_0^t F(t_1) \cdot e^{-\mu_j(t-t_1)} \cdot \sin \omega_j(t-t_1) dt_1, \quad (23)$$

$$\omega_j = \alpha_j^2 \sqrt{\frac{E \cdot I_z}{m}}, \quad \mu_j = \frac{\beta}{2} \omega_j = \frac{\psi}{4\pi} \omega_j, \quad (24)$$

де ω_j – частоти власних коливань балки;

m – маса одиниці довжини балки;

I_z – осьовий момент інерції поперечного перерізу балки.

Приклад розрахунку

Розглянемо боковий удар (горизонтальний удар, тоді у формулі (3) $g = 0$, тобто вага тіла не враховується) по середині вільного сталевго стержня (рис. 1) довжиною $l = 20,0$ см прямокутного поперечного перерізу $h = 1,0$ см і $b = 1,2$ см. Ударяє сталева куля, радіус якої $R = 1,0$ см, з початковою швидкістю $1,0$ см/с.

Вибраний крок часу (крок інтегрування рівнянь) τ дорівнює $1/100$ періоду першого тону власних коливань стержня, пов'язаних з деформаціями стержня. Під час застосування методу скінченних елементів (варіант 1) це є третій період власних коливань балки (перші дві частоти нульові). Сила F визначалася із точністю до 1 %. У ході визначення переміщень і напружень було враховано 10 форм коливань балки. Розсіяння енергії враховувалося при $\xi_3 = 0,015$ і $\xi_4 = 0,015$. Коефіцієнт розсіяння енергії $\psi = 0,3$ (для розрахунків за варіантом 2).

Результати розрахунків для різних способів зведення кінематично змінюваної системи у кінематично незмінювану збігаються. Результати розрахунків за варіантами 1 і 2 також збігаються.

Результати розрахунків наведені на рис. 3.

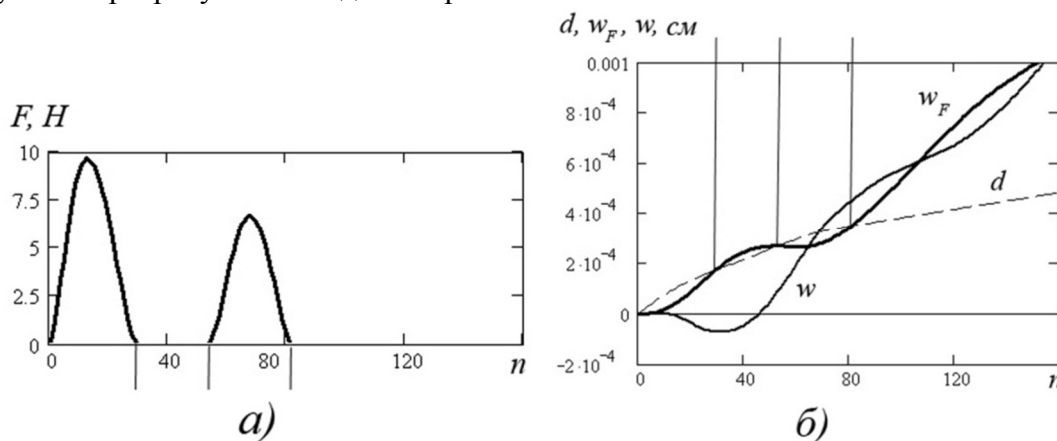


Рис. 3. Результати розрахунків

На рис. 3, *a* представлена сила контактної взаємодії між тілом і стержнем $F(t)$.

На рис. 3, *b* – переміщення тіла d ; переміщення перерізу стержня, в якому відбувається удар, w_F ; переміщення кінців стержня w .

Висновки і пропозиції. Наведено розрахунки поперечного удару тілом по вільному стержню (вільній балці). Це може бути цікавим з наукового погляду і корисним в інженерній практиці.

Проілюстровано два варіанти моделювання руху вільного стержня.

Перший варіант: конструкція моделюється за допомогою методу скінченних елементів. При цьому для перетворення кінематично змінюваної системи у кінематично незмінювану вводяться фіктивні елементи дуже малої жорсткості. Цей варіант дещо трудомісткий, але може бути застосований для досить складних вільних систем.

Другий варіант: окремо розглядаються переміщення стержня без урахування деформацій і з урахуванням деформацій. Останні моделюються за допомогою розкладання переміщень у тригонометричні ряди. Цей варіант зручний під час застосування сучасних математичних пакетів (програм).

Список використаних джерел

1. Тимошенко С. П. Колебания в инженерном деле / С. П. Тимошенко. – М. : Наука, 1967. – 444 с.
2. Гольдсмит В. Удар. Теория и физические свойства соударяемых тел / В. Гольдсмит ; пер. с англ. М. С. Лужиной, О. В. Лузина. – М. : Стройиздат, 1965. – 447 с.
3. Кильчевский Н. А. Теория соударения твёрдых тел / Н. А. Кильчевский. – К. : Наукова думка, 1969. – 247 с.
4. Расчёты на прочность в машиностроении / С. Д. Пономарёв, В. Л. Бидерман, К. К. Лихарев и др. – М. : Машиностроение, 1958. – 884 с.
5. Ольшанский В. П. Колебания стержней и пластин при механическом ударе / В. П. Ольшанский, Л. Н. Тищенко, С. В. Ольшанский. – Х. : Міськдрук, 2012. – 320 с.
6. Голоскоков Е. Г. Нестационарные колебания деформируемых систем / Е. Г. Голоскоков, А. П. Филиппов. – К. : Наукова думка, 1977. – 339 с.
7. Грицюк В. Ю. Розрахунок удару тілом по консольній балці / В. Ю. Грицюк // Технологічні науки та технології : науковий журнал. – 2015. – № 1(1). – С. 9–14.
8. Бате К. Численные методы анализа и метод конечных элементов : пер. с англ. / К. Бате, Е. Вилсон. – М. : Стройиздат, 1982. – 448 с.
9. Прочность, устойчивость, колебания : справочник в 3 томах. Т. 3 / под ред. И. А. Биргера, Я. Г. Пановко. – М. : Машиностроение, 1968. – 567 с.

Грицюк Віталій Юхимович – кандидат технічних наук, доцент, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

Грицюк Віталій Ефимович – кандидат технічних наук, доцент, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, г. Чернігів, 14027, Україна).

Hrytsiuk Vitalii – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: hryvit@gmail.com

РОЗДІЛ II. ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ МАШИНОБУДУВАННЯ ТА АВТОТРАНСПОРТУ

УДК 621.9:007

Юрий Кузнецов

УЧЕБНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ЛАБОРАТОРИЯ МАЛОГАБАРИТНЫХ СТАНКОВ С КОМПЬЮТЕРНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ НА МОДУЛЬНОМ ПРИНЦИПЕ

Юрій Кузнецов

НАВЧАЛЬНО-ДОСЛІДНИЦЬКА ЛАБОРАТОРІЯ МАЛОГАБАРИТНИХ ВЕРСТАТІВ З КОМП'ЮТЕРНИМ КЕРУВАННЯМ НА МОДУЛЬНОМУ ПРИНЦИПІ

Iurii Kuznetsov

TEACHING AND RESEARCH LABORATORY OF SMALL-SIZED MECHINE TOOLS WITH COMPUTER MANAGEMENT ON A MODULAR PRINCIPLE

Предложено идеологию сквозной подготовки технической интеллектуальной элиты в неразрывной цепи приобретения знаний, умений и практических навыков: дошкольное, среднее, высшее образование – производство – аспирантура и докторантура.

Рассмотрены различные образовательные средства в технических вузах. Акцент сделан на использование современного малогабаритного (настольного) оборудования с компьютерным управлением и их узлов, которые можно приобрести и изготовить собственными силами на модульном принципе.

Ключевые слова: инноватика, интеллектуальная элита, настольные станки с компьютерным управлением, мотор-шпиндель, модульный принцип, учебно-исследовательская лаборатория.

Рис.: 10. Табл.: 1. Библ.: 21.

Запропоновано ідеологію наскрізної підготовки технічної інтелектуальної еліти в нерозривному ланцюгу придбання знань, умінь і практичних навичок: дошкільна, середня, вища освіта – виробництво – аспірантура і докторантура.

Розглянуто різні освітні засоби в технічних вищих навчальних закладах. Акцент зроблено на використанні сучасного малогабаритного (настільного) обладнання з комп'ютерним керуванням та їх вузлів, які можна придбати і виготовити власними силами на модульному принципі.

Ключові слова: інноватика, інтелектуальна еліта, настільні верстати з комп'ютерним керуванням, мотор-шпиндель, модульний принцип, навчально-дослідницька лабораторія.

Рис.: 10. Табл.: 1. Бібл.: 21.

Ideology of through preparation of technical intellectual elite is offered in the indissoluble chain let of acquisition of knowledge, abilities and skills: pre-school, AV, higher education - production – postgraduate school and higher doctorate.

Various educational tools in technical higher education intuitions are discussed. The main attention is paid to the use of modern small table equipment with computer control and their units that can be purchased and produce your owe forces on the modular principle.

Key words: innovation, intellectual elite, desktop computer, controlled machines, motor-spindle, modular principle, education research laboratory.

Fig.: 10. Tabl.: 1. Bibl.: 21.

Постановка проблемы. В настоящее время подготовка технической интеллектуальной элиты в Украине сдерживается недостатками существующей системы образования [3; 5], среди которых догматизм и репродуктивная форма передачи знаний, предвзятое отношение к физическому труду (неумение «думать руками»), как к занятию, не присутствующему интеллектуалам. Накопленный многолетний опыт преподавания студентам различных специальностей технических вузов свидетельствует о том, что учиться необходимо всю жизнь, чтобы идти в ногу с вызовами действительности. Для этого необходимо преодолевать вектор инерции мышления и расширять кругозор за счёт креативной формы образования, постоянного всестороннего самообразования (отслеживание новинок науки, техники и технологий), переквалификации и повышения квалификации [3; 5].

Для сквозной подготовки технической интеллектуальной элиты в вузах Украины необходимо большое внимание уделять профессиональной подготовке машиностроителей с использованием всех видов современных образовательных средств [11; 12].

По опыту высокоразвитых государств [14] сквозная подготовка технической элиты должна начинаться с дошкольных учреждений по невзрывной цепочке (рис. 1): дошкольное образование – среднее образование – высшее образование – производство – аспирантура (докторантура) [6].

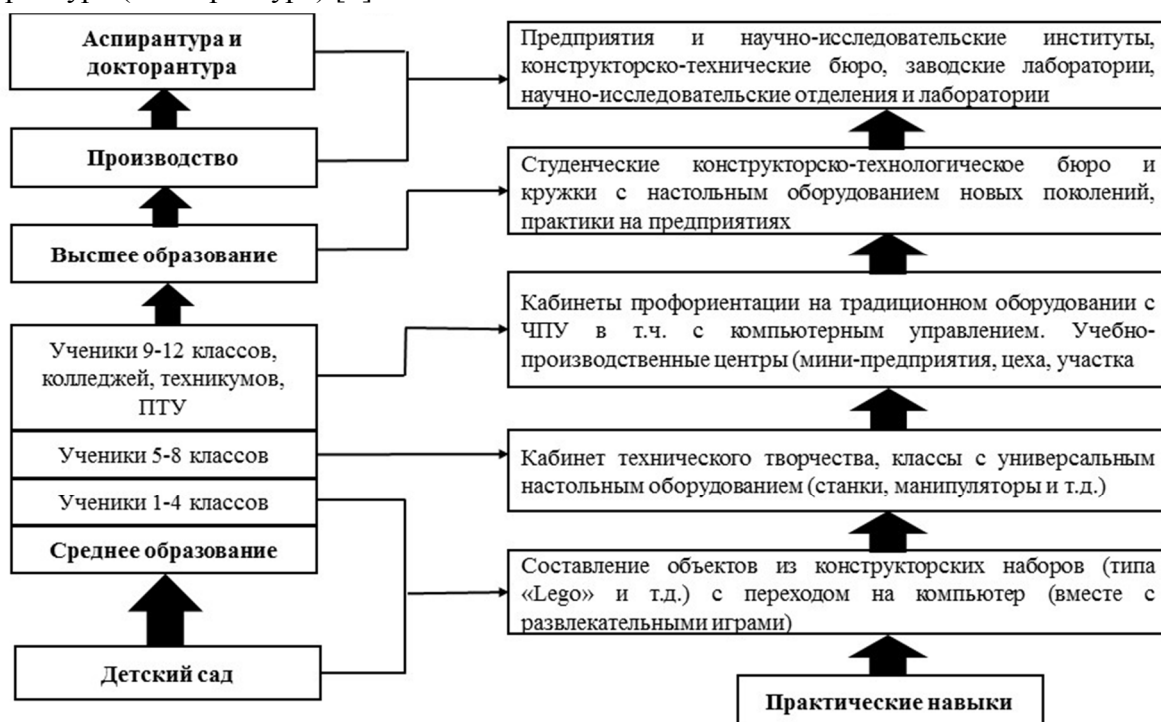


Рис. 1. Модель сквозной подготовки технической интеллектуальной элиты

Решение проблемы. Среди образовательных средств в технических вузах должны использоваться: 1) специальное учебное оборудование с компьютерным управлением (настольные станки, роботы, транспортные средства, станочные системы, 3D принтеры и т. п.); 2) информационные технологии в виде 3D модулей технологического, вспомогательного оборудования их узлов и механизмов; 3) виртуальные технологии (компьютерные имитаторы, тренажеры, анимационные ролики по технологическим процессам и станкам с ЧПУ и т. п.); 4) видеоролики с различных отечественных и международных ярмарок, выставок и т. п.

Среди информационных технологий в составе образовательных средств целесообразно использовать: универсальную систему тестирования знаний; системы подготовки и технологического диагностирования управляющих программ и параметров устройств ЧПУ; системы калибровки станка с УПУ; системы мониторинга и диагностики интеллектуальных узлов; комплекты 3D моделей и САПР режущего инструмента, 3D моделей и САПР узлов и механизмов станков и другого технологического и вспомогательного оборудования.

В технических высших учебных заведениях по образцу учебно-исследовательских лабораторий зарубежных фирм FESTO, SIEMENS, DELCAM и др. [11; 12] с участием отечественных учёных, аспирантов, докторантов и подготовленных выпускников средних учебных заведений (см. п. 3), в студенческих конструкторско-технологических бюро и кружках создавать собственные учебно-исследовательские лаборатории по примеру кафедры конструирования станков и машин НТУУ «Киевский политехнический институт» с настольным технологическим оборудованием новых поколений с компьютерным управлением, например, станков, машин, роботов с механизмами параллельной структуры (МПС) (рис. 2) [8; 9; 17].

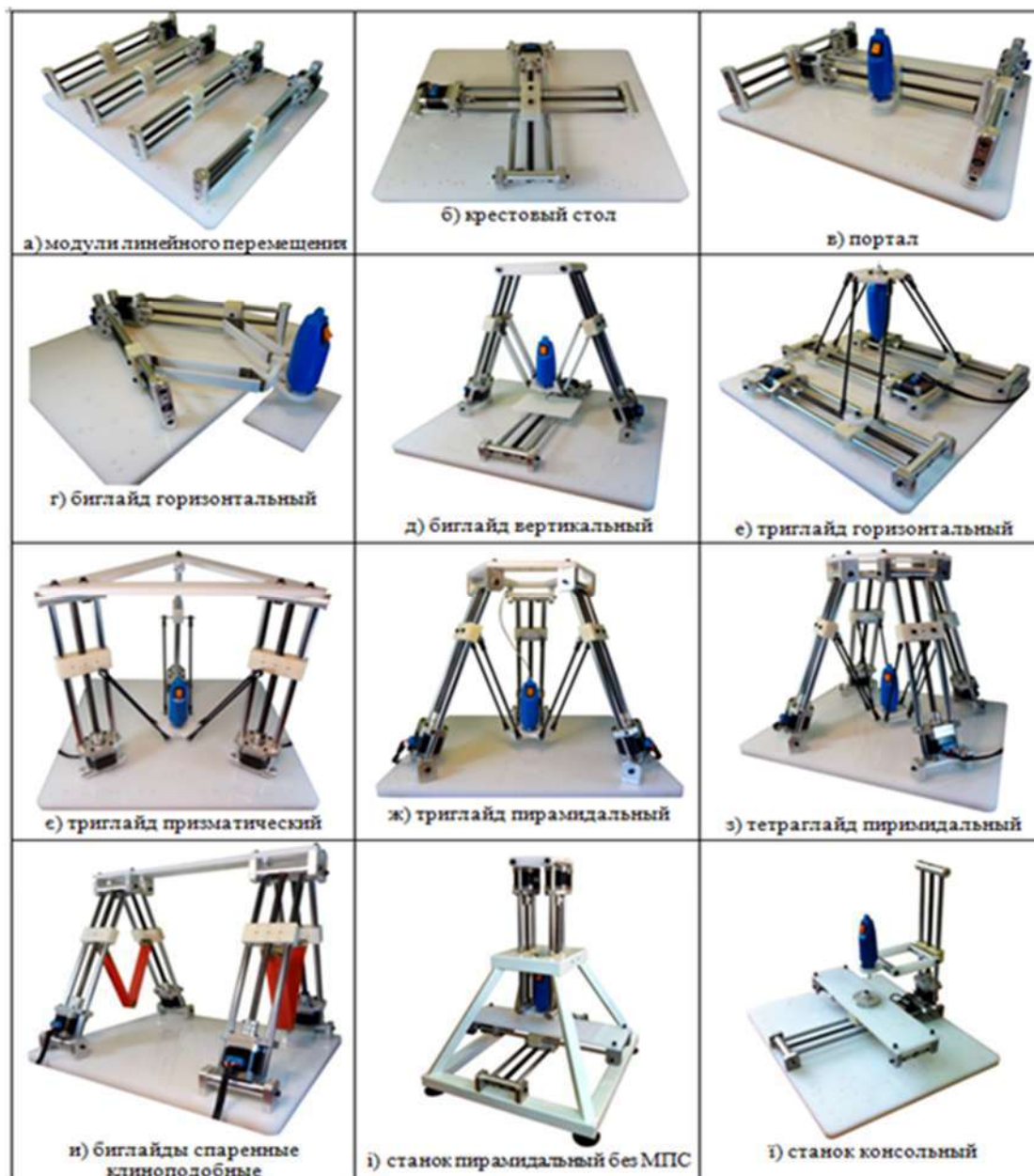


Рис. 2. Предлагаемый минимальный набор настольных станков с компьютерным управлением каркасной компоновки на базе универсального модуля линейных перемещений

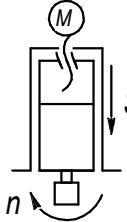
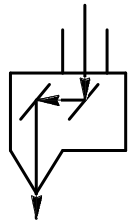
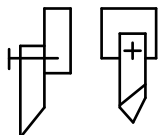
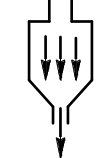
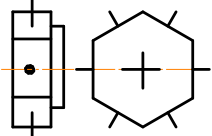

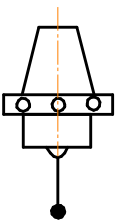
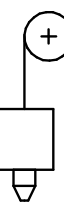
При определенном наборе исполнительных (рабочих) органов можно компоновать настольное технологическое и вспомогательное оборудование различного назначения применительно к конкретной машиностроительной специальности, в том числе с МПС (табл.).

Таблица

Условное обозначение исполнительных (рабочих) органов, расположенных на подвижной платформе технологического оборудования с МПС

| Наименование | Обозначение | Наименование | Обозначение |
|----------------|-------------|--------------|-------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| Мотор-шпиндель | | Плазматрон | |

Закінчення табл.

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|--|--|--|--|
| Мотор-шпindelь самодействующий с управляемой координатой |  | Лазерная головка |  |
| Инструмент неврвращающийся (резец) |  | Резак (гидроструйный, газосварный) |  |
| Многоинструментальная, многопозиционная (револьверная головка) |  | Сварочная проволока (электрод), свернутая в бунт |  |
| Измерительный щуп |  | 3D-принтер с пластичным материалом – леской, свернутой в бунт |  |

В набор целесообразно включать 3D-принтеры (рис. 3), построенные с использованием тех же модулей линейных перемещений (рис. 2, а) с обоснованием более эффективного варианта (рис. 3, б), где масса выращиваемого изделия, расположенного на неподвижном столе, не влияет на динамические показатели оборудования по сравнению с распространённым вариантом (рис. 3, а), когда выращиваемый объект находится на подвижных двух координатах (рис. 2, б).

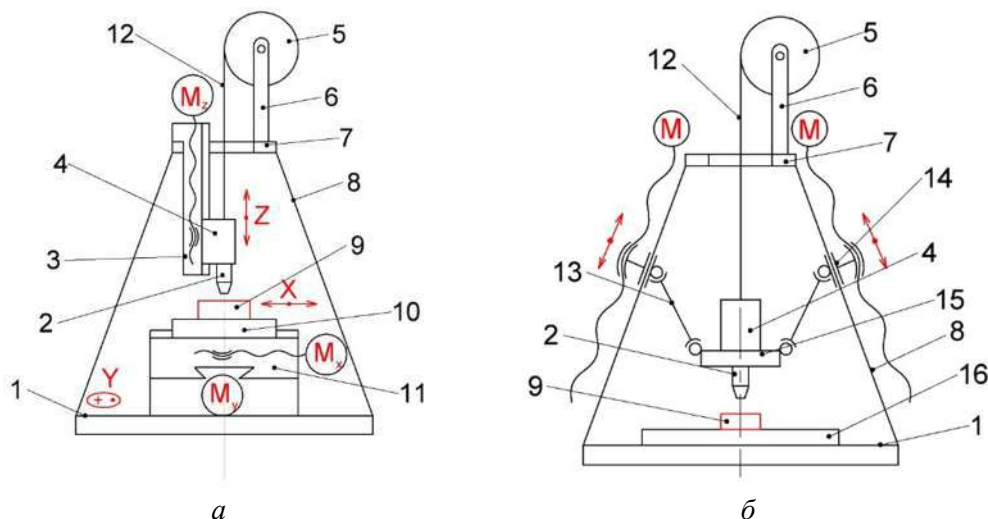


Рис. 3. Схемы 3D-принтеров на базе настольных станков пирамидальной каркасной компоновки традиционными суппортами координатных перемещений (а) и МПС типа триглайд (б): 1 – основа; 2 – насадка печатающей головки; 3, 10, 11 – координатные блоки X, Y, Z; 4 – печатающая головка; 5 – бунт; 6 – стойка; 7 – траверса; 8 – каркас; 9 – выращиваемый объект; 12 – леска; 13 – штанга постоянной длины; 14 – подвижная опора штанги; 15 – подвижная платформа; 16 – неподвижный стол

Учебное оборудование, создаваемое в студенческих конструкторско-технологических бюро и студенческих кружках с дальнейшим изготовлением в учебно-производственных мастерских вузов и на предприятиях, используется в вузах для выполнения лабораторных и практических работ, а также для учебных и научно-исследовательских работ по компоновкам (каркасным и оболочечным) станков нового поколения с системами ЧПУ класса PC-NC, в том числе с МПС [8; 9], по точности, кинематике, динамике, технологической надежности станков, технологических процессов в машиностроении, технологической оснастки, электро-гидро-пневмоприводов, механотроники, систем управления, контроля и регулирования.

Приоритетным среди образовательных средств должна быть сборка из модулей настольного технологического и вспомогательного оборудования с ЧПУ из узлов и механизмов (станки и машины различного назначения с компьютерным управлением 3D-принтеры, работы различных компоновок, гибкие производственные системы, автоматизированные сборочные комплексы, контрольно-измерительные многокоординатные машины, мотор-шпиндели, зажимные устройства, модули линейных и угловых перемещений и т. п.) [1; 13; 18–20].

Передовой опыт. Опыт создания образовательных средств связан с новым научным направлением творческого коллектива кафедры конструирования станков и машин НТУУ «КПИ», руководимого автором. Этим коллективом разработаны проекты учебно-исследовательских кабинетов для изучения дисциплины «Технологическое оборудование с параллельной кинематикой» (рис. 4), оборудован кабинет инноватики (рис. 5), изготовлено ряд малогабаритных станков каркасной компоновки на модульном принципе с компьютерным управлением, которые демонстрировались на международных украинских выставках и ярмарках и отмечены наградами.



Рис. 4. План учебно-исследовательского кабинета по дисциплине «Технологическое оборудование с параллельной кинематикой»



Рис. 5. Кабинет инноватики – НИЛ НТУУ «КПИ»

В настоящее время разработана и изготовлена пятикоординатно-измерительная машина с МПС (рис. 6) в рамках госбюджетной темы № 2805-п [19]. В основу этой машины заложены патенты Украины № 74716 и 68238.

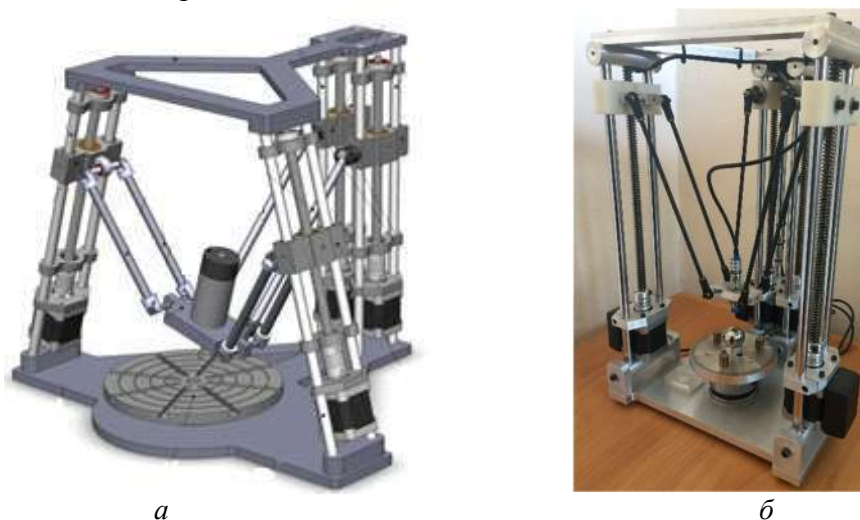


Рис. 6. 3D-модель пятикоординатного фрезерного станка каркасной компоновки (а) и внешний вид координатно-измерительной машины (б) на его базе

В последнее время наблюдается тенденция образования новых научных направлений на основе достижений биологии, психологии, информационных технологий и когнитивных наук [4; 7; 15], которые приобретают статус «междисциплинарных» и к которым относятся генетика, изучающая законы наследственности и структурной изменчивости в природных и антропогенных системах, развивающихся во времени [4; 15; 16; 17].

Используя генетические подходы [18], ученые НТУУ «КПИ» открыли механизм «генетической памяти» в электромеханических [15] и механических [16] объектах и передают свои достижения через креативную форму приобретения знаний. Впервые в механических науках разработаны методы расшифровки генетических программ и созданы первые в мире механические объекты по генетическому коду [7; 8; 16; 18]. Это открывает возможности создавать генетические банки знаний и учитывать не только опыт исторического прошлого, но и предвидеть генетические допустимые структуры будущего [10; 11]. Внедрение таких креативных форм приобретения знаний в высшем техническом образовании существенно сокращает материальные и временные затраты на поисковые исследования и обеспечивает инновационный подход к созданию новых объектов техники. Примером реализации достижений с использованием генетико-морфологического подхода является концепция создания электромеханических систем типа «самодействующий мотор-шпиндель» (рис. 7) по патентам Украины – № 65488, 82880, 104512.



Рис. 7. Модуль «самодействующий мотор-шпиндель» по патенту № 65488

Самодействующие мотор-шпиндели расширяют функциональные возможности станков с ЧПУ, в том числе с МПС (рис.8).

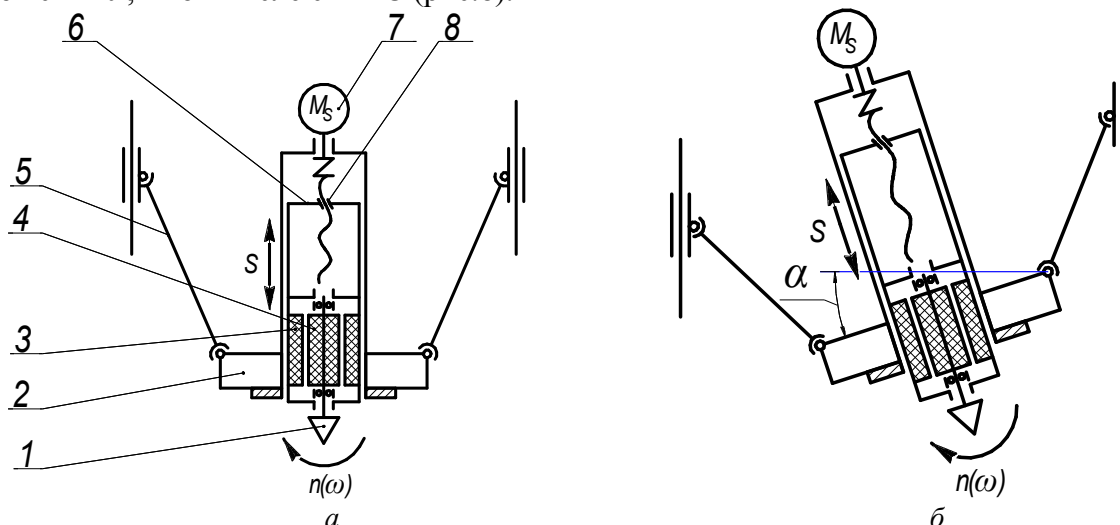


Рис. 8. Пример применения модуля «самодействующий мотор-шпиндель» в станке с механизмом параллельной структуры: а – при работе вертикально и б – под углом α : 1 – шпиндель; 2 – подвижная платформа; 3 – статор; 4 – ротор; 5 – штанга постоянной длины; 6 – корпус мотор-шпинделя в функции поступательно перемещаемой пинноли; 7 – шаговый электродвигатель подачи; 8 – винтовая передача

Рекомендации по усовершенствованию учебного процесса. Сквозная подготовка на современном уровне предусматривает внедрение новых дисциплин в учебных заведениях разного уровня (рис. 9).

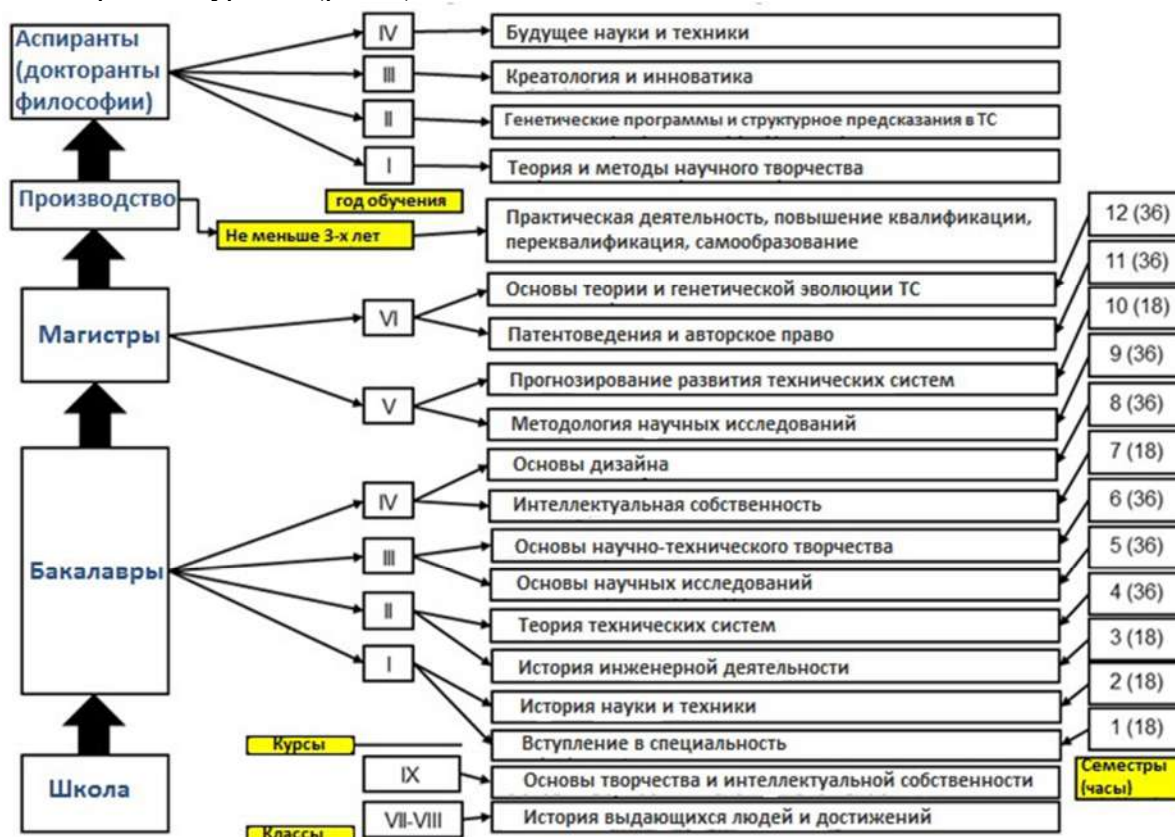


Рис. 9. Минимум дополнительных дисциплин сквозной подготовки технической интеллектуальной элиты в Украине

После получения высшего образования для перехода на более высокие уровни интеллекта, способного реализоваться при создании новой техники и новых технологий, необходимо не менее трех лет поработать на производстве, где возможны как минимум два варианта (рис. 10): параллельный и последовательный. Не исключён и третий вариант – параллельно-последовательный.



Рис. 10. Варианты повышения интеллектуального уровня после получения высшего образования:
а – параллельно во времени; б – последовательно во времени

Выводы. Необходимость уделить больше внимания развитию образования и науки поясняется тем, что это значительно влияет на все аспекты существования и процветания современного общества, ускоряет научно-технический прогресс и экономический рост, обеспечивает успех борьбы с болезнями и расцвет культурной жизни, создает возможности государству быстро и эффективно отзываться на насущные социальные вызовы и потребности.

Использование накопленного опыта на кафедре конструирования станков и машин НТУУ «КПИ» способствует развитию с минимальными затратами как средств подготовки современных кадров, так и непосредственно обеспечивает высокий уровень конкурентоспособности выпускников технических вузов Украины, которые на договорных условиях могут приобрести техническую документацию для изготовления настольного оборудования с ЧПУ с использованием своего потенциального ресурса.

Сегодня **задача науки** – открыть естественную гармонию систем в определенной области знаний и овладеть стратегией научного предвидения для обеспечения своего будущего; **задача образования** – сформировать системный, креативный стиль мышления у студентов, способность творить и решать сложные междисциплинарные задачи в кратчайшие сроки

Список использованных источников

1. *Компьютерный обучающий лабораторный стенд «Станок с ЧПУ»* : учебное пособие / П. Г. Мазеин, А. В. Кастерин, Е. А. Рыжов, С. В. Шереметьев. – Челябинск : Изд-во ЧГТУ, 1996. – 135 с.
2. *Кузнецов Ю. М.* Сучасний стан, перспективи розвитку і виробництва металорізальних верстатів в Україні / Ю. М. Кузнецов // Вісті АІНУ. – 2011. – № 1 (44). – С. 3–8.
3. *Кузнецов Ю. М.* Креативний підхід – головний інструмент в інноваційному прориві / Ю. М. Кузнецов // Інтелектуальна власність. – 2011. – № 4. – С. 12–16.

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

4. *Кузнецов Ю. Н.* Генетический подход – ключ к созданию сложных технических систем / Ю. Н. Кузнецов, В. Ф. Шинкаренко // Технологічні комплекси. – 2013. – Вип. 12 (5, 6). – С. 15–27.
5. *Кузнецов Ю. Н.* Креатология и инноватика – залог успеха в подготовке инженерных и научных кадров / Ю. Н. Кузнецов // Научные известия. International scientific technical conference “Technics. Technologies. Education. Safety – 15” Proceeding, Veliko Tarnovo, 2015. – Vol. 5. – С. 48–51.
6. *Кузнецов Ю. М.* Актуальні проблеми підготовки технічної інтелектуальної еліти в Україні / Ю. М. Кузнецов // Сборник статей НИЦ «Знание» по материалам IX Межд. науч.-практ. конференции «Развитие науки в XXI веке». – X., 2015. – С. 91–95.
7. *Кузнецов Ю. Н.* Эволюционный и генетический синтез технологического оборудования нового поколения / Ю. Н. Кузнецов // Резание и инструмент в технологических системах. – 2015. – Вып. 85. – С. 149–162.
8. *Кузнецов Ю. Н.* Компоновки станков с механизмами параллельной структуры / Ю. Н. Кузнецов, Д. А. Дмитриев, Г. Е. Диневич ; под ред. Ю. Н. Кузнецова. – Херсон : ПП Вишемирский В. С., 2010. – 471 с.
9. *Реалізація концепції каркасних компоновок верстатів з механізмами паралельної структури* / Ю. М. Кузнецов, Д. О. Дмитрієв, В. Б. Фіранський, О. О. Степаненко // Наукові вісті НТУУ «КПІ». – 2012. – № 1. – С. 104–111.
10. *Мазеин П. Г.* Виртуальные и реальные тренажеры с компьютерным управлением / П. Г. Мазеин, С. С. Панов, А. А. Беленов // Дистанционное и виртуальное обучение. – 2010. – № 7. – С. 25–37.
11. *Мазеин П. Г.* Программно-технические комплексы и технологии для подготовки машиностроителей / П. Г. Мазеин, С. С. Панов // VI Международная н/т конф. «Стратегия человечества в промышленности и образовании» (4–11 июня 2010 г., Варна, Болгария, Технический университет). – Варна, 2010. – Т. 2, ч. 1. – С. 45–50.
12. *Мазеин П. Г.* Использование инновационного потенциала университета в области информационных технологий для развития средств подготовки машиностроителей / П. Г. Мазеин, А. А. Савельев // Материалы открытой Всероссийской конференции «Преподавание информационных технологий в России» (18–19.05.2009). – Челябинск, ЮУрГУ.
13. *Панов С. С.* Учебно-исследовательский стенд типа «трипод» с параллельной кинематикой и компьютерным управлением / С. С. Панов, П. Г. Мазеин // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2011. – Т. 13, № 1 (3). – С. 724–729.
14. *Тарташвили Т. А.* Система подготовки интеллектуальной элиты в США / Т. А. Тарташвили ; под ред. Ю. Я. Клеко. – М., 1988. – 68 с.
15. *Шинкаренко В. Ф.* Основы теорії еволюції електромеханічних систем : монографія / В. Ф. Шинкаренко. – К. : Наукова думка, 2002. – 288 с.
16. *Шинкаренко В. Ф.* Междисциплинарный подход к моделированию и созданию сложных электромеханических систем на примере мотор-шпинделе / В. Ф. Шинкаренко, Ю. Н. Кузнецов // Матеріали Всеукраїнської конференції «Сучасні технології промислового комплексу». – Херсон : ХНТУ, 2015. – С. 8–13.
17. *Шинкаренко В. Ф.* Генетическое предвидение как системная основа в стратегии управления инновационным развитием технических систем / В. Ф. Шинкаренко // Праці Таврійського державного агротехнічного університету. – 2011. – Вип. 11, т. 4. – С. 3–19.
18. *Kuznetsov Y., Shinkarenko V.* The genetic approach is the key to innovative Synthesis of complicated Technical systems. Journal TU – Plovdiv, Fundaments Sciences and Applications. – 2011. – Vol. 16, (2). – P. 15.33.
19. *Kuznetsov Y.* The operability analysis of spindle-motor hybrid electromechanical systems / Y. Kuznetsov, V. Shinkarenko, Y. Gaidaienko, K. Oleynik // 13-th Anniversary International Scientific Conference “Unitech-13” (21–23 November, 2013). – Gagravo, Bulgaria. – 2013. – Vol. III. – P. 268–272.
20. *Manzhola M., Kuznetsov Y., Stepanenko O.* Kinematic analysis of a multiaxis mailing machine with the mechanism of parallel structures // Technological Complexes. Scientific journal. – 2015. – № 1/1 (11). – P. 18–24.
21. *Shinkarenko V.* Genetic Program of Structural Evolution and Synthesis of Spindle-Motor Hybrid Electromechanical Systems / Shinkarenko V., Kuznetsov Y., Salenko A., Gaidaienko Y.,

Oleynik E., Chencheyaya E. // Journal of the Technical University of Gabrovo. Bulgaria. – 2014. – Vol. 48. – P. 126–134.

Кузнецов Юрий Николаевич – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры конструирования станков и машин, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт» (просп. Победы, 37, г. Киев, 03056, Украина).

Кузнецов Юрій Миколайович – доктор технічних наук, професор кафедри конструювання верстатів та машин, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут» (просп. Перемоги, 37, м. Київ, 03056, Україна).

Kuznetsov Iurii – Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of chair “Construction of Machine Tools and Other Machines”, National Technical University of Ukraine “Kiev Polytechnical Institute”, (37 Pobeda Av., 03056 Kiev, Ukraine).

E-mail: info@zmok.kiev.ua

УДК 621.9

Михаил Михайлов

ВЛИЯНИЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ И ФОРМ СМЕННЫХ МНОГОГРАННЫХ ПЛАСТИН НА ТОЧНОСТЬ ИХ РАСПОЛОЖЕНИЯ ОТНОСИТЕЛЬНО КОРПУСА СБОРНОГО ИНСТРУМЕНТА

Міхаїл Міхайла

ВПЛИВ СТАТИСТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ І ФОРМ ЗМІННИХ БАГАТОГРАННИХ ПЛАСТИН НА ТОЧНІСТЬ ЇХ РОЗТАШУВАННЯ ЩОДО КОРПУСУ ЗБІРНОГО ІНСТРУМЕНТУ

Mikhail Mikhailau

INFLUENCE OF STATISTICAL PARAMETERS AND FORMS OF REMOVABLE MULTIFACETED PLATES ON THE PRECISION OF THEIR LOCATION RELATIVE TO THE HOUSING MODULAR TOOL

Получены формы расчетных площадей касания сменных многогранных пластин с заданными вероятностями по результатам экспериментальных исследований режущих пластин. Приведена методика определения координат точек касания базовых граней сменных многогранных пластин с пазом корпуса инструмента. Раскрыто влияние расположения точек контакта и форм пластин на точность расположения режущих кромок относительно корпуса инструмента.

Ключевые слова: сборный металлорежущий инструмент, сменные многогранные пластины, формы пластин, точность расположения кромок.

Рис.: 2. Табл.: 2. Библ.: 15.

Отримано форми розрахункових площ торкання змінних багатограних пластин із заданими ймовірностями за результатами експериментальних досліджень різальних пластин. Наведено методика визначення координат точок дотику базових граней змінних багатограних пластин з пазом корпусу інструменту. Розкрито вплив розташування точок контакту і форм пластин на точність розташування різальних крайок щодо корпусу інструменту.

Ключові слова: збірний металорізальний інструмент, змінні багатогранні пластини, форми пластин, точність розташування крайок.

Рис.: 2. Табл.: 2. Бібл.: 15.

Get in shape calculation area of tangency of interchangeable polyhedral plates with a given probability In an experimental investigation of the cutting inserts. The design procedure determining the coordinates of points of tangency of base faces of the of interchangeable polyhedral plates with a groove of the tool body. Disclose the effect of arrangement of contact points and the shape of the plate on the accuracy of the location of cutting edges of the tool housing.

Key words: precast metal-cutting tools, changeable cutting inserts, forms of plates, precision of edges arrangement of.

Fig.: 2. Table.: 2. Bibl.: 15.

Постановка проблемы. Современное машиностроение характеризуется повышением требований к геометрическим параметрам, отражающим качество изготовления поверхностей деталей – точность получаемых размеров, отклонения формы, взаимное расположение поверхностей, их волнистость и шероховатость. При этом необходимо обеспечить не только заданные требования качества поверхности, но и их стабильность, которая зависит от стабильности параметров элементов технологической системы.

Геометрия поверхности детали определяет ее топографию. Математическое описание формирования топографии поверхности механической обработкой затрудняется из-за

большого количества влияющих на нее параметров. При этом эмпирические рекомендации позволяют разрешить только отдельные из возникающих проблем, для которых эти эмпирические данные существуют. Математическое моделирование операций механической обработки по сравнению с экспериментальными исследованиями позволяет получать большее количество информации и сократить время исследований.

Анализ исследований и публикаций. Известны различные способы получения заданной топографии обработанных поверхностей [1–10]. В этих работах показатели топографий и их связь с параметрами режущих инструментов чаще всего получены математическим моделированием. При этом решались как прямая, так и обратная задачи. Как известно, топография обработанных поверхностей зависит от расположения формообразующих кромок относительно обработанных поверхностей. На точность обработанных поверхностей значительное влияние оказывает точность самого инструмента, который по конструкции может быть цельным, составным и сборным. Точность сборного инструмента зависит от точности изготовления его элементов, способов их базирования и закрепления в корпусе инструмента [11–13].

Нерешенные части проблемы. Параметры элементов сборного инструмента имеют статистический характер, что существенно усложняет их учет в математических моделях, отражающих точность всего инструмента.

Цель статьи. Целью статьи является установление влияния статистических параметров и форм сменных многогранных пластин на точность расположения режущих кромок относительно корпуса сборного инструмента.

Изложение основного материала. Точность расположения формообразующих кромок сменных многогранных пластин (СМП) зависит от погрешности формы передних и задних поверхностей, а также от погрешности формы и взаимного расположения их базовых поверхностей.

Используя известную методику, были проведены исследования контурных площадей касания базовых опорных поверхностей пластин с эталонной плоскостью и определены отклонения от плоскостности этой грани по выделенным зонам [12].

Измерению подвергались три партии пластин по 80 штук в каждой. Полученные результаты были проанализированы по следующим показателям: среднему значению измеряемых величин, среднеквадратическому отклонению σ и коэффициенту вариации v . Кроме того, по критерию согласия Пирсона χ^2 и критерию Романовского был выбран закон распределения каждого параметра [14].

Для более полного анализа контурных площадей касания граней пластин были построены аналитические формы касания с заданной вероятностью. При этом формировалась матрица

$$[Z_{P_{i,j}}] = \begin{bmatrix} Z_{P_{1,1}} & Z_{P_{1,2}} & Z_{P_{1,j}} & Z_{P_{1,n}} \\ Z_{P_{2,1}} & Z_{P_{2,2}} & Z_{P_{2,j}} & Z_{P_{2,n}} \\ Z_{P_{i,1}} & Z_{P_{i,2}} & Z_{P_{i,j}} & Z_{P_{i,n}} \\ Z_{P_{m,1}} & Z_{P_{m,2}} & Z_{P_{m,j}} & Z_{P_{m,n}} \end{bmatrix},$$

где $Z_{P_{i,j}} = 1$, если $P_{i,j\text{зад}} \leq P_{i,j\text{фак}}$; $Z_{P_{i,j}} = 0$, если $P_{i,j\text{зад}} > P_{i,j\text{фак}}$;

$P_{i,j\text{зад}}$ – заданная вероятность;

$P_{i,j\text{фак}}$ – фактическая вероятность наличия действительной контурной площади касания в элементарной ячейке с координатами центра X_{ij} Y_{ij} .

Формы расчетных контурных площадей касания с заданными вероятностями для трехгранных и конических пластин представлены на рис. 1.

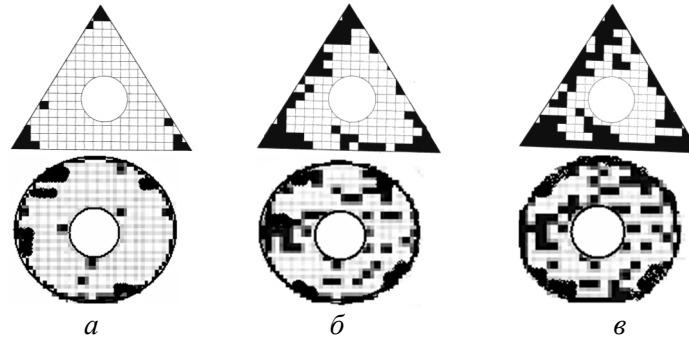


Рис. 1. Формы расчетных площадей касания пластин с заданными вероятностями: а – 0,5; б – 0,4; в – 0,25

Анализ расчетных значений контурных площадей касания опорных граней пластин позволяет сделать вывод, что они отличаются от номинальных и составляют в среднем 32,9 % и не превышают 51 % у трехгранных пластин, 34,7 и 43,5 % у конических соответственно.

Для анализа точности расположения СМП был разработан алгоритм и математические модели к расчету координат точек контакта базовых поверхностей СМП и паза корпуса инструмента с заданными вероятностями (рис. 2) и установлены статистические условия их существования (табл. 1).

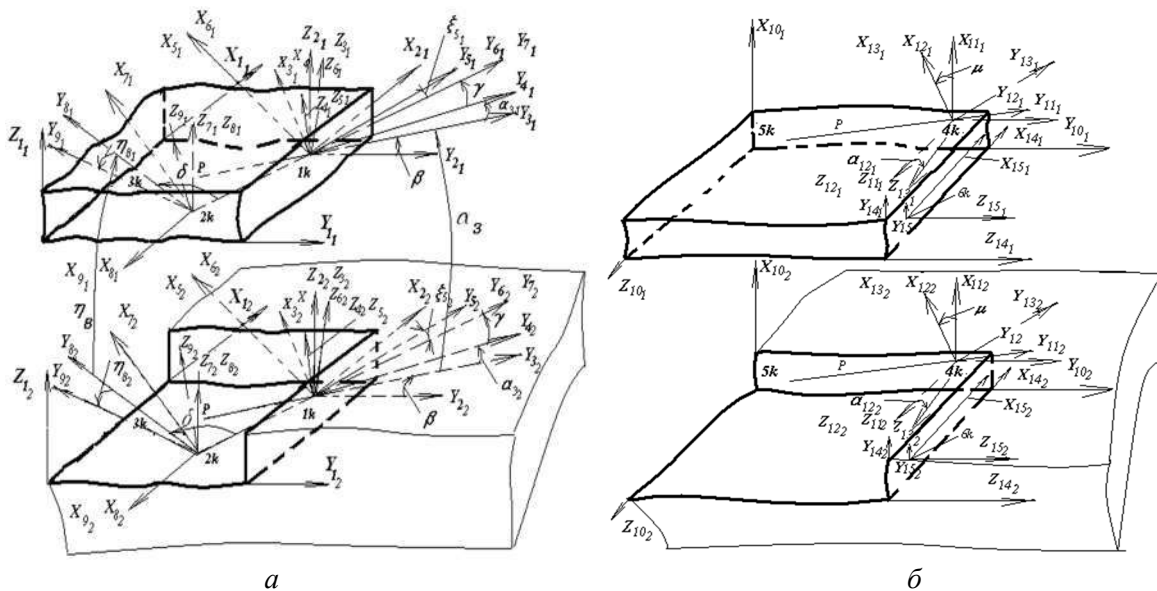


Рис. 2. Схема к расчету координат точек контакта СМП и паза корпуса инструмента: а – для опорной поверхности; б – для боковых поверхностей

Таблица 1

Условия существования точек контакта базовых поверхностей СМП и паза корпуса инструмента

| Номер точек | Расчетные зависимости | Условия существования точки |
|-------------|--|---|
| 1 | 2 | 3 |
| 1k | $1k \rightarrow \sum_{i=1, j=1}^{i=n, j=m} Z_{1S_{i,j}} \rightarrow \min;$ <p>$Z_{1S_{i,j}}$ – массивы координат расчетных топографий поверхностей (рис. 1)</p> | <p>При заданных координатах точек установочной поверхности в системе $X_1 Y_1 Z_1$ (рис. 2)</p> $X_{1S_{i,j}} \geq 0; Y_{1S_{i,j}} \geq 0; Z_{1S_{i,j}} \geq 0.$ <p>$S = 1,2$ – номера контактирующих поверхностей; i, j – номер точки поверхности; n, m – количество выделенных точек</p> |

Окончание табл. 1

| 1 | 2 | 3 |
|----|--|---|
| 2k | $2k \rightarrow \sum_{i=1, j=1}^{i=n, j=m} \alpha_{3S_{i,j}} \rightarrow \min;$ $\alpha_{3S_{i,j}} = \arccos \frac{ Y_{3S_{i,j}} }{R_{3S_{i,j}}};$ $R_{3S_{i,j}} = \sqrt{(Y_{3S_{i,j}})^2 + (Z_{3S_{i,j}})^2}$ | $K_1 K_2 > 0, \text{ где}$ $K_1 = \Delta X_{2_{p,1k}} X_{2_{1k}} + \Delta Y_{2_{1k,1P}} Y_{2_{1P}} + \Delta Y_{2_{p,1k}} Y_{2_{1k}} - \Delta X_{2_{p,1k}} X_{2_{1k}};$ $K_2 = \Delta X_{2_{p,1k}} X_{2_{i,j}} + \Delta Y_{2_{1k,1P}} Y_{2_{i,j}} + \Delta Y_{2_{p,1k}} Y_{2_{1k}} - \Delta X_{2_{p,1k}} X_{2_{1k}};$ <p>здесь $X_{2_{1P}}, Y_{2_{1k}}$ – координаты точки проекции силы тяжести и точек контакта; $\Delta X_{2_{1P,1k}}, \Delta Y_{2_{1k,1P}}$ – соответственно первая разность координат точек контакта и токи проекции силы тяжести</p> |
| 3k | $3k \rightarrow \sum_{i=1, j=1}^{i=n, j=m} \xi_{5S_{i,j}} \rightarrow \min;$ $\xi_{5S_{i,j}} = \arccos \frac{ X_{5S_{i,j}} }{R_{5S_{i,j}}};$ $R_{5S_{i,j}} = \sqrt{(X_{5S_{i,j}})^2 + (Z_{5S_{i,j}})^2}$ | $\lambda_1 > 0; \lambda_2 > 0, \lambda_1 + \lambda_2 < 1, (1)$ <p>где</p> $\lambda_1 = \frac{\Delta X_{6_{1P,3k}} \Delta Y_{6_{12k,3k}} - \Delta Y_{6_{1P,3k}} \Delta X_{6_{12k,3k}}}{\Delta Y_{6_{12k,3k}} \Delta X_{6_{11k,3k}} - \Delta Y_{6_{11k,3k}} \Delta X_{6_{12k,3k}}};$ $\lambda_2 = \frac{\Delta Y_{6_{1P,3k}} \Delta X_{6_{11k,3k}} - \Delta Y_{6_{11k,3k}} \Delta X_{6_{1P,3k}}}{\Delta Y_{6_{12k,3k}} \Delta X_{6_{11k,3k}} - \Delta Y_{6_{11k,3k}} \Delta X_{6_{12k,3k}}}$ |
| | <p>Окончательно</p> $3k \rightarrow \sum_{i=1, j=1}^{i=n, j=m} \eta_{8S_{i,j}} \rightarrow \min;$ $\eta_{8S_{i,j}} = \arccos \frac{ X_{8S_{i,j}} }{R_{8S_{i,j}}};$ $R_{8S_{i,j}} = \sqrt{(X_{8S_{i,j}})^2 + (Z_{8S_{i,j}})^2}$ | <p>Если (1) не выполняется, то при</p> $K_1 K_2 < 0, \text{ где}$ $K_1 = \Delta Y_{6_{13k,2k}} X_{6_{1P}} + \Delta X_{6_{12k,3k}} Y_{6_{1P}} + Y_{6_{12k}} X_{6_{13k}} - X_{6_{12k}} Y_{6_{13k}};$ $K_2 = \Delta Y_{6_{13k,2k}} X_{6_{1P}} + \Delta X_{6_{12k,3k}} Y_{6_{1P}} + Y_{6_{12k}} X_{6_{13k}} - X_{6_{12k}} Y_{6_{13k}}$ <p>каждая рассматриваемая точка отбрасывается</p> |
| 4k | $4k \rightarrow \sum_{i=1, j=1}^{i=n, j=m} Z_{10S_{i,j}} \rightarrow \min$ | <p>При заданных координатах точек направляющей поверхности</p> $X_{10S_{i,j}} \geq 0; Y_{10S_{i,j}} \geq 0; Z_{10S_{i,j}} \geq 0$ |
| 5k | $5k \rightarrow \sum_{i=1, j=1}^{i=n, j=m} \alpha_{12S_{i,j}} \rightarrow \min;$ $\alpha_{12S_{i,j}} = \arccos \frac{ Y_{12S_{i,j}} }{R_{12S_{i,j}}};$ $R_{12S_{i,j}} = \sqrt{(Y_{12S_{i,j}})^2 + (Z_{12S_{i,j}})^2}$ | $K_1 K_2 > 0, \text{ где}$ $K_1 = \Delta X_{2_{1P,4k}} X_{2_{1P}} + \Delta Y_{2_{14k,1P}} Y_{2_{1P}} + \Delta Y_{2_{1P,4k}} Y_{2_{14k}} - \Delta X_{2_{1P,4k}} X_{2_{14k}};$ $K_2 = \Delta X_{2_{1P,4k}} X_{2_{i,j}} + \Delta Y_{2_{14k,1P}} Y_{2_{i,j}} + \Delta Y_{2_{1P,4k}} Y_{2_{14k}} - \Delta X_{2_{1P,4k}} X_{2_{14k}}$ |
| 6k | $6k \rightarrow \sum_{i=1, j=1}^{i=n, j=m} Z_{14S_{i,j}} \rightarrow \min$ | <p>При заданных координатах точек опорной поверхности</p> $X_{10S_{i,j}} \geq 0; Y_{10S_{i,j}} \geq 0; Z_{10S_{i,j}} \geq 0$ |

где $Y_{3S_{i,j}}, Z_{3S_{i,j}}, X_{5S_{i,j}}, Z_{5S_{i,j}}, X_{8S_{i,j}}, Z_{8S_{i,j}}, Z_{10S_{i,j}}, Y_{12S_{i,j}}, Z_{12S_{i,j}}, Z_{14S_{i,j}}$ – координаты точек контактирующих поверхностей в системах координат X_i, Y_i, Z_i при $i = 3, 5, 8, 10, 12, 14$ (рис. 2).

Для получения аналитических зависимостей точности расположения СМП относительно корпуса инструмента использовали метод координат [15].

Если основные базирующие поверхности СМП описывать в системе $OXYZ$, а формообразующие кромки – $oxyz$, тогда положение формообразующих кромок относительно основных баз определяется как положение системы $oxyz$ в системе $OXYZ$.

Это положение задавалось через радиус-вектор \bar{r}_{P_3} с обобщенными параметрами $\mu_{N_{P_3N}}$ при заданной вероятности $\bar{r}_{P_3}(\mu_{1_{P_3,1}} \dots \mu_{N_{P_3,N}})$.

Как известно, угол между двумя номинальными поверхностями соответствует углу между их нормальными. В связи с этим угол наклона координатной плоскости $zoу$ относительно ZOY с заданной вероятностью, равен углу $\varphi_{1_{P_3}}$, заключенному между осями ox и OX ; соответственно – $хоz$ относительно XOZ – углу $\varphi_{2_{P_3}}$, заключенному между осями ou и OY ; $хоу$ относительно XOY – углу $\varphi_{3_{P_3}}$, заключенному между осями oz и OZ .

Учитывая, что поворот системы oxy вокруг координатной оси, перпендикулярной к рассматриваемой точке формообразующей кромки, не изменяет ее наклона относительно основной базовой поверхности, можно записать

$$\cos \varphi_{1_{P_3}} = \cos \gamma_{P_\gamma} \cos \beta_{P_\beta}; \cos \varphi_{2_{P_3}} = \cos \gamma_{P_\gamma} \cos \lambda_{P_\lambda}; \cos \varphi_{3_{P_3}} = \cos \beta_{P_\beta} \cos \lambda_{P_\lambda}.$$

где γ, β, λ – углы микроповоротов СМП относительно осей системы координат XYZ .

После элементарных преобразований получили

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \varphi_{1_{P_3}} &= \frac{\sqrt{1 - \cos^2 \gamma_{P_\gamma} \cos^2 \beta_{P_\beta}}}{\cos \gamma_{P_\gamma} \cos \beta_{P_\beta}}; \operatorname{tg} \varphi_{2_{P_3}} = \frac{\sqrt{1 - \cos^2 \lambda_{P_\lambda} \cos^2 \gamma_{P_\gamma}}}{\cos \lambda_{P_\lambda} \cos \gamma_{P_\gamma}}; \\ \operatorname{tg} \varphi_{3_{P_3}} &= \frac{\sqrt{1 - \cos^2 \lambda_{P_\lambda} \cos^2 \beta_{P_\beta}}}{\cos \lambda_{P_\lambda} \cos \beta_{P_\beta}}. \end{aligned}$$

Отклонения линейных размеров, обусловленных погрешностью геометрической формы СМП, можно представить в виде $\Delta_{L_{\Phi_{P_\Phi}}} = (\Delta_{X_{\Phi_{P_\Phi}}}, \Delta_{Y_{\Phi_{P_\Phi}}}, \Delta_{Z_{\Phi_{P_\Phi}}})$.

Тогда отклонение расстояний от точек формообразующих кромок до осей выбранной системы координат можно представить как сумму относительной удаленности, поворота и отклонений от плоскости поверхностей СМП.

С учетом полученных выше зависимостей, определяющих значения элементов рассматриваемых матриц, можно записать

$$\begin{aligned} \Delta_{L_{X_{P_\Delta}}} &= \Delta_{a_{P_\Delta}} - \frac{Y_{P_Y} \operatorname{tg}(\Delta_\gamma)}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2(\Delta_\beta)}} + Z_{P_Z} \operatorname{tg}(\Delta_\beta) + \Delta_{X_{\Phi_{P_\Phi}}}; \\ \Delta_{L_{Y_{P_\Delta}}} &= \Delta_{b_{P_\Delta}} - \frac{X_{P_X} \operatorname{tg}(\Delta_\gamma)}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2(\Delta_\lambda)}} + Z_{P_Z} \operatorname{tg}(\Delta_\lambda) + \Delta_{Y_{\Phi_{P_\Phi}}}; \\ \Delta_{L_{Z_{P_\Delta}}} &= \Delta_{c_{P_\Delta}} - \frac{X_{P_X} \operatorname{tg}(\Delta_\beta)}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2(\Delta_\lambda)}} + Y_{P_Y} \operatorname{tg}(\Delta_\lambda) + \Delta_{Z_{\Phi_{P_\Phi}}}. \end{aligned}$$

С помощью матрицы налагаемых связей выявлялись функциональные зависимости между элементами погрешности расположения $[\omega_{y_P}] = (a_{y_P}, b_{y_P}, c_{y_P}, \lambda_{y_P}, \beta_{y_P}, \gamma_{y_P})$ с заданной вероятностью и нормальными координатами опорных точек

$$[\omega_{y_P}] = [Q_P][P_P] \quad (1)$$

где $[P_P]$ – матрица нормальных координат опорных точек;

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

$[Q_p]$ – матрица налагаемых связей, которая в общем случае представляет собой квадратную матрицу шестого порядка $[Q_p] = [q_{ip}]^n$ при $n = 6$,

$$[P_p] = [\Delta(X, Y, Z)_{1p}, \Delta(X, Y, Z)_{2p}, \Delta(X, Y, Z)_{3p}, \Delta(X, Y, Z)_{4p}, \Delta(X, Y, Z)_{5p}, \Delta(X, Y, Z)_{6p}].$$

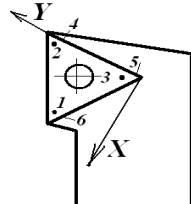
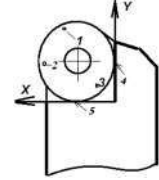
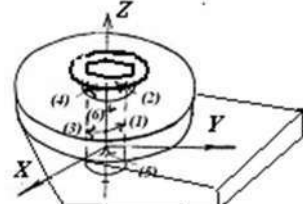
Тогда система (1) примет выражение

$$\begin{bmatrix} a_{yp} \\ b_{yp} \\ c_{yp} \\ \lambda_{yp} \\ \beta_{yp} \\ \gamma_{yp} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} q_{11p} & q_{12p} & q_{13p} & q_{14p} & q_{15p} & q_{16p} \\ q_{21p} & q_{22p} & q_{23p} & q_{24p} & q_{25p} & q_{26p} \\ q_{31p} & q_{32p} & q_{33p} & q_{34p} & q_{35p} & q_{36p} \\ q_{41p} & q_{42p} & q_{43p} & q_{44p} & q_{45p} & q_{46p} \\ q_{51p} & q_{52p} & q_{53p} & q_{54p} & q_{55p} & q_{56p} \\ q_{61p} & q_{62p} & q_{63p} & q_{64p} & q_{65p} & q_{66p} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta(X, Y, Z)_{1p} \\ \Delta(X, Y, Z)_{2p} \\ \Delta(X, Y, Z)_{3p} \\ \Delta(X, Y, Z)_{4p} \\ \Delta(X, Y, Z)_{5p} \\ \Delta(X, Y, Z)_{6p} \end{bmatrix}.$$

Для рассмотренных СМП и схем их базирования определялись составляющие q_{ij} , а результаты расчетов представлены в табл. 2.

Таблица 2

Анализ точности расположения СМП относительно корпуса

| Расчетные схемы, параметры, мм | Положение СМП относительно корпуса | | | | | |
|---|------------------------------------|------------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|
| | a, мм | b, мм | c, мм | λ , рад | β , рад | γ , рад |
|  <p>$\Delta Z_1 = 0,01; Y_4 = 15; \Delta Z_2 = 0,03; \Delta Z_3 = 0,015; \Delta X_5 = 0,03;$ $\Delta X_4 = 0,01; X_2 = 1,0; \Delta Y_6 = 0,244; X_1 = 12,287; Y_5 = 1; X_3 = 12,287;$ $Y_1 = 24,177; Y_2 = 1; Y_3 = 10,177$</p> | $-3,21 \cdot 10^{-2}$ | $-2,442 \cdot 10^{-2}$ | $-3,14 \cdot 10^{-2}$ | $3,57 \cdot 10^{-4}$ | $1,038 \cdot 10^{-3}$ | $1,40 \cdot 10^{-3}$ |
|  <p>$\Delta Z_1 = 0,01; \Delta Z_2 = 0,03; \Delta Z_3 = 0,015;$ $\Delta Y_5 = 0,02; \Delta X_4 = 0,02; X_1 = 14; X_2 = 25;$ $X_3 = 4; Y_1 = 25; Y_2 = 14;$ $Y_3 = 4$</p> | $-5,87 \cdot 10^{-5}$ | $-5,87 \cdot 10^{-5}$ | $-1,37 \cdot 10^{-2}$ | $7,48 \cdot 10^{-4}$ | $1,07 \cdot 10^{-3}$ | – |
|  <p>$\Delta X_1 = 0,02; \Delta X_2 = 0,01;$ $\Delta Z_5 = 0,02; \Delta Y_3 = 0,01; \Delta Y_4 = 0,02;$ $\Delta Y_6 = 0,01; Z_1 = 6,35; Z_2 = 0,5;$ $Z_3 = 6,35; Z_4 = 0,5$</p> | $9,15 \cdot 10^{-3}$ | $2,085 \cdot 10^{-2}$ | $-2,0 \cdot 10^{-2}$ | $1,71 \cdot 10^{-3}$ | $-1,71 \cdot 10^{-3}$ | $-1,26 \cdot 10^{-3}$ |

Данные табл. 2 позволяют сделать вывод, что при переходе от плоских боковых базовых поверхностей к цилиндрическим погрешность расположения по осям уменьшается соответственно от 2,29 до $5,5 \cdot 10^3$ раз. При переходе от базирования СМП на опорную и боковые поверхности к базированию на центральное отверстие и опорную поверхность приводит к увеличению погрешности расположения по осям систем координат от 158, 362 и 1,46 раза.

Выводы. Анализ полученных данных позволяет заключить, что наибольшей точностью обладают СМП с базированием на опорную поверхность в закрытый паз корпуса инструмента.

Список использованных источников

1. *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.
2. *Григорьян Г. Д.* Обеспечение стабильности профиля резьбы ходовых винтов качения / Г. Д. Григорьян, В. Н. Мухортов // Станки и инструмент. – 1986. – № 12. – С. 23–24.
4. *Кальченко В. И.* Шлифование криволинейных поверхностей крупногабаритных деталей / В. И. Кальченко. – М. : Машиностроение, 1979. – 160 с.
5. *Кальченко В. И.* Глибинне кругле шліфування зі схрещеними осями деталі і круга / В. И. Кальченко, В. В. Кальченко, М. А. Дмитренко // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. – Чернігів, 2009. – № 37. – С. 64–72.
9. *Перепелица Б. А.* Отображение аффинного пространства в теории формообразования поверхностей резанием / Б. А. Перепелица. – Х. : Вища школа, 1991. – 512 с.
10. *Решетов Д. Н.* Точность металлорежущих станков / Д. Н. Решетов, В. Т. Портман. – М. : Машиностроение, 1996. – 336 с.
11. *Михайлов М. И.* Моделирование точности сборного механизированного инструмента / М. И. Михайлов // Современные проблемы машиноведения : тезы докл. Междунар. науч.-техн. конф. (Гомель, 19–20 окт. 2006 г.). – Гомель, 2006. – С. 88–89.
12. *Михайлов М. И.* Моделирование точности позиционирования сменных многогранных пластин в корпусе инструмента плоскостным методом / М. И. Михайлов // Вестн. ГГТУ им. П. О. Сухого. – 2009. – № 3. – С. 30–37.
13. *Михайлов М. И.* Анализ точности позиционирования сменных многогранных пластин при базировании их на опорную поверхность и центральное отверстие сборного режущего инструмента / М. И. Михайлов // Технические науки – от теории к практике : сб. ст. по материалам Междунар. науч.-техн. конф. (Новосибирск, 24.08.2014 г.). – Новосибирск : СибАК, 2014. – С. 79–85.
14. *Ящерицын П. И.* Планирование эксперимента в машиностроении / П. И. Ящерицын, Е. И. Махаринский. – Минск : Выш. шк., 1985. – 286 с.
15. *Базров Б. М.* Расчет точности машин на ЭВМ / Б. М. Базров. – М. : Машиностроение, 1984. – 256 с.

Михайлов Михаил Иванович – доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой металлорежущих станков и инструментов, Гомельский государственный технический университет им. П. О. Сухого (просп. Октября, 48, г. Гомель, 246746, Беларусь).

Міхайлав Міхаіл Іванович – доктор технічних наук, доцент, завідувач кафедри металорізальних верстатів та інструментів, Гомельський державний технічний університет ім. П. О. Сухого (просп. Жовтня, 48, м Гомель, 246746, Білорусь).

Mikhailau Mikhail – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor Head of the Department of cutting machines and tools, Sukhoi State Technical University of Gomel, (48 October Av., 246746 Gomel, Belarus).

E-mail: mihailov@gstu.by

*Сергей Филоненко***ОПИСАНИЕ ЭНЕРГИИ АКУСТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ СВОЙСТВ ОБРАБАТЫВАЕМОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА***Сергій Філоненко***ОПИС ЕНЕРГІЇ АКУСТИЧНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ ПІД ЧАС ЗМІНИ ВЛАСТИВОСТЕЙ ОБРОБЛЮВАНОВОГО КОМПОЗИЦІЙНОГО МАТЕРІАЛУ***Sergey Filonenko***THE DESCRIPTION OF ACOUSTIC RADIATION ENERGY DURING THE CHANGE OF PROPERTIES OF MACHINED COMPOSITE MATERIAL**

Проведен анализ энергетических параметров акустической эмиссии в зависимости от свойств композиционного материала при его механической обработке для термоактивационной модели разрушения поверхностного слоя. Определены и описаны закономерности изменения энергетических параметров акустической эмиссии при возрастании параметра, характеризующего свойства композиционного материала. Показано, что наибольшую чувствительность к изменению свойств композиционного материала имеет дисперсия среднего уровня энергии результирующего сигнала акустической эмиссии.

Ключевые слова: акустическая эмиссия, композиционный материал, результирующий сигнал, термоактивационная модель, энергетические параметры, механическая обработка.

Рис.: 2. Табл.: 1. Библ.: 13.

Проведено аналіз енергетичних параметрів акустичної емісії залежно від властивостей композиційного матеріалу при його механічному обробленні для термоактиваційної моделі руйнування поверхневого прошарку. Визначено та описано закономірності зміни енергетичних параметрів акустичної емісії під час зростання параметра, що характеризує властивості композиційного матеріалу. Показано, що найбільшу чутливість до зміни властивостей композиційного матеріалу має дисперсія середнього рівня енергії результирующего сигнала акустичної емісії.

Ключові слова: акустична емісія, композиційний матеріал, результирующий сигнал, термоактиваційна модель, енергетичні параметри, механічне оброблення.

Рис.: 2. Табл.: 1. Бібл.: 13.

The analysis of acoustic emission energy parameters is conducted depending on properties of composite material machining for thermoactivative model of surface layer destruction. Are determined and are described of regularity change of acoustic emission energy parameters at ascending parameter describing property of composite material. Is showed, that the greatest sensitivity to change of composite material properties there is dispersion of acoustic emission resultant signal average level of energy.

Key words: acoustic emission, composite material, resultant signal, thermoactivative model, energy parameters, machining.

Fig.: 2. Tabl.: 1. Bibl.: 13.

Постановка проблемы. Композиционные материалы (КМ) находят широкое применение в различных изделиях. Это обусловлено их высокими физико-механическими характеристиками, стойкостью к высоким температурам и агрессивным средам. Однако КМ чувствительны к микродефектам, появление которых влияет на несущую способность изделий. В связи с этим при механической обработке КМ внимание уделяется разработке методов контроля и мониторинга технологических процессов с использованием традиционных и нетрадиционных методов исследований. К таким методам относится метод акустической эмиссии (АЭ).

Применение метода АЭ основано на его высокой чувствительности малой инерционности к процессам, происходящим в поверхностных слоях обрабатываемого КМ. Это позволяет получать значительные объемы информации. В тоже время большое число влияющих технологических факторов, а также физико-механические характеристики КМ усложняют интерпретацию изменения акустического излучения и его параметров. Экспериментальные закономерности изменения параметров АЭ, как правило, имеют частное приложение. Во многих случаях они являются не устойчивыми и противоречивыми, что ограничивает практическое применение метода АЭ для контроля и диагностики технологических процессов механической обработки КМ. В данном аспекте значение имеют теоретические исследования АЭ при механической обработке КМ, которые связаны с установлением закономерностей изменения параметров акустического излучения

(амплитудных и энергетических) при действии различных факторов. Это позволяет проводить направленные эксперименты с решением проблемы разработки методов контроля и мониторинга технологических процессов механической обработки КМ.

Одним из факторов, влияющим на энергетические параметры АЭ, являются физико-механические характеристики КМ. Определение закономерностей изменения энергетических параметров АЭ при механической обработке КМ с изменением его свойств для преобладающего термоактивационного разрушения поверхностного, безусловно, представляет научный и практический интерес.

Анализ последних исследований и публикаций. Высокая чувствительность метода АЭ к процессам, происходящим в поверхностных слоях различных материалов при их механической обработке (точение, фрезерование, сверление), показана во всех опубликованных экспериментальных исследованиях [1–4]. При этом показано, что технологические параметры механической обработки материалов, включая и КМ, влияют на параметры регистрируемой АЭ.

В работе [5] исследовано влияние скорости механической обработки, скорости продольной подачи резца и глубины резания при точении алюминиевого сплава на среднее и среднеквадратическое значения (СКЗ) амплитуд сигналов АЭ, а также их статистические характеристики. Показано, что возрастание скорости обработки приводит к увеличению амплитудных параметров АЭ. Однако возрастание скорости продольной подачи резца и глубины резания имеют не однозначное влияние на амплитудные параметры АЭ. В работе [6] при выполнении операции фрезерования титанового сплава получено, что возрастание скорости резания, скорости продольной подачи фрезы и глубины резания приводит к возрастанию среднего значения амплитуды регистрируемого сигнала АЭ. В тоже время в работе [7] отмечено, что при фрезеровании алюминиевого композита с возрастанием скорости обработки происходит уменьшение среднего значения амплитуды сигнала АЭ. Однако при возрастании скорости продольной подачи резца и глубины резания происходит увеличение среднего значения амплитуды сигнала АЭ. Аналогичное влияние глубины резания на АЭ получено и в работе [8] при фрезеровании титанового композита. При сверлении КМ в работе [9] показано, что с возрастанием скорости подачи инструмента происходит увеличение среднеквадратического значения (СКЗ) амплитуды сигнала АЭ. Возрастание скорости обработки КМ приводит к падению СКЗ АЭ. Аналогичный результат получен и в работе [10], где показано, что с возрастанием скорости обработки КМ происходит падение энергии регистрируемых сигналов АЭ.

Работ, связанных с исследованием влияния физико-механических характеристик КМ на АЭ, практически нет. Можно отметить работу [9], где проведен анализ влияния процентного содержания в КМ углеродного нановолокна на СКЗ сигнала АЭ. При этом показано, что чем выше содержание в КМ углеродного нановолокна, тем меньше СКЗ регистрируемого сигнала АЭ. Такие закономерности получены для различных значений скорости пода инструмента и скорости обработки КМ.

Теоретические исследования амплитудных характеристик сигналов АЭ при механической обработке для термоактивационной и механической моделей разрушения поверхностного слоя КМ при изменении его свойств проведены в работах [11; 12]. Проведенные исследования показали, что при разрушении поверхностного слоя КМ сигнал АЭ представляет собой непрерывный сигнал. Такой сигнал можно характеризовать средним уровнем амплитуды и величиной его разброса. При этом влияние свойств КМ на АЭ как для термоактивационного, так и механического разрушения поверхностного слоя однотипно. Показано, что с возрастанием параметров, которые характеризуют физико-механические характеристики КМ, происходит уменьшение амплитудных характеристик сигналов АЭ – среднего уровня амплитуды, его стандартного отклонения и

дисперсии. При этом определено, что уменьшение дисперсии среднего уровня амплитуды сигналов АЭ опережает уменьшение среднего уровня амплитуды и его стандартного отклонения. Моделирование энергии акустического излучения при механической обработке КМ для термоактивационной модели разрушения поверхностного слоя рассмотрено в работе [13]. Было показано, что с возрастанием параметра, характеризующего физико-механические характеристики КМ, наблюдается уменьшение энергии акустического излучения.

В тоже время интерес представляет исследование закономерностей изменения энергетических параметров АЭ при механической обработке КМ с изменением его физико-механических характеристик КМ для термоактивационной модели разрушения поверхностного слоя. Такие исследования позволят определить чувствительность энергетических параметров АЭ к изменению свойств обрабатываемого КМ.

Нерешенные части проблемы. Для обеспечения достоверности контроля и мониторинга технологических процессов механической обработки КМ значение имеют теоретические исследования акустического излучения с учетом влияния различных факторов. Такими факторами являются параметры технологического процесса механической обработки, а также свойства обрабатываемого и обрабатывающего КМ. Оптимизация параметров механической обработки КМ и разработка методов их контроля предполагают получение и описание закономерностей изменения амплитудных и энергетических параметров АЭ при действии различных факторов, а также определение чувствительности параметров АЭ.

Одним из параметров, влияющим на АЭ при механической обработке, являются физико-механические характеристики КМ. Получение и описание закономерностей изменения энергетических параметров АЭ при изменении свойств обрабатываемого КМ для термоактивационной модели разрушения его поверхностного слоя, а также определение чувствительности энергетических параметров АЭ к изменению свойств обрабатываемого КМ, безусловно, представляет научный и практический интерес.

Цель статьи. Целью работы является исследование закономерностей изменения энергетических параметров АЭ в зависимости от физико-механических характеристик обрабатываемого КМ для термоактивационной модели разрушения его поверхностного слоя.

Изложение основного материала. Для анализа закономерностей изменения энергетических параметров сигналов АЭ при изменении физико-механических характеристик обрабатываемого КМ для термоактивационного разрушения его поверхностного слоя будем использовать данные моделирования энергии акустического излучения, которые получены в работе [13]. В табл. приведены результаты статистической обработки энергетических параметров акустического излучения по данным проведенного моделирования, при условиях, рассмотренных в работе [13]. В табл. приняты следующие обозначения: $\tilde{\tau}_0$ – параметр, характеризующий физико-механические характеристики КМ; \tilde{E} – средний уровень энергии результирующего сигнала АЭ; $s_{\tilde{E}}$ – стандартное отклонение среднего уровня энергии результирующего сигнала АЭ; $s_{\tilde{E}}^2$ – дисперсия среднего уровня энергии результирующего сигнала АЭ.

На рис 1. показаны зависимости изменения среднего уровня энергии сигнала АЭ, его стандартного отклонения и дисперсии при изменении параметра $\tilde{\tau}_0$, характеризующего физико-механические характеристики КМ. Зависимости рис. 1 построены по данным, приведенным в табл.

Энергетические статистические характеристики результирующих сигналов АЭ при возрастании $\tilde{\tau}_0$

| $\tilde{\tau}_0$ | \tilde{E} | $S_{\tilde{E}}$ | $S_{\tilde{E}}^2$ |
|---------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| $1,0 \cdot 10^{-7}$ | $8,08568 \cdot 10^{-14}$ | $5,27677 \cdot 10^{-14}$ | $2,78443 \cdot 10^{-27}$ |
| $1,5 \cdot 10^{-7}$ | $2,17156 \cdot 10^{-14}$ | $1,73688 \cdot 10^{-14}$ | $3,01676 \cdot 10^{-28}$ |
| $2,0 \cdot 10^{-7}$ | $1,19714 \cdot 10^{-14}$ | $9,61907 \cdot 10^{-15}$ | $9,25266 \cdot 10^{-29}$ |
| $2,5 \cdot 10^{-7}$ | $7,53761 \cdot 10^{-15}$ | $5,89897 \cdot 10^{-15}$ | $3,47978 \cdot 10^{-29}$ |
| $3,0 \cdot 10^{-7}$ | $5,00381 \cdot 10^{-15}$ | $4,05458 \cdot 10^{-15}$ | $1,64396 \cdot 10^{-29}$ |

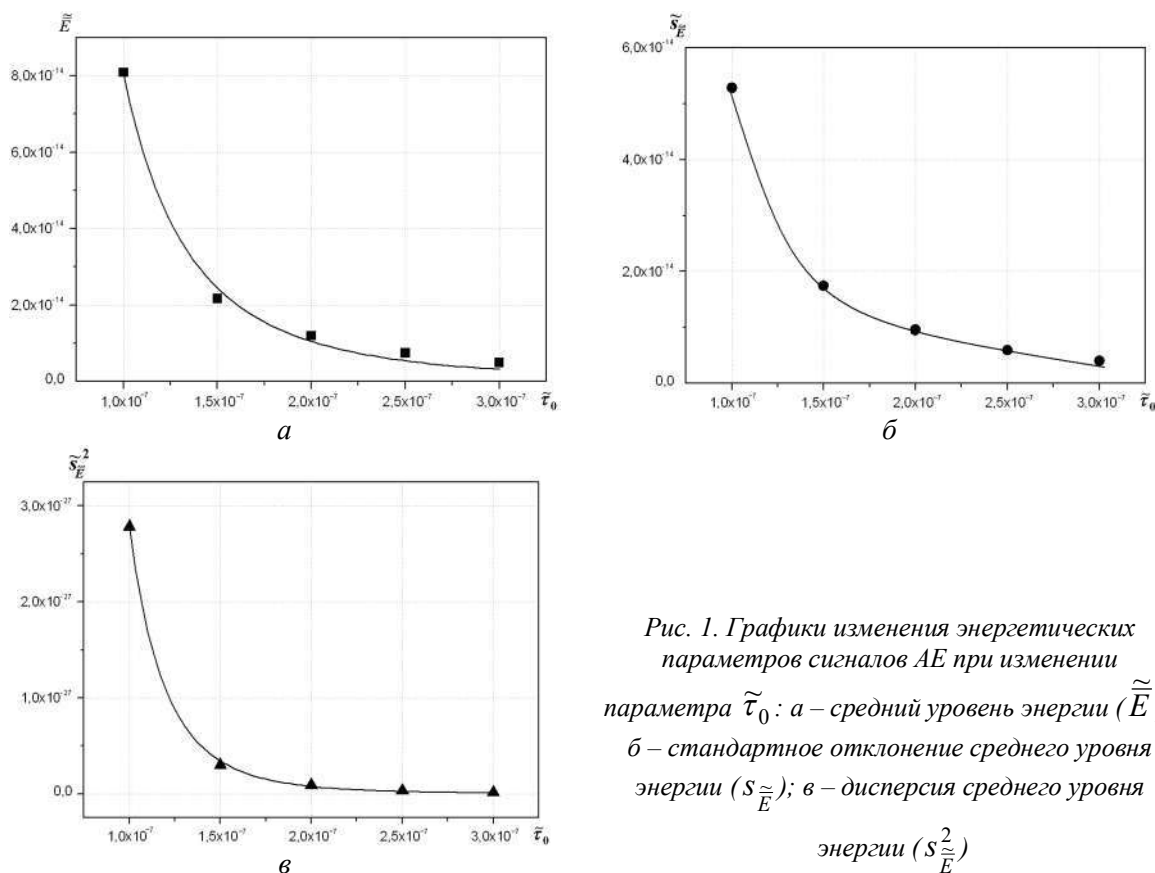


Рис. 1. Графики изменения энергетических параметров сигналов АЭ при изменении параметра $\tilde{\tau}_0$: а – средний уровень энергии (\tilde{E}); б – стандартное отклонение среднего уровня энергии ($S_{\tilde{E}}$); в – дисперсия среднего уровня энергии ($S_{\tilde{E}}^2$)

Полученные результаты (рис. 1) показывают, что возрастание значения $\tilde{\tau}_0$ приводит к падению энергетических параметров результирующего сигнала АЭ – среднего уровня энергии, его стандартного отклонения и дисперсии. При этом закономерности падения энергетических параметров сигналов АЭ имеют нелинейный характер изменения. Статистическая обработка полученных данных с их аппроксимацией показала, что зависимости изменения среднего уровня энергии сигналов АЭ, его стандартного отклонения и дисперсии хорошо описываются выражением вида

$$\tilde{D}_{\tilde{E}} = a \tilde{\tau}_0^b, \tag{1}$$

где $\tilde{D}_{\tilde{E}}$ – энергетический параметр сигналов АЭ (средний уровень энергии сигнала АЭ, стандартное отклонение среднего уровня энергии сигнала АЭ или дисперсия среднего уровня энергии сигнала АЭ);

a, b – коэффициенты аппроксимирующего выражения.

Критерием выбора аппроксимирующего выражения (1) для описания зависимостей, показанных на рис. 1, является минимум остаточной дисперсии.

Значения коэффициентов аппроксимирующего выражения (1) составляют: для среднего уровня энергии сигналов АЭ – $a = 2,3061 \cdot 10^{-34}$, $b = -2,93464$; для стандартного отклонения среднего уровня энергии сигналов АЭ – $a = 2,8205 \cdot 10^{-32}$, $b = -2,61013$; для дисперсии среднего уровня энергии сигналов АЭ – $a = 1,8775 \cdot 10^{-63}$, $b = -5,1672$.

Статистическая обработка данных при аппроксимации зависимостей (рис. 1) выражением (1) показала, что значения коэффициентов детерминации R^2 составляют: для среднего уровня энергии результирующих сигналов АЭ – $R^2=0,99565$; для стандартного отклонения среднего уровня энергии результирующих сигналов АЭ $s_{\tilde{E}} - R^2=0,99745$; для дисперсии среднего уровня энергии результирующих сигналов АЭ $s_{\tilde{E}}^2 - R^2=0,99965$.

Для определения чувствительности энергетических параметров сигналов АЭ к изменению физико-механических характеристик КМ при его механической обработке для термоактивационного разрушения поверхностного слоя проведем расчеты процентного падения среднего уровня энергии сигналов АЭ, его стандартного отклонения и дисперсии, по отношению к их значениям при $\tilde{\tau}_0=1,0 \cdot 10^{-7}$. Результаты проведенных расчетов показаны на рис. 2, где ΔZ – представляет анализируемый энергетический параметр сигналов АЭ.

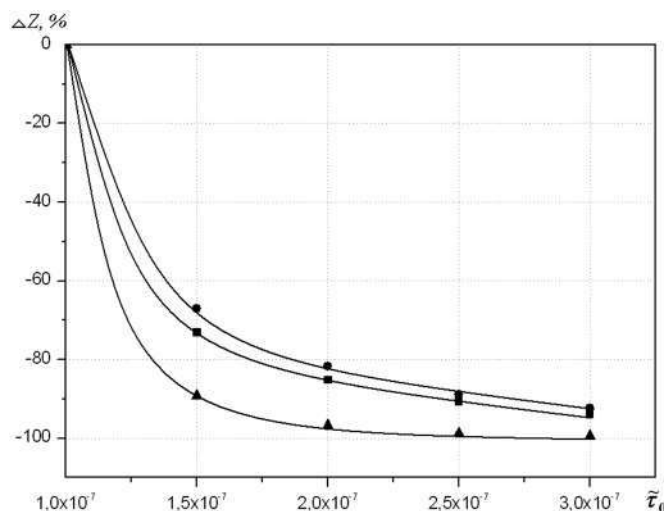


Рис. 2. Графики изменения процентного падения среднего уровня энергии \tilde{E} (■) результирующего сигнала АЭ, его стандартного отклонения $s_{\tilde{E}}$ (●) и дисперсии $s_{\tilde{E}}^2$ (▲) в зависимости от параметра $\tilde{\tau}_0$, характеризующего физико-механические характеристики КМ, при его механической обработке для термоактивационной модели разрушения поверхностного слоя

Из полученных результатов (рис. 2) видно, что с возрастанием значения $\tilde{\tau}_0$, характеризующего физико-механические характеристики КМ, процентное падение среднего уровня энергии результирующего сигнала АЭ опережает процентное падение стандартного отклонения среднего уровня энергии результирующего сигнала АЭ. В тоже время процентное падение дисперсии среднего уровня энергии результирующего сигнала АЭ опережает процентное падение среднего уровня энергии результирующего сигнала АЭ и его стандартного отклонения. Действительно, как показывают проведенные расчеты, при $\tilde{\tau}_0=1,5 \cdot 10^{-7}$ процентное падение среднего уровня энергии результирующего сиг-

нала АЭ, его стандартного отклонения и дисперсии, по отношению к их значениям при $\tilde{\tau}_0 = 1,0 \cdot 10^{-7}$, составляет: 73,14315, 67,08436, 89,16561 %. При $\tilde{\tau}_0 = 1,5 \cdot 10^{-7}$ процентное падение анализируемых параметров составляет соответственно: 93,81151, 92,31617 и 99,40959 %.

Результаты проведенных исследований показывают, что наибольшую чувствительность к возрастанию параметра, характеризующего физико-механические характеристики КМ, имеет дисперсия среднего уровня энергии результирующего сигнала АЭ. Уменьшение дисперсии среднего уровня энергии сигнала АЭ опережает уменьшение среднего уровня энергии и его стандартного отклонения.

Выводы. Проведена обработка энергетических параметров акустического излучения с построением закономерностей их изменения в зависимости от свойств КМ при его механической обработке для термоактивационной модели разрушения поверхностного слоя. Выяснено, что при возрастании параметра, характеризующего физико-механические характеристики КМ, зависимости изменения энергетических параметров сигналов АЭ имеют нелинейный характер падения. Статистическая обработка данных с аппроксимацией полученных зависимостей показала, что изменение среднего уровня энергии сигналов АЭ, его стандартного отклонения и дисперсии хорошо описываются степенной функцией. Получены зависимости изменения процентного падения среднего уровня энергии сигналов АЭ, его стандартного отклонения и дисперсии в зависимости от свойств КМ по отношению к их начальным значениям. Показано, что наибольшую чувствительность к возрастанию параметра, характеризующего физико-механические характеристики КМ, имеет дисперсия среднего уровня энергии результирующего сигнала АЭ. Уменьшение дисперсии среднего уровня энергии сигнала АЭ опережает уменьшение среднего уровня энергии сигнала АЭ и его стандартного отклонения. Проведенные исследования показывают, что анализ дисперсии среднего уровня энергии результирующего сигнала АЭ можно использовать при разработке методов контроля и мониторинга технологических процессов механической обработки для контроля неравномерности свойств обрабатываемого КМ.

В тоже время интерес представляет исследование энергии акустического излучения при механической обработке КМ с изменением его физико-механических характеристик для механической модели разрушения поверхностного слоя.

Список использованных источников

1. *Teti R.* Advanced IT Methods of Signal Processing and Decision Making for Zero Defect Manufacturing in Machining / R. Teti // *Procedia CIRP*. – 2015. – Vol. 28. – P. 3–15.
2. *Mukhopadhyay C. K.* Statistical analysis of acoustic emission signals generated during turning of a metal matrix composite / C. K. Mukhopadhyay, T. Jayakumar, B. Raj, S. Venugopal // *J. of the Braz. Soc. of Mech. Sci. and Eng.* – 2012. – Vol. XXXIV, No.2. – P. 145–154.
3. *Ren Q.* High-order interval type-2 Takagi-Sugeno-Kang fuzzy logic system and its application in acoustic emission signal modeling in turning process / Q. Ren, M. Balazinski, L. Baron // *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* – 2012. – Vol. 63. – P. 1057–1063.
4. *Prakash M.* Tool Condition Monitoring using Multiple Sensors Approach in the Micro end milling of Aluminium Alloy (AA1100) / M. Prakash, M. Kanthababu, S. Gowri, R. Balasubramaniam, J.R. Jegaraj // 5-th Int. and 26-th All India Manufacturing Technology, Design and Research Conference (December 12–14, 2014, IIT Guwahati, Assam, India). – 2014. – P. 394–1–394–6.
5. *Fadare D. A.* Influence of cutting parameters and tool wear on acoustic emission signal in high-speed turning of Ti-6Al-4V alloy / D. A. Fadare, W. F. Sales, J. Bonney, E. O. Ezugwu // *Journal of Emerging Trends in Engineering and Applied Sciences (JETEAS)*. – 2012. – Vol. 3 (3). – P. 547–555.
6. *Thepsonthi T.* Modeling and optimization of micro-end milling process for micro-manufacturing / T. Thepsonthi // A dissertation submitted to the Graduate School-New Brunswick Rutgers, The State University of New Jersey. – 2014. – 246 p.

7. *Giriraj B.* Prediction of progressive tool wear using acoustic emission technique and artificial neural network / B. Giriraj // Journal of Civil Engineering Science: An International Journal. – 2012. – Vol. 1, No.1–2. – P. 43–46.
8. *Mcleay T.* Failure mode analysis to define process monitoring systems / T. Mcleay, M. S. Turner // Journal of machine engineering. – 2011. – Vol. 11, No.4. – P. 118–129.
9. *Rajakumari P. T.* Online monitoring of drilling carbon fiber reinforced polymeric nanocomposite laminates using acoustic emission technique / P. T. Rajakumari // A thesis submitted by in partial fulfillment for the requirement of award of the degree of doctor of philosophy faculty of mechanical engineering (Anna university, Chennai). – 2013. – 171 p.
10. *Andoh P. Y.* Development of a control strategy for monitoring the delaminating damage in drilling of carbon composite laminates / P. Y. Andoh, F. Davis, S. Owusu-Ofori // Journal of Science and Technology. – 2010. – Vol. 30, No.2. – P. 142–156.
11. *Filonenko S.* Simulation of acoustic emission in composite material machining with regard to its physical and mechanical characteristics / S. Filonenko, T. Nimchenko // Visnyk of Chernihiv State Technological University. – 2015. – № 2 (78). – P. 44–50.
12. *Филоненко С. Ф.* Влияние свойств обрабатываемого композиционного материала на акустическую эмиссию / С. Ф. Филоненко // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2015. – Т. 2, № 5 (74). – С. 60–64.
13. *Филоненко С. Ф.* Влияние свойств обрабатываемого композиционного материала на энергетические параметры акустической эмиссии / С. Ф. Филоненко // Вісник інженерної академії України. – 2015. – № 4. – С. 187–192.

Филоненко Сергей Федорович – доктор технических наук, профессор, директор Института информационно-диагностических систем, Национальный авиационный университет (просп. Комарова, 1, г. Киев, 03058, Украина).

Філоненко Сергій Федорович – доктор технічних наук, професор, директор Інституту інформаційно-діагностичних систем, Національний авіаційний університет (просп. Комарова, 1, м. Київ, 03058, Україна).

Filonenko Sergey – Doctor of Technical Sciences, professor, director of the Institute of Informational-Diagnostic Systems, National Aviation University (1 Komarova Av., 03058 Kyiv, Ukraine).

E-mail: fils0101@gmail.com

УДК 620.178

Владимир Анисимов, Владимир Анисимов, Александр Чуприна

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ ИЗМЕРЕНИЯ УСИЛИЯ РЕЗАНИЯ ПРИ ТОЧЕНИИ

Володимир Анісімов, Володимир Анісімов, Олександр Чуприна

ПЕРСПЕКТИВНІ НАПРЯМКИ ДОСЛІДЖЕНЬ В ОБЛАСТІ ВИМІРЮВАННЯ ЗУСИЛЛЯ РІЗАННЯ ПІД ЧАС ТОЧІННЯ

Vladimir Anisimov, Vladimir Anisimov, Alexandr Chuprina

PROGRESSIVE RESEARCH DIRECTIONS IN THE SPHERE OF CUTTING FORCES MEASUREMENT IN TURNING

Существует большое количество методов исследования усилия резания, которые в большинстве являются эмпирическими. Систематизированы методики исследования усилия резания. Представлены реализованные авторами концептуальные решения для измерения усилия резания при точении. Предложены новые направления разработки и конструкции устройств для измерения усилия резания при точении.

Ключевые слова: усилие резания, точение, измерение, резец, тензодатчик.

Рис.:5. Бібл.:5.

Існує велика кількість методів дослідження зусилля різання, які в більшості є емпіричними. Систематизовано методики дослідження зусилля різання. Представлено реалізовані авторами концептуальні рішення для вимірювання зусилля різання під час точіння. Запропоновано нові напрямки розроблення та конструкції пристроїв для вимірювання зусилля різання під час точіння.

Ключові слова: зусилля різання, точіння, вимірювання, різець, тензодатчик.

Рис.:5. Бібл.:5.

There are many methods of cutting force investigations, most part of them are empirical. Methods of studying cutting force are systematized. Implemented by authors conceptual solutions for cutting force measurement during turning are presented. New directions of development and designs of devices for cutting force measurement when turning are proposed.

Key words: cutting force, turning, measuring, cutter, strain gauge.

Fig.:5. Bibl.:5.

Постановка проблемы, анализ последних исследований и публикаций. При интенсивном развитии современных технологий в машиностроении обработка резанием остается актуальной частью технологии формообразования и размерной обработки деталей машин. На данный момент существует множество методик расчета режимов резания и расчета параметров режущего инструмента. Эти методики основаны на обработке эмпирических данных методами статистики и построением эмпирических формул [1] либо на основе глубоких теоретических исследований свойств материалов и моделирования процессов с применением сложного математического аппарата.

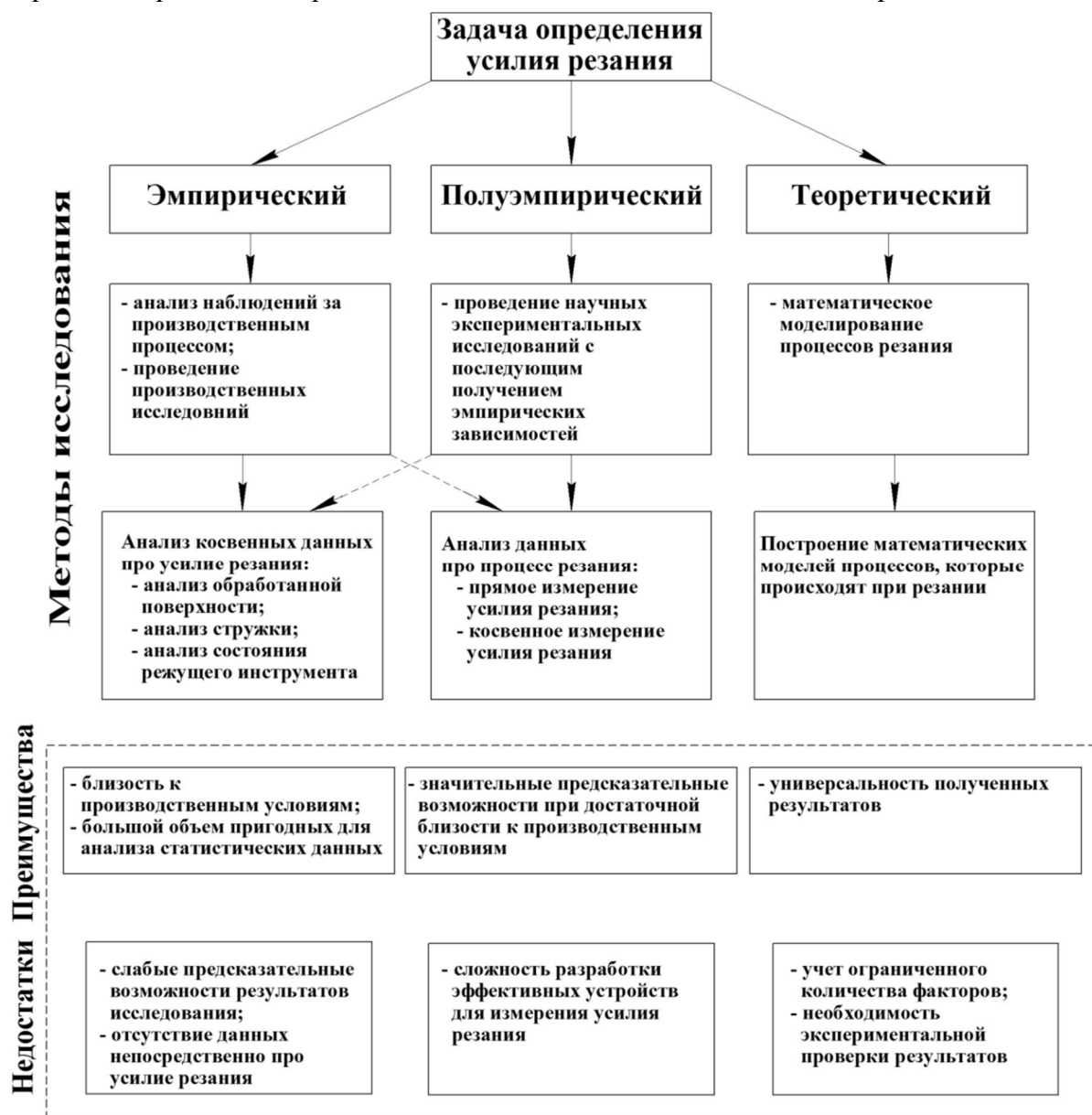


Рис. 1. Основные пути решения задачи предсказания усилия резания

Таким образом, существует множество путей решения задач параметризации процессов резания и, в частности, предсказания усилия резания. Одним из наиболее перспективных, на взгляд авторов, является полуэмпирический путь, который позволяет со-

вместить относительную простоту эмпирических и высокую точность теоретических методов.

Изложение основного материала. Ранее выполненные разработки. На первом этапе исследований было разработано приспособление для исследования усилия резания РИТ-С [2].

Предложенное техническое решение заключается в отделении головки измерительного устройства от корпуса, а также использовании жесткой механической системы, которая, с одной стороны, передает усилие резания с головки на измерительный элемент (планку тензодатчика), а с другой – не препятствует установке устройства на действующем оборудовании.

Разработанное устройство (рис. 2), которое получило название «резец измерительный тензометрический сборный» (РИТ-С), позволяет выделять из суммарного усилия резания одну из его составляющих – P_z и измерять ее.

Рассмотрим глубже конструкцию и принцип работы резца.

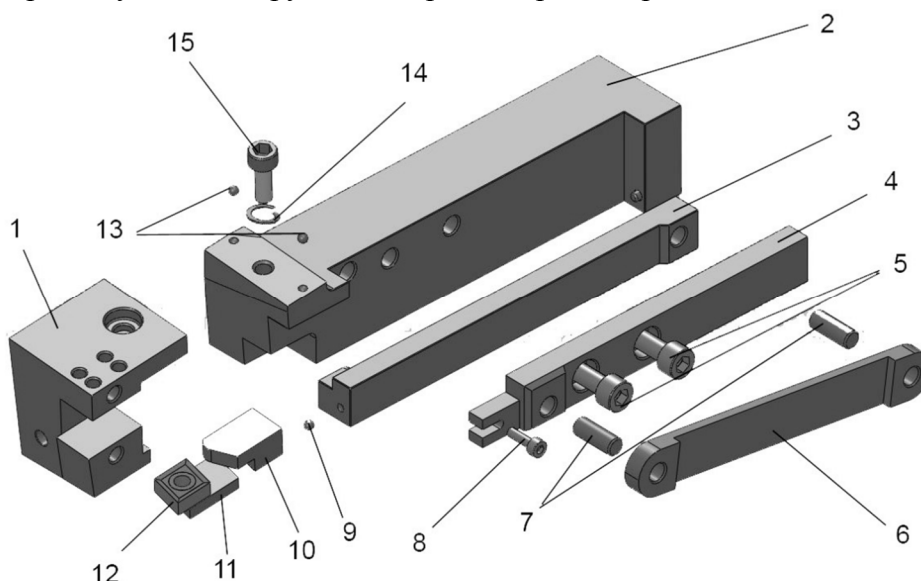


Рис. 2. Конструкция РИТ-С:

1 – головка; 2 – корпус; 3 – нижняя планка; 4 – верхняя планка; 5 – болты М6; 6 – планка тензодатчика; 7 – оси; 8 – болт М3; 9 – нажимной шарик; 10 – прокладка верхняя; 11 – прокладка нижняя; 12 – режущая пластина; 13 – опорные шарики; 14 – пружина; 15 – прижимной болт

Резец состоит из корпуса (2), головки (1), которая опирается на корпус при помощи двух опорных шариков (13), а третьим, нажимным шариком (9), давит на систему планок, которая состоит из жестко закрепленной верхней планки (4), нижней планки (3) и планки тензодатчика (6). В головке резца с помощью четырех прижимных болтов закрепляется режущая пластина (12). Предварительное натяжение системы осуществляется при помощи прижимного болта (15).

Под действием силы резания головка давит на нижнюю планку, что приводит к растяжению планки тензодатчика, на которой наклеен сам тензодатчик.

Сигнал с тензодатчика усиливается с помощью тензометрического усилителя, например УТ4-1, фиксируется аналогово-цифровым преобразователем и передается на компьютер, где из сигнала формируются таблицы данных.

Проведены тарировочные испытания и теоретические расчеты, которые показали следующее: данное устройство способно измерять усилие от 1 Н; рекомендуемый диапазон нагрузок – от 100 Н до 1000 Н; при разгрузке системы возникает небольшой прогнозируемый гистерезис; погрешность устройства в рекомендованном интервале не превышает 3%.

Разработанное устройство может закрепляться в резцедержателе любого универсального токарного станка, не препятствует доступу к зоне резания, обеспечивает возможность подвода СОЖ, имеет наглядный вид и может быть использовано как в учебном процессе так в научных целях.

Перспективные направления исследований и их концепции

По результатам предыдущих разработок и исследований сформировано концепции:

- при измерении одной составляющей усилия резания необходимо добиваться отсутствия влияния остальных составляющих на показания;
- для трехкоординатного усилия резания необязательно измерять отдельно каждую составляющую, достаточно лишь разработать методику однозначной расшифровки из совместного действия;
- устройство для измерения усилия резания должно разрабатываться на основе токарного резца, тогда оно будет универсальным, сможет применяться в условиях, близких к производственным.

Вышеперечисленные концепции дали возможность сформировать перспективные направления исследований в области измерения усилия резания (рис. 3).



Рис. 3. Перспективные направления исследований в области измерения усилия резания

Рассмотрим представленные направления исследований более подробно.

Устройство для измерения усилия резания РИТ-С2 представляет собой развитие конструкции РИТ-С. В нем сохраняется идея отделения головки резца от корпуса, но предлагается изменить механическую систему передачи усилия резания на чувствительный элемент. Конструкция РИТ-С2 представлена на рис. 4.

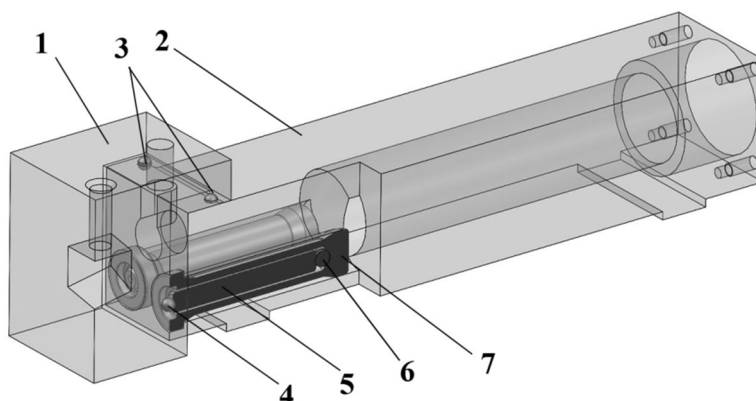


Рис. 4. Конструкция РИТ-С2: 1 – головка; 2 – корпус (державка); 3 – опорные шарики; 4 – упорный шарик; 5 – стержень мездозы; 6 – шаровая опора; 7 – стакан

Как и в РИТ-С, усилие резания передается с головки 1 через упорный шарик 4. Однако в качестве механической системы передачи усилия используется мездоза. Усилие резания со стержня 5 мездозы через шаровую опору 6 передается на стакан 7, на котором наклеен тензодатчик. В корпусе резца предусмотрено глухое отверстие для вывода проводов.

В данном приспособлении система передачи усилия резания надежно защищена корпусом резца от внешних воздействий. Также устройство имеет более простую систему шарниров, что уменьшает гистерезис показаний.

Устройства для трехкоординатного измерения усилия резания призваны отбросить задачу механического отделения составляющих усилия резания как таковую. В то же время возникает задача разработки схемы наклейки тензодатчиков и методики расшифровки сигналов от них.

Самым простым примером реализации трехкоординатного измерения усилия резания является «резец измерительный тензометрический трехкоординатный» (РИТ-3D). Он представляет собой стандартный токарный резец со специальным образом наклеенными тензодатчиками и большим вылетом из резцедержателя. Схема РИТ-3D представлена на рис. 5.

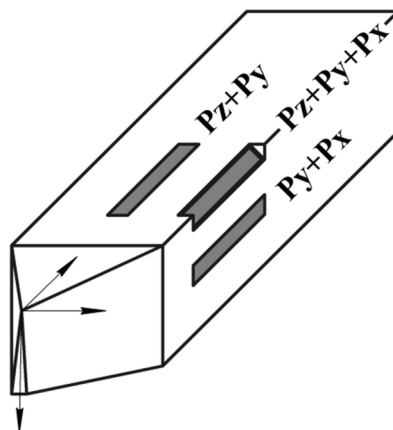


Рис. 5. Схема приспособления для трехкоординатного измерения усилия резания РИТ-3D

Основная идея трехкоординатного измерения усилия резания заключается в том, что оно измеряется одновременно тремя датчиками в различных местах сечения резца, а потом полученные сигналы расшифровываются и преобразуются в значение составляющих усилия резания.

В частности, датчик на горизонтальной поверхности резца (рис. 4) воспринимает составляющие P_z и P_y , а составляющую P_x не воспринимает, т. к. находится на нейтральной линии при изгибе в этом направлении. Угловой датчик воспринимает все три составляющие, а датчик на вертикальной стенке, соответственно, не воспринимает составляющую P_z .

Расшифровка сигналов датчиков сводится к решению системы уравнений (1):

$$\begin{cases} A = P_x + P_y; \\ B = P_x + P_y + P_z; \\ C = P_y + P_x. \end{cases} \quad (1)$$

где A, B, C – сигналы датчиков; P_z, P_y, P_x – составляющие усилия резания.

Основным предполагаемым недостатком данной конструкции является слабая чувствительность резца из-за значительной его жесткости. Возможные пути избавления от этого недостатка:

- увеличение вылета резца из резцедержателя;

– уменьшение осевого момента инерции поперечного сечения резца в месте наклейки тензодатчиков, например, выполнение специальных пропилов с целью уменьшения жесткости;

– увеличение количества параллельно работающих тензодатчиков.

Идеи уменьшения жесткости корпуса резца и увеличения количества тензодатчиков нашли реализацию в проекте резца для трехкоординатного измерения усилия резания «Резец-Т», общий вид которого представлен на рис. 6.

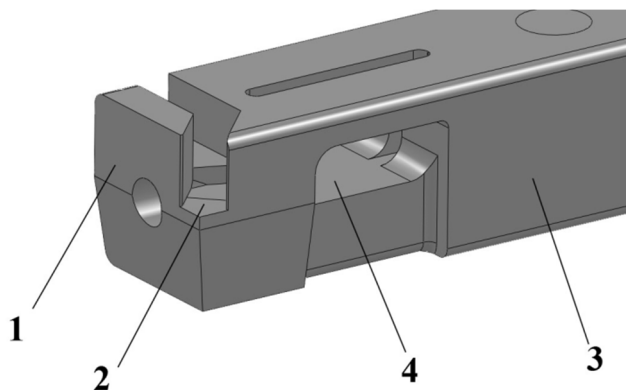


Рис. 6. Конструкция приспособления для трехкоординатного измерения усилия резания Резец-Т

Из рис. 6 видно, что данное приспособление для измерения усилия резания имеет выемку сложной формы, которая позволяет уменьшить жесткость резца, и, как следствие, повысить чувствительность приспособления.

Представленные выше приспособления для измерения усилия резания открывают широкий спектр исследований силовой стороны процессов резания.

Одним из наиболее тривиальных направлений является исследование влияния смазывающе-охлаждающей жидкости (СОЖ) на усилие резания. Уже на данный момент проведены некоторые исследования, которые показали, что грамотный с позиции усилия резания подбор СОЖ позволяет уменьшить энергопотребление при резании на 10 – 15 % без каких-либо дополнительных затрат.

Нетривиальным направлением является исследование усилия резания при электро-токовой обработке. Известно, что при пропускании электрического тока через зону резания обрабатываемый материал в ней нагревается и размягчается вплоть до расплавления, что значительно уменьшает усилие резания. Но для выявления наиболее эффективных режимов такой обработки необходимы соответствующие устройства для измерения усилия резания, которые и представлены выше.

Также перспективным направлением является исследование процесса резания полимеров. В последнее время использование полимеров стало широко распространенным во многих отраслях машиностроения и не только. Тем не менее основная доля изделий из полимеров изготавливается методом формовки и имеет невысокую точность в сравнении с изделиями из металла после механической обработки. Поэтому актуальным является получение и систематизация данных про оптимальные режимы обработки полимеров резанием.

На данный момент уже проведены некоторые исследования в этом направлении, которые представлены в [3; 4;5].

Выводы и предложения. Из вышеизложенного материала видно, что уже существует ряд исследований в области измерения усилия резания. Есть множество идей и предложений для дальнейших исследований в этой области, некоторые из которых освещены в данной статье. Подобные решения возможно предложить и для других методов обработки, например для сверления, фрезерования и др. Также интерес представ-

ляет исследование напряженного состояния режущего инструмента с позиции измерения усилия резания. Некоторые из описанных направлений уже находятся на разных стадиях реализации, другие существуют лишь в форме идеи, но все они в той или иной степени могут помочь глубже понять механизм процесса резания или получиться прикладные результаты.

Список использованных источников

1. *Штучный Б. П.* Обработка пластмасс резанием : справочное пособие / Б. П. Штучный. – М. : Машиностроение, 1974. – 145 с.
2. *Анисимов В. В.* Разработка приспособления для измерения усилия резания при точении / В. В. Анисимов, О. Л. Чуприна // Труды VII Международной научно-практической конференции “Trans-Mech-Art-Chem”. – М. : МИИТ, 2010. – С. 8–9.
3. *Оптимизация режимов резания при механической обработке ароматического полиамида* / О. С. Кабат, А. Л. Чуприна, В. И. Сытар, В. В. Анисимов // Вопросы химии и химической технологии. – 2011. – № 5. – С. 201–204.
4. *Анісімов В. В.* Технологія обробки різанням литих газокристалічних матеріалів / В. В. Анісімов, О. Л. Чуприна // Тези доповідей IV Міжнародної науково-технічної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Хімія і сучасні технології». – Дніпропетровськ, 2009. – С. 243.
5. *Новая конструкция устройства для многокоординатного измерения усилия резания при точении* / В. В. Анисимов, К. Н. Строчиков, А. Л. Чуприна, А. П. Клименко // Тези доповідей VI Міжнародної науково-технічної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Хімія і сучасні технології». – Дніпропетровськ, 2013. – Т. 1. – С. 107.

Анисимов Владимир Владимирович – кандидат технических наук, ассистент кафедры машиностроения и инженерной механики, ГВУЗ «Украинский государственный химико-технологический университет» (просп. Гагарина, 8, г. Днепропетровск, 49005, Украина).

Анісімов Володимир Володимирович – кандидат технічних наук, асистент кафедри машинобудування та інженерної механіки, ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет» (просп. Гагаріна, 8, м. Дніпропетровськ, 49005, Україна).

Anisimov Vladimir – PhD in Technical Sciences, Assistant of mechanical engineering department, SHED “Ukrainian State University of Chemical Technology” (8 Gagarina Av., 49005 Dnepropetrovsk, Ukraine).

E-mail: wovilon@mail.ru

Анисимов Владимир Николаевич – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры машиностроения и инженерной механики, ГВУЗ «Украинский государственный химико-технологический университет» (просп. Гагарина, 8, г. Днепропетровск, 49005, Украина).

Анісімов Володимир Миколайович – доктор технічних наук, професор, професор кафедри машинобудування та інженерної механіки, ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет» (просп. Гагаріна, 8, м. Дніпропетровськ, 49005, Україна).

Anisimov Vladimir – Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of mechanical engineering department, SHED “Ukrainian State University of Chemical Technology” (8 Gagarina Av., 49005 Dnepropetrovsk, Ukraine).

E-mail: vn7anisimov@ukr.net

Чуприна Александр Леонидович – кандидат технических наук, доцент кафедры машиностроения и инженерной механики, ГВУЗ «Украинский государственный химико-технологический университет» (просп. Гагарина, 8, г. Днепропетровск, 49005, Украина).

Чуприна Олександр Леонідович – кандидат технічних наук, доцент кафедри машинобудування та інженерної механіки, ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет» (просп. Гагаріна, 8, м. Дніпропетровськ, 49005, Україна).

Chuprina Alexandr – PhD in Technical Sciences, Assistant Professor, Assistant Professor of mechanical engineering department, SHED “Ukrainian State University of Chemical Technology” (8 Gagarina Av., 49005 Dnepropetrovsk, Ukraine).

УДК 621.923.42

*Геннадій Веремей***АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА ВОССТАНОВЛЕНИЯ СЁДЕЛ
КЛАПАНОВ В АВТОРЕМОНТНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ***Геннадій Веремей***АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЦЕСУ ВІДНОВЛЕННЯ СІДЕЛ КЛАПАНІВ
У АВТОРЕМОНТНОМУ ВИРОБНИЦТВІ***Gennadii Veremei***THE EFFICIENCY ANALYSIS OF VALVE SEATS OVERHAUL PROCESS
IN AUTO REPAIRING INDUSTRY**

Проведён анализ эффективности процесса восстановления сёдел клапанов путём оценки производительности разработанного технологического оборудования и её сравнения с показателями трудоёмкости обработки известных производителей оснащения в современном авторемонтном производстве.

Ключевые слова: анализ трудоёмкости, процесс дефектации, сёдла клапанов, производительность обработки, процесс восстановления.

Табл.: 4. Библ.: 7.

Проведено аналіз ефективності процесу відновлення сідел клапанів за допомогою оцінювання продуктивності розробленого технологічного обладнання та її порівняння з показниками трудомісткості оброблення відомих виробників оснащення в сучасному авторемонтному виробництві.

Ключові слова: аналіз трудомісткості, процес дефектації, сідла клапанів, продуктивність оброблення, процес відновлення.

Табл.: 4. Бібл.: 7.

The efficiency analysis of the valve seats overhaul process by assessing the productivity of the designed technological equipment and its comparison with indicators of processing complexity for known equipment manufacturers in the modern car repairing industry was carried out.

Key words: complexity analysis, flaw detection process, valve seats, productivity of processing, overhaul process.

Табл.: 4. Бібл.: 7.

Постановка проблемы. В современном авторемонтном производстве газораспределительных механизмов (ГРМ) двигателей внутреннего сгорания (ДВС) процессы восстановления сёдел клапанов отличаются повышенной трудоёмкостью в силу недостаточного совершенства применяемого оборудования и ремонтных технологий. Использование существующего оснащения не позволяет обеспечить требуемое качество обработки сёдел клапанов и требует дополнительно применения трудоёмких ручных операций, что значительно снижает производительность обработки при проведении восстановительного ремонта. Поэтому вопрос повышения эффективности процесса восстановления сёдел клапанов за счёт снижения трудоёмкости их обработки без потерь в качестве является актуальной задачей в области капитальных ремонтов ГРМ.

Анализ исследований и публикаций. Практические исследования и обзор литературных источников [4] показывают, что обработка сёдел клапанов в сфере машиностроения является не просто решаемой технологической задачей. В основном производстве эта проблема решается путём использования специализированного оборудования на базе станков с CNC, эксплуатация которого в авторемонтной промышленности является экономически нецелесообразной. Мониторинг существующего авторемонтного оборудования для обработки сёдел клапанов указал на применение, в основном, оборудования в виде портативных шлифовальных машинок и лезвийных приспособлений ручного типа (компании-производители: Rossi&Kramer (Италия), Neway (Китай), Chris Marine (Швеция), Прицизион (Россия) и др.) [2]. Исследование большинства ремонтных технологий указало на наличие финишных притирочных операций при восстановлении сёдел клапанов с целью обеспечения требуемого параметра шероховатости обрабатываемых поверхностей. В работе [3] разработано специальное оборудование, а также предложен метод обработки, режущий инструмент (РИ) и материал, позволяю-

щие исключить операцию по притирке и обеспечить требуемые параметры качества сёдел клапанов.

Цель статьи. Провести анализ эффективности процесса восстановления сёдел клапанов путём оценки производительности нового разработанного технологического оборудования [3; 6; 7] и сравнить её с показателями трудоёмкости технологий у известных производителей аналогичного оснащения в современном авторемонтном производстве.

Изложение основного материала. Эффективность любого производства в обобщенной форме [4] характеризуется его результативностью и определяется как отношение результатов производства к общим затратам. При расчете общих затрат применяют систему конкретных показателей, основным из которых является производительность труда.

В данной работе анализ эффективности процесса восстановления сёдел клапанов проводится по показателю производительности путём проведения оценки трудоёмкости его выполнения [2].

Производительность ремонтного производства определяется количеством деталей, восстанавливаемых в единицу времени. Тогда часовая производительность [1]:

$$N_{\text{час}} = 60 / t_{\text{ПВ}}, \text{ шт/ч}, \quad (1)$$

где $t_{\text{ПВ}}$ – общий показатель трудовых затрат, требуемых для обработки одной головки блока ДВС.

Общий показатель трудовых затрат на дефектацию и обработку:

$$t_{\text{ПВ}} = t_{\text{ПД}} + t_{\text{ПО}}, \quad (2)$$

где $t_{\text{ПВ}}$, $t_{\text{ПД}}$, $t_{\text{ПО}}$, соответственно, трудоёмкость выполнения процессов восстановления, дефектации и обработки сёдел клапанов.

Тогда суммарные временные затраты на выполнение всех операций процесса восстановления:

$$t_{\text{ПВ}} = \sum_{i=1}^m t_{\text{шк}_i}^{\text{ПД}} + \sum_{j=1}^k t_{\text{шк}_j}^{\text{ПО}}, \quad (3)$$

где $t_{\text{ПД}} = \sum_{i=1}^m t_{\text{шк}_i}^{\text{ПД}}$ и $t_{\text{ПО}} = \sum_{j=1}^k t_{\text{шк}_j}^{\text{ПО}}$ – суммарная трудоёмкость выполнения всех операций в процессах дефектации и обработки, соответственно;

$t_{\text{шк}_i}^{\text{ПД}}$ – трудоёмкость (штучно-калькуляционное время) выполнения операции дефектации;

$t_{\text{шк}_j}^{\text{ПО}}$ – трудоёмкость (штучно-калькуляционное время) выполнения операции обработки;

m и k – количество всех операций при дефектации и обработке.

Трудоёмкость выполнения операции процессов дефектации и обработки, соответственно:

$$t_{\text{шк}}^{\text{ПД}} = \frac{1}{n} t_{\text{нз}}^{\text{ПД}} + t_{\text{шт}}^{\text{ПД}}, \quad t_{\text{шк}}^{\text{ПО}} = \frac{1}{n} t_{\text{нз}}^{\text{ПО}} + t_{\text{шт}}^{\text{ПО}}, \quad (4)$$

где $t_{\text{нз}}^{\text{ПД}}$ и $t_{\text{шт}}^{\text{ПД}}$ – подготовительно-заключительное и штучное время на выполнение процесса дефектации;

$t_{\text{нз}}^{\text{ПО}}$ и $t_{\text{шт}}^{\text{ПО}}$ – подготовительно-заключительное и штучное время на выполнение процесса обработки;

n – количество сёдел, подаваемых одновременно на рабочее место.

Штучное время, расходуемое в процессе выполнения дефектации и обработки одного седла клапана:

$$t_{шт}^{ПД} = t_{ом}^{ПД} + t_{д}^{ПД}, \quad t_{шт}^{ПО} = t_{ом}^{ПО} + t_{д}^{ПО}, \quad (5)$$

где $t_{ом}^{ПД}$ и $t_{д}^{ПД}$ – основное технологическое и вспомогательное время, расходуемое на выполнение дефектации одного седла клапана;

$t_{ом}^{ПО}$ и $t_{д}^{ПО}$ – основное технологическое (машинное) и вспомогательное время, расходуемое на обработку одного седла клапана.

В процессе дефектации при оценке состояния изношенного седла клапана методом использования профилограмм и круглограмм мерительные операции проводятся в 4-х вертикальных сечениях и радиальном направлении (3-х поперечных сечениях) [2]. Тогда:

$$t_{ом}^{ПДП} = \frac{L_m \cdot w}{60 \cdot V_{П}}, \quad t_{ом}^{ПДК} = \frac{2\pi \cdot R_{св} \cdot q}{60 \cdot \omega_k}, \quad (6)$$

где $t_{ом}^{ПДП}$ – основное технологическое время на выполнение операции получения профилограмм (мин);

L_m – длина трассы контролируемой поверхности (мм);

w – количество замеров (соответствует числу продольных сечений);

$V_{П}$ – скорость перемещения иглы профилометра (мм/с);

$t_{ом}^{ПДК}$ – основное технологическое время на выполнение операции получения круглограмм (мин);

$R_{св}$ – радиус седла впускного клапана (мм) (в расчёте принимается больший радиус седла с целью определения максимальных трудовых затрат);

q – количество замеров (соответствует числу поперечных сечений);

ω_k – окружная скорость иглы кругломера (мм/с).

В соответствии с данными табл. 1 и формулами (2–6) в табл. 2 представлены результаты расчётов общих трудовых затрат и составляющих трудоёмкости выполнения процессов дефектации и обработки седел клапанов. Часовая производительность процесса восстановления седел клапанов при ремонте 8-клапанной головки ДВС, в соответствии с формулой (1), $N_{час} = 60/79,6 = 0,75$ шт/ч.

Таблица 1

Входные данные для расчёта составляющих трудоёмкости процессов дефектации и обработки седел клапанов

| м, шт | к, шт | п, шт | в, шт | q, шт | L _м , мм | R _{св} , мм | V _П , мм/с | ω _к , мм/с |
|-------|-------|-------|-------|-------|---------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|
| 8 | 8 | 8 | 4 | 3 | 2 | 35 | 3 | 2,75 |

Таблица 2

Результаты расчётов составляющих трудоёмкости восстановления 8-клапанной головки ДВС

| Показатель трудовых затрат | Расчётное значение показателя, мин |
|--|------------------------------------|
| 1 | 2 |
| Трудоёмкость восстановления ($t_{ПВ}$) | 79,6 |
| Трудоёмкость процесса дефектации ($t_{ПД}$) | 65,12 |
| Трудоёмкость процесса обработки ($t_{ПО}$) | 14,5 |
| Штучно-калькуляционное время выполнения дефектации ($t_{шт}^{ПД}$) | 8,14 |
| Штучно-калькуляционное время выполнения обработки ($t_{шт}^{ПО}$) | 1,81 |
| Подготовительно-заключительное время на выполнение процесса дефектации ($t_{пз}^{ПД}$) | 4,8 |

Окончание табл. 2

| 1 | 2 |
|---|------|
| Подготовительно-заключительное время на выполнение процесса обработки ($t_{пз}^{ПО}$) | 2,5 |
| Штучное время на выполнение операции дефектации ($t_{шт}^{ПД}$) | 7,54 |
| Штучное время на выполнение операции обработки ($t_{шт}^{ПО}$) | 1,5 |
| Основное технологическое время на выполнение дефектации одного седла ($t_{ом}^{ПД}$) | 2,04 |
| Вспомогательное время на выполнение дефектации одного седла ($t_{д}^{ПД}$) | 7,5 |
| Машинное время на обработку одного седла ($t_{ом}^{ПО}$) | 0,3 |
| Вспомогательное время на обработку одного седла ($t_{д}^{ПО}$) | 1,2 |

Сравнительные показатели трудоёмкости существующих ремонтных технологий восстановления сёдел клапанов при абразивной и лезвийной обработке приведены в табл. 3.

Таблица 3

Сводная таблица сравнения показателей трудоёмкости существующих ремонтных технологий восстановления сёдел клапанов

| Вид обработки (оборудование, производитель) | | Показатель трудоёмкости | | | | Всего процесса обработ- ки, мин |
|--|--|--|------------------|--------------------------|------------------|--|
| | | Основное технологиче- ское время, мин | | Штучное время, мин | | |
| | | На формо- образование | На при- тирку | На формо- образование | На при- тирку | |
| Абразивная обработка | Машинная (шлифовальная пор- тативная машинка, Rossi&Kramer, Италия) | 1,9 | 0,3 | 2,4 | 0,8 | 28,6 |
| | Машинная (шлифовальная пор- тативная машинка Р-176, При- цизион, Россия) | 2,4 | 0,3 | 2,9 | 0,8 | 32,6 |
| Лезвийная обработка | Ручная (многолезвийные голо- вки, Neway, Китай) | 0,9 | 0,5 | 1,1 | 1,3 | 19,4 |
| | Машинная (станочное приспо- собление для зенкования, быв- ший СССР) | 0,6 | 0,5 | 1,9 | 1,5 | 29,2 |
| | Машинная (станочное приспо- собление для растачивания профи- льной пластиной, Украина) | 0,3 | - | 1,5 | - | 14,5 |

Для полной оценки повышения эффективности процесса восстановления сёдел клапанов по показателям капиталоотдачи, материалоотдачи, энергоёмкости и производительности может быть использован интегральный показатель эффективности, который учитывает влияние всех факторов производства и рассчитывается по формуле [2]:

$$E = \frac{Q}{P + M + \gamma \cdot K}, \tag{7}$$

где E – эффективность производства; Q – объем произведенной продукции; P – затраты труда; M – затраты материалов; K – затраты основного капитала; γ – коэффициент перевода затрат одnorазовых вложений в основной капитал.

Формула (7) в модифицированном виде может быть применена для оценки экономической эффективности авторемонтных работ

$$E_{рем} = \frac{C \cdot K_{рем}}{P + M + O}, \tag{8}$$

где $E_{рем}$ – эффективность ремонтного производства;

M – затраты материалов (тыс. грн);

P – трудозатраты (тыс. грн);

O – использование (затраты) основного оборудования (тыс. грн);

$K_{рем}$ – количество отремонтированных головок блока (шт.);

C – стоимость ремонта одной головки (для клиента) (тыс. грн).

Тогда по формуле (7) может быть рассчитана первичная экономическая эффективность восстановительного ремонта сёдел клапанов (таблица 4).

Таблица 4

Результаты расчёта экономической эффективности восстановительного ремонта сёдел клапанов

| Основные факторы ремонтного производства | Значение показателя |
|--|---------------------|
| Стоимость ремонта одной головки (для клиента) C , тыс. грн | 0,5 |
| Количество головок, которые могут быть отремонтированы без замены лезвийного инструмента $K_{рем}$, шт. | 110 |
| Средняя стоимость предложенного приспособления M , тыс. грн | 45 |
| Использование основного оборудования (станок) O , тыс. грн | 1,5 |
| Трудозатраты P , тыс. грн | 5 |
| Эффективность авторемонтного производства $E_{рем}$ | 1,068 |

Показатель эффективности восстановительного ремонта сёдел клапанов $E_{рем} > 1$, что характеризует результативность рассматриваемого авторемонтного производства.

Выводы и предложения. Проведённый анализ эффективности процесса восстановления сёдел клапанов по показателю трудоёмкости с использованием предложенных методов и разработанного оборудования позволил в среднем добиться снижения трудоёмкости при выполнении восстановительного ремонта сёдел клапанов на 25 % по сравнению с временными затратами существующих традиционных технологий.

Список использованных источников

1. Бондаренко С. Г. Основы технологии машиностроения / С. Г. Бондаренко. – Чернигов : ЧГТУ, 2005. – 567 с.
2. Веремей Г. А. Повышение эффективности процесса восстановления сёдел клапанов в авторемонтном производстве : дис. канд. техн. наук / Г. А. Веремей. – Чернигов : ЧНТУ, 2015. – 183 с.
3. Веремей Г. А. Усовершенствование оборудования для восстановительного ремонта сёдел клапанов в газораспределительных механизмах / Г. А. Веремей // Вісник інженерної академії України. – 2014. – № 2. – С. 37–41.
4. Кальченко В. І. Технологічні методи забезпечення якості з'єднання «клапан-сідло» газорозподільного механізму двигуна внутрішнього згорання / В. І. Кальченко, В. В. Кальченко, Г. О. Веремей // Вісник Севастопольського національного технічного університету : збірник. – Севастополь : СевНТУ, 2011. – № 121. – С. 18–21.
5. Маслов Н. Н. Эффективность и качество ремонта автомобилей / Н. Н. Маслов. – М. : Транспорт, 1981. – 304 с.
6. Патент України на корисну модель № 95725, МПК В23В 43/00. Пристрій для обробки сідел клапанів / В. В. Кальченко, С. С. Гончарук, Г. О. Веремей ; заявник і патентовласник Чернігівський національний технологічний університет. № у 2014 04435 ; опубл. 12.01.2015, Бюл. № 1.
7. Патент України на корисну модель № 95724, МПК В23В 47/00. Пристосування для базування пристрою з обробки сідел клапанів / С. С. Гончарук, Г. О. Веремей ; заявник і патентовласник Чернігівський національний технологічний університет. № у 2014 04434 ; опубл. 12.01.2015, Бюл. № 1.

Веремей Геннадій Александрович – кандидат технічних наук, старший преподаватель кафедри автомобільного транспорту, машиностроєння і промислового дизайну, Чернігівський національний технологічний університет (ул. Шевченка, 95, г. Чернігів, 14027, Україна).

Веремей Геннадій Олександрович – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри автомобільного транспорту, машинобудування та промислового дизайну, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

Veremei Gennadii – PhD in Technical Sciences, senior lecturer of Automobile Transport, Machine Building and Industrial Design Department, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: gennady_1972@mail.ru

УДК 621.93

Любов Ковальова, Сергій Майданюк

МОДЕЛЮВАННЯ ЗУСИЛЬ РІЗАННЯ КРУГЛИМИ ПИЛКАМИ З РІЗНОНАПРАВЛЕНИМИ ЗУБЦЯМИ

Любовь Ковалева, Сергей Майданюк

МОДЕЛИРОВАНИЕ УСИЛИЙ РЕЗАНИЯ КРУГЛЫМИ ПИЛАМИ С РАЗНОНАПРАВЛЕННЫМИ ЗУБЬЯМИ

Liubov Kovalova, Serhii Maidaniuk

MODELING OF CUTTING FORCES CIRCULAR SAWS WITH MULTI-DIRECTIONAL TEETH

Проведено математичне моделювання зусиль різання під час оброблення круглими пилами з різнонаправленими зубцями на основі експериментальних досліджень. Вперше отримано аналітичні залежності зусиль різання круглими пилами з різнонаправленими зубцями. Адекватність встановлених аналітичних залежностей підтверджена експериментальним шляхом, що свідчить про можливість їх використання у ході розроблення практичних рекомендацій з вибору раціональних оптимальних геометричних параметрів та режимів різання круглих пилок з різнонаправленими зубцями.

Ключові слова: кругла пила, геометричні параметри, зусилля різання, математичне моделювання.

Рис.: 2. Табл.: 1. Бібл.: 12.

Проведено математическое моделирование усилий резания при обработке круглыми пилами с разнонаправленными зубьями на основе экспериментальных исследований. Впервые получены аналитические зависимости усилий резания круглыми пилами с разнонаправленными зубьями. Адекватность установленных аналитических зависимостей подтверждена экспериментальным путем, что свидетельствует о возможности их использования при разработке практических рекомендаций по выбору рациональных оптимальных геометрических параметров и режимов резания круглых пил с разнонаправленными зубьями.

Ключевые слова: круглая пила, геометрические параметры, усилия резания, математическое моделирование.

Рис.: 2. Табл.: 1. Библ.: 12.

In the work it is studied mathematical modeling of cutting forces when machining circular saws with multi-directional teeth on the basis of experimental researches. For the first time it has been obtained the analytical dependence of cutting forces of circular saws with multi-directional teeth. The adequacy of established analytical dependences is confirmed experimentally, that suggests the possibility of their use in the development of practical recommendations for the optimal choice of rational geometrical parameters and cutting conditions for circular saw with multi-directional teeth.

Key words: circular saw, geometrical parameters, cutting forces, mathematical modeling.

Fig.: 2. Tabl.: 1. Bibl.: 12.

Постановка проблеми. Зі зростанням вимог до виготовлення заготовок, зниження витрат матеріалу за рахунок підвищення точності та шорсткості оброблення, зменшення розмірів задирок на торцевих оброблюваних поверхнях постає завдання розроблення круглих пилок підвищеної точності та працездатності.

Оброблення матеріалів різанням є складним процесом, який супроводжується різноманітними фізичними, хімічними і динамічними явищами. Під час здійснення різання використовується складна технологічна система верстат–пристрій–інструмент–деталь, що володіє великим числом ступенів свободи. Інструмент, як складова частина цієї системи, характеризується конструктивними елементами, геометрією різальної частини, властивостями інструментального матеріалу тощо, які нерозривно пов'язані з умовами роботи інструменту (режимами різання, жорсткістю системи, властивостями оброблюваного матеріалу, умовами оброблення тощо).

Одним з найбільш значних показників процесу різання є сила різання та рівень вібрацій, які нерозривно пов'язані між собою. Так у роботах [1–7] відзначається, що основним джерелом виникнення вібрацій під час різання металів є сила різання. З іншого боку, ці характеристики (сила різання та рівень вібрацій) безпосередньо пов'язані з якістю оброблення, стійкістю та довговічністю інструменту. Тому питання визначення та регулювання зусиль різання, за рахунок геометричних параметрів та режимів різання є актуальним науковим завданням під час проектування інструменту.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідженню впливу конструктивних, геометричних параметрів та режимів різання круглих пилок на покращення процесу різання присвячені роботи багатьох учених. Встановлено [1–7], що у процесі різання круглими пилками виникають зовнішні періодичні збуджуючі сили – сили різання, внаслідок ударів зубців пилки в моменти початку та закінчення процесу різання кожним зубцем, які викликають вимушені коливання диска інструменту та призводять до його динамічної нестійкості.

У роботах [1–5] встановлено, що під час роботи круглих пилок за рахунок різних факторів виникають кінематичні збуджуючі сили, які є небезпечними на перших 4-х власних частотах. Тому, відповідно, основним завданням є зменшення коливань саме на цих частотах.

У працях [1–5] досліджено вплив конструктивних особливостей круглих пилок (величини нерівномірності кроку, кількості зубів у групі, загальна кількість зубів пилки, геометрія різальної частини) на зусилля різання й вібрації під час відрізання сталевих заготовок та встановлено, що мінімальних збуджуючих сил (сил різання) можна досягнути за рахунок нерівномірного кроку зубців інструменту.

У дисертаціях В. Г. Панчука [6; 7] вивчено вплив різноманітних схем зрізання припуску круглими пилками на зусилля різання та вібрації під час розрізання заготовок та встановлено, що використання прогресивної схеми різання істотно зменшує вібрації та, відповідно, зусилля різання. У роботі також відзначалося, що зусилля, які виникають у процесі різання даним інструментом, не призводять до виникнення критичних вібрацій (на перших 4-х власних частотах).

Виділення не вирішених раніше частин проблеми. Слід відзначити, що наявні дослідження процесу відрізання круглими пилками стосуються лише інструментів з прямими та похилими зубцями. Разом з цим відомі конструкції пилок з різнонаправленими зубцями [8–10], що позитивно зарекомендували себе під час оброблення різних пластиків, деревини та металів, проте різання таким інструментом досліджено недостатньо і будь-які рекомендації щодо вибору режимів різання та геометрії інструменту відсутні.

Метою роботи є визначення зусиль різання під час відрізання круглими пилками з різнонаправленими зубцями методом математичного моделювання.

Виклад основного матеріалу. Для визначення функціональних залежностей зусиль різання від геометричних параметрів та режимів різання було проведено моделювання процесу розрізання круглими пилками з різнонаправленими зубцями з використанням методу евристичної самоорганізації – методу групового врахування аргументів (МГВА) [11].

Цей метод дозволяє по невеликій кількості експериментальних даних отримувати моделі, адекватні досліджуваному процесу. На відміну від інших методів він працює при невідомій структурі функціональної залежності та не вимагає складання спеціальних планів проведення експериментів, що дає можливість моделювати процеси як за результатами заздалегідь спланованих експериментів, так і за статистичними даними. Як показала експериментальна перевірка [5; 11], отримані методом МГВА моделі більш точно враховують конкретні умови оброблення та придатні для оптимізації цих умов.

Експериментальні дослідження зусиль різання проводились під час відрізання заготовок із круглого прокату діаметром 12 мм зі сталі 45 за ГОСТ 1050-88 на універсаль-

но-фрезерному верстаті 6Б75ВФ круглими пилками діаметром 160 мм, товщиною 1,6 мм з кількістю зубців 80, виготовленими зі швидкорізальної сталі Р6М5.

Вимірювання складових зусиль різання проводилося універсальним динамометром УДМ-600 конструкції ВНДІ «Інструмент» за допомогою комп'ютеризованого комплексу визначення зусиль різання [12]. Тарування динамометра проводилося за методикою ВНДІ «Інструмент» за допомогою зразкового динамометра ДОСМ-3-0,05 системи Н.Т. Токаря.

За досліджувани змінні були прийняті геометричні параметри, що характеризують конструкцію інструменту, та режими різання (рис. 1): кут нахилу передньої поверхні τ_γ до осі фрези у площині, перпендикулярній до передньої поверхні; кут нахилу задньої поверхні τ_α до осі фрези у площині, перпендикулярній до задньої поверхні, подача S_z , швидкість різання V . Вибір цих параметрів зумовлений конструкцією верстата та технологічними особливостями виготовлення інструменту.

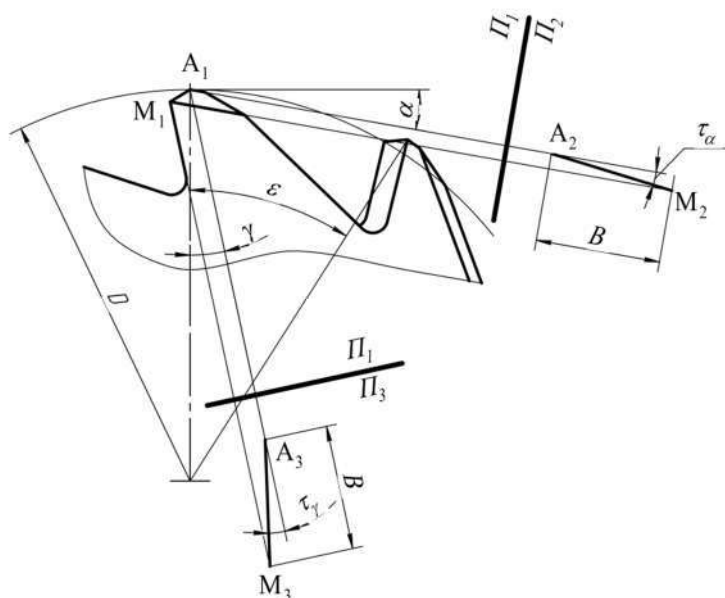


Рис. 1. Геометричні параметри круглої пилки з різнонаправленими зубцями

Як вихідні параметри процесу відрізання прийняті зусилля різання, які у процесі роботи круглої пилки визначалися за складовими: сила подачі P_s , що навантажує механізм подачі верстата; вертикальна сила відтискання P_n , що направлена перпендикулярно до стола верстата та бокова сила P_a , що направлена вздовж осі інструменту (рис. 2).

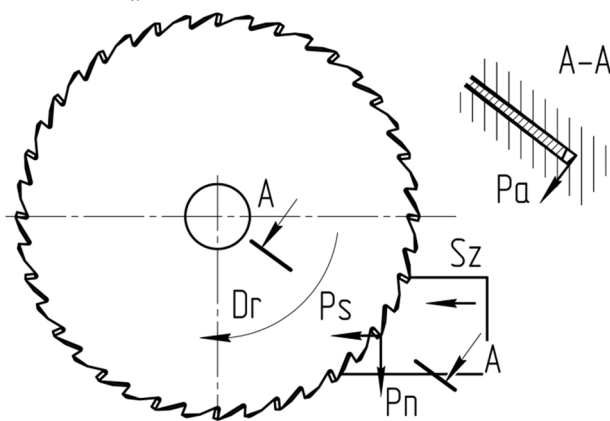


Рис. 2. Схема дії складових сили різання круглої пилки з різнонаправленими зубцями

Математичне моделювання процесу різання включає такі етапи: вибір меж змінювання досліджуваних факторів, побудову статистичного плану експериментів та його реалізацію, вибір простору вхідних змінних, синтез моделей і перевірка їх адекватності процесу, що вивчається [11].

Діапазони змінювання досліджуваних факторів під час моделювання зусиль різання обиралися на основі обмежень за параметрами верстата, літературними джерелами, нормативними документами та наведені у таблиці.

Таблиця

Межі змінювання вхідних факторів

| Границі зміни вхідних факторів | Вхідні фактори | | | |
|--------------------------------|----------------------|----------------------|------------------------|----------------|
| | τ_α , град | τ_γ , град | V , хв ⁻¹ | S_z , мм/зуб |
| нижня | 0 | -10 | 8 | 0,013 |
| верхня | 20 | 10 | 31,7 | 0,025 |

Інформаційна матриця експериментальних даних отримана в результаті реалізації плану з 30 дослідів. План охоплював усю область функціонування об'єкта.

Для синтезу моделей з використанням спрощеного модифікованого алгоритму МГВА необхідно було обрати простір вихідних даних. Досвід використання алгоритмів МГВА для одержання моделі процесів різання та силових характеристик інструментів [11] показав, що цей простір необхідно задавати із врахуванням виду функцій, якими описується процес. Пошук моделей, що описують залежності силових характеристик процесу різання круглими пилками від досліджуваних факторів, проводився у просторі x , $\frac{1}{x}$, $\ln x$. Зусилля різання як вихідні параметри у матрицю вхідних даних вводилися у просторі $\ln y$. Класом функцій для побудови моделей було обрано клас ступеневих поліномів.

У результаті оброблення експериментальних даних отримано залежності зусиль різання $Pa = f(\tau_\alpha, \tau_\gamma, V, S_z)$, $Ps = f(\tau_\alpha, \tau_\gamma, V, S_z)$, $Pn = f(\tau_\alpha, \tau_\gamma, V, S_z)$ (1-3):

$$P_s = \exp \left(\begin{aligned} &4,06 + 120,1 \frac{S_z}{V} + 70,71 \frac{\ln S_z}{\tau_\gamma} + 20,31 \frac{(\ln S_z)^2 S_z}{\tau_\alpha \tau_\gamma V} + 1,9 \frac{(\ln S_z)^2}{\tau_\alpha \tau_\gamma V^2} + \\ &+ 0,332 \frac{(\ln S_z)^2}{\tau_\alpha \tau_\gamma V^3 S_z} + 1,513 \frac{V \ln \tau_\alpha (\ln S_z)^2}{\tau_\gamma^2} \end{aligned} \right), \quad (1)$$

$$P_a = \exp \left(\begin{aligned} &3,83 - 3,4 \cdot 10^{-3} \frac{\ln V}{S_z} + 8,98 \cdot 10^{-4} \tau_\alpha \tau_\gamma + \frac{7,72 \cdot 10^{-2}}{\tau_\alpha V} + \\ &+ 2,46 \cdot 10^{-6} \tau_\alpha^3 V^2 S_z + 4,9 \cdot 10^{-8} \frac{(\ln V)^3 \ln S_z}{S_z^2} - \\ &- 8,43 \cdot 10^{-6} \tau_\alpha V^2 \end{aligned} \right), \quad (2)$$

$$P_n = \exp \left(\begin{array}{l} 5,13 + 0,626\tau_\alpha S_z + 1,52 \cdot 10^{-3} \ln V \ln S_z - \\ - 8,38 \cdot 10^{-5} (\ln V)^2 (\ln S_z)^4 - 5,52 \cdot 10^{-6} (\ln V)^2 (\ln S_z)^6 + \\ + 4,05 \cdot 10^{-6} \tau_\alpha^2 V S_z (\ln V)^2 (\ln S_z)^4 - \\ - 2,35 S_z \ln \tau_\alpha \end{array} \right). \quad (3)$$

Результати перевірки адекватності моделі за критерієм Фішера дозволили прийняти гіпотезу про адекватність моделей зусиль різання круглих пилок з різнонаправленими зубцями процесу. Перевірка значущості коефіцієнтів отриманого полінома проводилась за t -критерієм Стьюдента.

Висновки. Виконано математичне моделювання та отримано аналітичні залежності зусиль різання під час оброблення круглими пилками з різнонаправленими зубцями на основі експериментальних досліджень. Адекватність встановлених аналітичних залежностей підтверджена експериментальним шляхом, що свідчить про можливість їх використання під час оптимізації геометричних параметрів та режимів різання круглих пилок з різнонаправленими зубцями як додаткових обмежень.

Список використаних джерел

1. *Боронко О. О.* Метод розрахунку вібраційних процесів машинобудівних конструкцій : дис. ... д-ра техн. наук : спец. 05.02.09 / Боронко Олег Олександрович. – К., 2003. – 267 с.
2. *Лорох Р.* Повышение работоспособности дисковых пил при отрезке круглых заготовок : дис. ... канд. техн. наук : спец. 05.03.01 / Лорох Роланд. – К., 1998. – 231 с.
3. *Равская Н. С.* Экспериментальные исследования процесса отрезки дисковыми пилами с неравномерным шагом зубьев / Н. С. Равская, А. В. Семенов // Резание и инструмент в технологических системах. – 1999. – Вып. 53. – С. 144–145.
4. *Проектирование* прогрессивных конструкций дисковых пил с неравномерным шагом / Н. С. Равская, А. Е. Бабенко, О. А. Боронко, В. С. Парненко // Прогрессивные технологии и системы машиностроения. – 2000. – № 13. – С. 134–137.
5. *Семенов А. В.* Разработка дисковых пил с неравномерным шагом : дис. ... канд. техн. наук : спец. 05.03.01 / Семенов Александр Витальевич. – К., 1998. – 194 с.
6. *Панчук В. Г.* Підвищення ефективності досліджень зусиль різання при відрізанні фрезами : дис. ... канд. техн. наук : спец. 05.03.01 / Панчук Віталій Георгійович. – Івано-Франківськ, 1997. – 206 с.
7. *Панчук В. Г.* Теоретичні основи проектування відрізних фрез : дис. ... д-ра техн. наук : спец. 05.03.01 / Панчук Віталій Георгійович. – К., 2009. – 360 с.
8. *Пат. 28445* Україна, МПК6 В 23 С 5/08 Фреза відрізна / Н. С. Равська, Р. П. Родін, Л. І. Ковальова, В. С. Карпович, О. О. Хмельов (UA), Р. Лорох (DE) – № 97020864 ; заявл. 27.02.1997 ; опубл. 16.10.2000, Бюл. № 5.
9. *Пат. 28451 А* Україна, МПК6 В 23 С 5/08. Фреза відрізна / Н. С. Равська, Р. П. Родін, Л. І. Ковальова, В. С. Карпович, О. О. Хмельов (UA), Р. Лорох (DE) ; заявник і власник патенту Нац. техн. у-т України «КПІ». – № 97031010 ; заявл. 06.03.1997 ; опубл. 16.10.2000, Бюл. № 5.
10. *ДСТУ ГОСТ 20317:2008.* Фрезы дисковые для разрезки пластмасс типа текстолит. Конструкция и размеры. – Введен 2008–07–01. – К. : Госстандарт Украины, 2008.
11. *Родин П. Р.* Монолитные твердосплавные концевые фрезы / П. Р. Родин, Н. С. Равская, А. И. Касьянов. – К. : Вища школа, 1985. – 64 с.
12. *Майданюк С. В.* Модуль спряження комплексу досліджень силових характеристик при різанні / С. В. Майданюк, О. А. Плівак // Тези доповідей загальноуніверситетської науково-технічної конференції молодих вчених та студентів, присвяченої дню науки. Секція «Машинобудування». – К., 2014.

Ковальова Любов Іванівна – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри інтегрованих технологій машинобудування, Національний технічний університет України «КПІ» (просп. Перемоги, 37, м. Київ, 03056, Україна).

Ковалева Любов Іванівна – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри інтегрованих технологій машинобудування, Національний технічний університет України «КПІ» (просп. Перемоги, 37, м. Київ, 03056, Україна).

Liubov Kovalova – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of Integrated Manufacturing Engineering Department, National Technical University of Ukraine “KPI” (37 Peremohy Av., 03056 Kyiv, Ukraine).

E-mail: l_kovalieva@mail.ru

Майданюк Сергій Володимирович – асистент кафедри інтегрованих технологій машинобудування, Національний технічний університет України «КПІ» (просп. Перемоги, 37, м. Київ, 03056, Україна).

Майданюк Сергій Володимирович – асистент кафедри інтегрованих технологій машинобудування, Національний технічний університет України «КПІ» (просп. Перемоги, 37, м. Київ, 03056, Україна).

Maidaniuk Serhii – assistant of Integrated Manufacturing Engineering Department, National Technical University of Ukraine “KPI” (37 Peremohy Av., 03056 Kyiv, Ukraine).

E-mail: may_sv@i.ua

УДК 621.941

Олександр Литвин, Олександр Кравець, Ірина Ящук

ВЗАЄМОЗВ'ЯЗОК МОРФОЛОГІЇ ЗАТИСКНОГО ПАТРОНА З ОСОБЛИВОСТЯМИ КОНСТРУКТИВНО-ФУНКЦІОНАЛЬНОГО СИНТЕЗУ СТРУКТУР

Александр Литвин, Александр Кравец, Ирина Ящук

ВЗАИМОСВЯЗЬ МОРФОЛОГИИ ЗАЖИМНОГО ПАТРОНА С ОСОБЕННОСТЯМИ КОНСТРУКТИВНО-ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СИНТЕЗА СТРУКТУР

Oleksandr Lytvyn, Oleksandr Kravets, Iryna Yashchuk

RELATIONSHIP BETWEEN MORPHOLOGY OF CLAMPING CHUCK WITH THE FEATURES OF CONSTRUCTIVE AND FUNCTIONAL STRUCTURES' SYNTHESIS

У сучасних умовах для багатьох машинобудівних підприємств і проектних фірм на перший план висуваються завдання розроблення нових і удосконалення наявних засобів затискного оснащення. Стимулюючим фактором у підвищенні ефективності від застосування нових конструкцій затискних патронів є хаотичний підхід у прийнятті рішень щодо конструювання та формування комплектів затискної оснащення. Одним із шляхів вирішення завдання створення нових конструкцій затискних патронів є втілення прогресивних методів пошуку нових технічних рішень на ранніх стадіях технологічної підготовки виробництва. До таких методів відносяться уніфікаційний синтез, метод комбінаторного синтезу елементів різних модульних систем, структурно-параметричний аналіз. Для деталізації процесу конструювання можна використати метод морфологічного аналізу. В роботі представлено дерево цілей, яке може бути основою для побудови ієрархії цілей для кожного конкретного затискного патрона (або групи патронів) з урахуванням їх специфіки. Представлено конструкцію трикулачкового затискного патрона, створеного за запропонованою методикою.

Ключові слова: затискний патрон, синтез структур, дерево цілей, морфологічний аналіз, морфологія, конструктивно-функціональна схема, методи пошуку.

Рис.: 3. Бібл.: 5.

В современных условиях для многих машиностроительных предприятий и проектных фирм на первый план выдвигаются задачи разработки новых и совершенствования существующих средств зажимной оснастки. Стимулирующим фактором в повышении эффективности применения новых конструкций зажимных патронов является хаотический подход в принятии решений по конструированию и формированию комплектов зажимной оснастки. Одним из путей решения задачи создания новых конструкций зажимных патронов является воплощение прогрессивных методов поиска новых технических решений на ранних стадиях технологической подготовки производства. К таким методам относятся унификационный синтез, метод комбинаторного синтеза элементов различных модульных систем, структурно-параметрический анализ. Для детализации процесса конструирования можно использовать метод морфологического анализа. В работе представлено дерево целей, которое может служить основой для построения иерархии целей для каждого конкретного зажимного патрона (или группы патронов) с учетом их специфики. Представлена конструкция трехкулачкового зажимного патрона, созданного по предложенной методике.

Ключевые слова: патрон, синтез структур, дерево целей, морфологический анализ, морфология, конструктивно-функциональная схема, методы поиска.

Рис.: 3. Библ.: 5.

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

In modern conditions for many engineering companies and design firms in the foreground task of developing new and improving existing means of clamping equipment. Constraining factor in increasing the efficiency of the use of new designs clamping cartridges are chaotic approach to decisions about designing and forming sets of clamping equipment. One solution to the problem of creating new designs clamping cartridges is the embodiment of progressive methods of finding new technical solutions in the early stages of pre-production. To some of these methods include unifikatsiynyy synthesis method for combinatorial synthesis of elements of different modular systems, structural-parametric analysis. For the detail design process you can use the method of morphological analysis. In the work is presented the objectives tree, which can be the basis for building a hierarchy of objectives for each clamping chuck (or group of patrons) taking into account their specificity. construction of three-jaw chuck, created by the proposed method, is presented.

Key words: clamping chuck, synthesis structures, wood goals, morphological analysis, morphology, structural and functional diagram, search methods.

Fig.: 3. Bibl.: 5.

Постановка проблеми. Конструювання верстатних пристроїв, у т. ч. затискних патронів, становить вагому частину трудомісткості й собівартості технологічної підготовки машинобудівного виробництва. Стримуючим фактором у підвищенні ефективності від застосування нових конструкцій затискних патронів є хаотичний підхід у прийнятті рішень щодо конструювання та формування комплектів затискної оснащення. Це обумовлене втратою через різні причини кваліфікованого з досвідом практичної роботи конструкторського персоналу, а також тим, що з метою оптимізації кількості інженерних працівників на конструкторів покладені обов'язки технолога, програміста та ін.

Загальновідомо, що одним з актуальних завдань сучасних систем пошуку нових конструкцій ЗП є вдосконалення методів закріплення заготовок, пошуку нової технічної інформації, якою представлені зображення конструкцій ЗП, а також деталі та інші елементи його конструкції. Разом з тим з погляду можливості реалізації проектних задач виділяють чотири основних типи, які визначаються типами об'єктів проектування, а саме:

- 1) об'єкт, що проектується, може бути скомпонований з готових елементів та блоків;
- 2) для об'єкта, що проектується, немає повного набору готових компонентів, але існують готові аналогічні, з яких завдяки зміні параметрів можливо отримати необхідні;
- 3) не існує аналогічних елементів, але відомі принципи їх побудови;
- 4) не відомі принципи побудови елементів об'єкта.

Одним із шляхів вирішення завдання створення нових конструкцій затискних патронів є втілення прогресивних методів пошуку нових технічних рішень на ранніх стадіях технологічної підготовки виробництва. До одних із таких методів відноситься метод морфологічного аналізу, диференційно-морфологічний синтез, уніфікаційний синтез, метод комбінаторного синтезу елементів різних модульних систем, структурно-параметричний аналіз.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Відомі дослідження [1; 2], в яких запропоновано використовувати принципи системного аналізу для вирішення винахідницьких завдань під час розроблення порівняно простих пристроїв. Безліч технічних рішень об'єкта розроблення представляють у вигляді наочної деревовидної структури, гілки якої складаються з елементів (ознак) технічних рішень, з'єднаних дугами графів, що відображають їх підпорядкованість та порядок застосування. У роботі 4 розроблено багатоваріантну структуру конструктивних та функціональних можливостей реалізації процесів затиску, а також принципи синтезу необхідного технологічного оснащення, яке вдосконалюється з використанням трьох ієрархічних рівнів (корпус; передатно-підсилюючі ланки; привід механізму затиску).

Ю.М. Кузнецовим та його учнями розроблена узагальнена модель силових (енергетичних) потоків у затискному патроні, структурні формули затискних механізмів та видів передатно-підсилюючих ланок (8 видів клинових, важільних, спіральних, пружних, гвинтових та плунжених) для різних силових потоків, у т. ч. патронів для тіл обертання. Для затиску в патроні тіл обертання кількість варіантів розташування сил та моментів становить 48 [3].

Відомо пропозицію проектування технологічного оснащення комплектами (сімействами), які б охоплювали монтаж конструкцій у необхідному діапазоні їх розмірів і мас,

що нагадує процес нормалізації, тобто систематизацію інформації та зведення її в нормалізовані таблиці [4].

Різні типи структурних схем, як і будь-які інші моделі, відрізняються рівнем абстракції. У міру підвищення абстракції структурні схеми можна розташувати в такій послідовності: конструктивно-функціональні, потоково-інформаційні, структурно-енергетичні і реполь [5]. Будь-яка з цих схем являє собою спрямований граф, вершинами якого є елементи структури, а ребрами – відносини між елементами.

Невирішені частини проблеми. На сьогодні не існує простої інженерної методичної основи з проектування затискних патронів (крім цангових), яка б вирішувала проблему синтезу та виключення помилок на ранніх стадіях проектування під час оптимізації прийнятих рішень. Відсутність методології проектування затискних патронів, зокрема плунжерних та штокових, необхідність системного підходу до проектування визначають актуальність теми дослідження.

Метою дослідження є синтез компонувань затискних патронів, що розглядається як різноманітна оптимізаційна задача. Під час розроблення технологічного компонування затискних патронів можуть бути сформовані конкуруючі варіанти просторового розташування й базування заготовки в системі затискний патрон – верстат. У свою чергу, у ході конструкторського пророблення (компонування) затискних патронів можуть бути сформовані конкуруючі варіанти компонувальних схем з різним сполученням і просторовим розташуванням силового механізму та вузла затискача. Критерієм оцінювання варіантів компонувальних схем затискних патронів доцільно прийняти компактність конструкції і її відповідність технічному завданню.

Виклад основного матеріалу. У процесі синтезу генерується множина можливих варіантів виконання частин структури вдосконалюваної системи, тобто генерується множина альтернатив для кожного ієрархічного рівня. Варіанти можливих конструкцій затискних пристроїв, оснащених гібридними передатно-підсилюючими ланками, можна подати так, як це показано на рис. 1, де представлена ієрархічна модель такого патрона, яка складається з п'ятих ієрархічних рівнів. Дерево цілей, зображене на рис. 1, може бути основою для побудови ієрархії цілей для кожного конкретного затискного патрона (або групи патронів) з урахуванням їх специфіки.

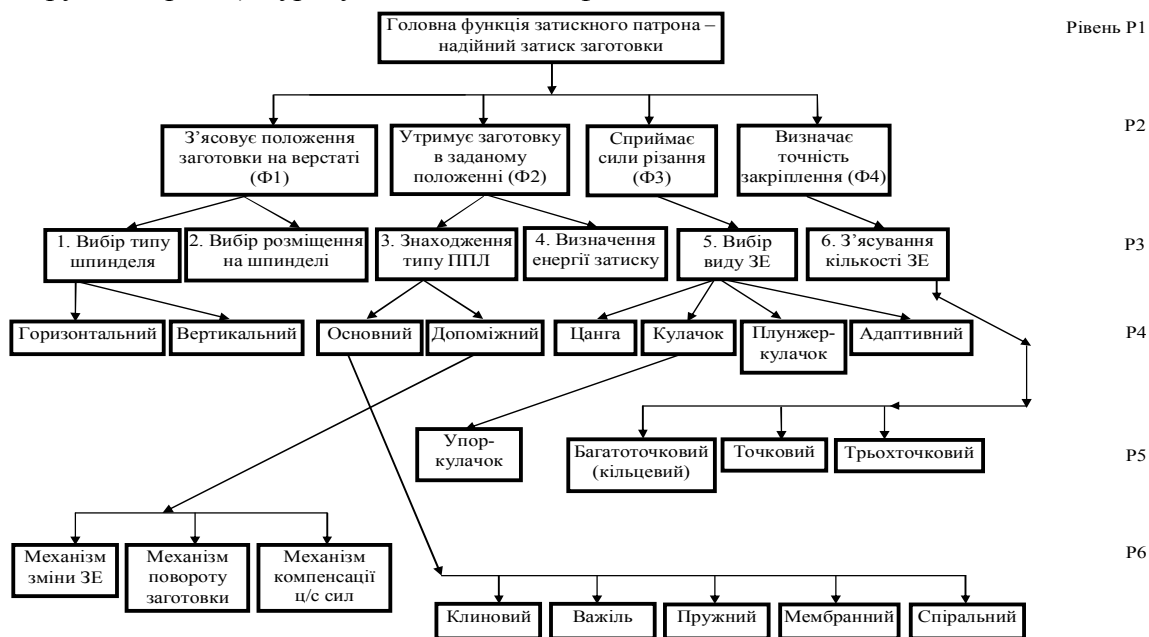


Рис. 1. Дерево цілей проектування затискного патрона: рівень 1 – головна мета; рівень 2 – цілі патрона; рівень 3 – підцілі; рівень 4–6 – задачі

Одним із шляхів вирішення завдання створення нових конструкцій затискних патронів є втілення прогресивних методів пошуку нових технічних рішень на ранніх стадіях технологічної підготовки виробництва. До одних із таких методів відноситься уніфікаційний синтез з використанням дерева цілей. Дерево цілей – це структурована, побудована за ієрархічним принципом (розподілена по рівнях, ранжируваних), сукупність цілей системи, в якій виділено генеральна мета («вершина дерева»); підпорядковані їй підцілі першого, другого і подальшого рівнів («гілки дерева»). Дерево цілей дозволяє виявити, які можливі комбінації забезпечать найкращу віддачу.

Для реалізації рівнів Р3-Р6, тобто для деталізації процесу конструювання можна використати метод морфологічного аналізу [4]. Суть методу полягає в побудові матриці (таблиці, ящика), де перераховані всі складові елементи n_k об'єкта дослідження та зазначені всі можливі варіанти n_m реалізації цих елементів. Варіюючи всіма відомими варіантами реалізації елементів об'єкта, можна отримати найнесподіваніші нові рішення. Морфологічний аналіз можна проводити із застосуванням ієрархічної структури, в такому випадку варіанти систем, побудовані в ході розгляду морфологічної таблиці, будуть альтернативами одного з параметрів морфологічної таблиці більш високого рівня.

$$N = \begin{pmatrix} n_{11} & n_{12} & n_{13} & \dots & n_{1K_1} \\ n_{21} & n_{22} & n_{23} & \dots & n_{2K_2} \\ n_{31} & n_{32} & n_{33} & \dots & n_{3K_3} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ n_{M1} & n_{M2} & n_{M3} & \dots & n_{MK_i} \end{pmatrix}.$$

Для виконання проектних робіт, коли затискний патрон може бути скомпонований з готових елементів та блоків, існує певний тип функціонального модуля, який може бути представлений у вигляді абстрактної моделі з елементів і функцій. Кожна з підгруп головних функцій затискного патрона може бути розділена на функції залежно від структури патрона, його призначення й основних елементів. Наприклад, для рівня Р3.5 – «вибір типу затискного елемента» (рис. 1) буде справедлива така множина.

$$P3.5 = \{f3.5.1, f3.5.2, f3.5.3, f3.5.4\},$$

де $f3.5.1, f3.5.2, f3.5.3, f3.5.4$ – відповідно функції, що обмежують конструкцію під час використання способів взаємодії затискного елемента у вигляді цанги, кулачка, плунжера-кулачка та адаптивного елемента й заготовки в зоні різання (функції визначення положення заготовки на верстаті та утримає заготовку в заданому положенні відносяться до першої підгрупи головної функції).

Подібно підгрупі функцій «вибір типу затискного елемента» можуть бути представлені й інші підгрупи функцій рівнів Р3-Р6. Групи рівнів Р3-Р6 також можуть бути зображені у вигляді відповідних множин.

Для заповнення елементів n_k морфологічної матриці можна скористатися методом уніфікаційного синтезу. Згідно з методом уніфікаційного синтезу кожний із елементів будь-якої технічної системи можна подати у вигляді коду, складеного із множини X, \dots, Z елементів. Генерування альтернатив здійснюється в декілька етапів: генерування структури X -елементів, генерування структури Z - елементів, комбінування $X Z$ елементів. Одним із елементів уніфікаційного синтезу є підбір елементів структури на основі дослідження функцій та властивостей елементів ієрархії. Елемент такої конструкції згідно з методом уніфікаційного синтезу позначається парою символів – перший означає структурний елемент, а другий – ієрархічну підпорядкованість такого елемента в ієрархічній структурі.

Структура відображає різноманіття варіантів реалізації затискного патрона, який включає підготовку та подачу енергії, процеси перетворення енергії в переміщення передатно-підсилюючої ланки, зв'язок передатно-підсилюючої ланки з затискними елементами, забезпечення положення заготовки відносно інструменту та збереження цього положення при силовому впливі інструменту на заготовку, створення зусилля затиску заготовки, компенсацію відцентрових сил, а також завантаження й вивантаження заготовки, що:

1. Силових потоків може бути кілька за входами і виходами.
2. Вхідні та вихідні силові потоки можуть бути однаковими й різними і складатися з обмеженої кількості їх видів та обмеженого набору варіантів просторового розташування.
3. Силові потоки переважно із зовнішнім джерелом енергії.
4. Поєднання окремих силових потоків може бути послідовним, паралельним, паралельно-послідовним.
5. Між входом і виходом силового потоку можуть бути перетворювачі: важільні, клинові, плунжерні, спіральні, зубчасті, гвинтові, пружні.
6. Можлива комбінація перетворювачів силових потоків патрона.
7. Передача та перетворення силових потоків може відбуватися у різних середовищах (твердих, сипучих, рідинних, повітряних, електромагнітних, магнітострикційних та інших).

Деревовидні графічні структури можуть бути описані у вигляді структурних формул, складених з позначень, що визначають, деталізують ознаки альтернативних різних рівнів. Структурну формулу затискного патрона можна представити у вигляді

$$\Phi_{3\Pi} = \{K_i^j; ППЛ_i^j; УЕ_i^j; ЗЕ1_i^j; ЗЕ2_i^j\},$$

де i – номер технічного рішення у групі альтернативних елементів для цього елемента структури патрона; j – номер групи ієрархічних рівнів, $1 \dots 5$ – номер ієрархії; K – корпус; $ППЛ$ – передатно-підсилюючий механізм; $УЕ$ – установочні елементи; $ЗЕ1$ – основні затискні елементи; $ЗЕ2$ – додаткові затискні елементи.

Розглянемо конструктивно-функціональну схему затискного токарного патрона, який може встановлюватися як на звичайні токарні верстати-автомати, так і на верстаті з ЧПУ (рис. 2).

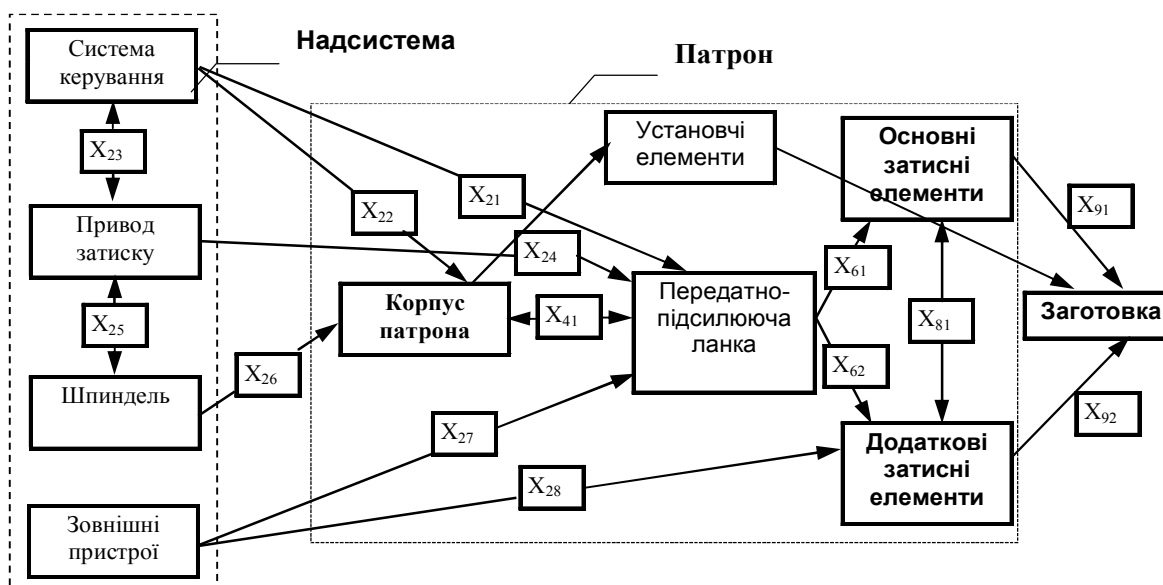


Рис. 2. Конструктивно-функціональна схема затискного патрона

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

Виділення функцій затискного патрона у складі верстата дозволяє залучити операцію ізолюючої абстракції для пошуку небажаних ефектів. Наприклад, можна відзначити такі небажані ефекти від зусилля закріплення:

1. Деформація заготовки від зусилля закріплення і зусиль різання.

2. Утворення виїмок на заготовці від контактуючих деталей: опорних і затискних елементів.

Конструкція трьохкулачкового затискного патрона, створеного за запропонованою методикою, наведена на рис. 3. Патрон складається з корпусу 1, який служить для розміщення та центрування штоків 2, розташованих під кутом до осі обертання патрона та рівномірно розміщених по колу, передня частина яких має форму затискних кулачків, що кріплять деталь. Корпус центрується в отворі шпинделя 3 і гвинтами 4 кріпиться на ньому. Кулачки споряджені твердосплавними вставками 10, що гвинтами кріпляться на передній частині штока 2 і які безпосередньо закріплюють деталь (не показана). На робочому торці патрона розміщені упори 11, на які встановлюється деталь у процесі оброблення.

У центральній розточці корпусу 1 розміщений поршень 7 з трьома отворами під кутом до осі обертання. Від провертання поршень 7 фіксується в корпусі 1 шпонкою 12. Поршень 7 з'єднаний з привідною тягою 13 гвинтом 8, а привідна тяга 13 – з приводом затиску верстата. Гайка 9 фіксує положення гвинта 8 відносно поршня 7.

У штоку 2 патрона перпендикулярно його отворах, що виконані під кутом до осі обертання, виконано наскрізний отвір, в якому розміщено вісь 5. Вісь 5 з'єднана важелем 6 у вигляді шпильки з віссю 14, яка розміщена в отворах поршня 7. Осі 5 та 14 встановлені з можливістю повороту навколо осі в штоці 2 та поршні 7 відповідно, що дає можливість важелю 6 обертатись навколо осей 5 та 14.

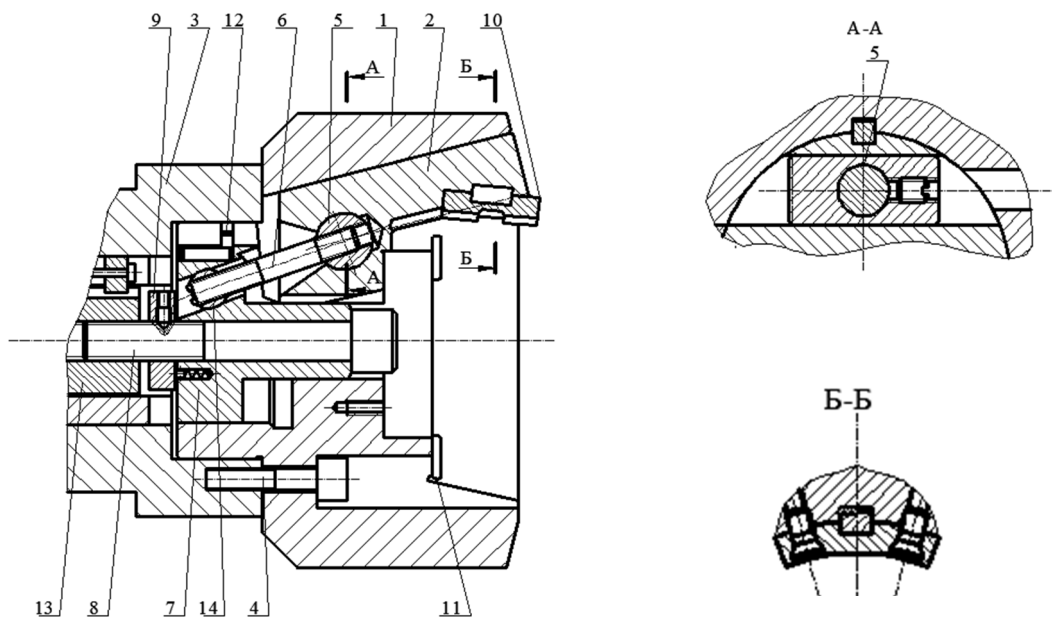


Рис. 3. Розроблена конструкція трьохкулачкового затискного патрона

Висновки. Досліджено багатоваріантну структуру конструктивних та функціональних затискних патронів із врахуванням взаємозв'язку морфології патрона з особливостями конструктивно-функціонального синтезу. Розроблено ієрархічну модель технологічної системи «Затискний патрон», яка у процесі синтезу генерує множину можливих альтернатив для кожного з п'яти ієрархічних рівнів, а також принципи синтезу затискних патронів з використанням п'яти деревовидних ієрархічних рівнів. Запропоновано описувати графічні структури затискних патронів у вигляді структурних формул, які дозволяють ефективно здійснювати їх системний опис, аналіз та пошук нових рішень.

Список використаних джерел

1. *Половинкин А. И.* Основы инженерного творчества : учебное пособие для студ. вузов / А. И. Половинкин. – [3-е изд., перераб. и доп.]. – М. : Машиностроение, 1988. – 368 с.
2. *Гамрекели М. Н.* Метод синтеза оптимальных аппаратурно-функциональных технических комплексов / М. Н. Гамрекели // Известия вузов. Машиностроение. – 2006. – № 9. – С. 75–84.
3. *Кузнецов Ю. М.* Новый підхід до опису і синтезу приводів механізмів маніпулювання об'єктами в технологічному обладнанні / Ю.М. Кузнецов, Б.І. Придальний, Г.Ж.А. Хамуйела // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. – 2015. – № 2 (78). – С. 9–16.
4. *Васильків В. В.* До питання синтезу конструкції механізмів з робочими затискними пружними гвинтовими елементами / В. В. Васильків, І. С. Генік, О. Кочубинська // Процеси механічної обробки в машинобудуванні : зб. наук. праць. – 2006. – Вип. 3. – С. 171–180.
5. *Кузнецов Ю. Н.* Теория технических систем : учебник / Ю. Н. Кузнецов, Ю. К. Новоселов, И. В. Луцив. – Севастополь : СевНТУ, 2010. – 252 с.

Литвин Олександр Валеріанович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри конструювання верстатів та машин, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут» (просп. Перемоги, 37, м. Київ, 03056, Україна).

Литвин Александр Валерианович – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры конструирования станков и машин, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», (просп. Победы, 37, м. Киев, 03056, Украина).

Lytvyn Oleksandr – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor, Department of Design Tools and Machines, National Technical University of Ukraine “Kyiv Polytechnic Institute” (37 Peremogy Av., 03056 Kyiv, Ukraine).

E-mail: lytvyn_o@mail.ru

Кравець Олександр Михайлович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри конструювання верстатів та машин, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут» (просп. Перемоги, 37, м. Київ, 03056, Україна).

Кравец Александр Михайлович – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры конструирования станков и машин, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», (просп. Победы, 37, м. Киев, 03056, Украина).

Kravets Oleksandr – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor, Department of Design Tools and Machines, National Technical University of Ukraine “Kyiv Polytechnic Institute” (37 Peremogy Av., 03056 Kyiv, Ukraine).

E-mail: om_kravets@ukr.net

Ящук Ірина Романівна – аспірант кафедри конструювання верстатів та машин, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут» (прісг. Перемоги, 37, м. Київ, 03056, Україна).

Ящук Ирина Романовна – аспірант кафедры конструирования станков и машин, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», (просп. Победы, 37, м. Киев, 03056, Украина).

Yashchuk Iryna – PhD student Department of Design Tools and Machines, National Technical University of Ukraine “Kyiv Polytechnic Institute” (37 Peremogy Av., 03056 Kyiv, Ukraine).

E-mail: ira_profkom@ukr.net

УДК 621.923.42

Геннадій Пасов, Володимир Венжега, Андрій Рудик

АНИМАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ МЕХАНІЗМІВ ДЛЯ СТВОРЕННЯ РЕВЕРСИВНОГО, ОБЕРТАЛЬНОГО РУХУ

Геннадий Пасов, Владимир Венжега, Андрей Рудик

АНИМАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕХАНИЗМОВ ДЛЯ СОЗДАНИЯ РЕВЕРСИВНОГО, ВРАЩАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ

Hennadii Pasov, Volodymyr Venzheha, Andrii Rudyk

ANIMATION SIMULATION OF MECHANISMS FOR CREATING REVERSE ROTARY MOTION

Розглянуто анімаційне моделювання механізмів для створення реверсивного, обертального руху в різноманітних верстатах та промислових роботах за допомогою секторних та мальтійських передач. Описано складові цих механізмів та перспективи інтерактивного ними керування в подальшому.

Ключові слова: анімація, моделювання, мальтійський механізм, секторний механізм, реверсивний, обертальний рух.

Рис.: 3. Бібл.: 15.

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

Рассмотрено анимационное моделирование механизмов для создания реверсивного, вращательного движения в разнообразных станках и промышленных роботах с помощью секторных и мальтийских передач. Описаны составляющие этих механизмов и перспективы интерактивного управления ими в дальнейшем.

Ключевые слова: анимация, моделирование, мальтийский механизм, секторный механизм, реверсивное, вращательное движение.

Рис.:3. Библ.: 15.

Considered an animated simulation of mechanisms for creating reversing, rotary motion in a variety of machines and industrial robots by means of sectorial programs and Maltese. We describe the components of these mechanisms and the prospects for interactive management in the future.

Key words: animation, modeling, Maltese mechanism sectorial mechanism for reversing, rotary motion.

Fig.: 3. Bibl.: 15.

Постановка проблеми. Освіта є основою будь-якого суспільства. У наш час у процесі вивчення різноманітних дисциплін використовується багато джерел різноманітної інформації: підручники, посібники, журнали, збірники, Інтернет. У сучасних умовах широкі можливості відкриває використання електронно-обчислювальних машин (ЕОМ) в навчальному процесі, особливо персональних комп'ютерів (ПК) і високоінтелектуальних програмних продуктів [1].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Традиційно під час засвоєння будь-якої навчальної дисципліни студент повинен вивчати її на лекціях, лабораторних та практичних заняттях. Але при цьому як методичний наочний матеріал використовуються, здебільшого, ілюстрації зовнішнього вигляду, будови та конструкції різноманітних механізмів у вигляді двовимірних статичних схем елементів [2–4]. Саме використання ЕОМ та відповідних програмних продуктів і дозволяє вдосконалити навчальний процес (та освіту загалом), надаючи йому інтенсивності й інтерактивного змісту [5–13].

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. Необхідно для вдосконалення навчання студентів запропонувати анімаційну модель для створення реверсивного, обертального руху за допомогою мальтійських та секторних механізмів.

Мета статті. Метою роботи є пропозиція анімаційного моделювання реверсивного, обертального руху за допомогою мальтійських та секторних механізмів.

Виклад основного матеріалу. У Чернігівському національному технологічному університеті (ЧНТУ) на кафедрі «Автомобільний транспорт, машинобудування та промисловий дизайн» для вивчення навчальних дисциплін «Підйомно-транспортне обладнання і роботи», «Спеціалізований рухомий склад автотранспортних і вантажно-розвантажувальних машин», «Обладнання та транспорт механоскладальних цехів», «Промислові роботи», «Металообробне обладнання», «Автоматичні оброблюючі системи» розроблено навчальний продукт «Анімація роботи механізмів реверсивного, обертального руху». Анімація розроблена для лабораторій «Промислові роботи» з реальними роботами (МП-11, М10П, М20П, РМ-01) та «Металообробне обладнання».

Під час розроблення анімаційного моделювання мальтійських та секторних механізмів для створення реверсивного, обертального руху були використані сучасні програмні продукти: «3Ds Max» та «КОМПАС-3D» [14–15].

У верстатобудуванні для повороту багатопозиційних робочих органів з однієї позиції в іншу найчастіше застосовують мальтійські механізми.

Чотирипозиційний мальтійський механізм з одним кривошипом (рис. 1) використовується для повороту шпиндельного блока в чотиришпиндельних токарних автоматах. При рівномірному обертанні кривошипа, закріплений на ньому ролик, у визначений момент входить в один із чотирьох пазів мальтійського хреста та повертає його на 90°. Таким чином, за кожен повний оберт кривошипа вал, на якому закріплений мальтійський хрест, зробить тільки 1/4 оберту. Диск, який жорстко пов'язаний із кривошипом, призначений для фіксації положення мальтійського хреста в кожному з його чотирьох позицій.

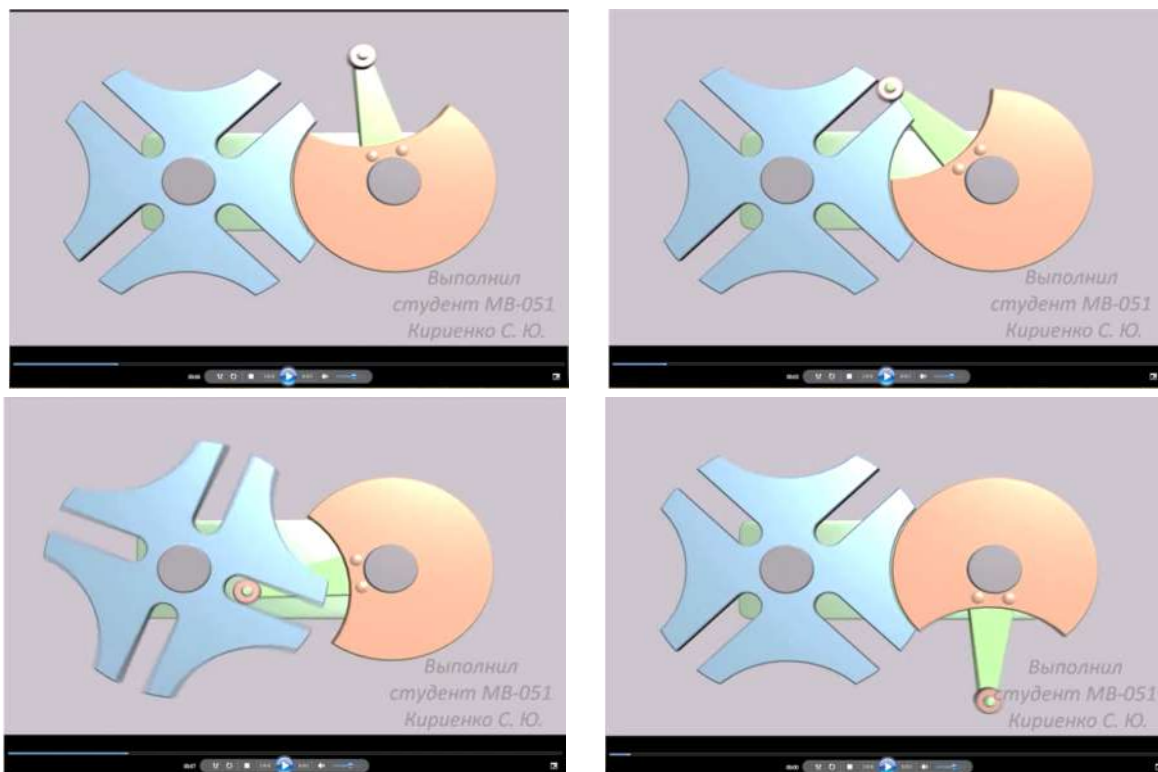


Рис. 1. Чотирипозиційний мальтійський механізм

Шестипозиційний мальтійський механізм з одним чи двома роликami (рис. 2) використовується, наприклад, для повороту револьверної головки одношпindelного токарно-револьверного автомата моделі 1А136.

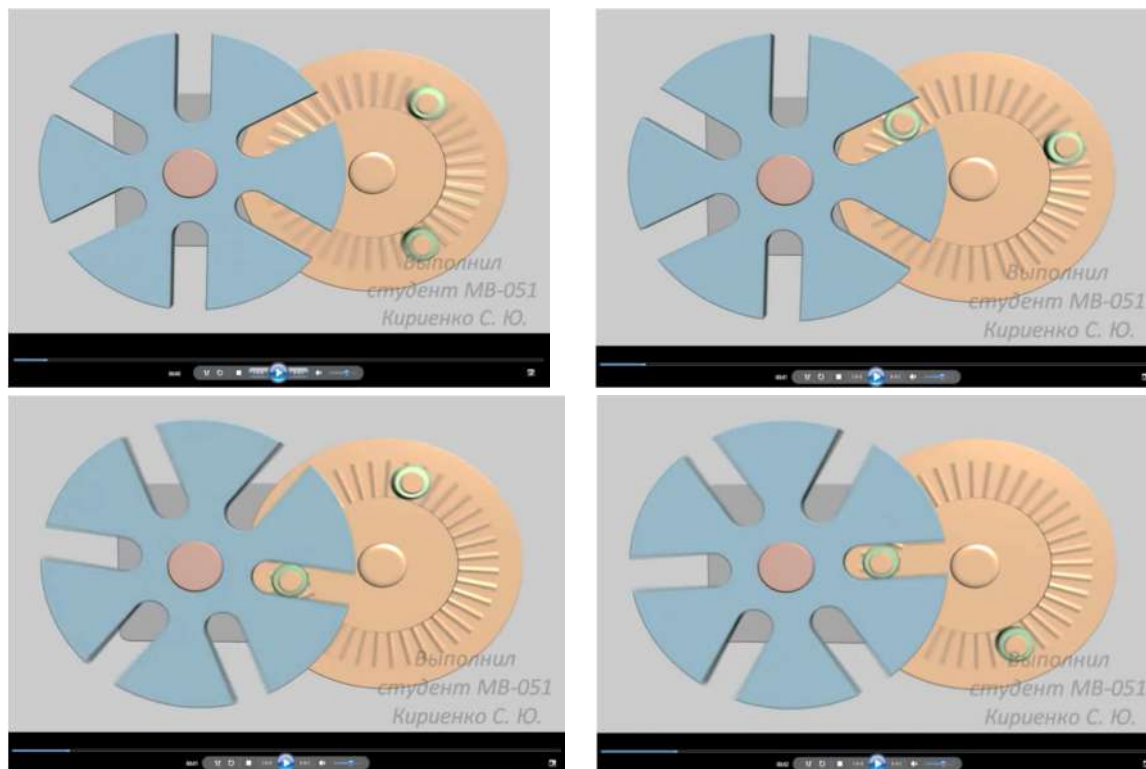


Рис. 2. Шестипозиційний мальтійський механізм

Установка другого ролика на кривошипному диску дозволяє в разі потреби збільшити кут повороту мальтійського хреста у два рази.

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

Зубчастий сектор (рис. 3), закріплений на валу, періодично повертається тільки протягом того часу, коли його зубці знаходяться в зачепленні з зубцями колеса, установленого на іншому валу. У цьому механізмі не можливо регулювати величину кута повороту колеса, тому він, як і мальтійські механізми, використовується в основному в багатопозиційних пристроях.

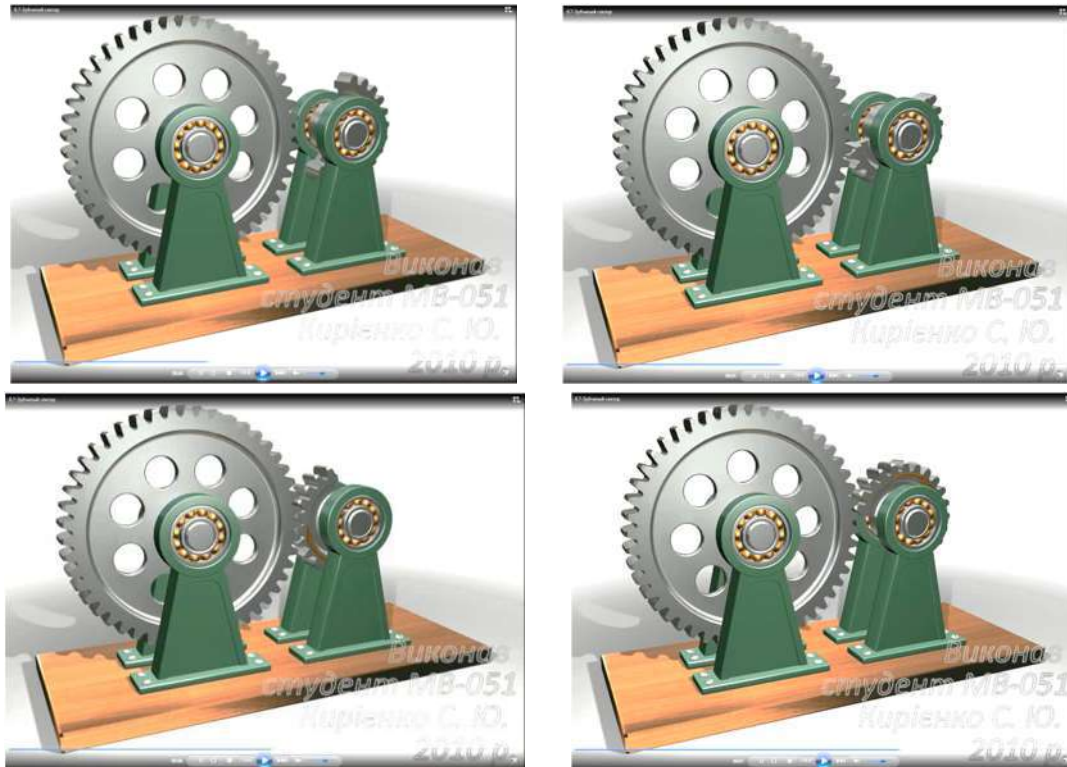


Рис. 3. Зубчастий сектор

Розроблена анімаційна модель дозволяє наочно продемонструвати роботу всіх наведених механізмів. Продукт «Анімація роботи механізмів реверсивного, обертального руху» розроблений як черговий крок у забезпеченні навчання за допомогою сучасних програмних продуктів. У подальшому його можна розширювати, корегувати та вдосконалювати (наприклад, інтерактивне керування процесами анімації того чи іншого вузла).

Цей програмний проект можна ефективно використовувати під час вивчення таких дисциплін: «Підйомно-транспортне обладнання і роботи», «Промислові роботи», «Металообробне обладнання», «Автоматичні оброблюючі системи», «Проектування механічних цехів», «Обладнання та транспорт механоскладальних цехів», «Проектування та оснащення гаражного господарства», «Спеціалізований рухомий склад автотранспортних і вантажно-розвантажувальних машин». На основі цих розробок можливо створювати аналогічні програмні анімаційні продукти й для інших дисциплін.

Висновки і пропозиції. Розроблений програмний проект може ефективно використовуватись під час вивчення таких дисциплін: «Промислові роботи», «Металообробне обладнання», «Спеціалізований рухомий склад автотранспортних і вантажно-розвантажувальних машин», «Автоматичні оброблюючі системи», «Проектування механічних цехів», «Обладнання та транспорт механоскладальних цехів», «Підйомно-транспортне обладнання і роботи», «Проектування та оснащення гаражного господарства». На основі цих розробок можливо створювати аналогічні програмні анімаційні продукти й для інших дисциплін: «Теорія різання» – рух інструменту й утворення стружки, «Гідравліка» – робота гідравлічних систем верстатів та багато інших дисциплін.

Список використаних джерел

1. *Нові технології навчання* : наук.-метод. зб. – К. : Наук.-метод. центр вищої освіти, 2010. – Вип. 48. – 203 с.
2. *Промислові роботи. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисциплін: «Підйомно-транспортне обладнання та роботи», «Промислові роботи», «Обладнання та транспорт механоскладальних цехів» для студентів напрямів підготовки: 6.070106 «Автомобільний транспорт» та 6.050502 «Інженерна механіка». Частина 1 / уклад. : Г. В. Пасов. – Чернігів : ЧДТУ, 2011. – 58 с.*
3. *Промислові роботи. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисциплін: «Підйомно-транспортне обладнання та роботи», «Промислові роботи», «Обладнання та транспорт механоскладальних цехів» для студентів напрямів підготовки: 6.070106 «Автомобільний транспорт» та 6.050502 «Інженерна механіка». Частина 2 / уклад. : Г. В. Пасов. – Чернігів : ЧДТУ, 2011. – 100 с.*
4. *Промислові роботи. Альбом до методичних вказівок з виконання лабораторних робіт з дисциплін: «Підйомно-транспортне обладнання та роботи», «Промислові роботи», «Обладнання та транспорт механоскладальних цехів» для студентів напрямів підготовки: 6.070106 «Автомобільний транспорт» та 6.050502 «Інженерна механіка» / уклад. : Г. В. Пасов. – Чернігів : ЧДТУ, 2011. – 54 с.*
5. *Використання ЕОМ в навчальному процесі* / Г. В. Пасов, К. В. Дьяконов, Р. С. Кит, О. В. Хажанець, С. А. Шурубенко // Вісн. Черніг. держ. технол. ун-ту. – 2007. – № 30. – С. 45–54.
6. *Пасов Г. В. Анімаційне моделювання роботи окремих вузлів промислового робота* / Г. В. Пасов, О. В. Ратозей, С. В. Лоскутов // Вісн. Черніг. держ. технол. ун-ту. – 2008. – № 36. – С. 82–87.
7. *Пасов Г. В. Керування анімаційною 3D-моделлю промислового робота М10П* / Г. В. Пасов, В. М. Чуприна, С. Ю. Кириєнко // Вісн. Черніг. держ. технол. ун-ту. – 2009. – № 40. – С. 156–164.
8. *Анімаційне моделювання гнучкої виробничої системи* / С. Ю. Кириєнко, А. В. Полуян, Г. В. Пасов, В. М. Чуприна // Вісн. Черніг. держ. технол. ун-ту. – 2010. – № 45. – С. 78–86.
9. *Пасов Г. В. Анімаційне моделювання лабораторії промислових роботів* / Г. В. Пасов, Є. В. Загуменник // Вісн. Черніг. держ. технол. ун-ту. – 2012. – № 2 (57). – С. 148–154.
10. *Пасов Г. В. Використання анімаційного моделювання лабораторії промислових роботів в учбовому процесі* / Г. В. Пасов // Матеріали другої Міжнародної конференції «Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем». – Чернігів : ЧДТУ, 2012. – С. 31–32.
11. *Пасов Г. В. Використання анімаційного моделювання механізмів для створення прямолінійного поступального руху* / Г. В. Пасов // Матеріали третьої Міжнародної конференції «Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем». – Чернігів : ЧДТУ, 2013. – С. 60–61.
12. *Пасов Г. В. Використання анімаційного моделювання механізмів для створення прямолінійного поступального руху за допомогою кулачкових механізмів* / Г. В. Пасов, В. І. Венжега // Матеріали четвертої Міжнародної науково-практичної конференції «Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем». – Чернігів : ЧНТУ, 2014. – С. 81–84.
13. *Пасов Г. В. Анімаційне моделювання кульково-гвинтових передач, які використовуються для створення прямолінійного поступального руху* / Г. В. Пасов, В. І. Венжега // Вісн. Черніг. нац. технол. ун-ту. – 2015. – № 1 (77). – С. 19–25.
14. *Маров М. Н. Энциклопедия 3ds max 8 (+CD)* / М. Н. Маров. – СПб. : Питер, 2010. – 1388 с.
15. *Кудрявцев Е. М. КОМПАС-3D V11. Максимально полное руководство: в 3 томах* / Е. М. Кудрявцев. – М. : ДМК Пресс, 2010. – 1244 с.

Пасов Геннадій Володимирович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри автомобільного транспорту, машинобудування та промислового дизайну, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

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

Pasov Hennadii – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of road transport, mechanical engineering and industrial design department, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenko Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: genapasov@gmail.com

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

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

Venzheha Volodymyr – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of road transport, mechanical engineering and industrial design department, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenko Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: venzhegavi@mail.ru

Рудик Андрій Васильович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри автомобільного транспорту, машинобудування та промислового дизайну, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

Рудик Андрей Васильевич – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры автомобильного транспорта, машиностроения и промышленного дизайна, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

Rudyk Andrii – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of road transport, mechanical engineering and industrial design department, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenko Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: andrei.rudik@gmail.com

УДК 621.923.42

Андрій Рудик

ВИЗНАЧЕННЯ ТОВЩИНИ ЗРІЗУ КРОМКОЮ КРУГУ ІЗ ВРАХУВАННЯМ СТАНУ ПОВЕРХНІ ІНСТРУМЕНТУ ТА КІНЕМАТИКИ

Андрей Рудик

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТОЛЩИНЫ СРЕЗА КРОМКОЮ КРУГА С УЧЕТОМ СОСТОЯНИЯ ПОВЕРХНОСТИ ИНСТРУМЕНТА И КИНЕМАТИКИ

Andrii Rudyk

DEFINITION OF CUTTING THICKNESS OF WHEEL EDGE TAKING INTO ACCOUNT THE SURFACE CONDITION AND KINEMATICS

Відредактований та доповнений раніше розроблений автором метод імовірнісного розрахунку товщини шару, що зрізується кромкою орієнтованого інструменту, який дозволяє визначити її з врахуванням кінематики різання, матеріалу та зернистості круга, зміни стану робочої поверхні у процесі оброблення. В результаті розрахунку, крім товщини зрізу, можна отримати інформацію про динаміку її зміни та частку кромки, що беруть участь у різанні та деформуванні матеріалу заготовки.

Ключові слова: робоча поверхня круга, радіус заокруглення кромки, рівень виступаючих кромки.

Рис.:6. Бібл.:8.

Отредактированный и дополненный ранее разработанный автором метод вероятностного расчета толщины слоя, срезаемого кромкой ориентированного инструмента, который позволяет определять ее с учетом кинематики резания, материала и зернистости круга, изменения состояния рабочей поверхности в процессе обработки. В результате расчета, кроме толщины среза, можно получить информацию о динамике ее изменения и части кромки, принимающих участие в резании и деформировании материала заготовки.

Ключевые слова: рабочая поверхность круга, радиус закругления кромки, уровень выступающих кромки.

Рис.:6. Библ.:8.

Edited and additions by the author previously developed method for calculating the probability of cutting layer thickness edge-based tool allows you to define it according to the kinematics of cutting material and grit wheel, change the working condition of the surface during processing. As a result of the calculation, except for the thickness of the slice, you can get information about the dynamics of change and of the edges involved in the cutting and deformation of the workpiece material.

Key words: working surface of the wheel, the radius of curvature of the edges, the level of superincumbent edges.

Fig.:8. Bibl.:8.

Постановка проблеми. Товщина шару, що зрізується різальною кромкою, визначає продуктивність та ефективність оброблення деталей шліфуванням, стійкість абразивного інструменту, знос зерен, теплові напруження, глибину рисок та якість обробленої поверхні.

Товщина та форма зрізів, у свою чергу, визначаються кінематикою процесу, часом роботи круга після правки. Експериментально отримані дані щодо визначення її верх-

нього та нижнього граничних значень. При верхньому значенні товщини шару, що зрізується, відбувається критичне зношування круга, а якщо товщина менша від нижнього – лише процеси деформації та перемішування металу без зрізання. У деяких наукових працях [1; 3; 5; 8] рівняння стосовно визначення товщини шару називають основним рівнянням шліфування.

Однак досі немає прийнятної моделі щодо визначення товщини зрізу з врахуванням стану РПК (робочої поверхні круга) та складної кінематики, в цей час з'являються нові способи, ефективні методи оброблення орієнтованим інструментом.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Науковцями [1; 4; 5] було отримано рівняння для визначення товщини шару для основних методів шліфування поверхонь деталей. Проте одержані залежності не враховують: одночасний вплив параметрів робочої поверхні круга (РПК), їх зміну по координаті оброблення, кривизну поверхонь та відносну орієнтацію інструменту і заготовки, процеси перемішування металу кромками без його зняття.

Разом з тим досвід провідних світових фірм [6] показує можливість ефективного оброблення матеріалів на великих швидкостях різання при значному зменшенні зносу круга. Таким чином, визначення імовірнісної товщини шару, що зрізується, залежно від умов оброблення є актуальним завданням.

Поширено кінематичний та об'ємний підходи до визначення товщини шару, що зрізується. Останнім часом більшість наукових праць спрямована на те, щоб встановити ймовірний характер процесу шліфування [1; 3; 4; 7].

Різальну кромку абразивного зерна, розташованого на робочій поверхні круга, прийнято характеризувати певними параметрами [1; 3]; необхідно вказувати: розташування вершини зерна щодо рівня найбільш виступаючого; радіус її заокруглення ρ ; глибину закладення.

Однак сучасні математичні моделі щодо визначення товщини шару, що зрізується, не враховують *одночасний* імовірнісний вплив цих параметрів.

Мета статті. Метою цієї роботи є вдосконалення й аналіз розробленої імовірнісної математичної моделі для визначення товщини шару, який зрізується різальною кромкою

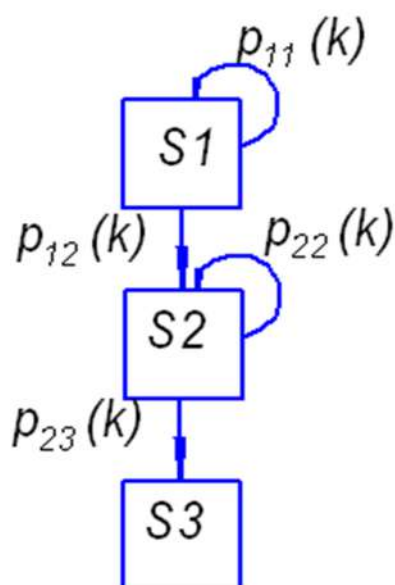


Рис. 1. Граф випадкового марківського процесу шліфування

по висоті орієнтованого абразивного круга, з урахуванням режимних параметрів оброблення, стану робочої поверхні круга та їх зміною за часом оброблення.

Виклад основного матеріалу. Як вихідні дані необхідно знати кінематику процесу різання й розміри контакту поверхонь абразивного інструменту й заготовки, які обумовлені рішенням їх векторних рівнянь [7].

Процес різання кромкою абразивного круга можна представити за допомогою розміченого графа марківського процесу [2; 7], що здійснюється за безперервним часом (рис. 1), вершини якого відповідають таким станам:

$S1$ – різальна кромка не входила в контакт з металом заготовки;

$S2$ – відбувається перемішування металу без його зрізання;

$S3$ – відбувається процес різання з утворенням стружки.

Стан $S1$ є початковим, а $S2$ – кінцевим. Процеси сколювання зерен та їх зношення не враховують через малий вплив на товщину шару, що зрізується.

Для зручності реалізації рішення на ЕОМ здійснюємо перехід від нестационарного марківського процесу з дискретними станами і безперервним часом до марківського ланцюга, що характеризується дискретним часом, який задають із врахуванням розмірів області контакту.

Стрілки на графі відповідають імовірній зміні станів випадкового процесу за часом. Отже, починається розрахунок з моменту входження кромки до зони контакту з врахуванням висотних розмірів шорсткості деталі. Імовірності знаходження системи «процес різання» у вершинах графа для початкового моменту (для нульового кроку) визначаємо з умови:

$$p(0) = [p_1 \ p_2 \ p_3]^T = [1 \ 0 \ 0]^T, \tag{1}$$

де $p_1 = 1, p_2 = 0, p_3 = 0$ – ймовірності знаходження процесу у вершинах графа в початковий момент – контакт кромки з металом не відбувається.

У наступний момент часу, на першому кроці $k=1$, система «процес різання» може перейти до наступного стану – або кромка не зустріла металу та рухалася вільно (залишився стан $S1$) з ймовірністю $p_{11}(1)$, або починається перемішування без зняття металу при наявному контакті та недостатній глибині, що викликана різним висотним положенням кромки на зернах круга (стан $S2$) з ймовірністю переходу до цього стану $p_{12}(1)$.

У загальному випадку перехід з одного стану системи до іншого на k -ому кроці описується ймовірностями її знаходження у вершинах $p(k)$ за допомогою стохастичної матриці, яка для цього графа матиме розмірність 3×3 по кількості вершин. Отже,

$$p(k) = A(k)^T \cdot p(k-1). \tag{2}$$

Матриця перехідних ймовірностей на k - кроці визначається, як

$$A(k) = \begin{vmatrix} p_{11}(k) & p_{12}(k) & p_{13}(k) \\ p_{21}(k) & p_{22}(k) & p_{23}(k) \\ p_{31}(k) & p_{32}(k) & p_{33}(k) \end{vmatrix}, \tag{3}$$

або з урахуванням схеми побудованого графа (рис. 1)

$$A(k) = \begin{vmatrix} p_{11}(k) & p_{12}(k) & 0 \\ 0 & p_{22}(k) & p_{23}(k) \\ 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}, \tag{4}$$

де $p_{13}(k) = 0, p_{21}(k) = 0, p_{31}(k) = 0, p_{32}(k) = 0, p_{33}(k) = 1$.

Визначимо ймовірності потоків подій між вершинами графа.

Виходячи з ординарності контакту різальних кромки з металом (по одній) ймовірності $p_{12}(k), p_{23}(k)$ можна визначити за законом Пуассона [2], який має вигляд:

$$P(m, a_k) = \frac{a_k^m}{m!} \cdot e^{-a_k}, \tag{5}$$

де m – число різальних кромки, що вступило в контакт з металом (число подій);

a_k – параметр закону Пуассона (число подій за час τ_k), тобто середнє число різальних кромки на довжині $v_{kp} \cdot \tau_k$ робочої поверхні круга, який обертається зі швидкістю різання v_{kp} .

Параметр a_k знаходять множенням кількості кромки $N(z_k)$ на одиниці довжини робочої поверхні круга, з глибиною меншою z_k , на відрізок з довжиною $v_{kp} \cdot \tau_k$:

$$a_k^* \approx \int_0^{\tau_k} N(z(\tau)) \cdot d\tau \cdot v_{kp}, \tag{6}$$

де z_k – глибина проникнення металу в робочу поверхню круга за відрізок часу τ_k ;

$$z_k = \int_0^{\tau_k} V_n d\tau, \quad (7)$$

де V_n – проекція вектора швидкості \vec{V} відносного руху заготовки в системі координат інструменту на напрям нормалі \vec{n} до його поверхні.

Ймовірну кількість кромок $N(z_k)$, що приходяться на одиницю довжини робочої поверхні круга на глибині не більшій z_k , можна, наприклад, визначити з виразу [8]:

$$N(z_k) = N_n \cdot \frac{\Gamma(\gamma + \eta)}{\Gamma(\gamma) \cdot \Gamma(\eta)} \cdot \int_0^{z_k/H_n} t^{\gamma-1} (1-t)^{\eta-1} dt, \quad (8)$$

де N_n , H_n – число різальних кромок і повна висота профілю робочої поверхні круга; γ , η – параметри бета-розподілу, t – робоча змінна.

1. Для нестационарного потоку подій інтенсивність змінюється протягом часу з проникненням припуску вглиб РПК. Її визначають [2] як похідну за часом від математичного очікування. Далі множенням на час $\Delta\tau$ визначають імовірність $p_{12}(k)$ (жодне зерно не вступило до контакту з металом, $m=0$) за час τ_k , переходу системи різання на k кроків.

$$p_{12}(k) = N(z(\tau_k)) \cdot v_{kp} \cdot \Delta\tau \cdot \exp(-v_{kp} \cdot \int_0^{\tau_k} N(z(\tau)) \cdot d\tau). \quad (9)$$

2. Визначення імовірності затримки переходу $p_{11}(k)$ – кромка на наступному кроці не вступила в контакт з припуском, як протилежну подію до $p_{12}(k)$. Отже,

$$p_{11}(k) = 1 - p_{12}(k). \quad (10)$$

3. Для визначення ймовірностей матриці переходів $p_{22}(k)$ (кромка продовжує пружне деформування припуску без різання) та $p_{23}(k)$ (перехід кромки до роботи різання) необхідно, щоб виконувались умови, які необхідні для їхнього здійснення. Такий перехід згідно з сучасними уявленнями, описується так званим визначальним рівнянням, у якості якого використані графіки експериментальних залежностей відношення (z/ρ) товщини мікрорізання від радіуса заокруглення кромки при деякій швидкості різання [8]. Використовуючи теорему Лежандра, після множення відношення на радіус ρ визначають коефіцієнтів регресії рівняння:

$$a_z(\rho, v_{kp}) \geq K_1 \cdot v_{kp}^2 - K_2 \cdot v_{kp} + K_3 \cdot \rho - K_4 \cdot \rho \cdot v_{kp} + K_5, \quad \text{де} \quad (11)$$

$$K = [0,00074 \quad 0,15 \quad 0,038 \quad 0,00025 \quad 8,75]^T.$$

Звідси можна отримати декілька важливих висновків: по-перше, знайти найменше можливе для цієї швидкості різання значення товщини зрізу a_{0v} , якщо $\rho \rightarrow 0$; по-друге, найменший радіус ρ заокруглення кромки, яка здатна зрізати припуск.

Початок різання означатиме для системи випадкових величин (ρ, z) виконання *одночасно* двох умов – кромка повинна бути достатньо гострою та величина заглиблення z від рівня найбільш виступаючих кромок РПК відповідала описаній умові та була б достатньою. Затушовані області на рис. 2 відповідають частці тих кромок, де можливий перехід до різання.

Домовимось позначати під z_k глибину проникнення припуску вглиб РПК на k -ому кроці; z – глибина розташування кромки щодо рівня найбільш виступаючих; a_z – товщина шару, що зрізується різальною кромкою. Тоді справедливим є вираз:

$$a_z = z_k - z. \quad (12)$$

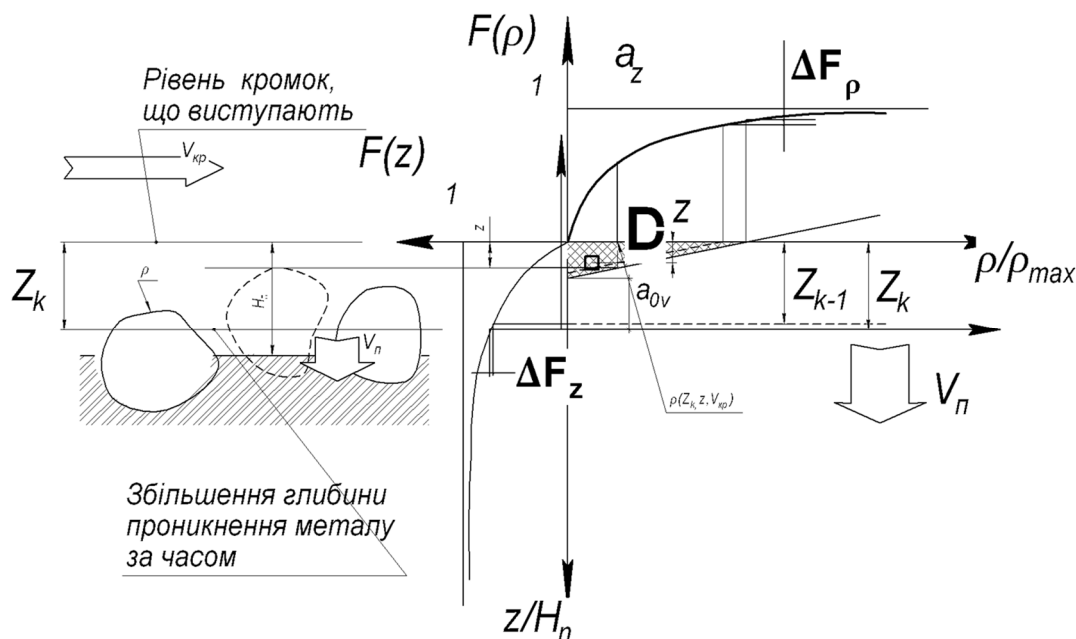


Рис. 2. Модель до знаходження початку процесу різання

Імовірність початку різання кромкою (перехід до стану 3) в момент заглиблення її на глибину z_k у межах висоти РПК являє собою інтегральну функцію імовірності системи випадкових величин, обчислену в межах області D (рис. 2).

$$P(z_k) = \iint_D f(z, \rho) dz \cdot d\rho = \int_0^{z_k - a_{0v} / H_n} f(z) dz \cdot \int_0^{\rho(z_k, z, v_{кр}) / \rho_{max}} f(\rho) d\rho = F_z(z_k - a_{0v}) \cdot F_\rho(\rho(z_k, z, v_{кр})). \quad (13)$$

Перший інтеграл являє собою інтегральну функцію розподілу глибини розташування кромки, другий – функцію розподілу радіусів їх заокруглення у відносних межах до значення z/H_n , ρ/ρ_{max} . Їх визначають за подібними залежностями.

Інтенсивність $j_{23}(k)$ імовірності переходу знаходять диференціюванням за часом наведеного виразу (13) за правилами похідної добутку та складної функції, де змінною є лише глибина z_k проникнення металу вглиб РПК. Врешті множенням на величину проміжку часу $\Delta\tau$ одного переходу знаходять імовірність $p_{23}(k)$ переходу системи до процесу різання на цьому кроці:

$$j_{23}(k) = \lim_{\Delta\tau \rightarrow 0} \frac{P(z_{k-1}, z_k)}{\Delta\tau} = \frac{dF_z(z_k - a_{0v})}{dz} \cdot F_\rho(\rho(z_k, z, v_{кр})) + F_z(z_k - a_{0v}) \cdot \frac{dF_\rho(\rho(z_k, z, v_{кр}))}{d\rho}. \quad (14)$$

Звідси можна знайти залежність, яка слугуватиме нижньою границею під час визначення імовірності різання зерном на глибині z_k :

$$p_{23}(k) = F_z(z_k - a_0) * \Delta F_\rho(\rho(z_k, v_{кр})) + \Delta F_z(z_k - a_0) * F_\rho(\rho(z_k, v_{кр})). \quad (15)$$

На представленому рис. 3 об'єм, побудований над областю D, визначає інтегральну імовірність переходу кромки до різання за рівнянням (15) при заглибленні на z_k . Об'єм виділеного сегмента відповідає інтенсивності переходів на деякому кроці.

З умови повної ймовірності несумісних подій знаходимо імовірності графа p_{33}

$$p_{33}(k) = 1 - p_{32}(k). \quad (16)$$

Знайдені імовірності переходів між станами дозволяють визначати частку кромки, що ріжуть, або тих, що лише деформують метал (рис. 4).

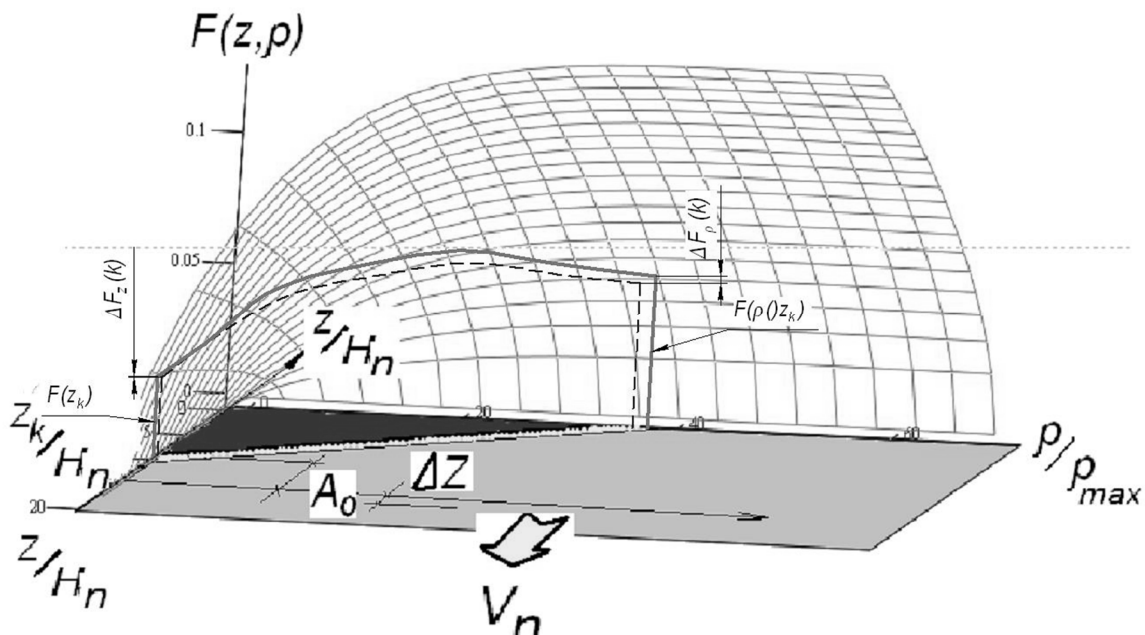


Рис. 3. Інтегральна функція розподілення системи випадкових величин, що характеризують стан РПК та модель імовірності різання у разі заглиблення та переходу до початку різання на наступному кроці

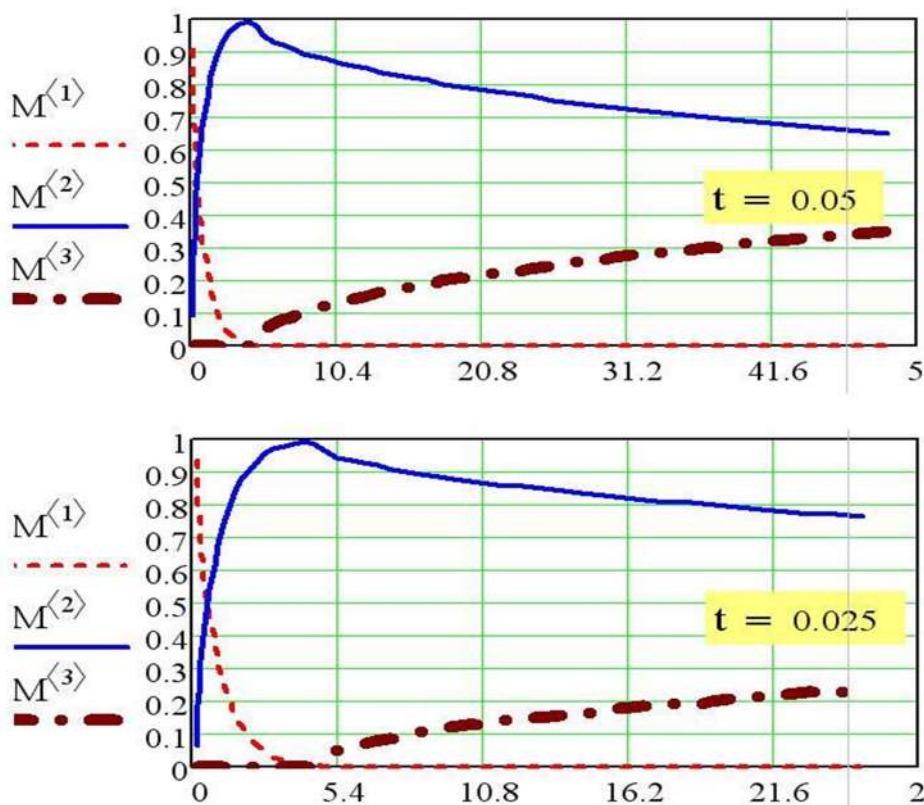


Рис. 4. Зміна ймовірностей процесу різання по мірі заглиблення припуску та різних режимах оброблення ($t, =0,025; 0,05$) $V_k, V_k/V\varnothing = 60$

Таким чином, на кожному кроці рекурентного розрахунку зміна глибини проникнення припуску $\Delta z = z_k - z_{k-1}$ призводить до опосередкованої зміни радіусів заокруглення кромки, які беруть участь у різанні.

Далі, використовуючи отримані імовірності станів та значення глибини проникнення металу, знаходять товщину шару, що зрізується, за правилом математичного очікування та дисперсію.

На першому кроці визначають їх миттєві значення в момент часу τ_k (рис. 5) Потім слід визначити середнє значення товщини зрізу за весь час роботи кромки зерна в міру її заглиблення (рис. 6), використовуючи операцію інтегрування за часом.

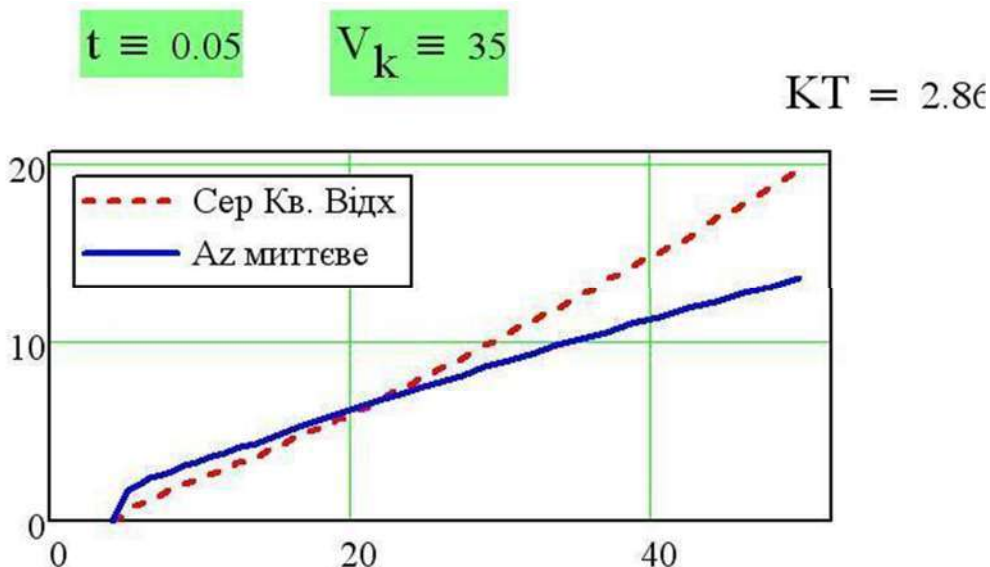


Рис. 5. Зміна миттєвих значень математичного очікування та квадратичного відхилення товщини зрізів

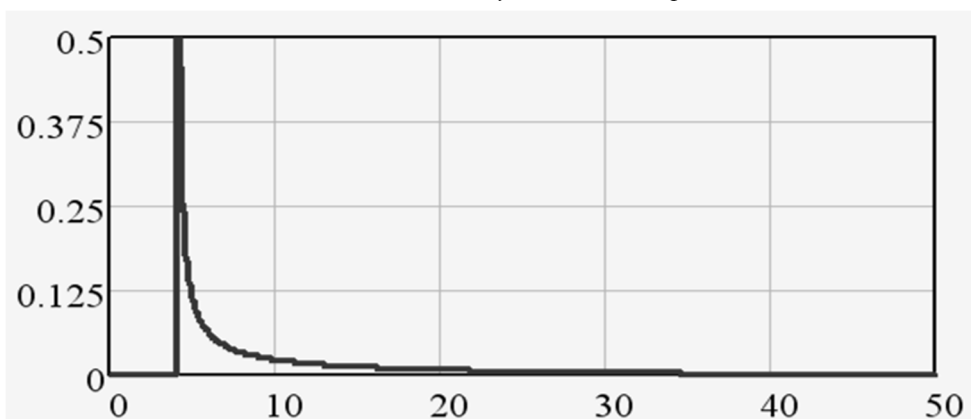


Рис. 6. Графік щільності розподілення товщини зрізів кромками абразивного круга 24A40СМ1 після правки за час контакту з припуском

Товщину шару, що зрізується, знаходять за правилом математичного очікування, використовуючи значення глибини проникнення та відповідних ймовірностей.

Отже, порядок розрахунку товщини шару наступний.

Задають час τ_k або кут повороту деталі φ_k та визначають збільшення глибини z_k проникнення металу вглиб робочої поверхні круга. Визначають мінімально припустимий радіус кромки, починаючи з якого відбувається різання. Знаходять параметр закону Пуассона та ймовірності на графі процесу шліфування та відповідні ймовірності.

Переходять до наступного кроку. Виконують розрахунки поки кут повороту деталі не стане рівним максимальному значенню. Оцінюють товщину зрізаного шару та роблять висновок про ефективність оброблення.

Проведені розрахунки (рис. 6) показали, що середнє значення товщини стружки при різних режимах поздовжнього шліфування змінюється в невеликих межах та зростає під час збільшення припуску та кругової подачі, тобто у разі зростання питомої продуктивності, зернистості та зменшення швидкості різання. Можна порівняти товщини, зіставляючи результати розрахунків зі спостереженнями вчених Філімонова [8] та Корчака [5].

Висновки. Створена імовірнісна модель для визначення товщини зрізів та динаміки їх зміни за часом, яка враховує: різноманітну кінематику різання; стан робочої поверхні круга після його виправлення та в процесі шліфування; частку кромки, які пластично деформують метал без різання.

При однаковому значенні питомої продуктивності та одному зі змінних глибини й кругової подачі при поздовжньому шліфуванні товщина зрізу є змінною. Це свідчить про різний силовий вплив. Незначне збільшення значення товщини зрізу спостерігається при значному збільшенні глибини різання та відповідному зменшенні кругової подачі.

Закони розподілення різальних кромки по висоті та радіусів їх заокруглення, визначальне рівняння, яке характеризує перехід від пластичного деформування до різання, не накладають будь-яких обмежень на математичну модель.

Товщини зрізів та час між контактуваннями можуть бути представленими у вигляді закону-бета розподілення, що дозволяє використати наведені розрахунки для моделювання теплових виділень у зоні різання. Для визначення температури процесу різання проводять моделювання, з цією метою визначають кількість та час між контактами кромки з припуском.

Розподілення товщини зрізів може бути представленим у вигляді закону бета-розподілення з можливістю подальшого моделювання теплової напруженості та зносу.

Список використаних джерел

1. Братан С. М. Технологічні основи забезпечення якості і підвищення стабільності високопродуктивного чистового та тонкого шліфування : автореф. дис. ... д-ра техн. наук / С. М. Братан. – Одеса, 2005. – 38 с.
2. Вентцель Е. С. Теория случайных процессов и ее инженерные приложения / Е. С. Вентцель, Л. А. Овчаров. – М. : Наука, 1991. – 384 с.
3. Гусев В. В. Наукові основи технологічного забезпечення експлуатаційних характеристик виробів із технічної кераміки при алмазному шліфуванні : автореф. дис. ... д-ра техн. наук / В. В. Гусев. – Х., 2006. – 36 с.
4. Кальченко В. В. Теоретичні дослідження товщини шару, який зрізується різальною кромкою, при шліфуванні орієнтованим абразивним інструментом / В. В. Кальченко, А. В. Рудик // Вісник Черніг. технол. ун-ту. – 2005. – № 22. – С. 67–77.
5. Корчак С. Н. Производительность процесса шлифования стальных деталей / С. Н. Корчак. – М. : Машиностроение, 1974. – 280 с.
6. Круглое шлифование с ЧПУ // Проспект фирмы “Junker maschinen” на станке “Quickpoint 1001” и “Quickpoint 1002”. Erwin Junker. Maschinen fabrik GmbH, Junkerstraße 2. Postfach 25. D 7618 Nordrach. Germany. 1991. – 16 с.
7. Рудик А. В. Визначення товщини шару, що зрізується кромкою орієнтованого абразивного інструменту / А. В. Рудик // Вісник Чернігівського державного технологічного університету : збірник. – 2010. – № 42. – С. 128–136.
8. Филимонов Л. Н. Высокоскоростное шлифование / Л. Н. Филимонов. – Л. : Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1979. – 248 с., ил.

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

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

Rudyk Andreii – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor Department of Automobile Transport and Branch Machinery, Chernihiv National Technological University (95 Shevchenka Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: andrei.rudik@gmail.com

РОЗДІЛ III. ТЕХНОЛОГІЇ ЗВАРЮВАННЯ

УДК 621.791

*Татьяна Таранова, Эдуард Вржижевский, Татьяна Соломийчук, Евгений Половецкий,
Олег Новомлинец*

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ЖАРОПРОЧНОГО ТИТАНОВОГО СПЛАВА, ВЫПОЛНЕННОГО ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ СВАРКОЙ

*Тетяна Таранова, Едуард Вржижевський, Тетяна Соломійчук, Євген Половецький,
Олег Новомлинець*

ВПЛИВ РЕЖИМІВ ТЕРМІЧНОГО ОБРОБЛЕННЯ НА СТРУКТУРУ І ВЛАСТИВОСТІ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ ЖАРОМІЦНОГО ТИТАНОВОГО СПЛАВУ, ВИКОНАНОГО ЕЛЕКТРОННО-ПРОМЕНЕВИМ ЗВАРЮВАННЯМ

*Tatiana Taranova, Eduard Vrzhezhevskii, Tatiana Solomiichuk, Evgenii Polovetskii,
Oleg Novomlinets*

THE INFLUENCE OF THE MODES OF HEAT TREATMENT ON THE STRUCTURE AND PROPERTIES OF THE WELDED CONNECTIONS OF THE HEAT-RESISTANT TITANIUM ALLOY CARRIED OUT USING THE ELECTRON-BEAM WELDING

Показаны результаты применения локальной лучевой термообработки жаропрочных титановых сплавов с интерметаллидным упрочнением для предупреждения образования трещин и обеспечения технологической прочности сварных соединений указанных сплавов. Исследовано влияние локальной термообработки на свойства и структуру сварных соединений, выполненных электронно-лучевой сваркой. Применение печной термообработки позволяет повысить пластические свойства и получить однородную структуру сварного соединения.

Ключевые слова: электронно-лучевая сварка, локальная термообработка, сварное соединение, общая печная термообработка.

Рис.: 7. Табл.: 1. Библ.: 11.

Показано результати застосування локальної променевої термообробки жароміцних титанових сплавів з інтерметаліди́дним зміцненням для попередження утворення тріщин і забезпечення технологічної міцності зварних з'єднань зазначених сплавів. Досліджено вплив локальної термообробки на властивості та структуру зварних з'єднань, виконаних електронно-променевим зварюванням. Застосування пічної термообробки дозволяє підвищити пластичні властивості й отримати однорідну структуру зварного з'єднання.

Ключові слова: електронно-променеве зварювання, локальна термообробка, зварене з'єднання, загальна пічна термообробка

Рис.: 7. Табл.: 1. Бібл.: 11.

The results of the application of the local beam heat treatment of the heat-resistant titanium alloys with the intermetallic strengthening to prevent the formation of cracks and ensuring the technological strength of the welded connections of mentioned alloys was presented. The influence of local heat treatment on the properties and structure of the welded connections made of electron - beam welding was investigated. The application of the stove heat treatment allows to improve the plastic properties and to obtain the homogeneous structure of the welded connection.

Key words: electron-beam welding, local heat treatment, welded connection, general stove heat treatment.

Fig.: 7. Tabl.: 1. Bibl.: 11.

Постановка проблеми. Повышение жаропрочности и ресурса деталей двигателей одна из важнейших проблем, для успешного решения которой необходимо обеспечение жаропрочности сплавов, улучшение их качества и усовершенствование технологии изготовления деталей.

Разработка жаропрочных титановых сплавов, как известно, обусловлена степенью легирования сплава алюминием, когда не проявляется склонность к термической нестабильности структуры, в результате образования упорядоченной α_2 -фазы (Ti_3Al). Дисперсионное упрочнение создания новых жаропрочных титановых сплавов (на основе Ti_3Al , $TiAl$) позволяет повысить их эксплуатационные характеристики, например, повысить рабочие температуры деталей двигателей на 100–150 °С. Однако такие сплавы

имеют ограниченную пластичность, что является основным их недостатком. Это затрудняет практическое использование сплавов в изделиях различного назначения [8].

Анализ последних исследований и публикаций. В настоящее время титановые сплавы являются основным конструкционным материалом в авиастроении. Уникальные свойства титановых сплавов определяют широкие возможности их применения для изготовления ответственных конструкций в самолетостроении, двигателестроении, химической и других областях промышленности. Большинство промышленных титановых сплавов основано на двухфазной ($\sigma+\beta$)-структуре, что обеспечивает возможность широкого варьирования механических свойств путем эффективной термической обработки. Реальная возможность применения изделий из этих сплавов, в том числе сварных и крупногабаритных, состоит в дальнейшем изучении возможностей термической обработки, где основой остается вопрос изучения характеристик структуры, механических и служебных характеристик.

Сварка – один из наиболее распространенных технологических процессов при создании сложных деталей и узлов, поэтому свариваемость титановых сплавов – важный фактор, определяющий целесообразность его применения [6; 7].

Замена механических соединений деталей больших сечений на сварные позволяет значительно снизить вес конструкций. В связи с этим широкие перспективы для применения открываются перед электронно-лучевой сваркой (ЭЛС), позволяющей соединять детали толщиной до 100 мм и более.

При использовании ЭЛС металл сварного соединения отличается значительным градиентом температур. На участке длиной всего в несколько миллиметров происходят значительные изменения в структуре от литой к перегретой в β -области и равновесной мелкозернистой структуре основного металла [6]. Одной из характерных особенностей сплавов на основе титана является их низкая теплопроводность, что обуславливает большие градиенты температур и напряжений в области сварного соединения [1]. Применение локальной термической обработки (ЛТО) электронным лучом в вакууме является весьма эффективной и экономически оправданной операцией. При использовании ЛТО снижается уровень сварных напряжений, улучшается структура и свойства сварных соединений, снижается вероятность образования трещин.

Выделение не решенных ранее частей общей проблемы. Не достаточно исследовано использование локальной лучевой термообработки для сварных соединений жаропрочных титановых сплавов с повышенным комплексом механических свойств для обеспечения технологической прочности деталей компрессоров высокого давления, работающих при температурах до 600 °С.

Цель работы. Целью данной работы является исследование применения локальной термообработки и печного отжига для улучшения пластических свойств сварных соединений жаропрочного титанового сплава с повышенным содержанием алюминия, выполненных электронно-лучевой сваркой.

Выкладка основного материала. Для достижения поставленной задачи методом электронно-лучевой плавки был получен сплав следующего состава: Al-9 %; Sn-5 %; Nb-6 %; Zr-6,5 %; Mo-5,7 %; V-1 %; Si-0,2 % весовых процентов. Прокатка в требуемый размер выполнялась по стандартному режиму, применяемому для жаропрочных титановых сплавов. Слитки опытных титановых сплавов выплавлялись методом электронно-лучевой тигельной плавки с электромагнитным перемешиванием [11]. Этот метод позволяет получить однородный расплав и, после охлаждения, однородные по химическому составу слитки. Диаметр слитков составлял 70 мм, масса – 5–10 кг. Затем полученные слитки подвергались термомеханической обработке. Сплав деформировали путем осадки на гидравлическом прессе в контейнере. Обработка проводилась в три

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

цикла: 1 – нагрев до 1165 °С и осадка на 15–20 %; 2 – нагрев до 1165 °С и осадка на 10–15 %; 3 – нагрев до 1165 °С и осадка на 7–10 %.

Далее сплав был прокатан в пластину толщиной 9–11 мм на двухвалковом реверсивном стане. При достижении в печи заданной температуры заготовки выдерживались на протяжении одного часа и после этого подвергались деформированию. При прокатке для получения мелкодисперсной структуры обеспечивали 60–70 % деформацию в β -области (1050–1100 °С), а оставшиеся 30–40 % - в ($\alpha+\beta$) и α -областях (980–900 °С). После прокатки металл отжигали при температуре 800 °С.

При содержании алюминия в титане свыше 7 % твердый раствор распадается с выделением дисперсной α_2 -фазы, дополнительно упрочняющей титан [4]. Как известно, при сварке жаропрочных сплавов имеет место резкое снижение пластичности сварного соединения [2]. Анализ полученных результатов показал очень низкую пластичность сварных соединений жаропрочного титанового сплава с дисперсионным (силицидным, интерметаллидным) упрочнением. При наличии значительных после сварочных остаточных напряжений сварные соединения хрупко разрушались при минимальных дополнительных нагрузках.

Сварку проводили по следующему режиму: $U_{\text{уск}} = 60$ кВг, $I_{\text{луча}} = 80$ мА, $V = 7$ мм/с (рис. 1). После сварки в вакуумной камере осуществлялась локальная термическая обработка.



Рис. 1. Внешний вид образца со швом жаропрочного титанового сплава с повышенным содержанием алюминия, выполненного ЭЛС

Сварное соединение исследуемого титанового сплава нагревалось электронным лучом до 900 °С и выдерживалось в течение 10 минут. Затем проводилось охлаждение до комнатной температуры в вакуумной камере. Далее сварное соединение было подвергнуто изотермическому отжигу: температура отжига – 1000 °С, время – выдержка 1ч, охлаждение с печью до 600–650 °С, выдержка 5 ч, охлаждение на воздухе [2; 3; 5].

Визуальный анализ сварных соединений показал, что проводимая локальная термическая обработка предотвращает образование трещин, которые являются характерными для сварных соединений жаропрочных титановых сплавов. Структура металла шва и переходной зоны по сравнению с основным металлом имеет свою специфику (рис. 2, а, з). После электронно-лучевой сварки сварное соединение жаропрочного титанового сплава резко закаленного с температуры β -области представляет собой сложнелегированную структуру.

Внешний вид металла шва сварного соединения исследуемого жаропрочного титанового сплава с повышенным содержанием алюминия, выполненного ЭЛС, представлено на рис. 2, а, з. Локальность и интенсивность процесса сварки ЭЛС обеспечивают образования глубокого узкого шва, размер которого составляет 3–3,5 мм, ширина зоны термического влияния – 1 мм. Швы имеют в обоих случаях четко выраженную цилиндрическую форму. Характерной особенностью макроструктуры сварного соединения без ТО является «наследственная» полосчатость в зоне термического влияния, продолжающая полосы структурной неоднородности основного металла (рис. 2, а).

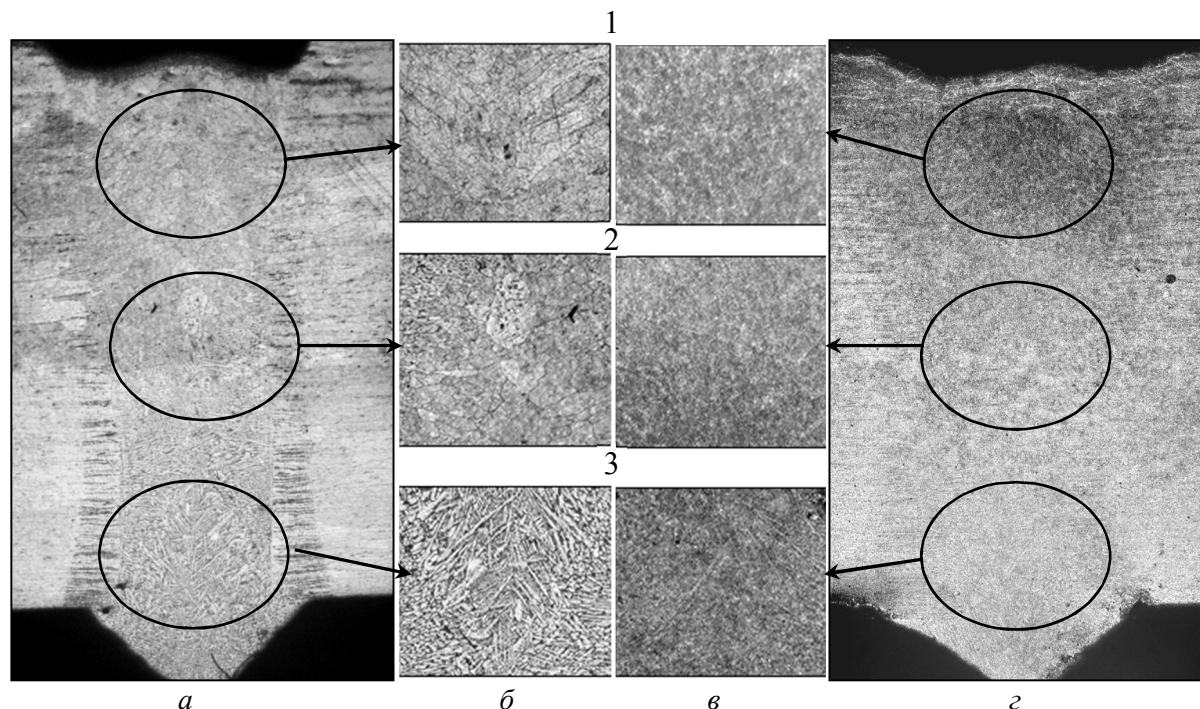


Рис. 2. Микроструктуры сварного соединения (а, г – $\times 25$; б, в – $\times 500$) исследуемого жаропрочного титанового сплава с повышенным содержанием алюминия, выполненного ЭЛС: а, б – без ТО, в, г – после печной ТО; 1 – верхний участок шва; 2 – центральный участок шва; 3 – корень шва

Исследования особенностей структуры проводили в трех участках шва: верхней области, средней части и в корне. В целом макроструктура образца в состоянии после сварки имеет традиционное кристаллическое строение. Столбчатые кристаллиты растут навстречу друг другу относительно оси шва. В разных участках шва образуются структуры различного типа. Так, в верхнем участке шва кристаллиты растут по линии сплавления навстречу друг другу и соединяются под большими углами (рис. 2, б). В центральной части шва кристаллиты направлены преимущественно вдоль оси шва. Они имеют различную форму и размеры. Структура корня шва состоит из характерных столбчатых кристаллитов с тонкой субструктурой произвольной ориентации (рис. 2, б (3)).

Отмечаемые структурные изменения и неоднородность литого металла в различных участках шва связаны с особенностями процесса ЭЛС – локальностью и высокой интенсивностью термического цикла сварки.

Анализ структуры сварных соединений показал, что выполнение печной термообработки по режиму, приведенному выше, повышает ее однородность по всей толщине соединения. В структуре ЗТВ также отмечается большая степень однородности: линия сплавления еле заметна, а наследственная полосчатость исчезла. Очень трудно выявить саму зону термического влияния.

Измерение твердости образцов проводили в различных участках и уровнях по высоте сварного соединения (рис. 3). Результаты анализа твердости показали, что в образце без ТО во всех зонах сварного соединения наблюдается скачкообразное изменение твердости (рис. 3, а). Твердость металла шва составляет 3200–3700 МПа. Снижение твердости на 10 % наблюдается в ЗТВ (3150–3450 МПа) и незначительное в основного металла (3300–3500 МПа). Такое изменение твердости связано с тем, что фазовое состояние металла шва после сварки термодинамически менее устойчивое, чем в других зонах сварного соединения.

Выполнение локальной ТО и печного отжига приводит к менее выраженному скачкообразному изменению твердости металла шва. При этом следует отметить, что твер-

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

дость металла шва незначительно выше по сравнению с твердостью основного металла (рис. 3, б). Это указывает на положительное влиянием процесса термической обработки, приводящей к незначительному упрочнению, при котором достигается формирование однородной структуры сварного соединения.

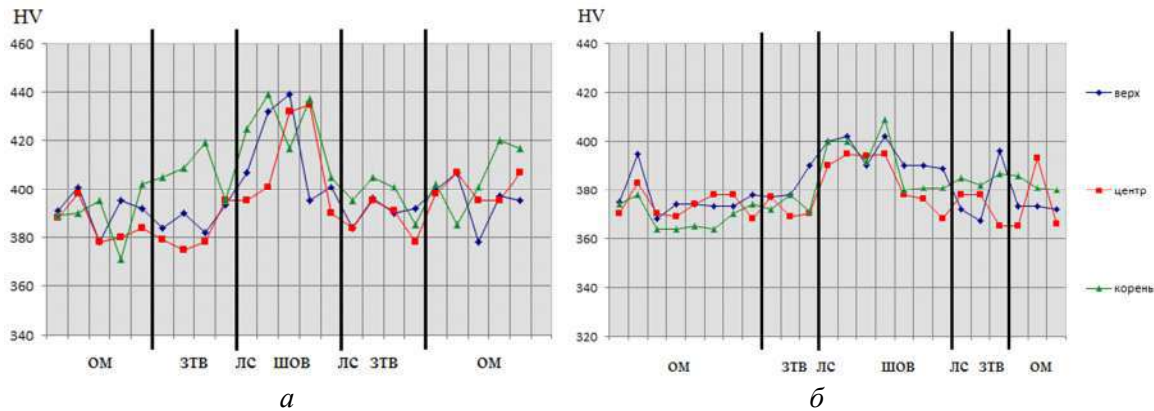


Рис. 3. Характер изменения микротвердости сварного соединения жаропрочного титанового сплава с повышенным содержанием алюминия: а – без ТО; б – после ТО

Металлографические исследования сварных соединений жаропрочного титанового сплава с повышенным содержанием алюминия, выполненных ЭЛС. Проведенные микроструктурные исследования показали, что в зоне сварного соединения отсутствуют видимые дефекты в виде несплошностей, непроваров, пор.

Как упоминалось в работе [4], повышение технологической пластичности сплавов титана с повышенным содержанием алюминия происходит за счет увеличения в структуре β-фазы. Увеличение в структуре β-фазы приводит к существенному снижению усилий деформации при прокатке.

Основной металл (рис. 4, а) представляет собой деформированную структуру проката, которая состоит из α-матрицы и мелкодисперсных частиц β-фаз [10]. На рис. 4, б представлена микроструктура участка крупного зерна ЗТВ. Структура состоит из светлой матрицы α-фазы и скоагулированных выделений β-фазы, вытянутых по направлению проката. В металле шва наблюдается двухфазная структура с ярко выраженным дендритным строением (рис. 4, в). В микроструктуре обнаружена α'-фаза в виде рельефной матрицы и глобулярные выделения β-фазы по границам литых кристаллитов.

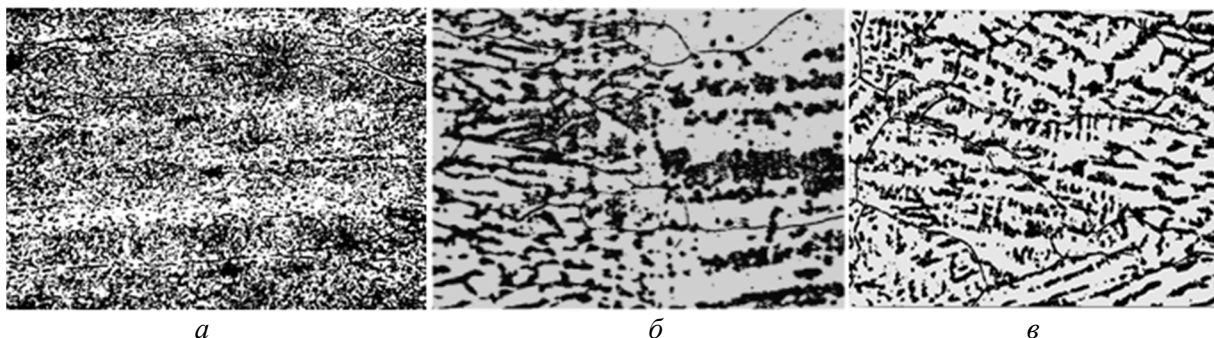


Рис. 4. Микроструктура исследуемого жаропрочного титанового сплава с повышенным содержанием алюминия, выполненного ЭЛС без ТО: а – шов; б – ЗТВ; в – основной металл (×500)

Микроструктура сварного соединения исследуемого жаропрочного титанового сплава, выполненного ЭЛС, после печной ТО, представлена на рис. 5. Наблюдаются значительные структурные изменения в образце после локальной ТО по сравнению со структурой образца без ТО. После ТО микроструктура во всех участках сварного соединения имеет структуру (α+β)-твердых растворов и отличается формой и соотношением выделений α- и β-фаз.

В отличие от сварных соединений микроструктура основного металла (рис. 5, а) состоит из более крупных, хаотично расположенных пластин α -фазы. Количество выделений β -фазы значительно меньше по сравнению с участком ЗТВ, однако отмечается укрупнение скоагулированных выделений β -фазы.

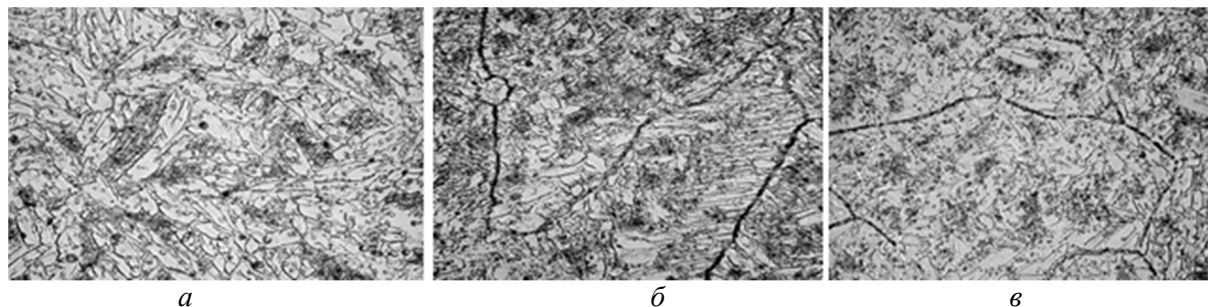


Рис. 5. Микроструктура сварного соединения исследуемого жаропрочного титанового сплава с повышенным содержанием алюминия, выполненного ЭЛС, после печной ТО: а – основной металл; б – ЗТВ; в – шов ($\times 1000$)

В микроструктуре ЗТВ (рис. 5, б) наряду с хаотически расположенными пластинами α -фазы образовались участки α -пластин, ориентированных в определенном направлении. Аналогично структуре металла шва границы зерен также прерывисты и декорированы мелкодисперсными выделениями интерметаллидов.

После печной ТО микроструктура шва (рис. 5, в) состоит из хаотически расположенных пластин α -фазы и скоагулированных выделений β -фазы. Границы зерен прерывистые и декорированы мелкодисперсными выделениями, по-видимому, интерметаллидами. В микроструктуре ЗТВ (рис. 4, б) наряду с хаотически расположенными пластинами α -фазы наблюдаются участки α -пластин, ориентированна в определенном направлении. Границы зерен также прерывисты и декорированы мелкодисперсными выделениями интерметаллидов. Количество выделений значительно больше. Они характеризуются более высокой дисперсностью и сравнительно равномерно распределены по объему, чем в других участках сварного соединения.

Методом рентгеноструктурного анализа на приборе ДРОН-УМ1 в монохроматическом излучении $\text{CuK}\alpha$ установлено, что в сварном соединении без печной термообработки содержание α -Ti составляет 55,5 %, β -Ti – равно 25,4 % и Ti_3Al – 19,1 %. В сварном соединении с печной термообработкой α -Ti – 53,96 %, а β -Ti – 46,04 % соответственно. Выполненная печная термообработка обеспечивает увеличение количества β -фазы почти в 2 раза, что придает большую пластичность сварному соединению.

Механические свойства жаропрочного титанового сплава с повышенным содержанием алюминия и сварного соединения, выполненного ЭЛС с ЛТО и после общей печной обработки. В табл. представлены механические свойства жаропрочного титанового сплава с повышенным содержанием алюминия и сварного соединения, выполненного ЭЛС с ЛТО и после общей печной ТО обработки.

Таблица

Механические свойства сварных соединений и основного металла

| Характеристика образца | σ_T , МПа | σ_B , МПа | δ , % | Ψ , % | Ударная вязкость, Дж/см ² |
|--|------------------|------------------|--------------|------------|--------------------------------------|
| Основной металл | – | 1003,9 | – | – | 4,0 |
| Основной металл после общей печной термообработки | 870,4 | 1002,3 | 1,7 | 3,4 | 3,9 |
| Сварное соединение после ЛТО | – | 794,3 | – | – | – |
| Сварное соединение после ЛТО и общей печной термообработки | 877,6 | 1005,2 | 1,3 | 2,7 | 3,5 |

Анализируя механические свойства жаропрочного титанового сплава с повышенным содержанием алюминия, следует отметить, что основной металл сплава обладает высокой прочностью и низкой ударной вязкостью. После проведения печной обработки повышаются пластические свойства основного металла. Как видно из табл., механические показатели образцов после ЭЛС сварки обладают низкими свойствами. Только в образцах сварного по всем показателям механических свойств (предела прочности, текучести, относительного удлинения, сужения и ударной вязкости) прочность основного металла и сварного соединения, выполненного ЭЛС после печной термообработки, обладают высокими показателями и находятся на одном уровне. Данные сплавы обладают невысокой технологической пластичностью. Полученные результаты свидетельствует о том, что сварные соединения титанового сплава с повышенным содержанием алюминия без термообработки нельзя использовать в промышленности.

Сопоставление структуры и механических свойств после общей печной термообработки показывает, что основными факторами, влияющими на свойства, являются соотношения количества α и β -фаз, их форма и дисперсность.

Таким образом, результаты исследований показали, что проведение печной термообработки сварного соединения улучшает свойства, способствует повышению прочности, пластичности, предотвращает образование горячих трещин и дает возможность сохранять сварные конструкции длительное время без опасности образования эксплуатационных трещин.

Фрактографические исследования сварных соединений жаропрочного титанового сплава с повышенным содержанием алюминия, выполненных ЭЛС. На рис. 6, *a* представлена поверхность разрушения ударного образца основного металла исследуемого жаропрочного титанового сплава с повышенным содержанием алюминия. Фронт магистральной трещины распространялся строго перпендикулярно приложенной нагрузке. Слабо развитый рельеф поверхности разрушения указывает на действие хрупкого транскристаллитного разрушения.

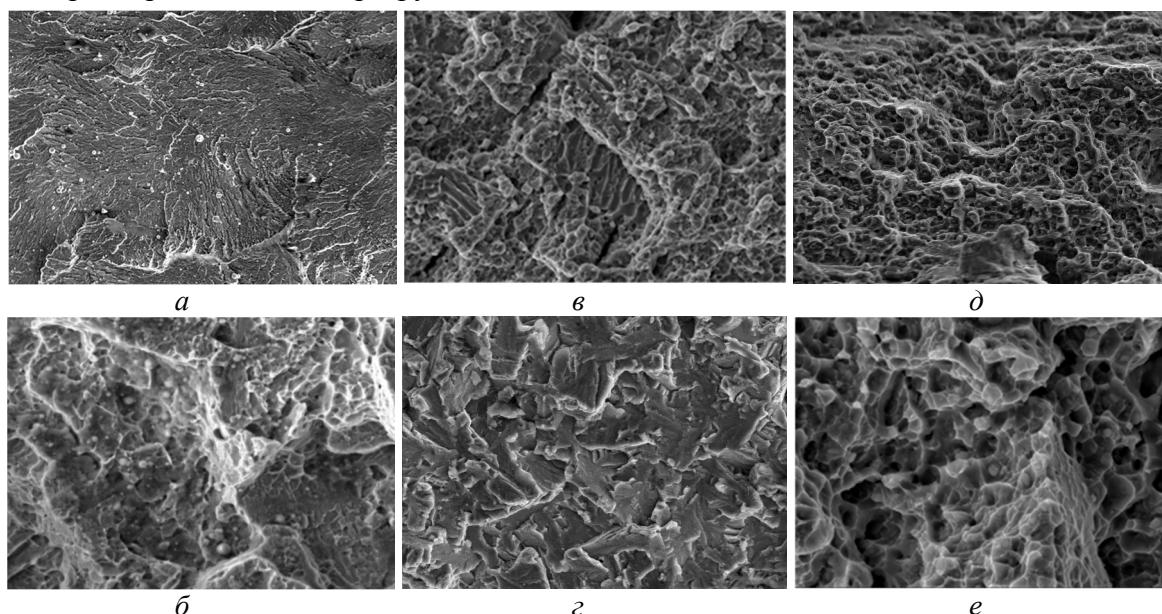


Рис. 6. Фрактографические исследования исследуемого жаропрочного титанового сплава с повышенным содержанием алюминия: *a, б* – основной металл; *в, г* – сварное соединение без ТО; *д, е* – сварное соединение после ТО: *a, в, д* – $\times 1000$; *б, г* – $\times 3700$; *е* – $\times 10000$)

Механизм разрушения хрупкий (транскристаллитный) с четко различимыми ручьи-стыми узорами в той же общей плоскости скола (рис. 6, *a*). Почти на всех фасетках скола видны тонкие ручьи-стые узоры, которые ограничивают системы ручьев за счет

очень малых отклонений от общей кристаллографической плоскости роста магистральной трещины. На отдельных участках излома наблюдаются фрагменты вязкого разрушения (рис. 6, б). В вязких обнаружены выделения силицидов, когерентные с матрицей, что предположительно обеспечивает и пластичность сплава [9].

Рельеф поверхности разрушения сварного соединения без ТО представлен на (рис. 6, в, з). Разрушение произошло в основном путем скола и отрыва по пластинам α - и β -фаз, обнаружены короткие межзеренные трещины (рис. 6, в). На поверхности излома видны веерообразные перистые гребни внутризеренного скола (рис. 6, з).

Рельеф поверхности разрушения сварного соединения исследуемого жаропрочного титанового сплава с повышенным содержанием алюминия после печной ТО представлен на рис. 6 д, е. Характер разрушения поверхности сколом составляет 80 %, излома смешанного типа. На рис. 6, з представлен участок скола, полученный внутризеренным сколом через α - и β -фазы. На поверхности наблюдаются разрывы перпендикулярно плоскости скола, дробление пластин и выделения частиц. Помимо разрушения сколом наблюдаются вязкие участки (рис. 6, е), которые сформированы по ямочному механизму слияния пор, в которых наблюдаются упрочняющие частицы размером от 1,5 до 3 мкм (рис. 6, е).

Были проведены статические испытания на растяжение. Для статических испытаний использовали круглые образцы (диаметром 6 мм).

Поверхность разрушения основного металла исследуемого жаропрочного титанового сплава с повышенным содержанием алюминия после испытаний на растяжение имеет плоский излом со слабо развитым рельефом (рис. 7, а). Характер разрушения смешанный. При этом количество участков хрупкого разрушения значительно больше.

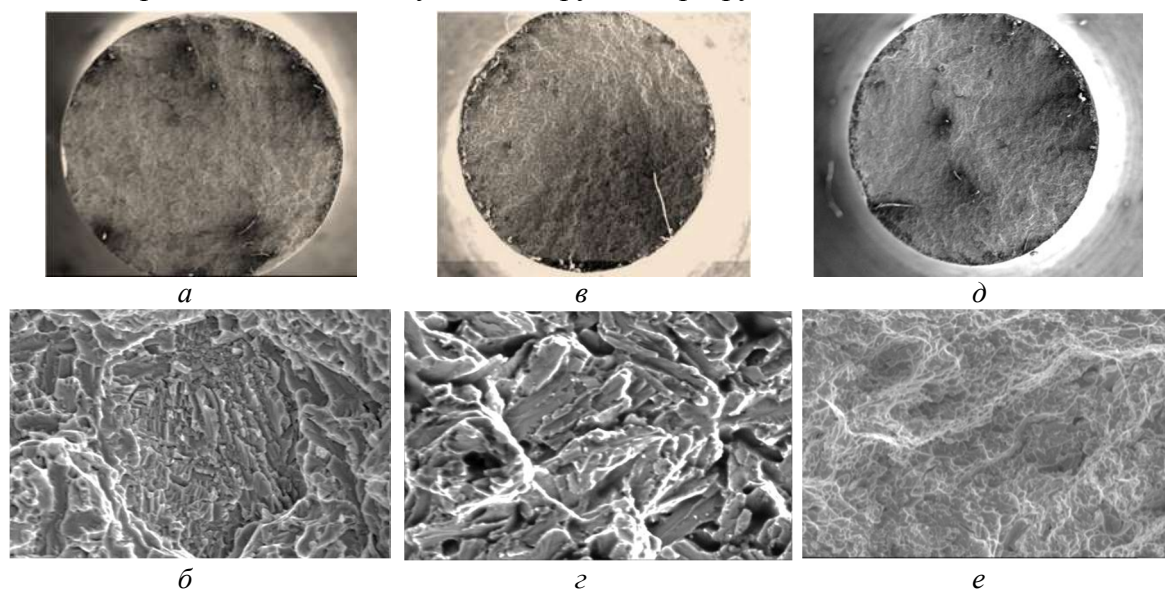


Рис. 7. Фрактографические исследования изломов исследуемого жаропрочного титанового сплава с повышенным содержанием алюминия после проведения испытаний на разрыв: основной металл а, б: а – внешний вид поверхности разрушения ($\times 15$); б – участок смешанного разрушения ($\times 1000$); в, з – сварное соединение без ТО: в – внешний вид поверхности разрушения ($\times 15$); з – участок межзеренного разрушения ($\times 1000$); в, з – сварное соединение после ЛТО: д – внешний вид поверхности разрушения ($\times 15$); е – участок вязкого разрушения ($\times 1000$)

На рис. 7, б представлен участок поверхности разрушения при большом увеличении. На некоторых участках (например, слева) – ямочное разрушение, в остальных областях – фасетки квазискола без каких-либо признаков ручьистых узоров.

Поверхность разрушения сварного соединения без термообработки исследуемого жаропрочного титанового сплава с повышенным содержанием алюминия также имеет слабо развитый рельеф (рис. 7, в). Характер разрушения хрупкий. На рис. 7, з представ-

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

лен участок поверхности разрушения при большом увеличении. Механизм разрушения интеркристаллитный (по границам зерен). Большая часть поверхности состоит из небольших фасеток.

Поверхность разрушения сварного соединения после печной термообработки исследуемого жаропрочного титанового сплава с повышенным содержанием алюминия также имеет развитый рельеф (рис. 7, д). Характер разрушения в основном вязкий (рис. 7, е). Во многих участках обнаружены гребни отрыва, а также ямки различных размеров, образованные по механизму слияния микропор, наличие которых свидетельствует о локальном развитии пластической деформации.

Выводы

1. Анализ полученных результатов показал, что в сварных соединениях исследуемого жаропрочного сплава на основе алюминид титана, выполненного ЭЛС, локальная термообработка обеспечивает технологическую прочность швов, при этом вязкость снижается.

2. Выполнение общей печной термообработки обеспечивает как прочностные, так и пластические свойства сварных конструкций. Механизм разрушения сварных соединений преимущественно вязкий.

Список использованных источников

1. *Влияние режимов электронно-лучевой сварки жаропрочных титановых сплавов на склонность к образованию холодных трещин* / Э. Л. Вржижевский, Е. А. Великоиваненко, Г. Ф. Розынка и др. // Титан. – 2013. – № 2. – С. 35–38.

2. *Вульф Б. К.* Термическая обработка титановых сплавов / Б. К. Вульф. – М. : Металлургия, 1969. – 376 с.

3. *Грабин В. Ф.* Основы металловедения и термической обработки сварных соединений из титановых сплавов / В. Ф. Грабин. – К. : Наук. думка, 1975. – 262 с.

4. *Использование водородных технологий при производстве деформированных полуфабрикатов из сплава на основе алюминид титана с повышенным комплексом механических свойств* / А. М. Мамонов, С. В. Скворцова, В. С. Спектор и др. // Титан. – 2013. – № 2. – С. 13–17.

5. *Лившиц Л. С.* Металловедение сварки и термическая обработка сварных соединений / Л. С. Лившиц, А. Н. Хакимов. – М. : Машиностроение, 1989. – 336 с.

6. *Свариваемые сплавы системы* / В. И. Замков, В. Ф. Топольский, И. К. Петриченко и др. // Автоматическая сварка. – 1998. – № 3. – С. 23–27.

7. *Свойства соединений высокопрочного титанового сплава Т110, выполненных сваркой плавлением* / С. В. Ахонин, В. Ю. Белоус, С. Л. Антонюк, И. К. Петриченко и др. // Автоматическая сварка. – 2014. – № 1. – С. 54–57.

8. *Солонина О. П.* Жаропрочные титановые сплавы / О. П. Солонина, С. Е. Глазунов. – М. : Металлургия, 1976. – 449 с.

9. *Фрактография* и атлас фрактограмм : справочник : пер. с англ. – М. : Металлургия, 1982. – 480 с.

10. *Хорев М. А.* Упрочнение сварных соединений титановых сплавов, полученных электронно-лучевой сваркой / М. А. Хорев // МиТОМ. – 1985. – № 1. – С. 52–54.

11. *Электронно-лучевая плавка в литейном производстве* / под ред. С. В. Ладохина. – К. : Сталь, 2007. – 626 с.

Таранова Татьяна Глебовна – кандидат технических наук, научный сотрудник ИЭС им. Е.О. Патона НАНУ (ул. Боженко, 11, г. Киев, 03680, Украина).

Таранова Тетяна Глібівна – кандидат технічних наук, науковий співробітник ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАНУ (вул. Боженка, 11, м. Київ, 03680, Україна).

Taranova Tatiana – PhD in Technical Sciences, Research Engineer of the E.O. Paton Electric Welding Institute of the National Academy of Science of Ukraine (11 Bozhenko Str., 03680 Kiev, Ukraine).

E-mail: office22@ukr.net

Вржижевський Едуард Леонович – ведучий інженер ІЕЗ ім. Е.О. Патона НАНУ (ул. Боженко, 11, г. Київ, 03680, Україна).

Вржижевський Едуард Леонович – провідний інженер ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАНУ (вул. Боженка, 11, м. Київ, 03680, Україна).

Vrzhizhevskii Eduard – Advanced Engineer of the E.O. Paton Electric Welding Institute of the National Academy of Science of Ukraine (11 Bozhenko Str., 03680 Kiev, Ukraine).

E-mail: office22@ukr.net

Соломійчук Татяна Григорьевна – научный сотрудник ИЭС им. Е.О. Патона НАНУ (ул. Боженко, 11, г. Киев, 03680, Украина).

Соломійчук Тетяна Григорівна – науковий співробітник ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАНУ (вул. Боженка, 11, м. Київ, 03680, Україна).

Solomiichuk Tatyana – Research Engineer of the National Academy of Science of Ukraine (11 Bozhenko Str., 03680 Kiev, Ukraine).

E-mail: office22@ukr.net

Половецкий Евгений Викторович – кандидат технических наук, научный сотрудник ИЭС им. Е.О. Патона НАНУ (ул. Боженко, 11, г. Киев, 03680, Украина).

Половецький Євген Вікторович – кандидат технічних наук, науковий співробітник ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАНУ (вул. Боженка, 11, м. Київ, 03680, Україна).

Polovetskii Evgenii – PhD in Technical Sciences, Research Engineer of the E.O. Paton Electric Welding Institute of the National Academy of Science of Ukraine (11 Bozhenko Str., 03680 Kiev, Ukraine).

E-mail: evgesha2004@ukr.net

Новомлинець Олег Александрович – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры сварочного производства и автоматизированного проектирования строительных конструкций, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

Новомлинець Олег Олександрович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри зварювального виробництва та автоматизованого проектування будівельних конструкцій, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

Novomlinets Oleg – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of Department of Welding and Automated Engineering Design of Building Constructions, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenko Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: oon1@ukr.net

РОЗДІЛ IV. ІНФОРМАЦІЙНО-КОМП'ЮТЕРНІ ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 532.783:378.147.091.33-027.22(0,75.8)

*Микола Мошель, Микола Гриценко, Олександр Рогоза, Анатолій Ковтун,
Тетяна Тепла*

ПРАКТИКУМ З ФІЗИКИ РІДКИХ КРИСТАЛІВ У НАВЧАЛЬНОМУ ПРОЦЕСІ СТУДЕНТІВ ІНЖЕНЕРНИХ СПЕЦІАЛЬНОСТЕЙ

*Николай Мошель, Николай Гриценко, Александр Рогоза, Анатолий Ковтун,
Татьяна Теплая*

ПРАКТИКУМ ПО ФИЗИКЕ ЖИДКИХ КРИСТАЛЛОВ В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ СТУДЕНТОВ ИНЖЕНЕРНЫХ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ

Mykola Moshel, Mykola Hrytsenko, Oleksandr Rohoza, Anatolii Kovtun, Tetiana Tepla

WORKSHOP ON PHYSICS OF LIQUID CRYSTALS IN THE PROCESS OF LEARNING OF STUDENTS OF ENGINEERING SPECIALTIES

Запропоновано лабораторний практикум з фізики рідких кристалів [1], роботи з якого пропонується включати до списку виконуваних робіт як у курсі фізики, так і під час вивчення спеціальних дисциплін, наприклад, «Засоби візуалізації вимірювальної інформації», «Матеріали електронної техніки» та інших, що вивчають студенти, які навчаються за спеціальностями «Електронні системи», «Радіоелектронні апарати», «Метрологія та інформаційно-вимірювальні технології», «Електронні пристрої та системи». У лабораторному практикумі представлено 10 лабораторних робіт з фізики рідких кристалів. Вивчення фізики рідких кристалів та їх застосування суттєво підвищить фахову підготовку студентів і магістрантів, які вивчають інформаційні технології, займаються розробкою сучасних пристроїв відображення інформації на дисплеях на основі рідких кристалів. Звернено увагу на застосування рідких кристалів як первинних перетворювачів для сенсорів у рідкокристалічній електроніці.

Ключові слова: нематичні рідкі кристали, смектичні рідкі кристали, холестеричні рідкі кристали, електрооптичні ефекти, ефекти у рідких кристалах.

Рис.: 4. Бібл.: 5.

Предложено лабораторный практикум по физике жидких кристаллов [1], работы из которого предлагается включать в список выполняемых работ как в курсе физики, так и при изучении специальных дисциплин, например, «Средства визуализации измерительной информации», «Материалы электронной техники» и других, которые изучают студенты, обучающиеся по специальностям «Электронные системы», «Радиоэлектронные аппараты», «Метрология и информационно-измерительные технологии», «Электронные устройства и системы». В лабораторном практикуме представлены 10 лабораторных работ по физике жидких кристаллов. Изучение физики жидких кристаллов и их применение существенно повысит профессиональную подготовку студентов и магистрантов, изучающих информационные технологии, занимающихся разработкой современных устройств отображения информации на дисплеях на основе жидких кристаллов. Обращено внимание на применение жидких кристаллов в качестве первичного преобразователя для сенсоров в жидкокристаллической электронике.

Ключевые слова: нематические жидкие кристаллы, смектические жидкие кристаллы, холестерические жидкие кристаллы, электрооптические эффекты, эффекты в жидких кристаллах.

Рис.: 4. Библ.: 5.

The proposed laboratory workshop on physics of liquid crystals [1], the laboratory works of which are to be included to the list of works carried out both in the course of physics and in mastering special subjects, like "Visualization ways of data measurement," "Materials of electronics" and others that are studied by the students in the following specialties "Electronic systems", "Radio electronic devices", "Metrology and information-measuring technologies", "Electronic devices and systems". The laboratory workshop contains 10 laboratory works on physics of liquid crystals. Physics of liquid crystals studying and their application will significantly improve the professional training of students and undergraduates who master the information technologies and create modern information display devices based on liquid crystals. Attention is drawn to the liquid crystals usage as a primary transducer for sensors and in liquid-crystalline electronics.

Key words: nematic liquid crystals, smectic liquid crystals, cholesteric liquid crystals, electrooptical effects in liquid crystals.

Fig.: 4. Bibl.: 5.

Постановка проблеми. Необхідно впроваджувати у навчальний процес вивчення фізики рідких кристалів як сучасних матеріалів і для засобів відображення інформації як датчиків, реєстраторів хімічних речовин тощо.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У лабораторному практикумі [1] представлено 10 лабораторних робіт з фізики рідких кристалів.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. Вивчення фізики рідких кристалів та їх застосування суттєво підвищить фахову підготовку студентів і магістрантів, які вивчають інформаційні технології, займаються розробкою сучасних пристроїв відображення інформації.

Мета статті. Головною метою цієї роботи є звернення уваги на актуальність вивчення фізики рідких кристалів, що знаходять широке застосування в науці і техніці, та впровадження в навчальний процес студентів і магістрантів інформаційних технологій виконання відповідного лабораторного практикуму.

Виклад основного матеріалу. Одним із шляхів подальшого вдосконалення викладання фізики та дисциплін спеціальної підготовки є поглиблення зв'язків освіти з наукою. Значним досягненням останніх десятиліть є застосування рідких кристалів у сучасних оптичних технологіях. Рідкі кристали мають незвичайні, унікальні властивості порівняно з традиційними оптичними матеріалами, що дає можливість плавно керувати оптичними характеристиками: світлопропусканням, світлорозсіюванням, поляризацією, заломленням, відбиванням, світла, кольоровими параметрами. Це керування можна здійснювати різними сигналами: електричними, світловими, механічними, тепловими, магнітними, хімічним впливом. Рідкі кристали використовуються в оптичних елементах, що складають нову елементну базу, в оптичних системах з новими функціональними можливостями.

Успіхи у дослідженнях рідких кристалів та досягнення у чисельних застосуваннях (дисплеї комп'ютерів і ноутбуків, екрани плоских телевізорів і мобільних телефонів та ін.) зробили їх цікавими об'єктами під час вивчення у вищій школі [2].

Тому нами розроблений лабораторний практикум з фізики рідких кристалів, роботи якого ми включаємо до списку виконуваних робіт як у курсі фізики, так і під час вивчення спеціальних дисциплін, наприклад, «Засоби візуалізації вимірювальної інформації», «Матеріали електронної техніки» та інших, що вивчають студенти, які навчаються за спеціальностями «Електронні системи», «Радіоелектронні апарати», «Метрологія та інформаційно-вимірювальні технології», «Електронні пристрої та системи».

У лабораторному практикумі [1] представлено 10 лабораторних робіт з фізики рідких кристалів, у яких описано рідкокристалічний стан речовини, електрооптичні ефекти в рідких кристалах. Звертається увага на застосування рідких кристалів у дисплеях як первинних перетворювачів для сенсорів у рідкокристалічній електроніці [3].

У першій лабораторній роботі вивчаються текстури рідких кристалів методом поляризаційної мікроскопії за допомогою електрооптичної комірки типу сендвіч (рис. 1).

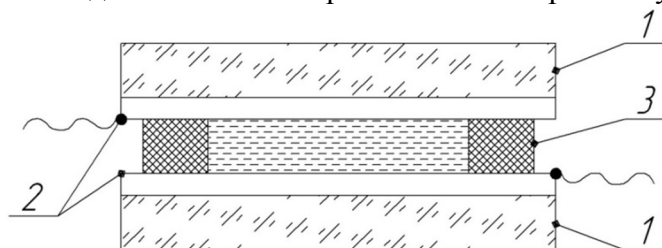


Рис. 1. Конфігурація електрооптичної комірки типу сендвіч: 1 – скляні підкладки з напиленими прозорими електродами; 2 SnO_2 чи In_2O_3 ; 3 – діелектричні прокладки

У другій лабораторній роботі студенти навчаються за текстурою визначати агрегатні стани речовини, що має мезофазу і, нагріваючи та охолоджуючи зразки з рідкими кристалами, спостерігають фазові перетворення. Першим зразком у лабораторній роботі є нематичний рідкий кристал 4-п-пентил-ціанобіфеніл (5ЦБ) з температурним інтервалом мезофазы 22...35 °С, він є досить стабільною сполукою і використовується в технології рідкокристалічних дисплеїв. Другим зразком у цій лабораторній роботі є нематичний рідкий кристал п-метоксибензиліден, п-бутиланілін (МББА), що має тем-

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

пературний інтервал існування мезофази 21...47 °С. Третій зразок – це холестериновий ефір пеларгонової кислоти – холестерилпеларгонат, що перебуває у мезофазному стані в температурному інтервалі 78...91 °С. Ця речовина має холестеричну та монотропну смектичну – А фазу.

У четвертому зразку досліджується сполука з серії похідних фенолбензоату . Вона утворює монотропну смектичну С фазу, тобто під час нагрівання плавиться в нематик при 51 °С, далі перетворюється в ізотропну рідину при 89 °С, потім при повільному охолодженні переходить в смектик С та кристалізується при 34 °С.

У третій та четвертій лабораторних роботах вивчаються польові орієнтаційні електрооптичні ефекти: S-ефект та В-ефект.

Під час виконання цих робіт студенти знайомляться із закономірностями перебігу S-ефекту та В-ефекту відповідно за спостереженням подвійного променезаломлення, виконують розрахунки модуля пружності для деформації поперечного вигину, електричної когерентної довжини для S-ефекту.

Для В-ефекту одержують експериментальним шляхом його порогову напругу і порівнюють її з теоретично розрахованим значенням.

П’ята робота присвячена вивченню електрооптичних ефектів, що виникають у нематичних рідких кристалах з $\Delta\epsilon < 0$ під впливом електричного струму провідності. Під час її виконання студенти визначають критичну частоту, що відділяє аномальну орієнтацію молекул від нормальної в змінному електричному полі, спостерігають явище динамічного розсіяння світла та визначають напругу за якої воно виникає.

У шостій роботі вивчається процес переходу холестеричної фази в нематичну під дією зовнішнього електричного поля. Під час її виконання студенти спостерігають двовимірну просторово-періодичну деформацію (сітка), одержують текстуру «відбитків пальців» та визначають порогову напругу, за якої з’являється ця текстура. Потім, поступово збільшуючи напругу, спостерігають холестерико-нематичний перехід та визначають його порогову напругу $U_{хнп}$. (рис. 2).

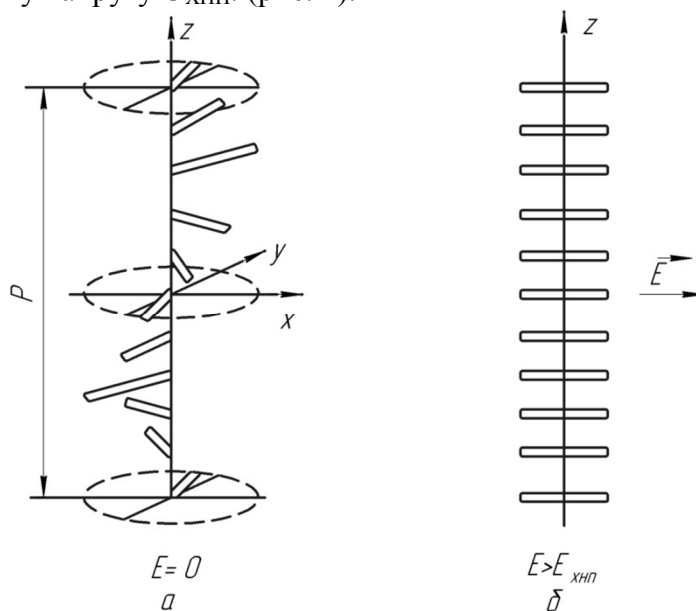


Рис. 2. Розкручування холестеричної спіралі зовнішнім електричним полем, перпендикулярним до осі спіралі. E – напруженість зовнішнього електричного поля: а – перед розкруткою спіралі; б – напруженість зовнішнього електричного поля достатня для холестерико-нематичного переходу

У сьомій роботі студенти знайомляться з процесом переносу носіїв заряду в рідких кристалах і визначають температурний інтервал існування мезофази. Визначають величину енергії активації ΔE електропровідності у мезофазі в електрон-вольтах.

У восьмій роботі йдеться про особливості пропускання та відбивання світла холестеричними рідкими кристалами, визначається довжина хвилі селективно відбитого світла й крок спіралі холестеричного рідкого кристалу.

Оптичні властивості холестериків мають особливості, що є наслідком наявності спіральної структури. Вони оптично одновісні, мають від'ємну оптичну анізотропію, велику оптичну активність і селективне відбивання світла [2; 3].

Виникнення зафарбованості шару ХРК під час його освітлення білим світлом можна пояснити, якщо представити його як дифракційну ґратку з системою паралельних шарів товщиною $\frac{p}{2}$ і середнім показником заломлення n .

Оскільки величина кроку спіралі для ефірів холестерину знаходиться в діапазоні довжин хвиль видимого світла, то падаючі на зразок промені дифрагують на періодичній структурі холестерика. При цьому умови дифракції подібні до умов дифракції рентгенівських променів у твердих кристалах, що визначаються співвідношенням Вульфа-Брегга. Для холестерика це співвідношення матиме вигляд:

$$2d \sin \theta = m\lambda. \quad (1)$$

Під час нормального падіння світла шар холестерика селективно відбиває світло з довжиною хвилі, що рівна кроку спіралі. Синтезовано багато холестеричних рідких кристалів з кроком $p \approx 400 - 1000$ нм. Для них λ_0 лежить у видимій області.

Селективне відбивання в області λ_0 означає, що освітлена білим світлом плоска структура ХРК буде зафарбована у колір, відповідний λ_0 .

Зміна кроку спіралі (чи кольору) є основою для застосування холестериків. У більшості ефірів холестерину крок спіралі зменшується із температурою ($\frac{dp}{dt} < 0$), але в нематохонстеричних сумішах можна одержати всі три типи залежності $p(t)$:

$$\frac{dp}{dt} > 0; \frac{dp}{dt} < 0; \frac{dp}{dt} = 0.$$

Дев'ята робота присвячена вивченню явища інтерференції поляризованих променів у керованих електричним полем комірках з нематичним рідким кристалом. Відомо, що промені, поляризовані в двох взаємно перпендикулярних площинах, не інтерферують. Але, якщо звести ці ортогональні коливання в одну площину і створити деяку різницю фаз між ними, то можна спостерігати особливі властивості інтерференційних смуг. У цій роботі студенти спостерігають кольорову інтерференційну картину незвичайного і звичайного променів, вивчають залежність пропускну здатності комірки з поляризаторами від довжини хвилі і від кута повороту аналізатора або комірки.

У десятій роботі студенти визначають коефіцієнти в'язкості рідких кристалів методом Стокса.

Лабораторні роботи відрізняються простотою виконання і не потребують складного обладнання. Вони дозволяють студентам не тільки зрозуміти специфічні для фізики рідких кристалів поняття, такі як орієнтаційний порядок, директор, нематики, смектики, холестерики, термотропні та ліотропні рідкі кристали, планарна та гомеотропна орієнтація, мезофаза, переходи Фредерікса та інші, але й більш глибоко осягнути такі загальнофізичні поняття, як в'язкість, закон Ньютона, закон Стокса, подвійне променезаломлення, оптична анізотропія, пропускна здатність, довжина оптичної когерентності, поляризація світла, інтерференція поляризованих променів, фазові переходи I та II роду, розсіяння світла, дифракція Вульфа-Брегга, електропровідність, енергія активації та інші.

У практикумі описані прилади та пристрої, що використовуються у роботах: поляризаційний мікроскоп, підсилювач постійного струму, цифровий вольтметр, диференціальна термопара та інше.

Як одне з практичних застосувань рідких кристалів розглянуті конструкції рідкокристалічних дисплеїв: плоских, гнучких (рис. 3), кольорових та інших.

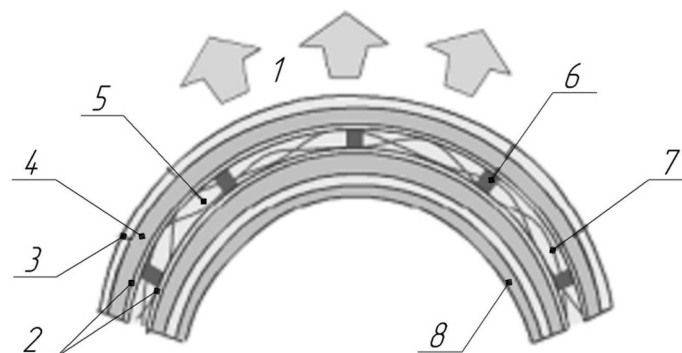


Рис. 3. Переріз дисплея на гнучкій підкладці [4]: 1 – світло; 2 – прозорий електрод; 3 – поляризаційна плівка; 4 – полімерна підкладка; 5 – шар рідкого кристала; 6 – прокладка; 7 – полімерне волокно; 8 – гнучке джерело підсвітки

Вказано на перевагу РК-дисплеїв над іншими пристроями відображення інформації [3]:

- високий контраст, що дозволяє сприймати відображувану інформацію у широкому діапазоні освітленості і кутів огляду;
- широкий діапазон відображуваних кольорових параметрів і рівнів сірого, що дозволяє одержувати зображення, максимально відповідні візуальним даним;
- широкий діапазон розмірів екранів;
- низьке споживання енергії;
- довговічність та низька вартість.

Для засобів відображення інформації колективного користування електрооптичні ефекти в рідкокристалічних матеріалах виявляються найзручнішими та найвигіднішими в ергономічному, технологічному, економічному планах, оскільки дають змогу реалізувати принципово нові засоби відображення інформації, що займають особливе, самостійне місце у дисплейній техніці. Для одержання багатоколірного дисплея використовують трихолестеричні рідкі кристали з різними кроками, що забезпечує одержання червоного, зеленого і синього кольорів.

Важливими є малогабаритні високоінформативні екрани з власною пам'яттю, реалізовані на електрооптичних ефектах у індукованих холестерико-нематичних рідкокристалічних сумішах.

Ефект селективного відбивання світла широко використовується в термоіндикаторах на чистих холестеричних рідких кристалах.

При цьому зміна кроку спіралі холестеричного рідкого кристала від температури приводить до зміни спектрального складу відбитого світла і, як наслідок, дає можливість визначити температуру за колірним складом відбитого світла. Але ця обставина унеможливує використання чистих холестеричних рідких кристалів як електрооптичного матеріалу для сучасних засобів відображення інформації, що стабільно працюють у широкому температурному інтервалі.

Тому у засобах відображення інформації використовують холестерико-нематичні рідкокристалічні суміші, в яких стабільна довжина хвилі селективного відбивання світла у широкому температурному діапазоні, та можна реалізувати холестерико-нематичний фазовий перехід під дією електричного поля.

У військовому застосуванні новим є створення панорамних дисплейних панелей, що розміщуються на шоломах (рис. 4) чи над головою; командних систем у вигляді інформаційних панелей. Дисплеї на основі РК витримують більш жорсткі умови військового застосування, включаючи кліматичні і механічні впливи.



Рис. 4. Нашоломний дисплей [5]

Рідкі кристали мають винятково високу чутливість до зміни впорядкованості під дією зовнішніх чинників, що через велику оптичну анізотропію середовища легко реєструється оптично. Тонкі плівки рідких кристалів добре поглинають гази із оточуючого середовища і, як наслідок, змінюються оптичні властивості плівок, перш за все – селективне відбивання, що можна використовувати для виявлення забруднення повітря [3].

У практикумі розглядаються ліотропні і полімерні рідкі кристали.

Кожна робота практикуму містить завдання до роботи, контрольні питання для визначення ступеня готовності студента до виконання роботи та її захисту.

Вивчення фізики рідких кристалів та їх застосування суттєво підвищить фахову підготовку студентів і магістрантів, які вивчають інформаційні технології, займаються розробкою сучасних пристроїв відображення інформації.

Усі лабораторні роботи допомагають студентам глибше осягнути основні фізичні закономірності та набуті елементарних навичок проведення експерименту. Вони можуть успішно використовуватися у спеціальному практикумі «Фізика рідких кристалів» на старших курсах університетів. Окремі роботи також можуть бути використані в курсі загальної фізики вищої школи. Найбільш вдалим для цього є саме розділи «Термодинаміка та молекулярна фізика», «Електрика» й «Оптика».

Висновки і пропозиції. У публікації надано загальні відомості про рідкі кристали, розвиток дисплейних технологій, описано широкі можливості їх використання в електроніці.

Список використаних джерел

1. *Лабораторний практикум з фізики рідких кристалів* / М. І. Гриценко, О. В. Мельничук, М. В. Мошель, О. М. Пустовий, О. В. Рогоза. – Ніжин : Видавництво НДУ ім. М. Гоголя, 2013. – 141 с.
2. *Гриценко М. І. Фізика рідких кристалів : навч. посібник* / М. І. Гриценко. – К. : Академія, 2012. – 272 с.
3. *Рідкокристалічна електроніка : монографія* / за ред. проф. З. Готри. – Львів : Априорі, 2010. – 532 с.
4. *Томилин М. Г. Дисплеи на жидких кристаллах* / М. Г. Томилин, Г. Е. Невская. – СПб. : СПбГУ ИТМО, 2010. – 108 с.
5. *Flightgear On-Line, the website for the collector of military flightgear. Helmet Sight Battle* [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.flightgear.dk/helmetsight.htm>.

Мошель Микола Васильович – доктор технічних наук, професор, професор кафедри інформаційних і комп'ютерних систем, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

Мошель Николай Васильевич – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры информационных и компьютерных систем, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

Moshel Mykola – Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of Information and Computer Systems, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: mikorajj@mail.ru

Гриценко Микола Іванович – доктор фізико-математичних наук, професор, професор кафедри фізики та астрономії, Чернігівський національний педагогічний університет імені Т.Г. Шевченка (вул. Гетьмана Полуботка, 53, м. Чернігів, 14013, Україна).

Гриценко Николай Иванович – доктор физико-математических наук, профессор, профессор кафедры физики и астрономии, Черниговский национальный педагогический университет имени Т.Г. Шевченко (ул. Гетьмана Полуботка, 53, г. Чернигов, 14013, Украина).

Hrytsenko Mykola – Doctor of Physical and Mathematics Sciences, Professor, Professor of Physics and Astronomy, Chernihiv National Pedagogical University named after T. Shevchenko (53 Hetman Polubotka Str., 14013 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: H.grit@yandex.ua

Рогоза Олександр Володимирович – кандидат фізико-математичних наук, професор, професор кафедри інформаційно-вимірювальних технологій, метрології та фізики, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

Рогоза Александр Владимирович – кандидат физико-математических наук, профессор, профессор кафедры информационно-измерительных технологий, метрологии и физики, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

Rohoza Oleksandr – PhD in Physical and Mathematics Sciences, Professor, Professor of the Department of Information and Measuring Technologies, Metrology and Physics, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: AVRogoz1010@gmail.com

Ковтун Анатолій Олексійович – кандидат фізико-математичних наук, доцент, доцент кафедри інформаційно-вимірювальних технологій, метрології та фізики, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

Ковтун Анатолий Алексеевич – кандидат физико-математических наук, доцент, доцент кафедры информационно-измерительных технологий, метрологии и физики, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

Kovtun Anatolii – PhD in Physical and Mathematics Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Information and Measuring Technologies, Metrology and Physics, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: Kovtun38@mail.ru

Тепла Тетяна Мирославівна – асистент, асистент кафедри інформаційно-вимірювальних технологій, метрології та фізики, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

Теплая Татьяна Мирославовна – ассистент, ассистент кафедры информационно-измерительных технологий, метрологии и физики, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

Tepla Tetiana – assistant, assistant of the Department of Information and Measuring Technologies, Metrology and Physics, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: tanikoch@gmail.com

УДК 004.658

Вадим Мухин, Ярослав Корнага

АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ОБРОБЛЕННЯ ЗАПИТІВ СЕРВЕРАМИ ГЕТЕРОГЕННИХ РОЗПОДІЛЕНИХ БАЗ ДАНИХ

Вадим Мухин, Ярослав Корнага

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБРАБОТКИ ЗАПРОСОВ СЕРВЕРАМИ ГЕТЕРОГЕННЫХ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ БАЗ ДАННЫХ

Vadym Mukhin, Yaroslav Kornaha

EFFICIENCY ANALYSIS OF REQUESTS' PROCESSING BY THE SERVER IN THE HETEROGENEOUS DISTRIBUTED DATABASES

Розподілені бази даних використовуються в різних сферах діяльності: освітній, промисловій, транспортній, бізнесовій, управлінській. Зокрема, такі бази даних широко застосовуються в закладах освіти для автоматизації навчального процесу та прискорення оброблення даних. Важливим елементом визначення швидкості роботи є середній час оброблення запитів у базах даних. На час оброблення впливає багато факторів, які пов'язані з обробленням даних на сервері та передачею по комп'ютерній мережі. На оброблення запитів на серверах баз даних витрачається значно

більше часу ніж на передачу пакетів. Потрібно розробити формальну модель бази даних та порахувати середній час оброблення запитів. У роботі розглянуто оцінювання часу оброблення запитів серверами гетерогенних розподілених баз даних. Визначено основні простори та час, за який обробляються дані. Показано, на скільки відсотків змінюється час оброблення під час застосування моніторингу оброблення запитів та методів прискорення оброблення запитів.

Ключові слова: розподілені бази даних, індекси, оброблення запитів, модель даних.

Рис.: 2. Бібл.: 5.

Распределенные базы данных используются в различных сферах деятельности: образовательной, промышленной, транспортной, бизнесной, управленческой. В частности, такие базы данных широко применяют в учебных заведениях для автоматизации учебного процесса и ускорения обработки данных. Важным элементом определения скорости работы является оценка среднего времени обработки запросов в базах данных. На время обработки оказывает влияние много факторов, которые связаны с обработкой данных на сервере и передачей их по компьютерной сети. На обработку запросов на серверах баз данных тратится гораздо больше времени, чем на передачу пакетов. Необходимо разработать формальную модель базы данных и рассчитать среднее время обработки запросов. В работе рассмотрена оценка времени обработки запросов серверами гетерогенных распределенных баз данных. Определены основные пространства и временные интервалы, за которые обрабатываются данные. Показано, на сколько процентов изменяется время обработки при применении мониторинга обработки запросов и методов ускорения обработки запросов.

Ключевые слова: распределенные базы данных, индексы, обработка запросов, модель данных.

Рис.: 2. Библ.: 5.

The distributed databases are used in the various applications: education, industry, transport, business, management. In particular, such databases are widely used in universities to support the automation of the learning process and to accelerate the data processing. An important element for the data processing rate determining is the average estimation of the queries processing in databases. The time data processing is depended on the many factors that are associated with the data processing on the server and data transfer via a computer network. The queries' processing in the database servers is needed more time than on the packet. It should be developed a formal model of the database and calculated the average time of queries processing. In this work is described the evaluation of the query processing time on servers in heterogeneous distributed databases. There is defined the main areas and time needed for data processing. There is shown the changing in the time for the application processing when the queries processing monitoring and the methods for speed up the queries processing are used.

Key words: distributed database, indices, query processing, data model.

Fig.: 2. Bibl.: 5.

Постановка проблеми. Збільшення швидкості оброблення запитів є актуальним завданням для багатьох дослідників баз даних. Вона вирішується багатьма шляхами: оновленням серверного обладнання, оновленням комутаційного обладнання, оновленням програмного забезпечення та операційних систем. Системи управління базами даних постійно модернізуються і для цього використовують нові наукові досягнення.

Аналіз останніх досліджень. Одним з напрямів прискорення оброблення запитів є покращення механізмів використання класичних дерев пошуку, які модернізувалися постійно з бінарних дерев до В+-дерев. Постійні модифікації дерев пошуку дозволяють змінювати структуру методів оброблення запитів. Іншим засобом оброблення є оперативна пам'ять СУБД, тому що вона працює на кілька порядків швидше.

Мета статті. Метою статті є розроблення формальної моделі реляційної бази даних для оцінювання середнього часу оброблення запитів розподілених баз даних.

Формальна модель оброблення запитів

Для оцінювання часу оброблення запитів потрібно побудувати модель логічного рівня бази даних, яка у свою чергу будується на основі формальної моделі. Побудуємо формальну модель для реляційної клієнт-серверної системи управління базою даних. Вона складається (рис. 1) з таких елементів: простору користувачів, простору запитів, простору перевірки запитів, простору внутрішнього оброблення, простору даних та простору відповідей.

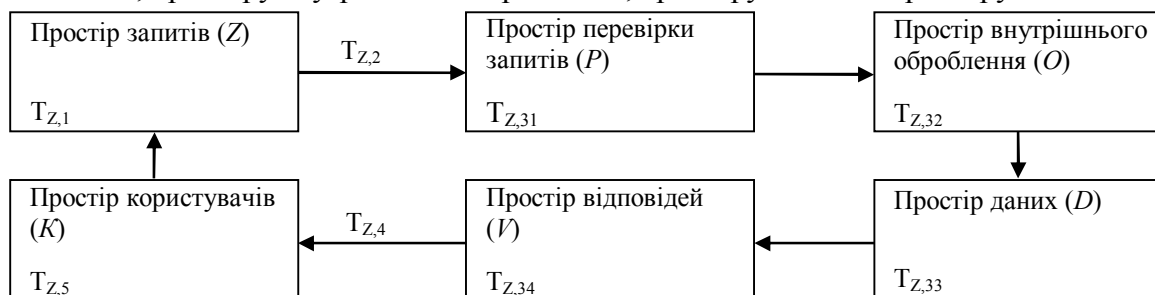


Рис. 1. Модель взаємодії на логічному рівні реляційної бази даних

Для внесення або отримання даних з сервера СУБД користувачі користуються спеціально написаними клієнтськими модулями, які призначені для підключення до бази даних та формування запитів мовою SQL, мають необхідний інтерфейс для реалізації будь-яких задач та можливість простого написання запитів. Простір K складається з k_1, k_2, \dots, k_n користувачів, де n – кількість користувачів, кожен з яких має свої права доступу до сервера та можливість написання запитів і отримання відповідей. Для простоти будемо вважати, що всі користувачі мають однакові права та доступ на зміну всіх елементів бази даних.

Усі запити з клієнтського модуля користувача входять у простір запитів Z . Користувач k_i формує вектор запитів (z_1, z_2, \dots, z_m) :

z_1 – це перший запит користувача;

z_2 – це другий запит користувача;

...

z_m – це m -тий запит користувача,

де m – кількість запитів, які формуються користувачем.

Після формування вектора простору Z для перевірки коректності запитів з погляду мови SQL він передається у простір перевірки запитів P . Простір перевірки складається з небінарного вектора (p_1, p_2, \dots, p_m) , де p_i – відповідь перевірки запиту, яка набуває значення “true” у разі, якщо все коректно написано, та “false” – якщо є помилки.

Після проходження перевірки у просторі P запит, який побудований правильно, передається до простору внутрішнього оброблення O , що виконує функцію перетворення запиту у внутрішню мову, зрозумілу БД, тобто в цьому просторі проходять усі етапи роботи компілятора SQL. У ньому створюється вектор (o_1, o_2, \dots, o_m) , який складається з внутрішніх команд, що фактично є функціями від вектора запитів (z_1, z_2, \dots, z_m) , а саме $O(Z) = (o_1(z_1), o_2(z_2), \dots, o_m(z_m))$.

На першому етапі компілятор SQL здійснює синтаксичний аналіз операторів та перетворює їх у внутрішнє подання. На другому етапі відбувається перевірка відформатованих операторів на предмет цілісності посилань та на предмет виконання умов тригерів. Далі (третій етап) компілятор SQL ще раз переписує оператори, замінюючи посилання реальними іменами стовбців, та перетворює їх для подальшого оброблення оптимізатором. У процесі оптимізації виключаються надлишкові зв'язки, додаються неявні предикати та конвертуються деякі запити. Потім оптимізатор, використовуючи вартісні алгоритми, визначає метод, який найбільш ефективний для оброблення SQL – запиту (четвертий етап). Наприклад, оптимізатор знаходить найкращий порядок зв'язків і приймає рішення, чи виконання запиту є обчислювальною задачею, чи задачею, швидкість виконання якої обмежена швидкістю роботи пристроїв вводу-виводу. На п'ятому етапі SQL – запит зберігається в пам'яті, щоб надалі його можна було використовувати під час оптимізації подальших запитів, а відкомпільований і оптимізований SQL-код o_i передається механізму БД, який знаходиться у просторі даних D .

Простір даних D , до якого і належать усі дані (d_1, d_2, \dots, d_j) , де j – кількість даних, що обробляються та зберігаються в базі даних. Після виконання SQL-коду роботи з даними o_i ($i=1 \dots m$) з простору даних D у простір відповідей V передаються дані $d=(d_1, d_2, \dots, d_k)$, де k – кількість даних, які було знайдено під час проведення пошуку.

Відповідно до того, чи проводиться запис (модифікація), чи пошук даних, відповідь простору відповідей V формується по-різному. У першому випадку передається вектор $v_i=(v_1, v_2, \dots, v_g)$, де g – кількість запитів запису (модифікації), про успішний з кількістю полів, які були модифіковані, чи неуспішний запис (модифікацію) даних з відповідною причиною, чому не відбувся запис (модифікація). У другому випадку – вектора $v_i=(v_1(d), v_2(d), \dots, v_j(d))$, де j – кількість запитів на пошук даних, а d – вектор даних з простору даних D . У разі, якщо дані не знайдені, то значення $v_i(d)$ буде пустим.

$$V_i = Z_i \cap (P_j \cup O_j \cup D_j),$$

$$V = \sum_{i=1}^n Z_i \cap (\sum_{j=1}^m P_j \cup \sum_{j=1}^m O_j \cup \sum_{j=1}^m D_j).$$

З простору відповідей V сформована відповідь v_i потрапляє у простір користувачів K , в якому вони передивляються відповіді та за необхідності готують нові запити.

Оцінювання середнього часу оброблення запитів

Під час проведення дослідження роботи розподілених баз даних була розроблена методика, яка дозволяє оцінювати ефективність оброблення запитів серверами розподіленої системи згідно з формальною моделлю, сформованої вище. Вона полягає в оцінюванні часу, за який проводяться операції з базою даних.

Час виконання запиту потрібно розбити на кілька етапів, які відповідають різним просторам оброблення даних:

$$T_{Z_i} = T_{Z_i,1} + T_{Z_i,2} + T_{Z_i,3} + T_{Z_i,4} + T_{Z_i,5},$$

де $T_{Z_i,1}$ – час підготовки запиту для передачі на сервер показує час створення запитів простору Z ;

$T_{Z_i,2}$ – час, за який запит потрапляє на сервер по комп'ютерній мережі;

$T_{Z_i,3}$ – час, за який сервер обробляє запит та показує час оброблення запитів у просторах: P, O, V, D ;

$T_{Z_i,4}$ – час, за який відповідь на запит повертається до користувача по комп'ютерній мережі;

$T_{Z_i,5}$ – час, за який клієнт з простору K обробляє відповідь на запит.

Отже, час на оброблення запиту сервером поділяється на:

$$T_{Z_i,3} = T_{Z_i,31} + T_{Z_i,32} + T_{Z_i,33} + T_{Z_i,34},$$

$T_{Z_i,31}$ – час підготовки запиту на сервері та оцінювання сенсором подій простору перевірки запитів P ;

$T_{Z_i,32}$ – час, за який проводиться операції з даними простору даних D ;

$T_{Z_i,33}$ – час, за який проводиться операції з індексами простору внутрішнього оброблення O ;

$T_{Z_i,34}$ – час підготовки відповіді на запит на сервері простору підготовки відповідей V .

Індексний простір (час $T_{Z_i,33}$) у базах даних використовує для пошуку даних В+-дерев. Для класичних дерев пошуку $T_{Z_i,33} = m_B(T_D + T_B)$, де T_D – час зчитування вузла з диску, T_B – час оброблення вузла дерева в оперативній пам'яті, а m_B – висота дерева пошуку. Під час модифікації дерев, в напрямку збільшення наповненості вузла, до КМФ-дерев змінюється тільки висота дерева, тобто $T_{Z_i,33} = m_{KMF}(T_D + T_B)$. Крім модифікації наповненості вузлів дерева, доцільно проводити модифікацію листових сторінок (додавання додаткового параметра для використання індексу по кількох таблицях), тобто використовувати метод об'єднання індексів, для якого час пошуку по дереву рівний $T_{Z_i,33} = \sum_{o=1}^{m_j} (m_o(T_D + T_B) + d(T_D + T_B)) + \sum_{s=1}^{q_i} m_s(T_D + T_B)$, де d – кількість вузлів, які потрібно додатково зчитати з жорсткого диску.

Для оброблення даних у базах даних $T_{Z_i,32}$ буде різною: для класичного методу $T_{Z_i,32} = n(T_{3T} + T_{3P})$, тобто під час кожного запису витрачається час на сам запис інфо-

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

рмації T_{3T} та час на перебудову індексів T_{IP} і n -кількість записів, а під час використання методу тимчасових таблиць для запису $T_{Z_i,32} = n T_{3T} + T_{IP} + T_{ПД}$, тобто замість виконання n перебудов індексів ми перебудовуємо їх тільки один раз, а час $T_{ПД}$ – час копіювання даних з тимчасової таблиці в основну.

Відповідно до вищесказаного середній час оброблення запитів у базах даних буде різним у разі застосування даних модифікацій.

Для класичного варіанта середній час оброблення запитів рівний:

$$T_K = \sum_{i=1}^n (T_{Z_i,1} + T_{Z_i,2} + T_{Z_i,31} + \sum_{z=1}^{k_i} q_z (T_{3T} + T_{IP}) + \sum_{s=1}^{q_i} m_{s(B)} (T_D + T_B) + T_{Z_i,34} + T_{Z_i,4} + T_{Z_i,5}).$$

Під час застосування модифікованих дерев пошуку КМФ-дерев:

$$T_{KMF} = \sum_{i=1}^n (T_{Z_i,1} + T_{Z_i,2} + T_{Z_i,31} + \sum_{z=1}^{k_i} q_z (T_{3T} + T_{IP}) + \sum_{s=1}^{q_i} m_{s(KMF)} (T_D + T_B) + T_{Z_i,34} + T_{Z_i,4} + T_{Z_i,5}).$$

Відповідно під час модифікації листових вузлів дерев:

$$T_{MOI} = \sum_{i=1}^n (T_{Z_i,1} + T_{Z_i,2} + T_{Z_i,31} + \sum_{z=1}^{k_i} q_z (T_{3T} + T_{IP}) + (\sum_{o=1}^{m_i} (m_o (T_D + T_B) + d(T_D + T_B))) + \sum_{s=1}^{q_i} m_s (T_D + T_B)) + T_{Z_i,34} + T_{Z_i,4} + T_{Z_i,5}).$$

Під час застосування тимчасових таблиць середній час оброблення запитів рівний:

$$T_{MTT} = \sum_{i=1}^n (T_{Z_i,1} + T_{Z_i,2} + T_{Z_i,31} + \sum_{z=1}^{k_i} (q_z T_{3T} + T_{IP} + T_{ПД}) + \sum_{s=1}^{q_i} m_{s(B)} (T_D + T_B) + T_{Z_i,34} + T_{Z_i,4} + T_{Z_i,5}).$$

І під час застосування всіх методів прискорення оброблення запитів:

$$T_{c_all} = \sum_{i=1}^n (T_{Z_i,1} + T_{Z_i,2} + T_{Z_i,31} + \sum_{z=1}^{k_i} (q_z T_{3T} + T_{IP} + T_{ПД}) + (\sum_{o=1}^{m_i} (m_o (T_D + T_B) + d(T_D + T_B))) + \sum_{s=1}^{q_i} m_s (T_D + T_B)) + T_{Z_i,34} + T_{Z_i,4} + T_{Z_i,5}) / n.$$

За допомогою розробленої методики оцінювання часу оброблення запитів було проведено експеримент визначення середньої швидкості під час застосування різних методів прискорення оброблення запитів. Для експерименту було взято $n=1000$, що дозволило порахувати середній час оброблення з похибкою (середньоквадратичне відхилення) 0,91 % (рис. 2).

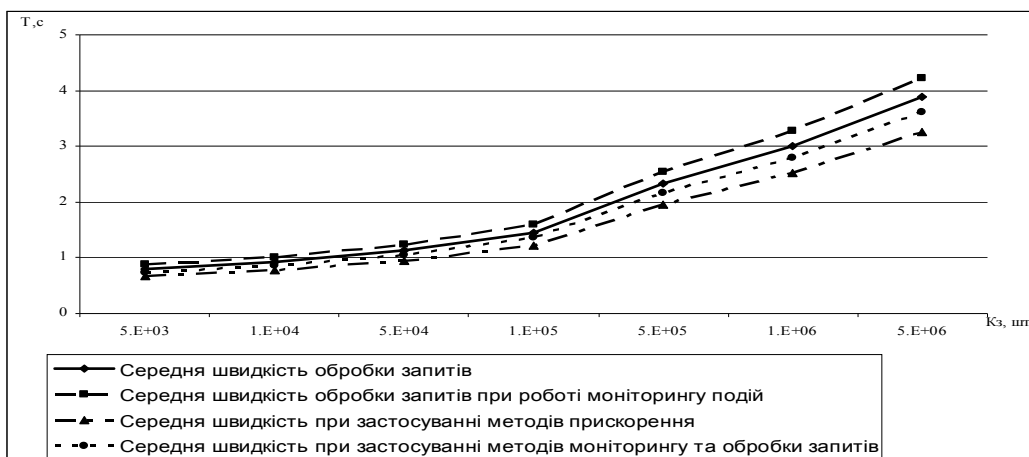


Рис. 2. Оцінки сумарного часу обробки даних подій моніторингу з застосуванням методів прискорення

Згідно з вищенаведеними дослідженнями представлена необхідність підтримки реалізації прискореного оброблення даних під час застосування моніторингу. Швидкість оброблення запитів у розподілених базах даних збільшується на 9 %.

Висновки і пропозиції.

Для проведення обрахунку середнього часу оброблення запитів гетерогенними розподіленими базами даних було побудовано формальну модель даних та виведено формули для розрахунку. Достовірність отриманих теоретичних положень підтверджена проведенням експериментальних досліджень, які показали ефективність застосування методів прискорення оброблення запитів під час виконання моніторингу в динамічному режимі. Вивільнені ресурси бази даних можна використовувати для підключення більшої кількості користувачів та створення додаткового навантаження на СУБД.

Список використаних джерел

1. Кирилов В. В. Введение в реляционные базы данных / В. В. Кирилов, Г. Ю. Громов. – СПб. : БХВ-Петербург, 2009. – 578 с.
2. Корнага Я. І. Методи підвищення швидкості запису та пошуку даних у базах даних / Я. І. Корнага // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. Серія «Технічні науки». – Чернігів, 2012. – № 4 (61). – С. 166–172.
3. Корнага Я. І. Порівняльні оцінки застосування методів підвищення швидкості пошуку та запису даних в базах даних / Я. І. Корнага // Адаптивні системи автоматичного управління. – 2013. – № 1 (22). – С. 37–44.
4. Кузин А. В. Базы данных / А. В. Кузин, С. В. Ливонисова. – М. : Академия, 2008. – 489 с.
5. Мухін В. Є. Підвищення ефективності механізмів пошуку в базах даних на основі К-дерев / В. Є. Мухін, Я. І. Корнага, Л. Снегіревіч // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Серія «Комп'ютерні науки та інформаційні технології». – Львів, 2012. – № 744. – С. 53–57.

Мухін Вадим Євгенійович – доктор технічних наук, доцент, професор кафедри обчислювальної техніки, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут» (просп. Перемоги, 37, м. Київ, 03056, Україна).

Мухін Вадим Євгенєвич – доктор технічних наук, доцент, професор кафедри вичислительной техники, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт» (просп. Победы, 37, г. Киев, 03056, Украина).

Mukhin Vadym – Doctor of Technical Sciences, Professor of computer systems department, National Technical University of Ukraine “Kyiv Polytechnic Institute” (37 Peremohy Av., 03056 Kyiv, Ukraine).

E-mail: v_mukhin@mail.ru

Корнага Ярослав Ігорович – кандидат технічних наук, доцент кафедри технічної кібернетики, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут» (просп. Перемоги, 37, м. Київ, 03056, Україна).

Корнага Ярослав Игоревич – кандидат технических наук, доцент кафедры технической кибернетики, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт» (просп. Победы, 37, г. Киев, 03056, Украина).

Kornaha Yaroslav – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Department of Technical Cybernetics, National Technical University of Ukraine “Kyiv Polytechnic Institute” (37 Peremohy Av., 03056 Kyiv, Ukraine).

E-mail: slovyan_k@ukr.net

Євген Сахно, Дмитро Маргасов, Катерина Корнієць

ПОБУДОВА ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ БУДІВЕЛЬ ТА СПОРУД

Евгений Сахно, Дмитрий Маргасов, Катерина Корниец

ПОСТРОЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Yevhen Sakhno, Dmytro Marhasov, Kateryna Korniiets

BUILDING OF INFORMATION-MEASURING SYSTEM FOR MONITORING THE ENERGY EFFICIENCY OF BUILDINGS AND STRUCTURES

Розглянуто питання побудови інформаційно-вимірювальної системи моніторингу енергоощадності будівель та споруд. Для перевірки ефективності застосування системи використано евристичні методи прийняття рішень. Обрано певні однопараметричні критерії та наведено розрахунки ефективності роботи ІВС при заданих параметрах.

Ключові слова: інформаційно-вимірювальна система, моніторинг, енергоощадність, критерії ефективності, параметри.

Рис.: 3. Табл.: 4. Бібл.: 8.

Рассмотрены вопросы построения информационно-измерительной системы мониторинга энергосбережения зданий и сооружений. Для проверки эффективности применения системы использованы эвристические методы принятия решений. Выбран ряд однопараметрических критериев и приведены расчеты эффективности работы ИИС при заданных параметрах.

Ключевые слова: информационно-измерительная система, мониторинг, энергосбережение, критерий эффективности, параметры.

Рис.: 3. Табл.: 4. Библ.: 8.

Questions of construction of information-measuring system for monitoring the energy efficiency of buildings and structures. To check the effectiveness of the system used heuristic methods of decision making. Selected number of single-parameter criteria and the calculations of the effectiveness of the RIS under the given parameters.

Key words: information-measuring system, monitoring, energy saving, the criterion of effectiveness, options.

Fig.: 3. Tabl.: 4. Bibl.: 8.

Постановка проблеми. Комплексна реалізація стратегій енергетичної незалежності України визначається багатьма факторами, такими як: ціна на енергоносії, енергоефективність будівель та каналів передачі енергії, альтернативних джерел живлення. При цьому енергетичний стан міських будівель залежить від інформації щодо втрат теплової енергії кожного об'єкта під час проведення моніторингу, що дає можливість оцінити ефективність заходів енергоощадності. Всі ці проблеми є основою для створення інформаційно-вимірювальної системи (ІВС) для оцінювання стану енергоефективності муніципальних будівель і споруд та ініціювання енергоощадних проектів щодо їх реконструкції.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблему створення інформаційно-вимірювальних систем відображено в багатьох наукових роботах. Так, у роботі [1] представлена загальна теорія автоматичних систем управління. У роботі [2; 3; 4] проаналізовано теоретичні основи та наведено аналіз методів і принципів побудови ІВС, які ґрунтуються на математичному апараті перетворення вимірювальних сигналів. Питання побудови й застосування критеріїв ефективності та якості інформаційних пристроїв та систем розглянуто в роботах [5; 6; 7], а також показана взаємодія складових ІС під час її проектування. У роботі [8] наведено методику оцінювання ефективності за допомогою розрахунку сукупного економічного ефекту, який дає змогу оцінити переваги та недоліки інформаційних систем.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. Наявні ІВС контролю споживання енергії будівлями та спорудами реалізують технологію діагностики даних про спожиту енергію та вирішують завдання збору та оброблення інформації, проте вони не розкривають механізм впливу факторів на енергоефективність та процес поєднання тепловізійної діагностики, моніторингу й прийняття рішень в єдиний інформаційний комплекс. Тому процеси інформаційного забезпечення енергоощадності му-

ніципальних будівель можуть бути реалізовані в межах єдиного інформаційного простору параметрів тепловізійного моніторингу та оцінювання енергоефективності з прийняттям управлінських рішень.

Мета статті. Головною метою цієї роботи є розроблення теоретичних та методичних основ побудови інформаційної технології моніторингу енергоощадності муніципальних будівель для прийняття простих рішень щодо їх реконструкції.

Виклад основного матеріалу. Проблема збору, оброблення поточної інформації про стан енергоощадності будівель та розроблення рішень щодо зниження енерговитрат є доволі трудомістким завданням і часто не під силу людському інтелекту. Теж саме стосується і команди енергоощадного проекту та розробників ІВС, оскільки виникає необхідність здійснення взаємодії між елементами системи. Чим детальніше розробляється модель, тим складніше виконувати навігацію по ній та підтримувати цілісність її даних, крім того, під час прийняття управлінських рішень неможливо гарантувати відсутність помилок.

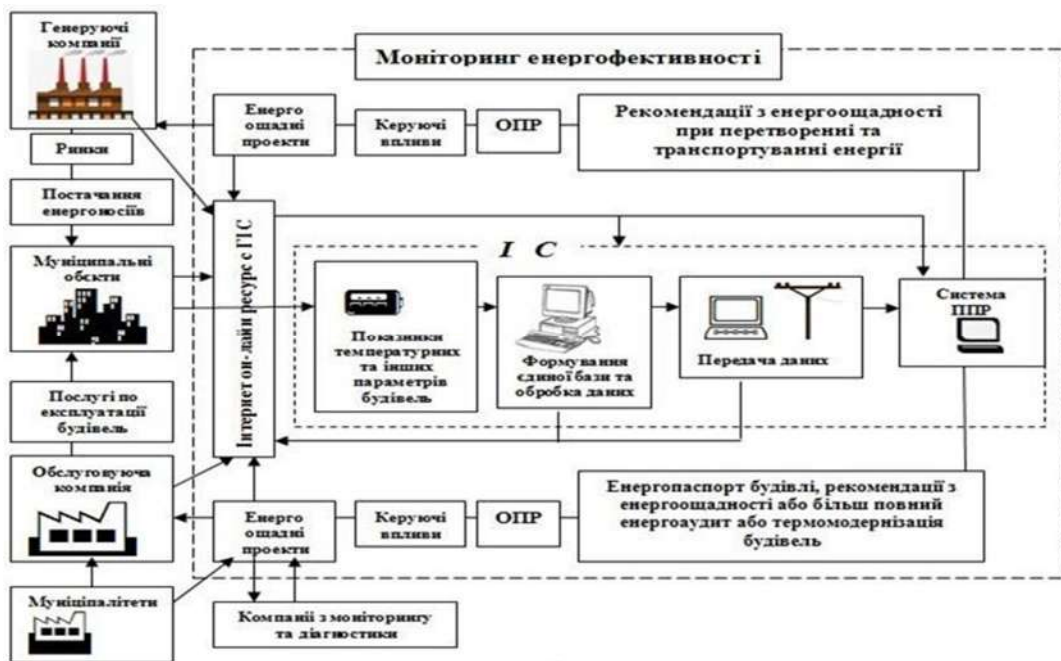
Під час проектування ІВС моніторингу енергоощадності будівель слід зазначити, що раціональний розподіл функцій між людиною (експерт, що знімає показники тепловізора) та системою прийняття управлінських рішень залежить від організації їх взаємодії у ході вирішення поставленого завдання. Ефективність автоматизованого управління цією системою може зменшитися через складність ЕОМ оперувати значною експериментальною інформацією та невизначеними параметрами [2; 3]. Тому побудуємо структуру ІВС для роботи з вимірювальними параметрами, в якій представлено три рівня управління: перший рівень – збір інформації про енергетичні параметри будівель – залишається за людиною, другий рівень – оброблення даних за допомогою ЕОМ та отримання когнітивної моделі, і третій рівень прийняття рішень про енергоефективні заходи. Базові суб'єкти та об'єкти створеної ІВС представлено у табл. 1.

Таблиця 1

Базові суб'єкти та об'єкти для створення ІВС

| Базові суб'єкти ІВС | Об'єкти системи | Фактори, що визначають функціонування ІВС |
|--|---|--|
| Споживачі енергії | Кінцеві споживачі енергії: промислові і муніципальні об'єкти, будівництво, діловий і комерційний сектор, приватна власність | Здатність до споживання та використання енергії з можливістю її збереження |
| Ринки | Оператори й учасники ринку | Можливість організувати торгівлю енергією та засобами енергозбереження |
| Компанії з моніторингу та діагностики | Організації, які надають послуги енергоаудиту, моніторингу енергоощадності об'єктів | Наявність структур та інформаційних технологій, які забезпечують надання послуг |
| Муніципальні органи управління | Обласна, міська та районні ради | Здатність забезпечувати управління функціонуванням та розвитком енергосистеми міста та області. Розподіл енергії між споживачами |
| Постачальники енергії | Генеруючі компанії та організації, які передають енергію | Можливість вироблення енергії, зберігання для подальшого розподілу між споживачами |
| Передача інформації по каналам зв'язку | Канали зв'язку, інформаційні системи | Передача великого об'єму інформації, її зберігання та забезпечення доступу споживачів |

Така система працює таким чином (рис. 1, а): за допомогою спеціальних приладів проводиться вимірювання температурних параметрів об'єкта. Отримані дані генеруються в базі даних, потім передаються особі, яка приймає проектні рішення. На основі наявних фінансових ресурсів СППР робить рекомендації з реконструкції приміщень відповідно до отриманих даних і надає їх в обслуговуючу компанію, яка виконує будівельно-монтажні роботи.



а



б

Рис. 1. Моніторинг енергоощадності муніципальних будівель: а – схема моніторингу енергоощадності будівель; б – часовий графік енергомоніторингу та реконструкції будівель

Відповідно до рис. 1, а на рис. 1, б представлено часовий графік моніторингу стану будівель та виконання проектно-монтажних робіт згідно з проектом. У загальному вигляді ця ІС функціонує таким чином. Першим етапом є збір інформації про температурний стан муніципального об'єкта.

Для цього експерту за допомогою тепловізійної зйомки необхідно виміряти температуру об'єкта в контрольних точках. Отримані дані обробляються та переносяться в інформаційну систему «Термографії будівель» [4], де проводиться процес аналізу даних, побудова когнітивної карти оцінювання енергоефективності об'єкта. Результати заносяться в базу даних, яка дозволяє об'єднати отримані дані і знайти найбільш вразливі точки по тепловтратам.

На основі систематизованих параметрів інженер енергоаудитор вводить отримані дані на сервер глобальної інформаційної мережі. Використавши звичні операції, інтернет-користувач (особа, яка ініціює прийняття рішень на рівні міста, області або країни), скориставшись діями, які рекомендовані по енергозбереженню (заміна вікон, утеплення стін, додавання джерел енергії і т. ін.) залежно від наявних матеріальних ресурсів, дає команду на проведення ремонтних робіт. У разі закінчення операцій система присвоює

об'єкту клас енергоефективності з візуалізацією параметрів і видає енергопаспорт на об'єкт. Алгоритм функціонування запропонованої системи представлено на рис. 2.

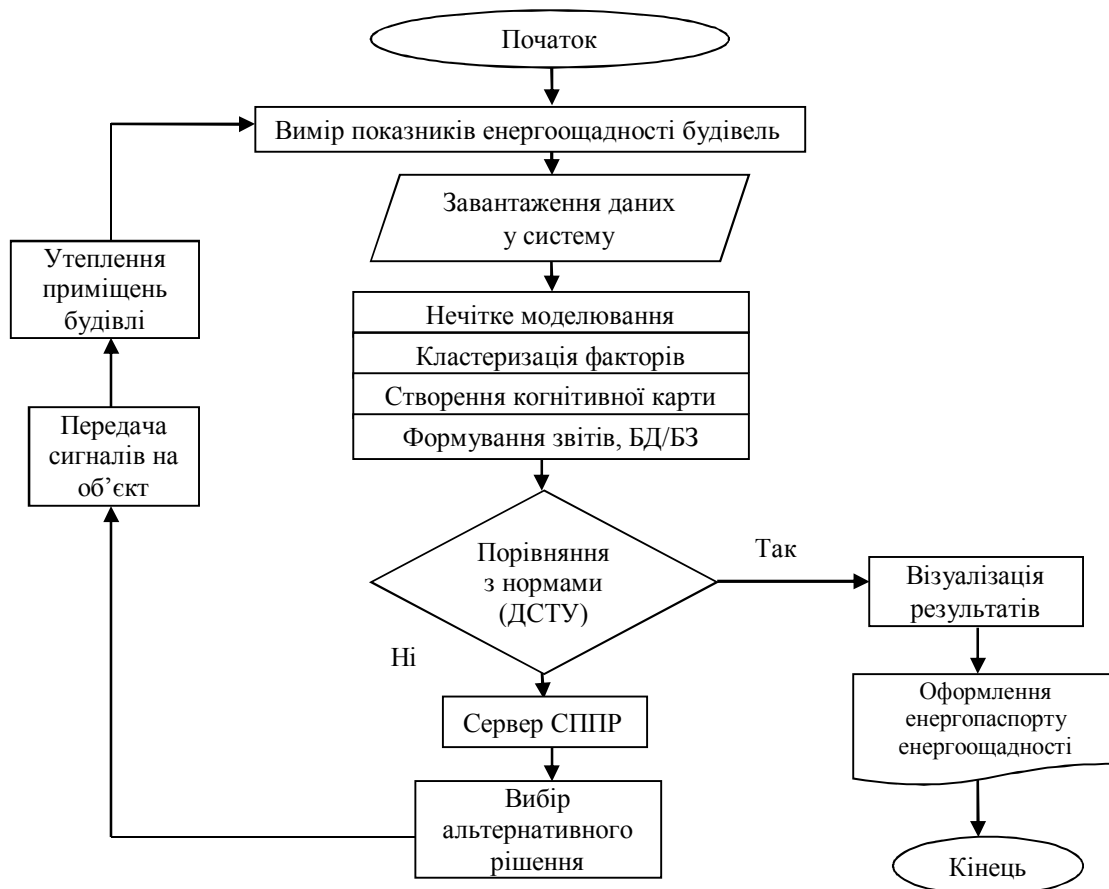


Рис. 2. Алгоритм роботи системи з об'єктами

Основними функціональними характеристиками запропонованої ІВС є:

1. Інтерактивний інтерфейс для постановки завдань і вводу даних та обліку інформації проектувальником.
2. Можливість роботи з вхідними та вихідними файлами даних у командному режимі.
3. Наявність власної компактної БД та бази правил для зберігання в закодованому вигляді параметрів моніторингу енергоощадності будівель в обраній галузі.
4. Механізм вибору найкращих рішень по енергоощадності будівель.
5. Система кодування контексту моделей для передачі в Інтернет.
6. Здатність корегування параметрів залежно від рішень СППР.

Для оцінювання ефективності розробленої інформаційно-вимірювальної системи необхідно вибрати критерії та фактори аналізу. При цьому для ефективного вибору системного та офісного програмного забезпечення необхідно враховувати вид підприємства або проекту, для якого виконується оцінювання ефективності. Аналіз факторів дозволяє визначити переваги або недоліки нової ІВС, оцінити гнучкість, а також врахувати можливі фінансові ризики під час застосування нової системи.

Відомо, що в теорії інформаційних технологій використовуються різні критеріальні характеристики: точність, швидкодія, надійність, вартість та ін. Кожну з них можна розглядати як однопараметричний (частковий) критерій ефективності, чи використовувати узагальнений (комплексний) критерій, що пов'язує в необхідних пропорціях основні, найважливіші часткові параметри системи.

Із врахуванням [4; 5; 6] для створеної ІВС запропонуємо такі види однопараметричних критеріїв ефективності. Найважливіші з них подано в табл. 2, де використовуються

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

такі позначення : $V_b(t, \tau)$ – реальний об’єм інформації, що одержується у процесі контролю й керування; $H_o(t, \tau)$ – кількість інформації, що залишається на виході ІВС після оброблення; t – поточний момент часу; τ – момент часу, відносно якого виконується робота; C_p – річні експлуатаційні витрати; $C_{роз}$ – вартість розроблення; C_r – вартість виготовлення; n – гарантована кількість років роботи ІВС; λ_o – середня інтенсивність відмов ІВС; λ_y – середня ефективність безвідмовної роботи ІВС; $H_o(t, \tau)$ – ентропія об’єкта, що характеризує невизначеність до початку процесу контролю і керування; $H_i(t, \tau)$ – ентропія об’єкта, що залишилась після контролю і керування; V_{oc} – об’єм пам’яті, що необхідно для зберігання файлів операційною системою та її функціонування; $V_{субд}$ – об’єм пам’яті для зберігання файлів СУБД; $V_{даних}$ – об’єм пам’яті для зберігання записів у базі даних та результатів виконання функцій; $V_{програ\text{м}}$ – об’єм пам’яті для зберігання текстів та бібліотек додатків; N_3 – число запитів за годину; V_d – обсяг даних, які замовляються; $K_{гот}$ – коефіцієнт готовності системи; $K_{над}$ – коефіцієнт програмного надлишку; P_k^x – оцінка к-ї характеристики якості; V_k^x – ваговий коефіцієнт к-ї характеристики якості.

Таблиця 2

Однопараметричні критерії ефективності

| № критерію | Домінуючі параметри | Вид критерію | Назва критерію | Зміст | Вагові коефіцієнти критеріїв |
|------------|--|---|-------------------------------|--|------------------------------|
| 1 | Кількість інформації | $V_b(t, \tau) = H_o(t, \tau)$ | Інформаційний критерій | Пристрій вважається ідеальним, якщо працює без втрати інформації | $AL_1=0,25$ |
| 2 | Вартість | $C_{\Sigma} = t \sum_i^n C_p + C_{роз} + C_r$ | Критерій вартості | Фінанси, що необхідні для придбання й функціонування ІВС | $AL_2=0,1$ |
| 3 | Надійність | $\tau = \frac{3600}{\lambda_o + \lambda_y}$ | Критерій системної надійності | Середній час безвідмовної роботи пристрою | $AL_3=0,15$ |
| 4 | Кількість інформації до і після оброблення | $E_p(t, \tau) = [H_o(t, \tau) - H_i(t, \tau)] / H_o(t, \tau)$ | Інформаційний критерій | Відношення реальної та потенційної інформаційної можливості ІВС | $AL_4=0,05$ |
| 5 | Об’єм оперативної пам’яті | $V_{оп} = V_{oc} + V_{субд} + V_{даних} + V_{програ\text{м}}$ | Інформаційний критерій | Обсяг інформації, що підтримується ІВС | $AL_5=0,08$ |
| 6 | Продуктивність ІВС | $P = \frac{N_3 \cdot V_d}{3600} \cdot K_{гот} (1 - K_{над})$ | Критерій продуктивності | Кількість операцій, що виконується за встановлений час | $AL_6=0,3$ |
| 7 | Якість інформаційної системи | $P^Q = \frac{\sum_{k=1}^k (P_k^x \cdot V_k^x)}{\sum_{k=1}^k V_k^x}$ | Інтегрований критерій | Міра похибок системи під час експлуатації | $AL_7=0,07$ |

При цьому найбільш простий метод побудови інтегрального критерію полягає в тому, що один з критеріїв приймається як узагальнений, а всі інші враховуються у вигляді обмежень, що визначають область допустимих альтернатив:

$$E = q_k; \quad q_i^k \geq q_i^{(0)}, \quad i = 1, 2, \dots, l, \tag{1}$$

де $q_i^{(0)} = (q_1^{(0)}, q_2^{(0)}, \dots, q_n)$ – вектор, який визначає допустимі значення за всіма критеріями.

У цьому випадку завдання порівняння альтернатив за векторним критерієм ефективності зводиться до задачі прийняття рішень зі скалярним критерієм, а всі інші критерії

переводяться в розряд обмежень. Отримані рекомендації будуть залежати від обмежень для допоміжних критеріїв. При цьому задача прийняття рішень під час вибору альтернативи формулюється як задача математичного програмування:

$$\max[q_k(\alpha)], \alpha \in A, q_i(\alpha) \geq q_i^{(0)} \text{ або } \min[q_k(\alpha)], \alpha \in A, q_i(\alpha) \leq q_i^{(0)}. \quad (2)$$

При цьому у деяких випадках узагальнений показник ефективності будують на основі адитивних і мультиплікативних перетворень над обраною системою критеріїв q_i , і у випадку адитивних перетворень:

$$E = \phi(q_1, q_2, \dots, q_n) = \sum_{i=1}^n b_i q_i, \quad (3)$$

де b_1, b_2, \dots, b_n – позитивні чи негативні коефіцієнти, причому позитивні ставляться при тих критеріях, які бажано максимізувати, а негативні – при тих, які треба мінімізувати.

У випадку мультиплікативних перетворень узагальнений критерій формується таким чином:

$$E = \phi(q_1, q_2, \dots, q_n) = \prod_{i=1}^n q_{ni}. \quad (4)$$

У загальному випадку під час проектування ІВС необхідно враховувати такі показники, як вартість ЕОМ, ПЗ, установки, підтримки і обслуговування, а також вартість витрат, які виникли внаслідок помилок у роботі системи. Необхідно враховувати, що ці витрати мають різні строки використання, так, середній строк експлуатації ЕОМ становить 4–5 років, для ПО цей показник залежить від типу і виду ліцензії, але в середньому становить 3–4 роки [5]. При цьому критерії, що наведено в табл. 2, можуть бути як якісними, так і кількісними. Якісний критерій показує – досягнута або не досягнута мета (ефект) ІВС. Цей критерій ефективності можна розглядати у вигляді двох значень: 1 – якщо мета досягнута, 0 – у протилежному випадку. Кількість критеріїв є величиною, що характеризує роботу системи в чисельному вигляді. Розроблення критерію ефективності основана на переліку вимог, що пред'являються до ІВС; сукупність цих вимог, які узагальнені та сформульовано в роботі [7], є такими:

1. Візуальність – відобразити основне призначення ІС виходячи з мети проектування й оптимізації.
2. Чисельність – виражатися в чисельній формі.
3. Межа – мати цілком певні й обґрунтовані межі.
4. Конкретність – мати ясний фізичний зміст.
5. Простота – мати порівняльну простоту й наочність.
6. Універсальність – забезпечувати можливість порівняння різних варіантів у різних умовах, наприклад бути нормованим.
7. Оптимальність – забезпечувати можливість вирішення задачі оптимізації.
8. Індивідуальність – забезпечувати можливість урахування індивідуальних вимог, наприклад за допомогою введення вагових коефіцієнтів.
9. Прогноз – забезпечувати можливість прогнозування шляхів підвищення ефективності ІС.
10. Комплексність – забезпечувати можливість комплексного техніко-економічного аналізу.

У табл. 3 наведено порівняльний аналіз сформованих критеріїв ефективності відповідно до запропонованих у роботі [7] вимог. З табл. 3 видно, що найбільш повно встановлені вимоги до системи критеріїв щодо об'єму оперативної пам'яті та продуктивності ІВС. Крім того, під час створення ІВС необхідно враховувати знання спеціаліста у цій галузі. Для виявлення таких вимог [5; 6] було проведено відповідні дослідження, в результаті мо-

ніторингу організацій були виділені основні вимоги, які пред’являються користувачам до загальносистемного та офісного ПЗ. У результаті було встановлено, що вимоги користування до ПЗ у фірм різних типів практично однакові: знайомство ПЗ, зручність інтерфейсу, простота використання, швидкість роботи, стабільність роботи, швидкість розгортання, можливість видаленого адміністрування, можливість автоматизованої установки.

Таблиця 3

Результати аналізу однопараметричних критеріїв

| Номер критерію | Візуальність | Чисельність | Межа | Конкретність | Простота | Універсальність | Оптимальність | Індивідуальність | Прогноз | Комплексність | Сумарна оцінка |
|----------------|--------------|-------------|------|--------------|----------|-----------------|---------------|------------------|---------|---------------|----------------|
| 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | +7 |
| 2 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | +7 |
| 3 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | +6 |
| 4 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | +7 |
| 5 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | +8 |
| 6 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | +8 |
| 7 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | +6 |

Проведемо оцінювання ефективності ІВС, що розробляється, за допомогою евристичних методів прийняття рішень, які враховують якісні оцінки експертів під час вибору найкращого варіанта проектного рішення [8]. Тут кожному факторові (j) залежно від його важливості конкретному критерію (i) відповідає визначене число балів b_{ji} у межах від 0 до 10, тобто: $0 \leq b_{ji} \leq 10$, та кожному критерію привласнюється ваговий коефіцієнт a_i залежно від його відносної важливості (визначається експертом), тобто $0 \leq a_i \leq 1$. При цьому сума відносних вагових коефіцієнтів усіх критеріїв повинна дорівнювати 1. Алгоритм використання проводиться за такими етапами:

1. Аналізується ІС: вибирається m факторів В та n критеріїв К.

2. Задається матриця-стовпець вагових коефіцієнтів критеріїв та таблиця балів залежно від відповідності j-го фактора i-ому критерію та визначається сума балів за кожним фактором:

$$BF = B \cdot AL = \begin{pmatrix} bf_1 \\ bf_2 \\ \dots \\ bf_m \end{pmatrix}; \quad AL = \begin{pmatrix} AL_1 \\ AL_2 \\ \dots \\ AL_n \end{pmatrix}; \quad B = \begin{pmatrix} b_{11} & b_{12} & \dots & b_{1n} \\ b_{21} & b_{22} & \dots & b_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ b_{m1} & b_{m2} & \dots & b_{mn} \end{pmatrix}, \quad (5)$$

де $bf_j = \sum_{i=1}^n a_i b_{ji}$ – сума балів j-го фактора за i-тим критерієм, $j = 1, 2, \dots, m$.

3. Вибирається рядок з максимальною сумою балів – $\max (bf_j)$.

4. Називається фактор, що є визначальними для обраних критеріїв із заданими ваговими коефіцієнтами.

Проведемо аналіз запропонованої ІВС за наведеною методикою. Так, перелік критеріїв, за якими аналізується система, представлена в табл. 4. Найбільш важливими факторами цієї системи будуть:

1. Здатність системи до накопичення, оброблення та зберігання інформації b_{11} .

2. Наявність технологій, що забезпечують моніторинг температури в постійному режимі b_{12} .

3. Передача та розподіл інформації між користувачами b_{13} .

4. Своєчасність подачі інформації до СППР b_{14} .

5. Можливість адаптивного управління інформаційною системою b_{i5} .
6. Можливість візуалізації отриманих даних b_{i6} .
7. Простота управління ІВС і сумісність з наявними ПЗ b_{i7} .

Таблиця 4

Вихідні дані до розрахунку

| b | AL | | | | | | |
|----------|-----------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|
| | AL ₁ =0,25 | AL ₂ =0,1 | AL ₃ =0,15 | AL ₄ =0,05 | AL ₅ =0,08 | AL ₆ =0,3 | AL ₇ =0,07 |
| b_{i1} | 10 | 8 | 9 | 8 | 6 | 8 | 7 |
| b_{i2} | 10 | 9 | 9 | 8 | 8 | 7 | 7 |
| b_{i3} | 9 | 10 | 8 | 6 | 8 | 5 | 7 |
| b_{i4} | 10 | 8 | 9 | 5 | 4 | 8 | 5 |
| b_{i5} | 10 | 8 | 6 | 5 | 8 | 9 | 9 |
| b_{i6} | 8 | 8 | 10 | 10 | 8 | 7 | 6 |
| b_{i7} | 7 | 9 | 10 | 9 | 5 | 9 | 6 |

За обраними даними (табл. 4) формуємо матриці вагових коефіцієнтів критеріїв та знайдемо величину BF, використовуючи калькулятор множення матриць (рис. 3).

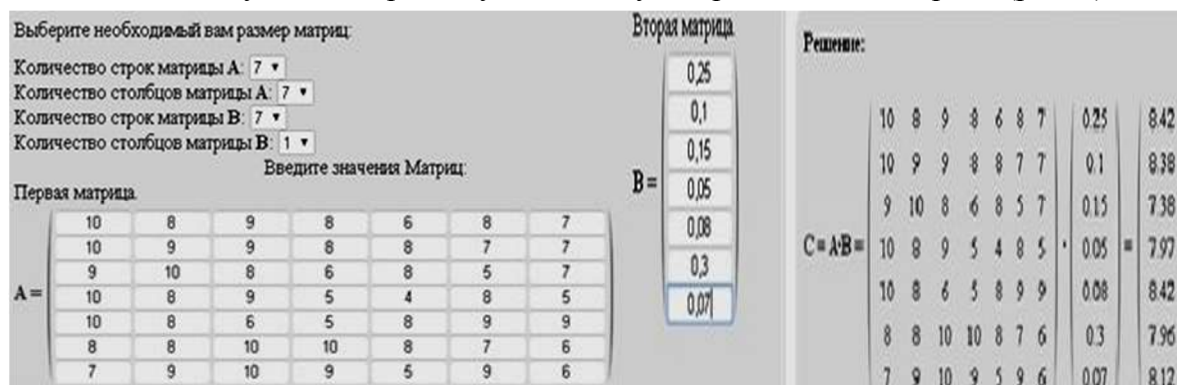


Рис. 3. Визначення вагових коефіцієнтів

На основі виконаних розрахунків видно, що найбільш впливовими факторами на ІВС є кількість інформації та об'єм оперативної пам'яті з коефіцієнтом $b_{fi} = 8,42$.

Висновки і пропозиції. Аналіз методів побудови ІВС показав, що вони не повною мірою задовольняють сучасні вимоги щодо побудови системи моніторингу енергоощадних об'єктів. Інформаційні ресурси таких систем передбачають застосування досить великої кількості параметрів та факторів, що вимагає інтеграції цих даних в інформаційний простір оцінювання ефективності енергозбереження та прийняття рішень щодо реалізації енергоощадного проекту. Побудовано ІВС моніторингу енергоощадності будівель та виконано однопараметричний аналіз критеріїв ефективності параметрів ІВС, де кожному фактору залежно від його важливості конкретному критерію відповідає визначене число балів від 0 до 10. У результаті матричного аналізу критеріїв ефективності визначено, що найбільш впливовими факторами на ІВС є кількість інформації та об'єм оперативної пам'яті.

Список використаних джерел

1. Бесекерский В. А. Теория систем автоматического управления / В. А. Бесекерский. – СПб. : Профессия, 2003. – 752 с.
2. Чье Ен Ун. Обзор методов и средств построения информационно-измерительных систем / Чье Ен Ун // Ученые заметки ТОГУ. – 2013. – Т. 4, № 4. – С. 1000–1007.
3. Теоретические основы информационно-измерительных систем : учебник / В. П. Бабак, С. В. Бабак, В. С. Еременко и др. ; под ред. чл.-кор. НАН Украины В. П. Бабака. – К. : Софія-А, 2014. – 832 с.
4. Маргасов Д. В. Вибір інтегрованого середовища та створення прототипу інформаційного забезпечення тепловізійного моніторингу / Д. В. Маргасов, С. Ю. Сахно // Технологический аудит и резервы производства. – 2015. – № 5/2 (25). – С. 32–40.

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

5. *Олифер В. Г.* Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы : учебник / В. Г. Олифер, Н. А. Олифер. – СПб. : Питер, 2010. – 943 с.

6. *Оценка эффективности информационных систем: Часть 3. Пример расчета эффективности использования ИС методом ТЕІ [Электронный ресурс].* – Режим доступа : http://www.ibm.com/developerworks/ru/library/l-otcenka_efektivnosti_3/index.html.

7. *Критеріальне оцінювання ефективності інформаційних пристроїв та систем / М. А. Філінюк, В. О. Багацький, Л. Б. Ліщинська, О. В. Войцеховська.* – Вінниця : ВНТУ, 2014. – 143 с.

8. *Маслов В. П.* Інформаційні системи і технології в економіці : навчальний посібник / В. П. Маслов. – К. : Слово, 2006. – 264 с.

Сахно Євген Юрійович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри управління якістю та проектами, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Белова, 4, м. Чернігів, 14000, Україна).

Сахно Евгений Юрьевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой управления качеством и проектами, Черниговский национальный технологический университет (ул. Белова, 4, г. Чернигов, 14000, Украина).

Sakhno Yevhen – Doctor of Technical Sciences, Professor, head of Department of Quality Management and Projects, Chernihiv National University of Technology (4 Bielova Str., 14000 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: kafurap@ukr.net

Маргасов Дмитро Валерійович – асистент кафедри управління якістю та проектами, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Белова, 4, м. Чернігів, 14000, Україна).

Маргасов Дмитрий Валерьевич – ассистент кафедры управление качеством и проектами, Черниговский национальный технологический университет (ул. Белова, 4, г. Чернигов, 14000, Украина).

Marhasov Dmytro – assistant of the Department of Quality Management and Projects, Chernihiv National University of Technology (4 Bielova Str., 14000 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: mn123@i.ua

Корнієць Катерина Євгенівна – студент факультету проектного менеджменту та управління якістю, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Белова, 4, м. Чернігів, 14000, Україна).

Корниец Екатерина Евгеньевна – студент факультета проектного менеджмента и управления качеством, Черниговский национальный технологический университет (ул. Белова, 4, г. Чернигов, 14000, Украина).

Korniiets Kateryna – student of the faculty of Project Management and Quality Management, Chernihiv National University of Technology (4 Bielova Str., 14000 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: kate.sahno@yandex.ua

УДК 510.635:004.891(045)

Анастасія Вавіленкова

СТРУКТУРА ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ПОРІВНЯЛЬНОГО АНАЛІЗУ ТЕКСТОВИХ ДОКУМЕНТІВ

Анастасія Вавіленкова

СТРУКТУРА ИНФОРМАЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ СРАВНИТЕЛЬНОГО АНАЛИЗА ТЕКСТОВЫХ ДОКУМЕНТОВ

Anastasiia Vavilenkova

THE STRUCTURE OF INFORMATION TECHNOLOGY OF TEXT DOCUMENTS COMPARATIVE ANALYSIS

Здійснено аналіз наявних програмних продуктів пошуку плагіату серед електронних текстових документів, що дозволило виділити основні недоліки функціонування систем інтелектуального аналізу текстової інформації. На усунення цих недоліків спрямовані матеріали дослідження, де запропоновано структуру інформаційної технології порівняльного аналізу текстових документів. Її основними блоками є: інтерфейс користувача, компонента побудови логіко-лінгвістичної моделі природномовного текстового документа, лінгвістичний процесор для побудови лінгвістичних складових текстових документів, лінгвістичний процесор системи автоматизованого формування логіко-лінгвістичних моделей речень природної мови, компонента порівняння лінгвістичних складових, компонента порівняння семантико-синтаксичних складових. У статті аргументовано роль кожної із компонент у вилученні змістовної інформації з текстів, що порівнюються.

Ключові слова: природна мова, логіко-лінгвістична модель, змістовний аналіз, лінгвістичний процесор, база знань.

Рис.: 4. *Бібл.:* 14.

Осуществлен анализ существующих программных продуктов поиска плагиата среди электронных текстовых документов, что позволило выделить основные недостатки функционирования систем интеллектуального анализа текстовой информации. На устранение этих недостатков направлены материалы исследований, где предложено

структуру информационной технологии сравнительного анализа текстовых документов. Ее основные блоки: интерфейс пользователя, компонента построения логико-лингвистической модели документа, написанного на естественном языке, лингвистический процессор для построения лингвистических составляющих текстовых документов, лингвистический процессор системы автоматизированного формирования логико-лингвистических моделей предложений естественного языка, компонента сравнения лингвистических составляющих, компонента сравнения семантико-синтаксических составляющих. В статье аргументирована роль каждой из компонент в извлечении содержания из текстов, которые сравниваются.

Ключевые слова: естественный язык, логико-лингвистическая модель, содержательный анализ, лингвистический процессор, база знаний.

Рис.: 4. Библ.: 14.

The article analyzes the existing software of plagiarism search in electronic text documents, allowing to identify the main shortcomings of intellectual analysis of textual information. The research is aimed on reducing these shortcomings using a proposed structure of information technology of text documents comparative analysis. Its major units include a user interface, module of constructing a logic and linguistic model of natural language text documents, linguistic processor for constructing linguistic components of text documents, linguistic processor of the system of automated formation of logic and linguistic models of natural language sentences, module of linguistic components comparison, module of semantic-syntactic components comparison. The paper argued the role of each unit in extracting context information from the compared texts.

Key words: natural language, logic and linguistic model, context analysis, linguistic processor, knowledge base.

Fig.: 4. Bibl.: 14.

Постановка проблеми. На сьогодні мережа Інтернет переповнена програмними продуктами різноманітної якості, спрямованими на пошук плагіату електронних текстових документів. Парадоксом є те, що пропорційно кількості програм виявлення дублікатів зростає кількість програм по рейтингу текстових документів. Основною проблемою виникнення такого явища є брак якісної теоретичної основи, що забезпечила б глибокий аналіз текстової інформації. Все це передбачає наявність якісно нових методів та алгоритмів автоматичного лінгвістичного аналізу електронних документів [1]. Адже наявні програмні продукти дозволяють здійснювати пошук, класифікацію, класифікацію текстів, проводити автоматичний морфологічний та синтаксичний аналіз, проте не встановлюють логічні зв'язки між частинами текстових документів, не визначають її структуру та не вирішують проблему екстракції знань [2].

Таким чином, актуальною залишається проблема створення систем автоматичного змістовного аналізу електронних текстових документів, що в свою чергу передбачає розроблення методики їх функціонування, проектування структури та розроблення формального апарату для кожного блока такої системи.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз останніх досліджень у сфері розроблення інтелектуальних систем оброблення текстової інформації (NLP) дав змогу виділити їх основні недоліки:

- відсутність бази знань у лінгвістичному процесорі (робота відбувається з базами даних) [3];
- функціонування на основі методу шинглів (у разі зміни кількості слів у шинглі системи постійно видають різний відсотковий показник збігів) [4];
- використання статистичних закономірностей для виявлення ключових слів;
- відсутність змістовного аналізу [5].

Роботу інтелектуальних систем оброблення текстової інформації може значно поліпшити використання лінгвістичних корпусів [6] або тезаурусів мови. Останні публікації у сфері інформаційних технологій [7–8] показали, що дослідження у галузі оброблення текстової інформації спрямовані на вдосконалення методів кластеризації та залучення до процесу аналізу нейронних мереж.

Дослідження ж комп'ютерних лінгвістів [9–11] направлені на поглиблення й уточнення можливих варіантів формування логічних зв'язків за рахунок аналізу текстів різноманітної тематики.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. Створення системи автоматичного змістовного аналізу електронних текстових документів вимагає об'єднання зусиль як комп'ютерних лінгвістів та спеціалістів у галузі структурної лінг-

вістики, так і науковців у сфері інформаційних технологій. Основною проблемою на шляху створення такої системи є відсутність комплексної методики формалізованого представлення текстової інформації. Саме на її опис і застосування для побудови нової інформаційної технології порівняльного аналізу текстових документів спрямовані результати дослідження автора.

Мета статті. Метою статті є опис структури інформаційної технології порівняльного аналізу текстових документів як верифікації методики пошуку текстових збігів на основі побудови логіко-лінгвістичних моделей речень природної мови.

Виклад основного матеріалу. Інформаційна технологія порівняльного аналізу текстових документів являє собою сукупність методів, процесів та програмно-технічних засобів, об'єднаних у технологічний ланцюжок, який забезпечує введення, оброблення, зберігання, розподілення та відображення [12] текстової інформації, що представлена у вигляді природномовних електронних документів, для отримання нового показника якості у вигляді відсотку збігів.

Технічними засобами для створення інформаційної технології є апаратне, програмне та математичне забезпечення, що дає можливість здійснювати переробку первинної інформації, представленої у вигляді природномовних електронних документів, в інформацію нової якості. На рис. 1 представлено основні компоненти інформаційної технології порівняльного аналізу текстових документів.

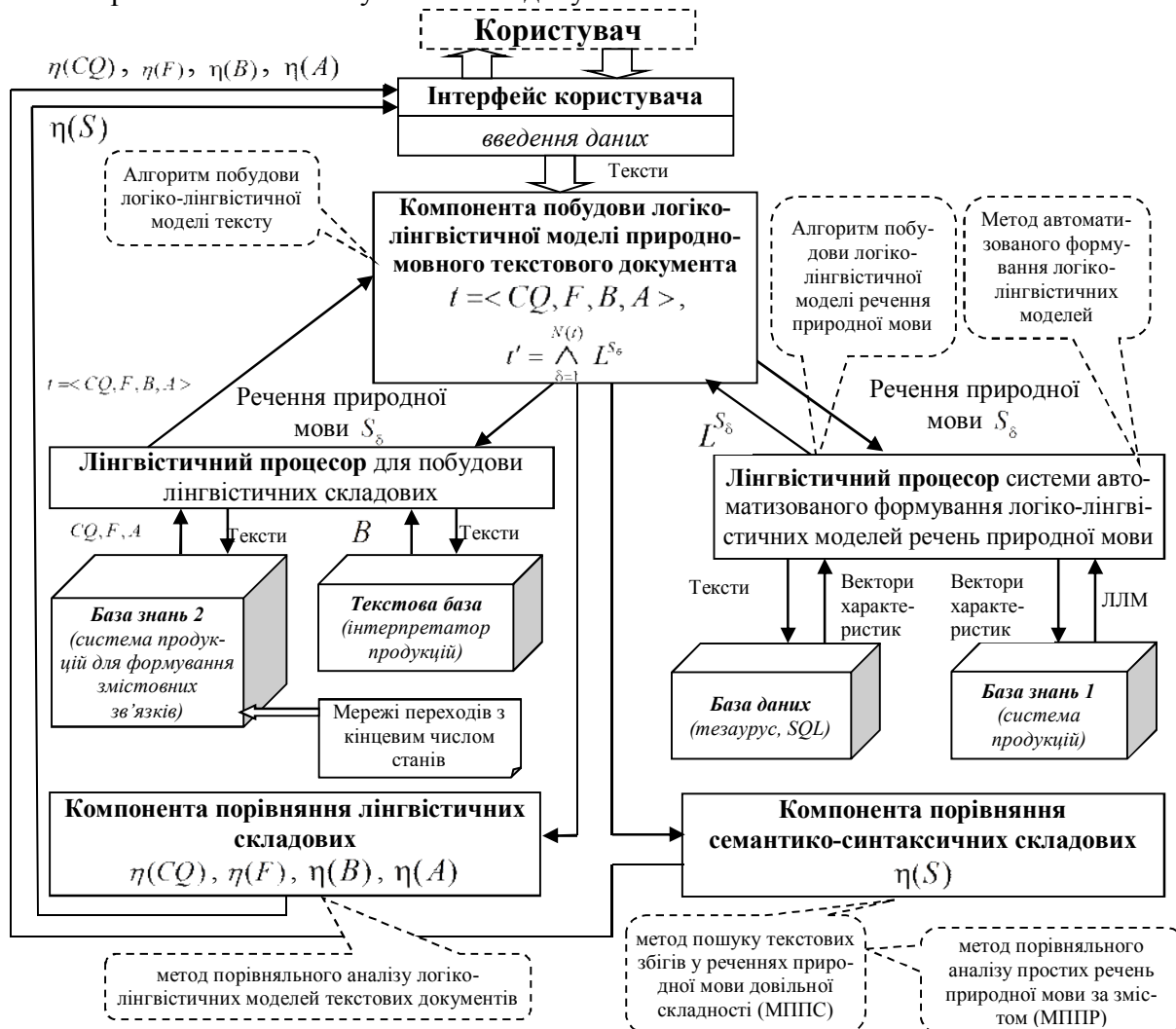


Рис. 1. Структурно-аналітична схема інформаційної технології порівняльного аналізу текстових документів

Інтерфейс користувача (рис. 2) являє собою програмний модуль, який відповідає етапу введення текстової інформації.

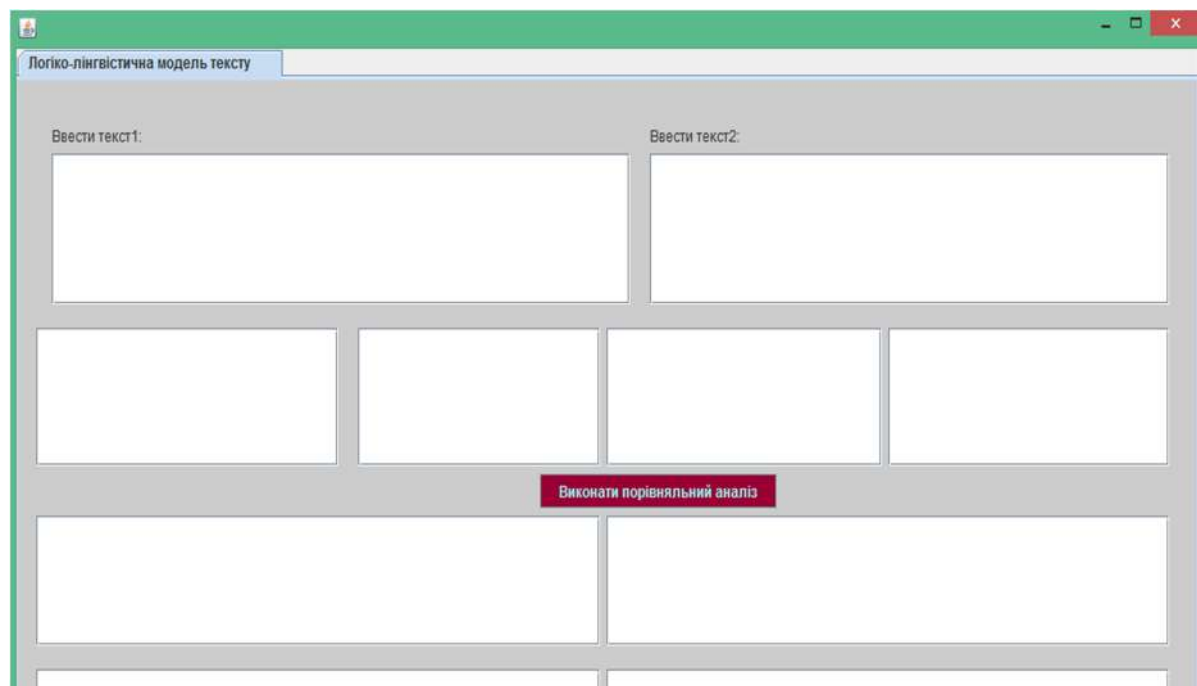


Рис. 2. Інтерфейс користувача інформаційної технології порівняльного аналізу текстових документів

У полях введення обираються два тексти, порівняльний аналіз яких необхідно здійснити. На тексти, які вводяться, накладаються певні обмеження:

- 1) система обробляє речення української мови;
- 2) речення повинно бути грамотно написано;
- 3) слова у реченні розділені пробілами;
- 4) кінцем речення вважаються такі знаки пунктуації, як «.», «!», «?»;
- 5) знаки пунктуації необхідно вказувати безпосередньо після слова, далі пробіл;
- 6) тире і дефіс позначаються в реченні одним і тим самим символом «-», після тире ставиться пробіл, після дефіса – одразу записується слово.

Компонента побудови логіко-лінгвістичної моделі природномовного текстового документа відповідає першому етапу методу порівняльного аналізу логіко-лінгвістичних моделей текстових документів – побудові таких моделей [13]. Ця компонента входить до блока оброблення інформації і включає в себе роботу двох лінгвістичних процесорів: один з яких працює на основі методу автоматизованого формування логіко-лінгвістичних моделей текстової інформації, а другий – на основі системи продукцій для формування змістовних зв'язків у тексті.

Формалізація інтелектуальної діяльності людини полягає у побудові функціональної моделі природної мови, тому логіко-лінгвістична модель виступає як транслятор, що встановлює відповідність між текстом та його змістом [14].

Компонента системи, що реалізує створення формальної лінгвістичної моделі та здатна працювати з природною мовою у всьому її об'ємі, є **лінгвістичним процесором**. Дві основні функції лінгвістичного процесору полягають у вилученні змісту із заданої текстової інформації та вираженні отриманого змісту мовою логіки предикатів. Зміст висловлювання – це вся семантико-прагматична інформація, яку користувач передає на вхід системи. Внутрішнє представлення змісту містить сутності проблемної частини (слова), що потрапляють до системи з цим висловлюванням, властивості та відношення, що відповідають цим сутностям. Тобто лінгвістичний процесор здійснює аналіз

введеної текстової інформації згідно з алгоритмом, описаним у методі автоматизованого формування логіко-лінгвістичних моделей тексту, виокремлюючи сутності, властивості та концептуальні відносини між ними, таким чином готуючи матеріал для виведення у вигляді логіко-лінгвістичної моделі.

Лінгвістичний процесор являє собою багаторівневий перетворювач, що містить три рівні представлення тексту: морфологічний, синтаксичний та семантичний (рис. 3). Кожному рівню відповідає один з етапів виконання методу автоматизованого формування логіко-лінгвістичної моделі відповідно: ідентифікація вхідного тексту, концептуалізація та синтаксичний аналіз.

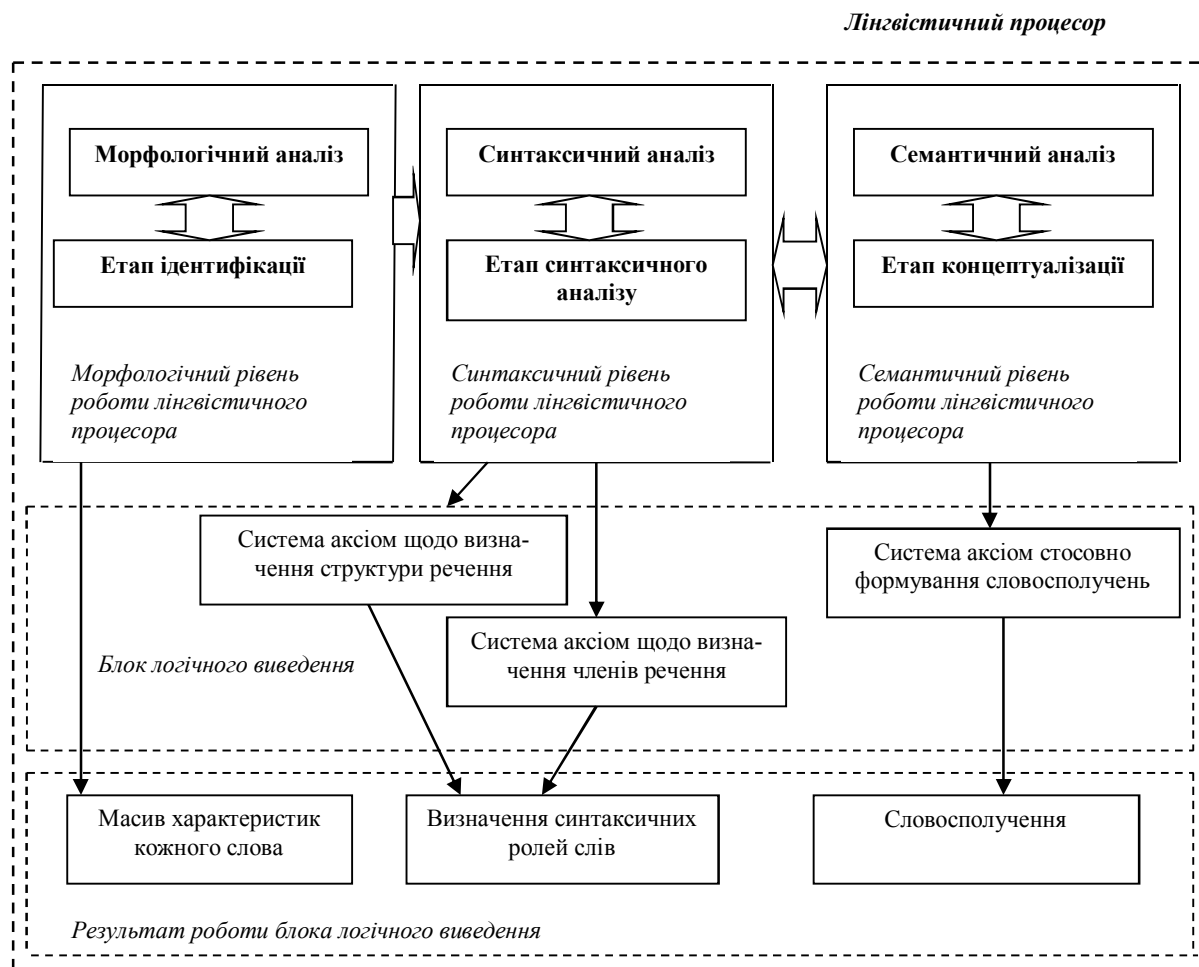


Рис. 3. Структура лінгвістичного процесора для побудови лінгвістичних складових

Предметною областю інформаційної технології порівняльного аналізу текстових документів є вся природна, флективна мова. Тому ця система не ґрунтується на стандартних шаблонах, в які включені основні слова, що стосуються певної предметної області (наприклад, медицини, діагностування, продажу тощо), і користувач не повинен обмежувати себе у використанні певної термінології.

База даних, що використовується в інформаційній технології порівняльного аналізу електронних текстових документів, складається з таблиць, кожна з яких відповідає за певну частину мови, конкретне поле кожної з таблиць характеризується граматичними параметрами, такими як відмінок, рід, число, час, особа і т. ін. Це дає змогу під час звернення до бази даних надавати конкретних значень елементам формальної системи і внаслідок цього формувати масиви характеристик для кожного конкретного слова, що подається на вхід інтелектуальної системи.

Компонента побудови логіко-лінгвістичної моделі текстового документа використовує для своєї роботи дві *бази знань*. *Перша база знань* являє собою систему продукційних правил для визначення логічних зв'язків між словами речень природної мови, це правила утворення словосполучень та привила визначення синтаксичних ролей. *Друга база знань* містить систему продукцій для пошуку логічних зв'язків між фрагментами тексту. Продукції побудовані на основі досліджених закономірностей використання у текстах засобів когезії та на базі основних принципів синтезу логіко-лінгвістичних моделей речень природної мови [1].

Компонента порівняння семантико-синтаксичних складових функціонує на основі методу порівняльного аналізу простих речень природної мови за змістом та методу пошуку текстових збігів у реченнях природної мови довільної складності [13]. За методом пошуку текстових збігів у реченнях природної мови довільної складності почергово порівнюються логіко-лінгвістичні моделі $L^{S_{\delta_1}}$ та $L^{S_{\delta_2}}$, $\delta_1 = \overline{1, N(t_1)}$, $\delta_2 = \overline{1, N(t_2)}$. Це дає можливість визначити ступінь схожості речень, що входять до текстів. Основою порівняльного аналізу є формування інваріантних логіко-лінгвістичних моделей, які ґрунтуються на правилах та моделях побудови складних синонімічних конструкцій природної мови. Інваріантні форми логіко-лінгвістичних моделей безпосередньо впливають на розрахунок відсотку збігів у реченнях текстів. Після виконання цього етапу буде знайдено відсоток збігів $\eta(S)$ для електронних текстових документів t_1 і t_2 .

Компонента порівняння лінгвістичних складових почергово порівнює параметри лінгвістичних складових логіко-лінгвістичних моделей текстів, що розглядаються, після чого визначаються чотири відсотки збігу: $\eta(CQ)$ – за стилістикою, $\eta(F)$ – за структурою складних синтаксичних частин, $\eta(B)$ – за схожістю ключових слів та словосполучень, $\eta(A)$ – за тематикою. Визначення відсотку збігів за різними компонентами логіко-лінгвістичної моделі електронного текстового документа дає можливість проаналізувати характер збігів, а також визначити засоби утворення текстових дублікатів. Результати функціонування інформаційної технології порівняльного аналізу текстових документів продемонстровано на рис. 4.

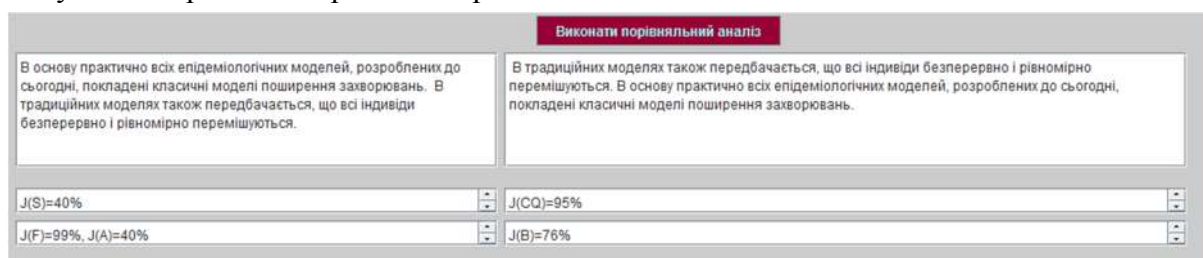


Рис. 4. Результати функціонування інформаційної технології порівняльного аналізу текстових документів

Висновки і пропозиції. Інформаційна технологія порівняльного аналізу текстових документів спроектована на основі використання нової методики, що включає в себе: алгоритм побудови логіко-лінгвістичної моделі речення природної мови, метод автоматизованого формування логіко-лінгвістичних моделей текстової інформації, алгоритм побудови логіко-лінгвістичної моделі текстового документа, метод порівняльного аналізу простих речень природної мови, метод порівняння речень природної мови довільної складності, метод порівняльного аналізу логіко-лінгвістичних моделей текстових документів.

Система, створена на основі розробленої інформаційної технології, здійснює змістовний аналіз електронних документів і є верифікацією методики пошуку текстових збігів на основі побудови логіко-лінгвістичних моделей речень природної мови.

Список використаних джерел

1. *Вавиленкова А. И.* Основные принципы синтеза логико-лингвистических моделей / А. И. Вавиленкова // Кибернетика и системный анализ. – 2015. – Т. 51, № 5. – С. 176–185.
2. *Методы* и модели анализа данных: OLAP и Data Mining / А. А. Барсегян, М. С. Куприянов, В. В. Степаненко, И. И. Холод. – СПб. : БХВ-Петербург, 2007. – 384 с.
3. *Онлайн-сервис* проверки текста на уникальность, 2016 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : www.text.ru.
4. *Advego Plagiatus* – проверка уникальности текста, 2008–2016 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://advego.ru/plagiatus/top/>.
5. *Dan Jurafsky*, Professor of Linguistics, Christopher Manning, Associate Professor of Computer Science Natural Language Processing, Stanford University, 2012, <https://www.coursera.org/course/nlp>.
6. *Словники* України он-лайн, 2001–2014 [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://lcorp.ulif.org.ua/dictua/>.
7. *Рассел С.* Искусственный интеллект: современный подход (АИМА-2) / С. Рассел, П. Норвиг. – 2-е изд. – М. : Вильямс, 2015. – 1408 с.
8. *Кормен Т.* Алгоритмы: построение и анализ / Т. Кормен, И. Чарльз, Лейзерсон, Рональд Л. Ривест, Клиффорд Штайн. – 3-е изд. – М. : Вильямс, 2013. – 1328 с.
9. *Белоусов К. И.* Теория и методология полиструктурного синтеза текста: монография / К. И. Белоусов. – 2-е изд., стер. – М. : ФЛИНТА, 2012. – 214 с.
10. *Корпусна* лінгвістика / [Широков В. А., Бугаков О. В., Грязнухіна Т. О. та ін.]. – К. : Довіра, 2005. – 471 с.
11. *Никитин М. В.* Курс лингвистической семантики / М. В. Никитин. – СПб. : Из-во РГПУ им. Герцена, 2007. – 819 с.
12. *Марчук Ю. Н.* Компьютерная лингвистика / Ю. Н. Марчук. – М. : АСТ: Восток – Запад, 2007. – 317 с.
13. *Вавиленкова А. И.* Порівняльний аналіз речень природної мови за змістом / А. И. Вавиленкова // Математичні машини та системи. – 2015. – № 2. – С. 97–103.
14. *Vavilenkova A. I.* The formal model of knowledge retrieval and processing / A. I. Vavilenkova // Black Sea Scientific journal of academic research. – 2014. – V. 16. – P. 115–119.

Вавиленкова Анастасія Ігорівна – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри комп'ютеризованих систем управління, Національний авіаційний університет (просп. Космонавта Комарова, 1, м. Київ, 03068, Україна).

Вавиленкова Анастасія Ігорівна – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры компьютеризированных систем управления, Национальный авиационный университет (просп. Космонавта Комарова, 1, г. Киев, 03068, Украина).

Vavilenkova Anastasiia – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of Computerized Control Systems Department, National Aviation University (1 Kosmonavta Komarova Av., 03068 Kyiv, Ukraine).

E-mail: a_vavilenkova@mail.ru

УДК 621.3.08

Володимир Войтенко, Оксана Федорова, Роман Єршов

**ЕЛЕКТРОННА СИСТЕМА РЕЄСТРАЦІЇ ТА ОБРОБЛЕННЯ
БІОЕЛЕКТРИЧНИХ СИГНАЛІВ**

Владимир Войтенко, Оксана Федорова, Роман Ершов

**ЭЛЕКТРОННАЯ СИСТЕМА РЕГИСТРАЦИИ И ОБРАБОТКИ
БИОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ**

Volodymyr Voitenko, Oksana Fedorova, Roman Yershov

**ELECTRONIC SYSTEM FOR BIOELECTRICAL SIGNAL REGISTRATION
AND PROCESSING**

Методи запису біопотенціалів, що генерує мозок, серце або м'язи, мають два основних аспекти застосування: медичний та дослідницький. Медична діагностика в умовах стаціонару найчастіше спирається на такі методи неінвазивних досліджень, в яких використовується громіздка та вартісна апаратура. Водночас актуальною про-

блемою залишається автономний контроль та поточний моніторинг стану людини як з метою своєчасного виявлення критичних станів, так і для визначення реакцій на ті чи інші впливи.

Роботу присвячено вирішенню завдання створення дослідницького комплексу, який вміщує пристрій для попереднього оброблення біоелектричних сигналів, перетворення їх у цифрову форму та введення до персонального комп'ютера з метою наступного аналізу й відпрацювання алгоритмів функціонування портативної автономної електронної системи, яка розробляється вперше.

Ключові слова: біоелектричні сигнали, біопотенціал, аналого-цифровий перетворювач, візуалізація.

Рис.: 4. Бібл.: 16.

Методы записи биопотенциалов, генерируемых мозгом, сердцем или мышцами, имеют два основных аспекта применения: медицинский и исследовательский. Медицинская диагностика в условиях стационара в настоящее время чаще всего опирается на такие методы неинвазивных исследований, в которых используется громоздкая и дорогостоящая аппаратура. В то же время актуальной проблемой остается автономный контроль и текущий мониторинг состояния человека как с целью своевременного выявления критических состояний, так и для определения реакций на те или иные воздействия.

Работа посвящена решению задачи создания исследовательского комплекса, содержащего устройства для предварительной обработки биоэлектрических сигналов, преобразования их в цифровую форму и ввода в персональный компьютер с целью последующего анализа и отработки алгоритмов функционирования разрабатываемой портативной автономной электронной системы.

Ключевые слова: биоэлектрические сигналы, биопотенциал, аналого-цифровой преобразователь, визуализация.

Рис.: 4. Библ.: 16.

Methods to record bio-potentials generated by the brain, heart and muscles have two main application aspects: one in medicine and another one in research. Medical diagnostics in hospital conditions is currently mainly based on non-invasive research methods that use bulky and expensive equipment. At the same time, autonomous control and current monitoring of the human state remains an important problem from two perspectives: to timely identify critical conditions and to detect the reaction to specific impacts.

This article seeks to develop a research complex that would contain devices for a preliminary processing of bioelectric signals, their transformation into digital form and their input to a personal computer. These signals will then be used to analyze and process the functioning algorithms of a portable autonomous electronic system under development.

Key words: bioelectric signals, bio-potential, analog-digital converter, visualization.

Fig.: 4. Bibl.: 16.

Постановка проблеми. Біоелектричні сигнали вже тривалий час використовуються в медичній практиці. Сьогодні важко уявити ситуацію, коли б до процесу діагностики захворювань, пов'язаних із серцем, мозком або м'язами, не була долучена певна інформація, отримана за допомогою електронних реєстраторів біоелектричних сигналів. Медична діагностика – це основна, проте не єдина сфера застосування електронних приладів для роботи з біоелектричними сигналами. Важливими напрямками є терапія захворювань, поєднана з медикаментозним та хірургічним впливом, а також моніторинг стану пацієнта, особливо в повсякденному житті [1]. Якщо під час медичної діагностики припустимо застосування габаритних та вартісних електронних апаратів, таких як комп'ютерний, позитронно-емісійний, функціональний або магніторезонансний томограф, моніторинг вимагає створення малогабаритних, дешевих, надійних і автономних електронних приладів для реєстрації біоелектричних сигналів. Подібні вимоги висуває також вирішення проблеми розроблення таких нетривіальних людино-машинних інтерфейсів, як «мозок – комп'ютер».

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Застосуванню апаратури для оброблення біоелектричних сигналів у наукових дослідженнях присвячено багато публікацій, зокрема [2–5]. Розвиток комп'ютерної техніки, мікроелектронних технологій та сучасна елементна база електронних систем відкривають нові можливості у розробленні комплексів з оброблення біоелектричних сигналів з якісно новими характеристиками, а також методів їхнього застосування [6]. Це дозволяє значно підвищити точність і стабільність результатів порівняно з аналоговими системами, зменшити вплив шумів, завад та навколишнього середовища, а також надати можливість застосування складних і різноманітних алгоритмів оброблення сигналу.

Важливою проблемою, яка постає перед розробником будь-якого електронного пристрою реєстрації біоелектричних сигналів, є вибір алгоритму роботи для виділення корисної інформації на фоні завад, представлення її у зручному вигляді безпосередньо біля (для) об'єкта (суб'єкта) дослідження та (або) передача цієї інформації для дистан-

ційного аналізу. Значно полегшити і прискорити вирішення цієї проблеми може застосування можливостей, які надає пакет імітаційного моделювання *Matlab-Simulink*.

Мета статті. Метою цієї роботи є обґрунтування структури та визначення складових електронної системи-прототипу розроблених автономних комплексів для реєстрації біоелектричних сигналів.

Характеристика біоелектричних сигналів. У цій статті як біоелектричні сигнали використовуються електричні сигнали, які несуть інформацію про активність мозку, серця та м'язів. Частина цих сигналів відбиває спонтанну поточну активність, а інші мають місце тільки внаслідок зовнішньої стимуляції. Суттєва відмінність характеру зумовлює і численні та різноманітні методи оброблення цих сигналів. Тому застосування засобів, призначених для комп'ютерного моделювання, може суттєво спростити процес проектування кінцевої електронної системи.

Електроенцефалограма (ЕЕГ, рис. 1, *а*) відбиває електричну активність мозку [7–9]. Інвазійний варіант передбачає встановлення електродів безпосередньо на непокриті ділянки мозку під час хірургічної операції і забезпечує зняття так званої електрокортикограми (ЕКоГ).

Викликані потенціали (ВП) демонструють форму активності мозку, викликану такими стимулами, як візуальні або акустичні [10; 11]. Методика зняття ВП подібна до ЕЕГ.

Електрокардіограма (ЕКГ, рис. 1, *б*) відображає електричну активність серця [12; 13]. Сигнал має більшу амплітуду і характерні властивості.

Електроміограма (ЕМГ, рис. 1, *в*) є запис електричної активності скелетних м'язів, які продукують електричний струм, пропорційний ступеню активності [14].

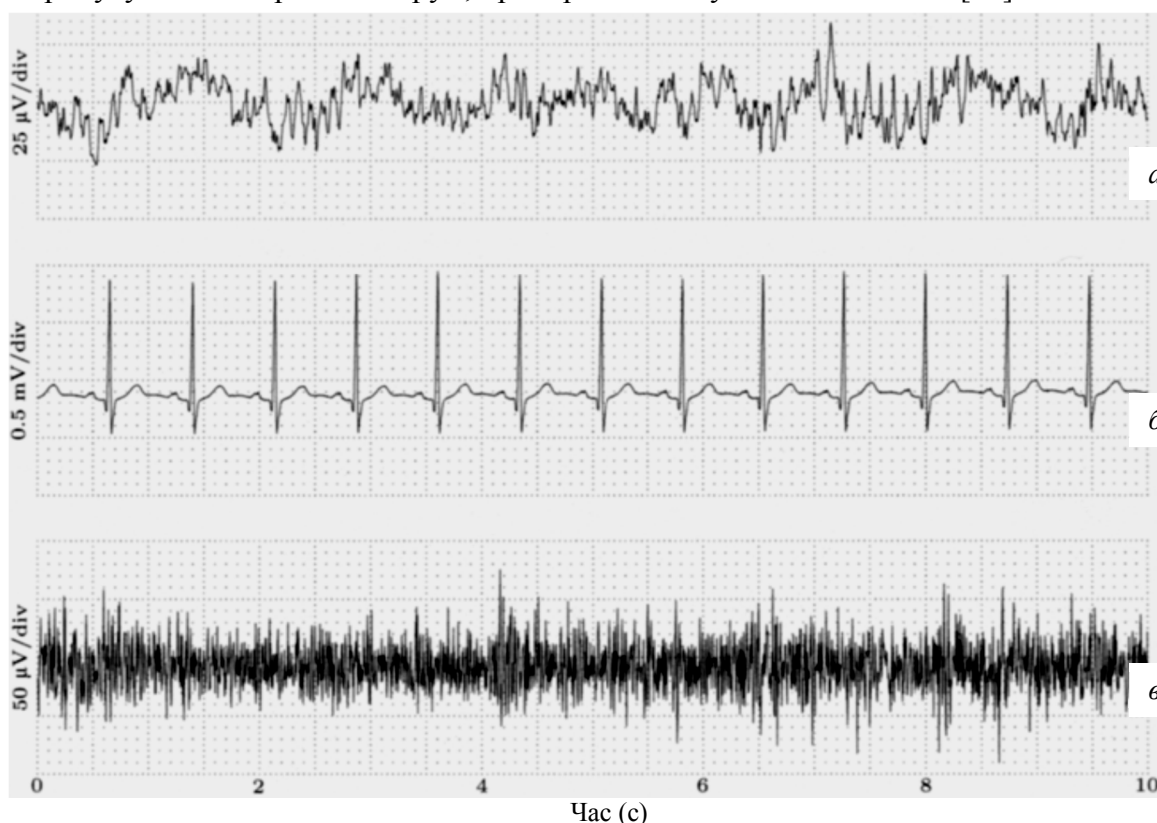


Рис. 1. Осцилограми біоелектричних сигналів:
а – електроенцефалограма; *б* – електрокардіограма; *в* – електроміограма

Захват біоелектричних сигналів здійснюється за допомогою електронних пристроїв, які відповідним чином підсилюють сигнал та перетворюють його у цифровий код. Зважаючи на досить незначну амплітуду зазначених вище сигналів, дуже важливою є їхня попереднє

аналогове оброблення. Це оброблення має сприяти покращенню відношення сигнал–шум, а також звуженню смуги аналогового сигналу, який потрапляє на вхід аналого-цифрового перетворювача (АЦП), аби не допустити перекриття спектрів. Зазвичай таке оброблення здійснюється за допомогою операційних підсилювачів і пасивних компонентів.

Реалізація пристрою захоплення біоелектричних сигналів. Зважаючи на велику кількість потрібних сигналів і датчиків, блок попереднього оброблення біоелектричних сигналів стає занадто громіздким і малонадійним. У випадку розроблення моніторингових систем додаткові складнощі викликає зростання енергоспоживання, що унеможливорює живлення від автономних джерел. Один з варіантів сучасного рішення – це застосування спеціалізованих інтегрованих схем (ІС), які в одному корпусі поєднують декілька операційних підсилювачів та аналого-цифрові перетворювачі. Прикладом такої ІС є 8-канальний 24-розрядний дельта-сигма АЦП ADS1298 з одночасним захватом аналогових сигналів усіх каналів. Ця ІС має вбудовані підсилювачі з коефіцієнтом підсилення, що програмується, внутрішнє джерело опорного сигналу та генератор тактової частоти. Ця ІС об'єднує всі можливості, які зазвичай потрібні для реєстрації ЕКГ, ЕМГ та ЕЕГ.

Високий рівень інтеграції та виняткові характеристики дозволяють на основі приладів сімейства ADS1298 створювати медичне обладнання різного ступеня складності при значно менших розмірах, потужності споживання і ціні. На рис. 2 зображена спрощена структурна схема ADS1298 [15]. Важливою особливістю є використання послідовного інтерфейсу SPI як для керування процесом реєстрації біоелектричних сигналів, так і для передачі отриманих результатів для подальшої візуалізації, оброблення та зберігання даних. Якщо у дослідницькому комплексі застосовувати персональний комп'ютер, наявність SPI зумовлює необхідність додаткового пристрою, який би підтримував як цей інтерфейс, так і будь-який, що є стандартним для персонального комп'ютера.

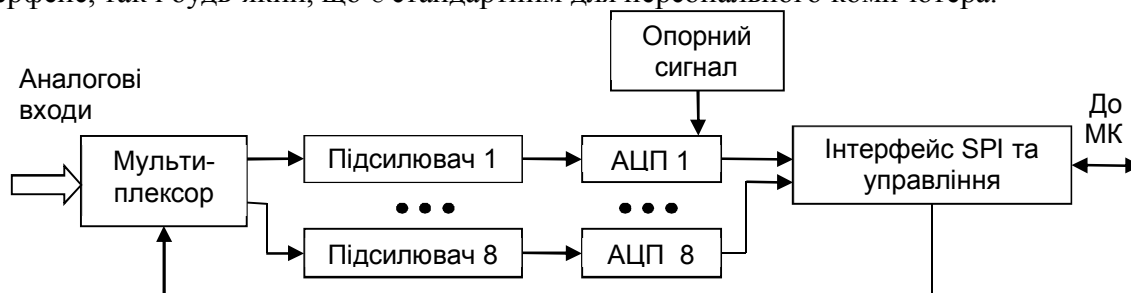


Рис. 2. Спрощена структура ADS1298

Важливою особливістю цієї ІС є можливість її експлуатації в широкому діапазоні температур навколишнього середовища ($-40\text{ }^{\circ}\text{C} \dots +85\text{ }^{\circ}\text{C}$), що відкриває перспективи створення пристроїв автономного моніторингу, коли об'єкт перебуває безпосередньо майже на будь-якому робочому місці.

На рис. 3 зображено зовнішній вигляд пристрою захоплення біоелектричних сигналів.

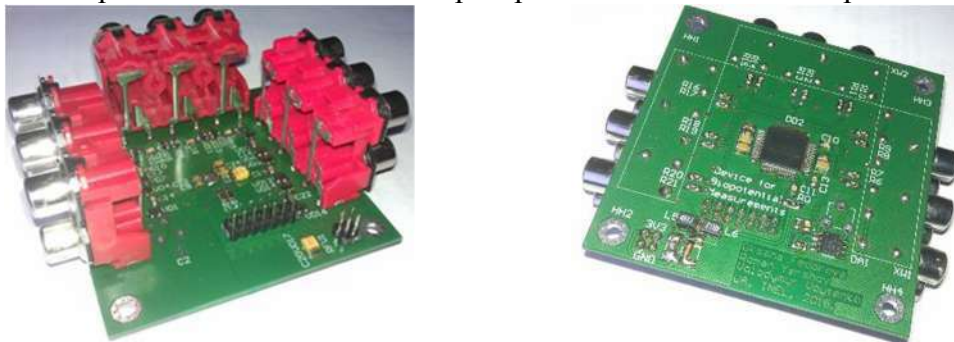


Рис. 3. Зовнішній вигляд пристрою захоплення біоелектричних сигналів

Пристрій комунікації з персональним комп'ютером. У кінцевому автономному пристрої для моніторингу біоелектричних сигналів візуалізація та аналіз отриманих даних може здійснюватися за допомогою, наприклад, смартфона з можливістю подальшого оброблення, передачі, завантаження, зберігання на віддалених пристроях (наприклад, персональному комп'ютері). Незалежно від варіанта на виході пристрою захоплення біоелектричних сигналів на базі спеціалізованої IC ADS1298 потрібен додатковий вузол, який здійснюватиме перетворення сигналів SPI в сигнали стандартного інтерфейсу, що підтримується персональним комп'ютером.

Під час розроблення комплексу-прототипу важливо мати якомога ширший вибір засобів комунікації. Як пристрій, що здійснюватиме зв'язок із ADS1298, обрано навчальний стенд *LPC2148 Educational Board* фірми *Embedded Artists* [16], який призначений не тільки для ознайомлення з мікроконтролерами (МК) *ARM7TDMI* виробництва фірми *NXP*, а також і для розроблення й швидкого запуску пристроїв на базі цих МК. Безпосередньо на платі реалізовані унікальні можливості взаємодії МК з типовими для електронних систем об'єктами керування, які істотно полегшують та підвищують наочність процесу розроблення. Крім того, через інтерфейси розширення також доступне підключення різноманітних за функціями дочірніх модулів: *Ethernet*, *Bluetooth*, *ZigBee*, *UART*, *RS485* тощо. Для зв'язку з оператором можна використати виведення інформації на родинно-кристалічний індикатор, одиничний багатоколірний, матричний та багаторозрядний світлодіодні індикатори, а також кнопки, джойстик, аналогові регулятори. Під час відлагодження програмного забезпечення також може бути задіяний опціональний *JTAG*-інтерфейс.

Виходячи з найважливішого із завдань, яке стояло перед прототипом пристрою, а саме – зв'язок із середовищем *Matlab*, був обраний послідовний інтерфейс зв'язку з персональним комп'ютером *UART*. Оскільки в стенді *LPC2148 Educational Board* розміщено IC міст-перетворювач *FTDI232L*, це дозволило за допомогою відносно простого програмного забезпечення для *UART* забезпечити підключення до персонального комп'ютера через поширений інтерфейс *USB*.

Візуалізація та оброблення біоелектричних сигналів. На персональному комп'ютері під час розроблення прототипу автономної системи аналіз сигналів найбільш доцільно робити у програмному середовищі, яке дозволяє дослідити якомога більше варіантів тракту попереднього оброблення з найменшими витратами часу на модернізацію апаратного забезпечення. На рис. 4 зображено базову *Simulink*-модель, яка дозволяє використовувати широкі можливості *Matlab* з метою визначення кінцевої структури системи та вимог до її програмного забезпечення.

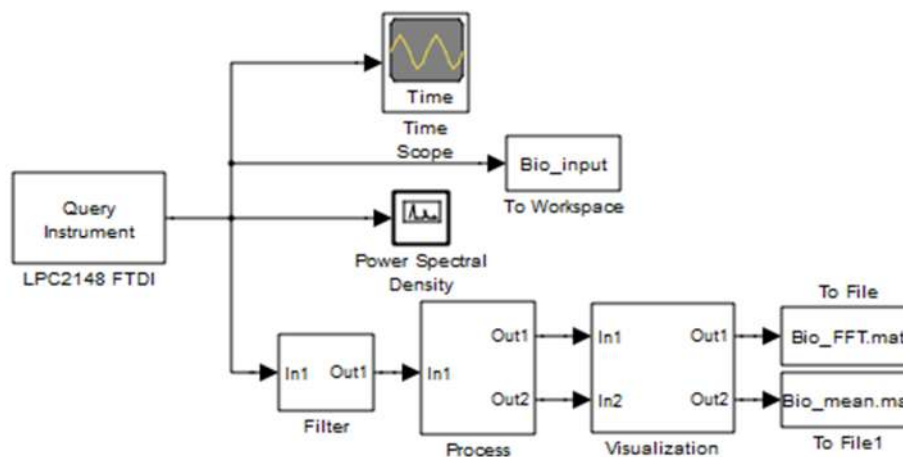


Рис. 4. Базова *Simulink*-модель пристрою оброблення біоелектричних сигналів

Блок *Query Instrument* конфігурує та відкриває інтерфейс з пристроєм комунікації і виконує запит даних. Конфігурування та відкриття реалізуються із запуском моделі, а запит даних від пристрою комунікації відбувається протягом усього часу роботи моделі. Блок має один вихідний порт відповідно до даних, які приймаються від пристрою і не має вхідних портів.

Блок *Time Scope* дозволяє у реальному часі спостерігати миттєві відліки сигналу, які надходять з послідовного порту, а блок *To Workspace* – тимчасово накопичувати ті ж цифрові значення у змінній робочого простору *Matlab* з іменем *Bio_input* для подальшого більш детального аналізу.

Блок *Power Spectral Density* у графічному вікні відбиває частотний вміст буфера. Це допомагає визначитися з основними характеристиками фільтра попереднього оброблення *Filter* та змінити їх залежно від поточного спектра сигналу.

Основне оброблення сигналу (швидке перетворення Фур'є, осереднення тощо) здійснюється за допомогою блока *Process*, вміст якого можна швидко корегувати під час здійснення експерименту. Основні результати оброблення біоелектричних сигналів відображаються за допомогою блока *Visualization*. Ті ж дані для наступного аналізу (в тому числі і віддаленого) зберігаються у файлах за допомогою блоків *To File*.

Висновки і пропозиції. Обґрунтовано структуру комплексу для дослідження біоелектричних сигналів у складі пристрою захвату на основі спеціалізованої IC *ADS1298*, пристрою комунікації на базі мікроконтролера *ARM* та персонального комп'ютера загального призначення. Досліджено топологію, виготовлено друковану плату та змонтовано пристрій дискретизації та квантування біоелектричних сигналів, масогабаритні показники якого дозволяють його автономне використання. Розроблено програму комунікації та *Simulink*-модель блока оброблення інформації, які дозволили забезпечити введення біоелектричних сигналів до персонального комп'ютера з метою подальшого їх аналізу безпосередньо у середовищі *Matlab*.

Список використаних джерел

1. *Sörnmo L.* Bioelectrical Signal Processing in Cardiac and Neurological Applications / L. Sörnmo, P. Laguna. – Elsevier, 2005. – 688 p.
2. *Petrenas A.* An Echo State Neural Network for QRST Cancellation During Atrial Fibrillation / A. Petrenas, V. Marozas, L. Sörnmo, A. Lukosevicius // IEEE Trans. on Biomedical Engineering. – 2012. – Vol. 59, Num. 10. – P. 2950–2955.
3. *Gil E.* Heart Rate Turbulence Analysis Based on Photoplethysmography / E. Gil, P. Laguna, J. P. Martínez, O. Barquero-Pérez, A. García-Alberola, L. Sörnmo // IEEE Trans. on Biomedical Engineering. – 2013. – Vol. 60, Num. 11. – P. 3149–3155.
4. *Sandberg F.* Prediction of Intradialytic Hypotension using PPG and ECG / F. Sandberg, R. Bailon, D. Hernando, P. Laguna, J. P. Martínez, K. Solem, L. Sörnmo // Computing in Cardiology. – 2013. – Vol. 40. – P. 1227–1230.
5. *Behjat H.* Statistical Parametric Mapping of Functional MRI Data Using Wavelets Adapted to the Cerebral Cortex / H. Behjat, N. Leonardi, D. Van De Ville // Proceedings of the 10th 2013 IEEE International Symposium on Biomedical Imaging: From Nano to Macro, San Francisco, CA, USA, April 7–11, 2013. – P. 1070–1073.
6. *Ветвицкий Е. В.* Цифровой комплекс для ЭЭГ исследований : дис. ... канд. техн. наук : спец. 05.11.17 / Е. В. Ветвицкий. – М., 2000. – 112 с.
7. *Ebersole J.* Current Practice of Clinical Electroencephalography / J. Ebersole, T. Pedley. – Lippincott Williams & Wilkins, 2003. – 974 p.
8. *Зенков Л. Р.* Клиническая электроэнцефалография (с элементами эпилептологии). Руководство для врачей / Л. Р. Зенков. – М. : МЕДпресс-информ, 2011. – 368 с.
9. *Жадин М. Н.* Биофизические основы формирования электроэнцефалограммы / М. Н. Жадин. – М. : Наука, 1984. – 198 с.
10. *Шагас Ч.* Вызванные потенциалы мозга в норме и патологии / Ч. Шагас. – М. : Мир, 1975. – 318 с.

11. Рутман Э. М. Вызванные потенциалы в психологии и психофизиологии / Э. М. Рутман. – М. : Наука, 1979. – 642 с.
12. Эберт Г.-Х. Простой анализ ЭКГ / Г.-Х. Эберт. – М. : Логосфера, 2010. – 283 с.
13. Коломиец С. Н. Введение в ЭКГ / С. Н. Коломиец. – Одесса : ОНМУ, 2012. – 84 с.
14. Николаев С. Г. Практикум по клинической электромиографии / С. Г. Николаев. – Ивано-ново : Государств. мед. академия, 2003. – 260 с.
15. ADS129x Low-Power, 8-Channel, 24-Bit Analog Front-End for Bio-potential Measurements (Rev. K). Texas Instruments production data SBAS459K. – 2010 (rev. August 2015).
16. LPC2148 Education Board. User's Guide. – Embedded Artists AB, 2007.

Войтенко Володимир Павлович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри промислової електроніки, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

Войтенко Владимир Павлович – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры промышленной электроники, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

Voitenko Volodymyr – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Industrial Electronics Department, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: volodymyr.voytenko@inel.stu.cn.ua

Федорова Оксана Олександрівна – студент магістратури, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

Федорова Оксана Александровна – студент магистратуры, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

Fedorova Oksana – student, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: sanafedorova@gmail.com

Єршов Роман Дмитрович – магістр комп'ютерної інженерії, асистент кафедри промислової електроніки, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

Ершов Роман Дмитриевич – магистр компьютерной инженерии, ассистент кафедры промышленной электроники, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

Yershov Roman – master in computer engineering, lecturer-assistant of Industrial Electronics Department, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: roman.d.yershov@gmail.com

УДК 004.75

Артем Волокита, Віталій Кондратюк

ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТІ МОДЕЛЮВАННЯ ХМАРНИХ СИСТЕМ З ВИКОРИСТАННЯМ КЛІТИННОГО АВТОМАТА

Артем Волокита, Віталій Кондратюк

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ОБЛАЧНЫХ СИСТЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КЛЕТОЧНОГО АВТОМАТА

Artem Volokyta, Vitalii Kondratiuk

RESEARCH OF THE POSSIBILITY OF SIMULATION OF THE CLOUD SYSTEMS WITH THE CELLULAR AUTOMATON

Показано реалізацію запропонованого алгоритму роботи клітинного автомата для моделювання навантажень на хмарні системи. Проведено експериментальні дослідження моделі, які показали можливість використання цього підходу для вирішення поставлених завдань. Запропоновано подальші модифікації розробленої моделі, а саме правил переходів між станами клітин, що імітують ресурси хмарної системи.

Ключові слова: моделювання, хмара, клітинний автомат, планування, ресурси.

Рис.: 5. Бібл.: 7.

Показано реализацию предложенного алгоритма работы клеточного автомата для моделирования нагрузки на облачные системы. Проведены экспериментальные исследования модели, которые показали возможность использования данного подхода для решения поставленных задач. Предложено дальнейшие модификации разработанной модели, а именно правил переходов между состояниями клеток, имитирующие ресурсы облачной системы.

Ключевые слова: моделирование, облако, клеточный автомат, планирование, ресурсы.

Рис.: 5. Библ.: 7.

This paper describes the implementation of the proposed algorithm of the cellular automata to simulate the load on the cloud system. The experimental researches of the model shows the possibility of using this approach for this task. In the paper is proposed the further modifications of the developed model, namely the new rules of transitions between states of cells that imitate the resources of the cloud system.

Key words: simulation, cloud system, cellular automaton, scheduling, resources.

Fig.: 5. Bibl.: 7.

Вступ. За останні кілька років у галузі інформаційних технологій отримала розвиток нова парадигма – хмарні обчислення. Хоча хмарні обчислення – це лише особливий спосіб надання обчислювальних ресурсів, а не нова технологія, але вони привели до революції в методах надання інформації та послуг [1]. Хмарні обчислення – це комплексне рішення, що засноване на інтернет-технологіях, в якому ресурси загального користування надаються користувачам у вигляді сервісу. Комп'ютери в хмарі налаштовані на спільну роботу, а різні додатки використовують сукупну обчислювальну потужність. Концепція хмарних обчислень заснована на впевненості в тому, що мережа Інтернет здатна задовольнити потреби користувачів в генеруванні та обробленні даних у широких діапазонах [2].

На сьогодні у процесі моделювання різних систем активно використовуються клітинні автомати. Клітинний автомат складається з регулярної решітки комірок (клітин), кожна з яких може знаходитись в одному з кінцевих станів, наприклад 0 або 1. Для кожної клітини визначено множину клітин, які є її сусідами. Для роботи клітинного автомата потрібно задати початковий стан всіх клітин і правила переходу з одного стану в інший. На кожній ітерації, використовуючи правила переходу та стан поточної клітини та її сусідів, визначається новий стан кожної клітини. Зазвичай правила переходу однакові для всіх клітин і застосовуються водночас до всієї решітки. Нині найбільш відомими правилами переходів клітинного автомата є: гра «Життя», правило 90, правило 110, автомат фон Неймана, автомат WireWorld [3].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Розглянемо деякі вже відомі на сьогодні системи моделювання хмарних обчислень.

Платформа CloudSim – це узагальнений і масштабований засіб моделювання, який дозволяє здійснювати повноцінне моделювання та симуляцію хмарних обчислювальних систем та інфраструктур. Ця платформа є розширенням базової функціональності платформи GridSim, забезпечуючи можливість моделювання сховища даних, веб-сервісів, розподіл ресурсів між віртуальними машинами [4]. Ядро CloudSim базується на движку SimJava, який підтримує такі базові функції, як використання черг під час оброблення подій, створення хмарних елементів (сервісів, вузлів, центрів оброблення даних, брокерів ресурсів і віртуальних машин), взаємодію між елементами системи й управління моделюванням. Під час розроблення моделі хмарного середовища користувачеві необхідно провести доопрацювання ключових компонентів для досягнення результатів, максимально наближених до реальних. Варто відзначити, що платформа CloudSim не має можливості внесення зміни в систему безпосередньо під час функціонування моделі, що накладає певні обмеження на можливості платформи.

Платформа CDOSim (Cloud Deployment Options Simulator) – це симулятор, основним завданням якого є оцінювання продуктивності хмарної обчислювальної системи або інфраструктури [4]. Платформа CDOSim призначена для порівняння різних варіантів розгортання хмарних систем та інфраструктур, що дозволяє оптимізувати використання доступних ресурсів і підвищити продуктивність хмарної обчислювальної системи. Платформа CDOSim дозволяє гнучко змінювати основні параметри розгортання хмарних систем та інфраструктур: стратегії резервування ресурсів системи, конфігурації екземплярів віртуальних машин, апаратні і програмні засоби, що використовуються для розробки обчислювальної системи, а також параметри мережі.

Платформа TeachCloud – це симулятор хмарних обчислювальних систем, який спеціально розроблений для навчання [4]. Платформа TeachCloud надає простий графічний інтерфейс і можливість змінювати конфігурацію та налаштування хмарної обчислювальної системи, а також проводити експерименти з можливими конфігураціями такої системи.

Платформа iCanCloud – це програмний симулятор великих мережевих сховищ даних. Платформа iCanCloud дозволяє максимально оптимізувати використання ресурсів конкретним додатком у конкретному обчислювальному середовищі. Платформа має повноцінний графічний інтерфейс, який дозволяє повністю спроектувати і виконати симуляцію хмарного сховища даних. Крім того, платформа iCanCloud дозволяє виконати розпаралелювання симуляції хмарної обчислювальної системи [4].

Мета статті. Головною метою цієї роботи є реалізація моделі хмарної системи, за допомогою якої можливо імітувати використання наявних ресурсів та темпи нарощування обчислювальних потужностей системи.

Планування ресурсів є критично важливим аспектом управління ресурсами хмарних обчислювальних систем. Відповідно, можливість моделювання різних підходів і алгоритмів планування ресурсів є необхідною функціональністю будь-якої системи моделювання розподілених обчислювальних систем [5].

Планування передбачає спільне використання ресурсів на декількох рівнях:

- апаратний рівень, тобто спільне використання сервера декількома віртуальними машинами;
- рівень віртуальних машин, тобто кожна віртуальна машина може використовуватися одночасно кількома додатками;
- прикладний рівень, тобто кожен додаток може виконувати декілька задач паралельно.

Основним завданням планувальника хмарної обчислювальної системи є збільшення пропускної спроможності системи, тобто збільшення кількості задач, обчислених за одиницю часу, і скорочення часу виконання кожного завдання. Існують різні підходи до планування ресурсів у хмарних обчислювальних системах. Найбільш поширеними є:

- централізоване планування;
- ієрархічне планування;
- розподілене планування.

Нині у процесі моделювання динамічних систем одним з можливих підходів є використання клітинних автоматів. Клітинний автомат є математичним об'єктом з дискретним простором і часом. Кожне положення у просторі представлено окремою клітиною, а кожен момент часу – дискретним тимчасовим кроком або поколінням. Стан кожної клітини визначається простими правилами взаємодії. Ці правила визначають зміни стану кожної клітини в наступному такті часу у відповідь на поточний стан сусідніх клітин [6].

Зважаючи на вищезазначене, можливо реалізувати модель хмарної системи за допомогою спеціально розробленого клітинного автомата, який імітує сервери, на яких розміщено хмари, що використовують певну кількість ресурсів для своїх обчислень. Клітини в цій моделі відповідатимуть ресурсам системи. Кількість необхідних ресурсів для кожної хмари буде моделюватися за допомогою потоку Ерланга.

Як результат – запропонована система моделювання дозволить досліджувати параметри навантаження на сервер на апаратному рівні з використанням розподіленого планування.

Виклад основного матеріалу. Згідно з класичними концепціями клітинний автомат повинен відповідати таким правилам:

– Зміни значень всіх клітинок відбуваються одночасно після обчислення нового стану кожної клітинки решітки. Інакше порядок перебору клітин решітки під час проходження ітеративного процесу суттєво впливав би на результат.

– Решітка однорідна. Неможливо відрізнити два місця на решітці по ландшафту.

– Взаємодії локальні. Лише околишні клітинки (як правило, сусідні) здатні вплинути на дану клітинку.

– Множина станів клітинки кінцева. Ця умова потрібна, щоб для отримання нового значення стану клітини потрібно було виконати кінцеву кількість операцій.

У цій статті запропоновано реалізація двовимірного клітинного автомата на умовно нескінченній площині. Тобто в цьому випадку кінці площини з'єднані між собою, утворюючи поверхню геометричної фігури тор [7]. Такий клітинний автомат працює за такими правилами:

– Кількість ресурсів, які необхідні для обчислень конкретної хмари, генерується за допомогою потоку Ерланга третього порядку.

– Клітини додаються до хмари, якщо число, яке згенеровано за допомогою потоку Ерланга, більше ніж поточний розмір хмари, інакше клітини будуть видалятися з хмари.

– За одну ітерацію розмір хмари може змінитись не більше ніж на 30 % від поточного розміру.

– Мінімальний розмір хмари – одна клітина. Кожна клітина являє собою одну одиницю ресурсу, який необхідний для виконання обчислень певною хмарою.

Для проведення експериментальних досліджень запропонованої моделі хмарної системи реалізовано програмне забезпечення для імітації навантаження на хмарні ресурси. На плоскій поверхні розміщені клітинки, що позначають відповідні ресурси, які хмари використовують для своєї роботи. Вважається, що кожна клітина має вагу – одиниця. На замкнутому полі розміщено п'ять хмар, які мають різний колір та різні початкові стани. На кожній ітерації генерується число за допомогою потоку Ерланга, яке означає кількість ресурсів, що потребує окремо взята хмара для своєї роботи.

Якщо число, яке згенеровано, є більшим ніж поточний розмір хмари, то визначається кількість ресурсів, які необхідно додати, тобто обраховується різниця між згенерованим числом і поточним розміром хмари. Кожна хмара намагається зайняти в першу чергу ресурси, які є вільними, тобто пусті клітини, що межують з нею. В моделюванні клітинного автомата використовується околиця Мура, тобто розглядається вісім сусідніх клітин.

Якщо навколо цієї хмари немає вільних ресурсів, або цих ресурсів недостатньо, хмара може робити запит на надання їй необхідних ресурсів до сусідніх хмар. Для цього кожна хмара повинна зберігати в пам'яті кількість ресурсів, які вона використовувала на кожній ітерації. Таким чином, існує зв'язок з попередніми станами хмари. Тобто, наприклад, якщо робиться запит до однієї з хмар на надання 5 одиниць ресурсу, її поточний розмір становить 20, а в середньому їй для роботи необхідно 15, то вона може віддати 5 одиниць ресурсу. Інакше запит буде відхилений. Але ця задача потребує додаткових досліджень, які, можливо, повинні бути засновані на засобах штучного інтелекту.

Якщо згенероване число є меншим ніж поточний розмір хмари, то визначається кількість ресурсів, які необхідно звільнити. Модель дозволяє простежити поведінку кожної конкретної хмари, визначити її параметри. Експерименти показують, як зміна параметрів впливає на поведінку і продуктивність системи.

У змодельованій хмарній системі заявки на ресурси генеруються потоком Ерланга третього порядку з інтенсивністю $\lambda=1,1$. На рисунках 1–2 зображено початковий стан, п'яту та п'ятнадцяту ітерації відповідно.

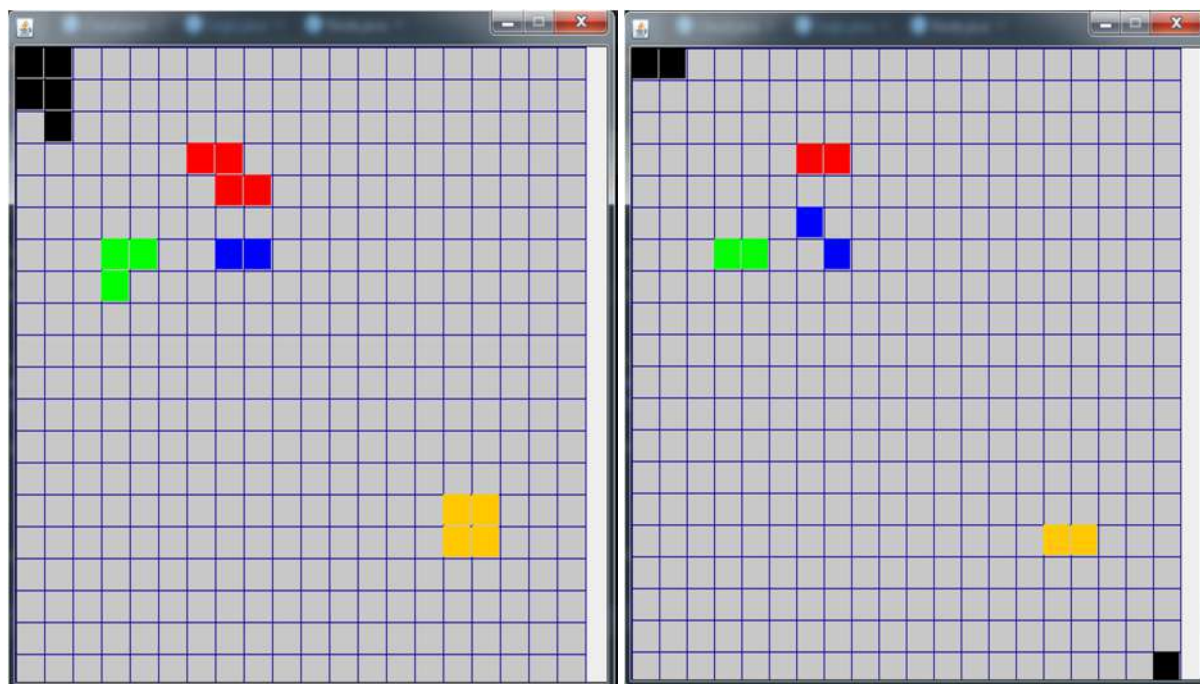


Рис. 1. Початковий стан та п'ята ітерація моделювання ($k=3, \lambda=1,1$)

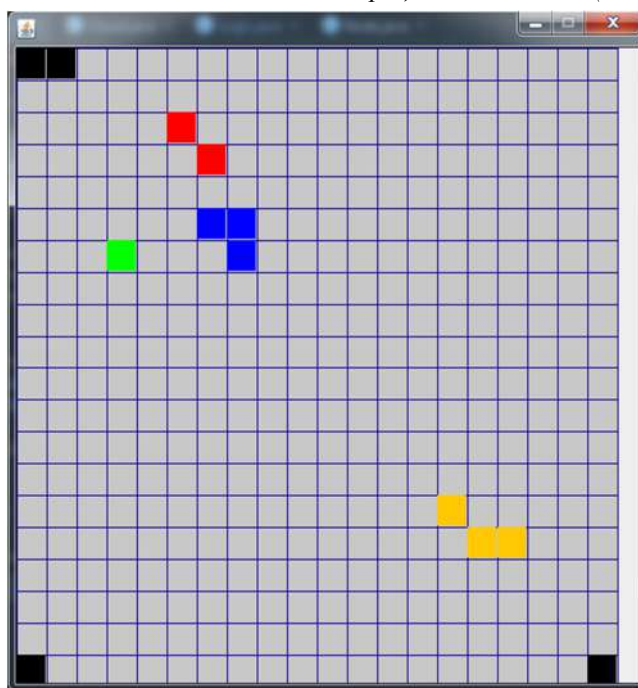


Рис. 2. П'ятнадцята ітерація моделювання ($k=3, \lambda=1,1$)

З наведених вище рисунків видно, що за таких початкових умов (генерація заявок на ресурси при параметрах $k=3$ та $\lambda=1,1$), навантаження на хмарну систему є незначним, і доволі багато ресурсів є вільними. Змоделюємо систему з параметрами $k=3$ та $\lambda=0,5$. Результати моделювання зображені на рис. 3. На рис. 3 зображені лише результати для 5 та 15 ітерацій, оскільки початковий стан той самий, що і в попередньому моделюванні.

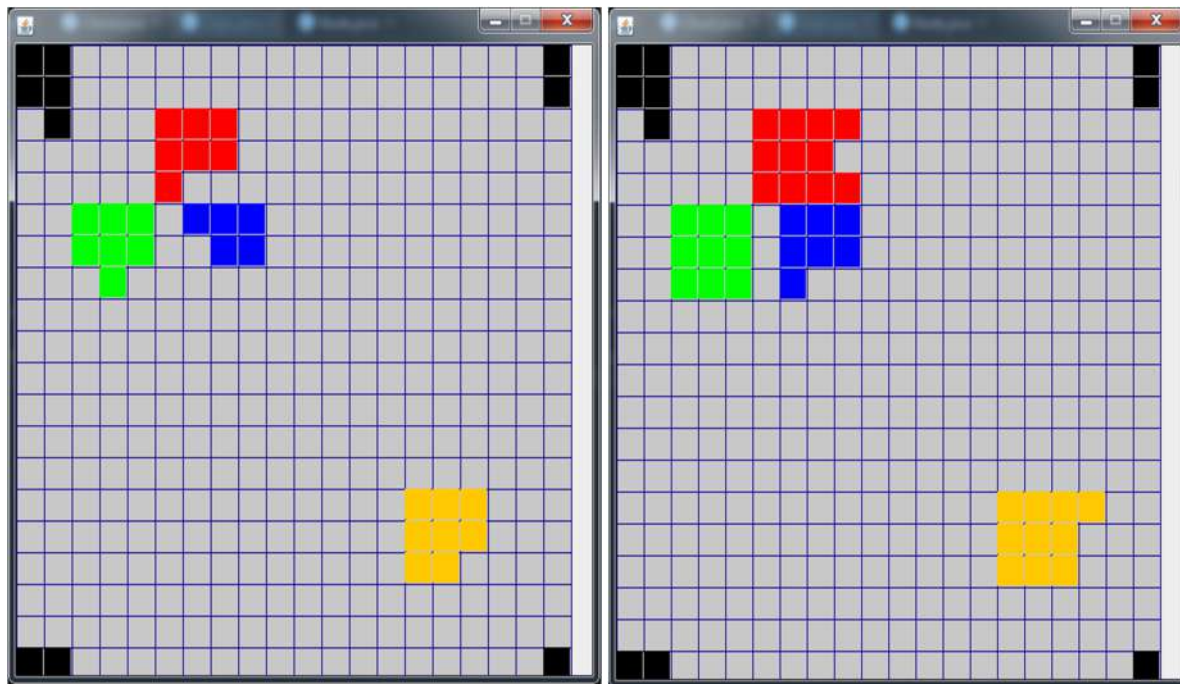


Рис. 3. П'ята та п'ятнадцята ітерації моделювання ($k=3$, $\lambda=0,5$)

У разі зменшення параметра λ навантаження на сервер зростає, оскільки хмари починають займати все більше ресурсів. При цьому кількість ресурсів, які використовуються після 5 ітерації, практично не змінюється.

Нижче наведені графіки залежності кількості ресурсів від інтенсивності потоку (λ) для кожної хмари на десятій ітерації (рис. 4).

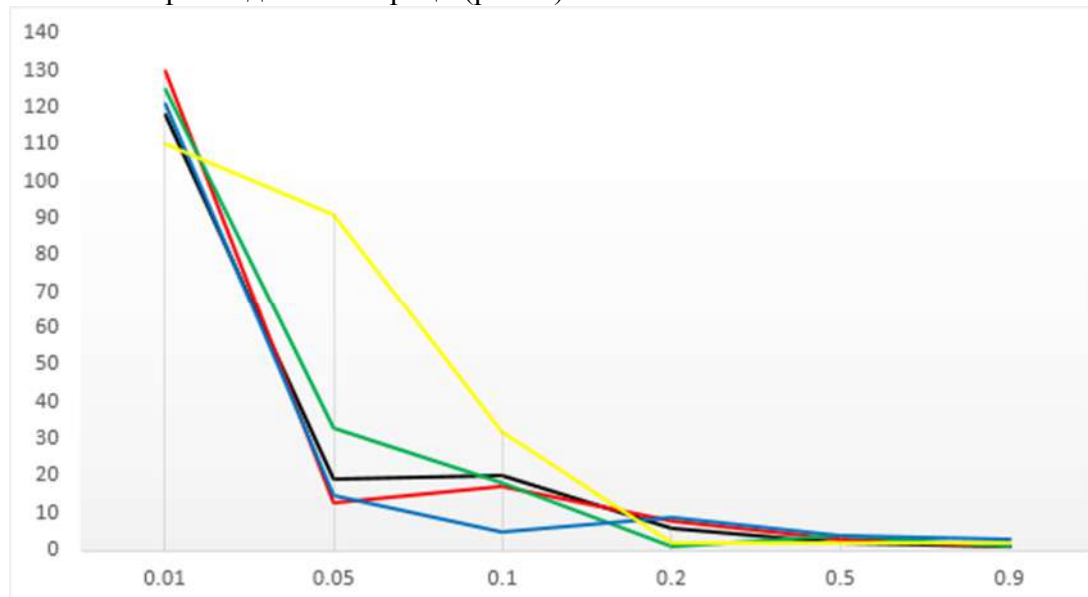


Рис. 4. Графік залежності кількості ресурсів від інтенсивності потоку

Як видно з результатів, що зображені на наведених вище графіках, у випадку збільшення параметра λ кількість ресурсів, які вимагає система для своєї роботи, зменшується (чим більша інтенсивність, тим менші числа генерує потік), а коли λ стає більшим за 0,5, то генеровані числа практично не змінюються для кожної хмари і прямують до нуля.

Наприклад, проведемо моделювання при доволі низькому значенні λ , що дорівнює 0,01. Результати для 5 і 15 ітерацій відповідно зображені на рис. 5.

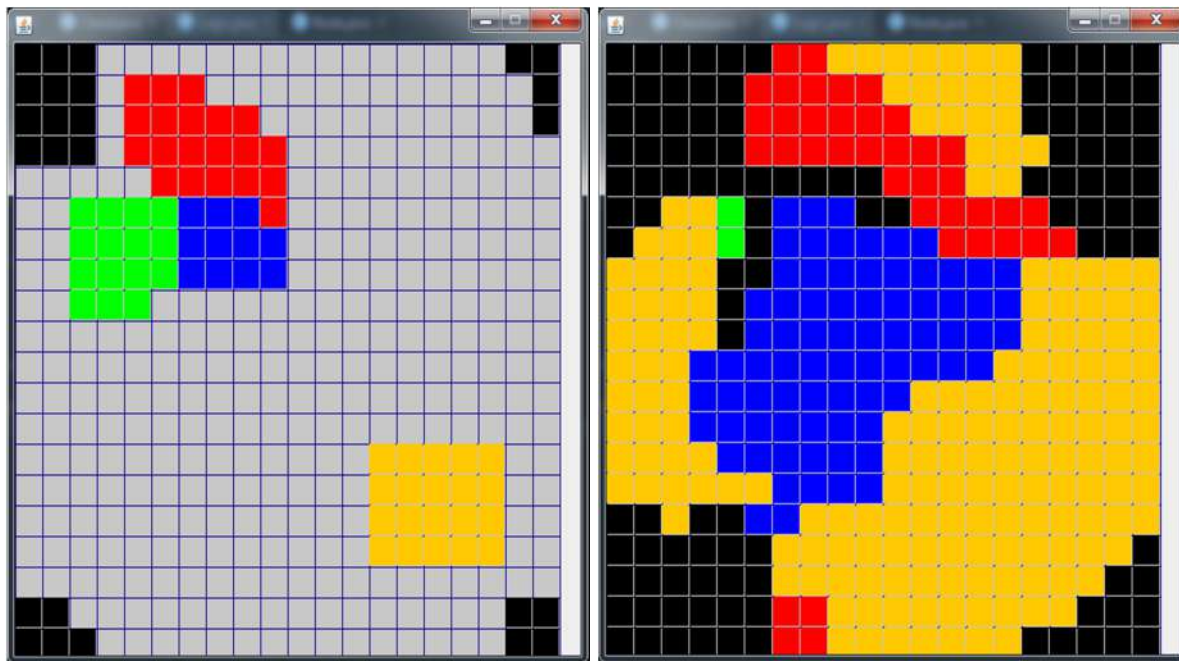


Рис. 5. П'ята та п'ятнадцята ітерації моделювання ($\lambda=0,01$)

Як видно з рис. 5, максимальне навантаження на систему починається вже після 15 ітерацій, хмари для оптимальної роботи повинні робити запити до хмар сусідів на надання їм необхідних ресурсів. Також доцільно сказати про те, що в такому випадку заплановано доволі високу різницю в кількості ресурсів, що потребують різні хмари, тому є суттєві відмінності між розміром хмари зеленого кольору та іншими.

Дані дослідження показали теоретичну можливість використання клітинного автомата для моделювання хмарних систем, особливо у випадках збільшення потреб у ресурсах чи кількості хмар при обмежених апаратних засобах.

Висновки і пропозиції. У роботі запропоновано використання клітинного автомата для імітації навантаження на хмарну систему. Розроблено програмне забезпечення для моделювання зміни розміру хмар при різних кількостях і параметрах завдань користувачів.

Показано, що використання запропонованого клітинного автомата (правил переходів між станами клітин) для моделювання навантаження на хмарну систему дозволяє аналізувати доцільність збільшення/зменшення кількості ресурсів, які необхідні для обчислень, наприклад, в умовах зміни кількості користувачів.

Реалізована модель є перспективною для подальших модифікацій. Одним із можливих нововведень є створення моделей хмар, які зможуть обмінюватись ресурсами, навіть якщо вони не є сусідніми хмарами. Також у кожній хмарі можливо реалізувати баланс запозичених ресурсів, і коли баланс доходить до критичної межі, ресурси хмари поглинаються її кредиторами. Такі зміни відкривають шляхи для більш гнучкого та глибокого аналізу модельованої системи.

Список використаних джерел

1. Жевренчук Д. В. Методика моделирования нагрузки на сервер в открытых системах облачных вычислений / Д. В. Жевренчук, А. В. Николаев // Информатика и её применения. – 2012. – Т. 6, вып. 2. – С. 43–45.
2. Willinger W., Taqqu M. S., Erramilli A. A. Bibliographical guide to self-similar traffic and performance modeling for modern high-speed networks // Stochastic networks: Theory and applications. – Oxford University Press, 1996. – P. 282–296.
3. Аноприенко А. Я. Особенности аппаратной реализации обобщенного клеточного тетраавтомата / А. Я. Аноприенко, Е. Е. Федоров, С. В. Иваница // Технологический аудит и резервы производства. – 2015. – № 3 (21). – Т. 1. – С. 68–72.

4. Михайлов П. А. Методы моделирования и оценки производительности облачных систем / П. А. Михайлов, Г. И. Радченко // Вычислительная математика и разработка программного обеспечения. – 2014. – № 3, ч. 3. – С. 109–123.

5. Волокита А. М. Використання алгоритму поведінки бактерій для моделювання навантаження на клієнт-серверну мережу / А. М. Волокита, А. В. Каплунов, А. Г. Лупинос // Технічні науки та технології. – 2015. – № 1. – С. 80–85.

6. Адамацкий А. И. Сложность последовательной реализации клеточно-автоматных отображений / А. И. Адамацкий // Автоматика и телемеханика. – 2014. – Т. 3. – С. 149–160.

7. Астафьев Г. Б. Клеточные автоматы : учебно-методическое пособие / Г. Б. Астафьев, А. А. Корновский, А. Е. Храмов. – Саратов, 2003. – 24 с.

Волокита Артем Миколайович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри обчислювальної техніки НТУУ «КПІ» (просп. Перемоги, 37, корпус 18, м. Київ, 03056, Україна).

Волокита Артем Николаевич – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры вычислительной техники НТУУ «КПИ» (просп. Победы, 37, корпус 18, г. Киев, 03056, Украина).

Volokyta Artem – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of Department of Computer Engineering NTUU “KPI” (37 Peremohy Av., build 18, 03056 Kyiv, Ukraine).

E-mail: artem.volokita@kpi.ua

Кондратюк Віталій Юрійович – студент, кафедра обчислювальної техніки НТУУ «КПІ» (просп. Перемоги, 37, корпус 18, м. Київ, 03056, Україна).

Кондратюк Виталий Юрьевич – студент, кафедра вычислительной техники НТУУ «КПИ» (просп. Победы, 37, корпус 18, г. Киев, 03056, Украина).

Kondratiuk Vitalii – student, Department of Computer Engineering NTUU “KPI” (37 Peremohy Av., build 18, 03056 Kyiv, Ukraine).

E-mail: vitaliy.kondratiuk.1994@gmail.com

УДК 502.55

Ігор Корнієнко, Світлана Корнієнко, Артем Кошма

РОЗРОБЛЕННЯ МОДЕЛІ МЕРЕЖІ РОЗДІЛЬНОГО ЗБИРАННЯ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ

Игорь Корниенко, Светлана Корниенко, Артём Кошма

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ СЕТИ РАЗДЕЛЬНОГО СБОРА ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ

Ihor Korniienko, Svitlana Korniienko, Artem Koshma

DEVELOPMENT OF A NETWORK'S MODEL OF SEPARATE COLLECTION OF SOLID WASTE

Розглянуто проблему збирання твердих побутових відходів. На основі виконаних раніше досліджень запропоновано аналітичну модель оцінювання параметрів мережі роздільного збирання твердих побутових відходів. Кінцевим призначенням пропонованої моделі є оптимізація просторової структури мережі роздільного збирання відходів.

Ключові слова: тверді побутові відходи, аналітична модель, система масового обслуговування.

Рис.: 3. Бібл.: 7.

Рассмотрена проблема сбора твердых бытовых отходов. На основе выполненных ранее исследований предложена аналитическая модель оценки параметров сети раздельного сбора твердых бытовых отходов. Конечным назначением предлагаемой модели является оптимизация пространственной структуры сети раздельного сбора отходов.

Ключевые слова: твердые бытовые отходы, аналитическая модель, система массового обслуживания.

Рис.: 3. Библ.: 7.

I have reviewed the collection of solid waste issue. Based on the earlier investigations the analytic model of evaluation of the parameters of network setting of separate collection of solid waste has been proposed. The ultimate purpose of the proposed model is the optimization of the spatial structure of the network of separate waste collection.

Key words: municipal solid waste, analytical model, a queuing system.

Fig.: 3. Bibl.: 7.

Постановка проблеми. У більшості міст розвинених країн впроваджена система роздільного збору твердих побутових відходів (ТПВ), у якій зібране сміття одержує вторинну переробку й використання у виробництві. Налагодження подібної системи в нашій країні потребує перегляду підходу до формування системи первинного збирання

побутових відходів, що пов'язано із забезпеченням суворих екологічних вимог, технічних можливостей збирання сміття і, основне, забезпечення рентабельних обсягів зібраних груп сміття.

Наявна структура системи збирання побутових відходів, обґрунтованість місць розташування контейнерних майданчиків, точок збору відходів, на думку авторів, недосконала та не забезпечує достатнього рівня захисту екологічної безпеки, не відповідає санітарному стану територій і не дозволяє побудувати ефективну систему збирання ТПВ.

Побудова ефективної системи збирання ТПВ лежить у площині геоінформаційного синтезу оптимальної структури цієї системи, пов'язаної з інфраструктурою міста й багатьма просторовими та статистичними параметрами. Моделювання проявів і впливів цих параметрів на систему дозволить визначити оптимальну (раціональну) просторову конфігурацію та характеристики мережі збирання ТПВ міста.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питання запровадження в Україні системи роздільного збору твердих побутових відходів розглядаються в [1–3], етапи комплексного розв'язування задачі побудови просторової структури мережі роздільного збирання твердих побутових відходів відображено у статті [4], питання дослідження системи логістики розглянуті у статті [5], моделювання на розташування контейнерних майданчиків відображені у [6].

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. Завдяки системі роздільного збирання твердих побутових відходів з'являється можливість ефективно вилучати вторинну сировину з потоку твердих побутових відходів. Рентабельність подібної системи ґрунтується на обсягах зібраного сміття та витратах на його збір. Така постановка проблеми відносить задачу формування просторової структури мережі роздільного збирання ТПВ до класу оптимізаційних задач. Математичною основою знаходження оптимального рішення має бути модель мережі збирання ТПВ, яка адекватно описує процеси, що відбуваються в системі, чутлива до проявів зовнішніх факторів, характеризує ефективність функціонування системи та інтегрується в геоінформаційне середовище.

Мета статті. Головною метою цієї роботи є розроблення математичної моделі мережі роздільного збирання ТПВ.

Виклад основного матеріалу. Мережа роздільного збирання ТПВ уже розглядалася авторами раніше [1] та являє собою трьохланкову ієрархічну структуру, для аналізу функціонування якої (а також для подальшої оптимізації) можна використати систему масового обслуговування (СМО). Представимо схему, що наведена у [1], у більш детальному вигляді (рис. 1).

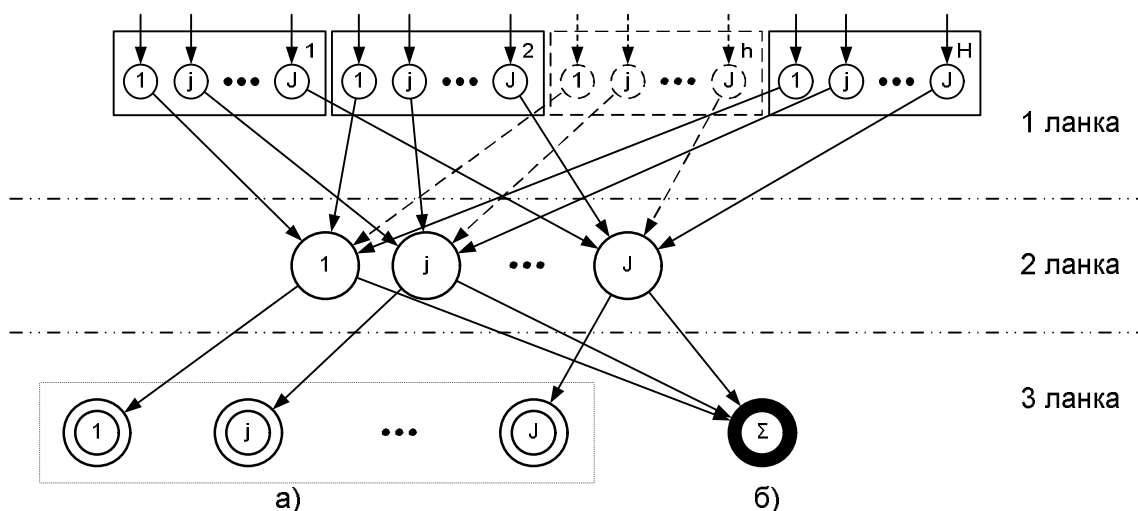


Рис. 1. Схема мережі роздільного збирання ТПВ

Система включає такі елементи: перша ланка містить множину майданчиків H для збирання ТПВ, що мають власне просторове розташування. Кожний з майданчиків має J контейнерів, кількість яких визначається кількістю груп ТПВ (залежно від умов та можливостей вторинної переробки весь обсяг ТПВ поділяється на J класів за типом сміття; в європейській практиці від 3 до 5). В кожний j -тий контейнер надходить «заявка» – порція сміття j -го типу певного об'єму (обсягу, маси). Друга ланка представлена засобами вивезення різних груп ТПВ, причому окрему j -ту групу ТПВ вивозить окремий транспорт. Вивезення сміття в кінцеві пункти (третья ланка) можливе за двома варіантами: а) сміття по j -тих групах концентрується по відповідних центрах збирання ТПВ; б) сміття по всіх групах концентрується на пункті вторинного сортування.

Зазначимо основні характеристики СМО ТПВ, що представляють її структуру:

- кількість пристроїв (каналів) обслуговування (перша ланка – $J \cdot H$; друга ланка – кількість маршрутів транспорту J груп);
- об'єм контейнерних баків V_j j -го типу (еквівалентно кількості місць очікування або максимальної довжини черги в традиційній СМО);
- доступність – характеристика віддаленості h -тих контейнерних майданчиків від під'їздів житлових будинків (визначає загальну кількість контейнерних майданчиків та інтенсивність наповнення контейнерів);
- взаємне з'єднання – характеристика конфігурації СМО (визначає інтенсивність обслуговування контейнерних майданчиків та маршрути вивезення і доставки ТПВ у кінцеві пункти утилізації та переробки).

Структурні характеристики СМО ТПВ частково визначають процедури обслуговування потоку заявок v_j , а саме:

- у випадку, коли $V_j \leq \sum v_j$, тобто контейнер повністю заповнений і вивезення j -го сміття не відбулося, наступна заявка отримує відмову в обслуговуванні (в реаліях викинута поруч або в інший контейнер), тобто представляючи, що контейнер є накопичувачем заявок, то така система класифікується як СМО з очікуванням з обмеженою чергою;
- структура СМО є змішаного типу. При цьому заявки на вході в систему можуть надходити лише в один канал, тобто v_j -та заявка може надходити лише в j -тий приймальний пристрій (контейнер) тільки конкретного h -го майданчика. Очевидно, що цю v_j -ту заявку при наповненості контейнера ніхто не буде нести до наступного $h+1$ майданчика. Проте подальша процедура обслуговування (2 ланки) є багатоканальною з $H \cdot J$ каналами.

Для подальшого аналізу системи збирання ТПВ з використанням апарата СМО необхідно визначити конкретний тип СМО, для чого, в свою чергу, необхідно визначити тип потоку заявок та потоку обслуговування. Для цього виконаємо аналіз вихідних просторових даних.

Існує множина житлових будинків N , $n_i = \overline{1, N}$, кожен з яких має індивідуальні атрибути $n_i = [XYZ_i, m_i]$, де XYZ_i – просторовий опис будинку, представлений полігоном; m_i – кількість під'їздів будинку, які мають атрибути $m_i = [xyz_i^m, l_i^m]$, xyz_i^m – координати під'їзду (представлені точкою, яка належить сегменту полігона XYZ_i); l_i^m – множина квартир m_i під'їзду. В кожній l_i^m квартирі накопичуються ТПВ, причому об'єм (обсяг, маса) ТПВ, кількість мешканців квартири та їх особисті прагнення до роздільного збирання є випадковою величиною. Інтенсивність потоку заявок λ_j та інтен-

сивність обслуговування контейнерів μ_j є параметрами, що визначають стан системи в будь-який конкретний момент часу t . Перетворимо схему СМО ТПВ (рис. 1) до вигляду, зручного для подальшого аналізу (рис. 2).

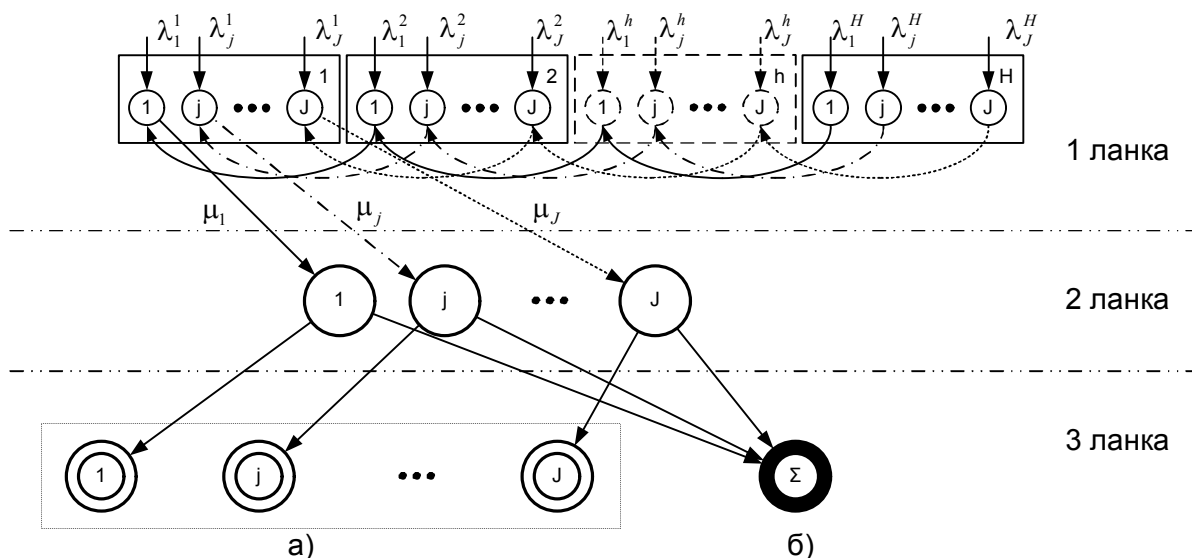


Рис. 2. Схема СМО ТПВ

Позначимо об'єм усіх ТПВ, що накопичуються у l_i^m , через v^j . Відповідно $v^j = \sum_{j=1}^J v_j^j$, $j = \overline{1, J}$. Очевидно, що інтенсивність накопичення v_j^j є випадковою величиною. У випадку позитивного ставлення мешканців l_i^m квартири до роздільного збирання інтенсивність роздільного збирання (винесення до контейнера; одиничну дію в подальшому будемо називати ітерацією) становитиме $\lambda_j^l = 1/\Delta t_j^l$, де Δt_j^l – часовий інтервал накопичення відходів у l_i^m .

Природно вважати, що Δt_j^l (як часовий інтервал між винесенням мешканцями сміття) матиме вигляд експоненціально розподіленої випадкової величини, для якої функція та щільність розподілу мають вигляд відповідно:

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda t};$$

$$f(t) = \begin{cases} 0, & \text{при } -\infty < t < 0; \\ \lambda e^{-\lambda t}, & \text{при } 0 \leq t < +\infty, \end{cases}$$

де λ – інтенсивність потоку (в нашому випадку $\lambda = \lambda_j^l$).

Для такого потоку імовірність k ітерацій за інтервал ΔT визначається законом Пуассона:

$$P_k(\Delta T) = \frac{(\lambda \Delta T)^k}{k!} e^{-\lambda \Delta T}; \quad k = 0, 1, \dots$$

Властивостями пуассонівського потоку є стаціонарність, ординарність та відсутність післядії (сума довільних незалежних (без переваг) потоків з інтенсивністю λ також є пуассонівським потоком з інтенсивністю $\Lambda = \sum \lambda$). Тоді інтенсивність потоку

сміття у контейнер від множини мешканців l_i^m становитиме $\Lambda_j^\Sigma = \sum_{i=1}^m \lambda_j^i$. Відповідно загальна інтенсивність накопичення сміття j -ї групи у контейнері майданчика h :

$$\Lambda_j^h = \sum_{l=1}^L \Lambda_j^l, \quad (1)$$

а всіх j -тих контейнерах H майданчиків дорівнює сумі h індивідуальних потоків з інтенсивностями λ_j^h , тобто $\Lambda_j^H = \sum_{h=1}^H \Lambda_j^h$. Швидкість накопичення сміття у контейнері $S_j^h = \Lambda_j^h \bar{v}_j$, де \bar{v}_j – середній об'єм (математичне очікування) накопичення сміття j -го в окремо взятій квартирі.

Задача, яка стоїть перед транспортною підсистемою (ланка 2), – це своєчасне вивезення сміття (вивезення в певний інтервал часу). Рішення про час вивезення має прийматися за певних об'єктивних вимог:

- по-перше – недопущення переповнення контейнерів (втрати заявок);
- по-друге – уникнення «холостих ходок», коли контейнер не є заповненим;
- по-третє – неперевищення часу накопичення і збирання конкретного типу сміття, обумовленого вимогами санепідемстанції.

Отже, запишемо систему вимог для часу вивезення:

$$\Theta(t_j^o) = \begin{cases} V_j^{norm} \leq V_j < V_j^{max} \\ t_j^o - t_j^{o-1} \leq t_j^{max} \end{cases}, \quad (2)$$

де $\Theta(t_j^o)$ – рішення на виконання обслуговування контейнера;

V_j^{norm} – нормальний (достатній) рівень наповненості контейнера;

V_j – фактична наповненість контейнера;

V_j^{max} – максимальна наповненість контейнера;

t_j^o – дійсний час обслуговування контейнера;

t_j^{o-1} – час попереднього обслуговування контейнера;

t_j^{max} – максимально допустимий нормативний час простою контейнера з моменту t_j^{o-1} .

Припустимо, що нам відома інтенсивність накопичення всіх H контейнерів j -того типу ТПВ. Тоді, відповідно до вимог (2), можливе налагодження таких систем обслуговування контейнерів:

1. $(V_j^1 = V_j^2 = \dots = V_j^h = \dots = V_j^H) \wedge (\lambda_j^1 = \lambda_j^2 = \dots = \lambda_j^h = \dots = \lambda_j^H = const)$; за цих умов система обслуговування контейнерів є статичною, інтенсивність наповнення контейнерів є константою, одного разу визначений оптимальний маршрут є постійний у подальшому обслуговуванні контейнерів;

2. $\left[(V_j^1 = V_j^2 = \dots = V_j^h = \dots = V_j^H) \wedge (\lambda_j^1 \neq \lambda_j^2 \neq \dots \neq \lambda_j^h \neq \dots \neq \lambda_j^H) \wedge (\lambda_j^1, \lambda_j^2, \dots, \lambda_j^H = const) \right] \vee$
 $\vee \left[(V_j^1 \neq V_j^2 \neq \dots \neq V_j^h \neq \dots \neq V_j^H) \wedge (\lambda_j^1 \neq \lambda_j^2 \neq \dots \neq \lambda_j^h \neq \dots \neq \lambda_j^H) \wedge (\lambda_j^1, \lambda_j^2, \dots, \lambda_j^H = const) \right]$;

за таких умов та дотримання вимоги (2) необхідне налагодження системи зі змінними у часі маршрутами, які встановлюються за відповідними швидкостями наповнення контейнерів. Слід зазначити, що вимога $V_j^{norm} \leq V_j < V_j^{max}$ дає певний резерв у випадку ви-

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

падкових відхилень інтенсивності потоків заявок від постійної величини. Очевидно, що такі умови є природними – однакові за об'ємом контейнери та різні інтенсивності;

$$3. \left[(V_j^1 = V_j^2 = \dots = V_j^h = \dots = V_j^H) \wedge (\lambda_j^1 \neq \lambda_j^2 \neq \dots \neq \lambda_j^h \neq \dots \neq \lambda_j^H) \wedge (\lambda_j^1, \lambda_j^2, \dots, \lambda_j^H \neq const) \right] \vee \\ \vee \left[(V_j^1 \neq V_j^2 \neq \dots \neq V_j^h \neq \dots \neq V_j^H) \wedge (\lambda_j^1 \neq \lambda_j^2 \neq \dots \neq \lambda_j^h \neq \dots \neq \lambda_j^H) \wedge (\lambda_j^1, \lambda_j^2, \dots, \lambda_j^H \neq const) \right];$$

такий варіант є найгірший, що обумовлює необхідність каналів зворотного зв'язку для сигналізації про наповненість контейнерів, або достатньо надійних законів розподілу кожної λ_j^h . Також зрозуміло, що виконання вимог (2) передбачає наявність системи змінних маршрутів.

На нашу думку, другий варіант обслуговування контейнерів заслуговує окремої уваги та найкращим чином підходить для опису функціонування системи вивезення ТПВ. З урахуванням постійної (близької до постійної) інтенсивності надходження заявок, а відповідно й інтенсивності наповнення контейнерів, слід очікувати, що h контейнер буде наповнюватись через приблизно однакові інтервали часу, та, відповідно, обслуговування системи також має здійснюватись через рівні інтервали часу. В цьому випадку маємо фіксований (детермінований) інтервал обслуговування. Проте в теорії масового обслуговування показано, що значення критерії ефективності СМО порівняно мало залежить від закону розподілу часу обслуговування.

Таким чином, відповідно до класифікації Д. Кендалла, СМО ТПВ має позначення $(M/D/H \cdot J):(GD/V_j/\infty)$ – СМО з пуассонівським вхідним потоком, фіксованим часом обслуговування, $H \times J$ паралельними каналами, дисципліна черги не регламентована, черга в j контейнері не може вмістити обсяг більше V_j , джерело заявок нескінченної ємності.

Визначимо показники ефективності СМО ТПВ:

V_Q – середній об'єм (обсяг, маса) ТПВ (середнє число заявок у традиційній СМО), що обслуговується системою за час T (абсолютна пропускна здатність);

C_Q – витрати на обслуговування системи, що забезпечує абсолютну пропускну здатність V_Q ;

V_q – відношення середнього об'єму вивезених ТПВ до середнього об'єму ТПВ, що надійшло в систему (відносна пропускна здатність);

m_j – довжина черги (кількість порцій ТПВ середнього об'єму \bar{v}_j у контейнері);

\bar{t}_μ – середній час обслуговування заявки;

ρ – наведена інтенсивність потоку, $\rho = \frac{\lambda}{\mu}$;

P_{serv} – імовірність того, що заявка буде обслугована;

P_{fail} – імовірність того, що заявка отримає відмову;

C_V – питомі витрати на вивезення ТПВ, $C_V = \frac{C_Q}{V_Q}$;

V_C – собівартість вивезення ТПВ, $V_C = \frac{V_Q}{C_Q}$.

Зазначимо основні співвідношення між показниками ефективності СМО.

Максимальна довжина черги:

$$m_j^{\max} = \frac{V_j^{\max}}{\bar{v}_j},$$

де \bar{v}_j – середнє значення об'єму порції ТПВ.

Мінімальна довжина черги, за якої можна обслуговувати контейнер:

$$m_j^{\text{norm}} = \frac{V_j^{\text{norm}}}{\bar{v}_j}.$$

Визначимо величину інтенсивності потоку обслуговування системи. Особливістю СМО ТПВ є групове обслуговування вхідних заявок, які накопичуються у черзі (контейнері, буфері). Зобразимо цей процес ланцюгом Маркова (рис. 3).

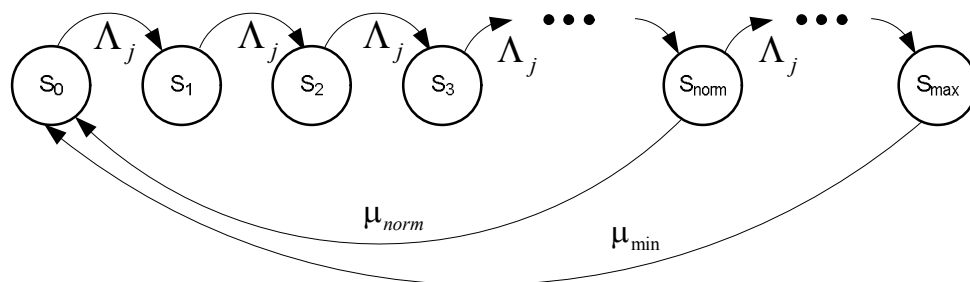


Рис. 3. Схема зображення процесу обслуговування заявки

Стани систем S_0, S_1, S_2, \dots – характеризують процес наповнення черги (контейнера) порціями \bar{v}_j . Сумарна інтенсивність вхідного потоку відповідно – Λ_j . Обслуговування вхідних заявок здійснюється не раніше моменту, коли система набуває стану S_{norm} , до моменту, коли система набуває стану S_{max} , відповідно до умови (2). Характерним є те, що стан S_{norm} відповідає довжині черги в системі m_j^{norm} , а стан S_{max} довжині черги m_j^{\max} . Неважко побачити, що мінімально допустима інтенсивність обслуговування СМО ТПВ становитиме:

$$\mu_{\min} = \frac{\Lambda_j}{m_j^{\max}}.$$

При цьому допустимою можна вважати інтенсивність обслуговування СМО, яка знаходиться в інтервалі $\mu_{\min} \leq \mu < \mu_{\text{norm}}$, де $\mu_{\text{norm}} = \frac{\Lambda_j}{m_j^{\text{norm}}}$.

Визначимо ймовірність того, що заявка отримає відмову [7]:

$$P_{\text{fail}} = \frac{\Lambda_j}{\mu_{\min}} P_0,$$

де P_0 – імовірність того, що СМО знаходиться у стані S_0 (контейнер повністю порожній), $P_0 = \frac{1}{1 + \Lambda_j^{01} \left(\frac{1}{\Lambda_j^{12}} + \frac{1}{\Lambda_j^{23}} + \frac{1}{\Lambda_j^{34}} + \dots + \frac{1}{\Lambda_j^{\text{max}-1, \text{max}}} + \frac{1}{\Lambda_j^{\text{max}, 0}} \right)} = \frac{1}{1 + \Lambda_j \left(\frac{m_j^{\max}}{\Lambda_j} + \frac{1}{\mu_{\min}} \right)}$,

де $\Lambda_j^{01}, \Lambda_j^{12}, \dots, \Lambda_j^{\text{max}-1, \text{max}}$ – інтенсивність переходу станів СМО; $\Lambda_j^{\text{max}, 0} = \mu_{\min}$.

Імовірність того, що заявка буде обслугована $P_{\text{serv}} = 1 - P_{\text{fail}}$.

Середній час обслуговування заявки за умови стаціонарності μ :

$$\bar{t}_{\mu} = \frac{4}{\mu_{\min} + \mu_{\text{norm}}}.$$

Абсолютна пропускна здатність:

$$V_Q = P_{\text{serv}} \sum_{j=1}^J \Lambda_j^H \bar{v}_j.$$

Відносна пропускна здатність:

$$V_q = \frac{P_{\text{serv}} \sum_{j=1}^J \Lambda_j^H \bar{v}_j}{\sum_{j=1}^J \Lambda_j^H \bar{v}_j}.$$

Таке представлення параметрів і характеристик мережі роздільного збирання ТПВ забезпечує моделювання процесів функціонування з показником ефективності V_C – собівартості вивезення ТПВ.

Висновки і пропозиції. Представлена модель повною мірою відповідає меті дослідження – дозволяє моделювати процеси збирання, накопичення та вивезення ТПВ, вона є чутливою до прояву зовнішніх чинників, а також добре інтегрується в програмні засоби геоінформаційного аналізу.

Подальший розвиток моделі пов'язаний з обґрунтуванням параметрів інтенсивності вхідних потоків у СМО ТПВ, їх залежності від просторових характеристик інфраструктури міської забудови, розташування контейнерних майданчиків, рівня свідомості та відповідальності мешканців навколишніх будівель. Також підлягає розгляду питання визначення середнього об'єму порції сміття, що безпосередньо впливає на швидкість наповнення контейнерів. До того ж визначення показника ефективності неможливо без визначення витрат на обслуговування системи, чому будуть присвячені подальші дослідження авторів.

Список використаних джерел

1. Корнієнко І. В. Стан і напрями розв'язання проблеми утилізації екологічно небезпечних побутових відходів / І. В. Корнієнко, А. І. Кошма // Чернігівський науковий часопис. Серія 2: Техніка і природа. – 2012. – № 1 (3). – С. 122–127.
2. Корнієнко І. В. Порівняльний аналіз підходів до утилізації екологічно небезпечних побутових відходів / І. В. Корнієнко, А. І. Кошма // Матеріали ІХ Міжнародної науково-практичної конференції «Новітні досягнення геодезії, геоінформатики та землекористування. – Європейський досвід»: збірник наукових праць. – 2013. – Вип. 9. – С. 180–185.
3. Корнієнко І. В. Визначення основних чинників впливу на просторову структуру мережі збирання та переробки екологічно небезпечних відходів / І. В. Корнієнко, А. І. Кошма // Матеріали Х Міжнародної науково-практичної конференції «Новітні досягнення геодезії, геоінформатики та землекористування. – Європейський досвід»: збірник наукових праць. – 2014. – Вип. 10. – С. 143–146.
4. Корнієнко І. В. Декомпозиція задачі формування просторової структури мережі збору побутових відходів / І. В. Корнієнко, А. І. Кошма // Технічні науки та технології: науковий журнал. – 2015. – № 1 (1). – С. 113–118.
5. Льченко А. В. Підвищення ефективності керування процесів перевезення твердих побутових відходів міста Житомира [Електронний ресурс] / А. В. Льченко, І. Г. Коцюба // Вісник Полтавської державної аграрної академії. – 2011. – № 2. – С. 150–153. – Режим доступу: <http://www.pdaa.edu.ua/sites/default/files/visnyk/2011/02/150.pdf>.

6. Корнієнко І. В. Моделювання обмежень розташування контейнерних майданчиків роздільного збору твердих побутових відходів / І. В. Корнієнко, А. І. Кошма // Технічні науки та технології : науковий журнал. – 2015. – № 2 (2). – С. 135–140.

7. Казачинский В. З. Математические методы решения военно-специальных задач / В. З. Казачинский, Г. Е. Левитский. – К. : ВА ВПВО, 1980. – 292 с.

Корнієнко Ігор Валентинович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри геодезії, картографії та землеустрою, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Белова, 4, м. Чернігів, 14000, Україна).

Корниенко Игорь Валентинович – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры геодезии, картографии и землеустройства, Черниговский национальный технологический университет (ул. Белова, 4, г. Чернигов, 14000, Украина).

Korniienko Ihor – PhD in Technical Sciences, Associate Professor of Geodesy, Cartography and Land Planning Department, Chernihiv National University of Technology (4 Bielova Str., 14000 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: cornel@ukr.net

Корнієнко Світлана Петрівна – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри вищої та прикладної математики, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Белова, 4, м. Чернігів, 14000, Україна).

Корниенко Светлана Петровна – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры высшей и прикладной математики, Черниговский национальный технологический университет (ул. Белова, 4, г. Чернигов, 14000, Украина).

Korniienko Svitlana – PhD in Technical Sciences, Associate Professor of Higher and Applied Mathematics, Chernihiv National University of Technology (4 Bielova Str., 14000 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: cornel@ukr.net

Кошма Артем Іванович – аспірант, аспірант кафедри геодезії, картографії та землеустрою, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Белова, 4, м. Чернігів, 14000, Україна).

Кошма Артём Иванович – аспирант, аспирант кафедры геодезии, картографии и землеустройства, Черниговский национальный технологический университет (ул. Белова, 4, г. Чернигов, 14000, Украина).

Koshma Artem – postgraduate, postgraduate of Geodesy, Cartography and Land Planning Department, Chernihiv National University of Technology (4 Bielova Str., 14000 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: akoshma@gmail.com

УДК 528.3

Сергій Крячок

УДОСКОНАЛЕННЯ БЕЗБАЗИСНОГО СТВОРНОГО СПОСОБУ ВИЗНАЧЕННЯ СТАЛОЇ ЕЛЕКТРОННОГО ВІДДАЛЕМІРА

Сергей Крячок

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ БЕЗБАЗИСНОГО СТВОРНОГО СПОСОБА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОСТОЯННОЙ ПОПРАВКИ ЭЛЕКТРОННОГО ДАЛЬНОМЕРА

Serhii Kriachok

IMPROVEMENT OF THE METHOD DETERMINING CONSTANT CORRECTION ELECTRONIC RANGEFINDER WITH INSTALLATION OF THE DEVICES IN LINE

Виконано теоретичне обґрунтування допусків на взаємне розташування приладів для безбазисного створного способу визначення сталої електронного віддалеміра. Побудовано математичну модель та зроблено математичне моделювання для електронних віддалемірів з точністю вимірювання ліній $m_S = 2\text{мм} + 2\text{мм} \cdot S_{\text{км}}$ та горизонтальних і вертикальних кутів $10''$. За результатами моделювання визначено діапазон припустимих зміщень середнього штатива в плані та по висоті відносно створної лінії крайніх штативів. Запропоновано врахувати зміщення середнього штатива для обчислення сталої, що дозволило розширити діапазон припустимих величин зміщень та скоротити час польової складової визначення сталої.

Ключові слова: геодезична мережа, стала електронного віддалеміра, точність вимірювання відстаней, математична модель, електронний тахеометр, допуски геодезичних вимірювань.

Рис.: 3. Табл.: 4. Бібл.: 8.

Выполнено теоретическое обоснование допусков на взаимное расположение приборов для безбазисного створного способа определения постоянной поправки электронного дальномера. Построена математическая модель и сделано математическое моделирование для электронных дальномеров с точностью измерения линий $m_S = 2\text{мм} + 2\text{мм} \cdot S_{\text{км}}$,

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

горизонтальных и вертикальных углов $10''$. По результатам моделирования определен диапазон допустимых смещений среднего штатива в плане и по высоте относительно створной линии крайних штативов. Предложено учитывать смещение среднего штатива для вычисления постоянной поправки, что позволяет расширить диапазон допустимых величин смещений и сократить время полевой составляющей определение постоянной поправки.

Ключевые слова: геодезическая сеть, постоянная поправка электронного дальномера, точность измерения расстояний, математическая модель, электронный тахеометр, допуски геодезических измерений.

Рис.: 3. Табл.: 4. Библ.: 8.

The theoretical justification of the tolerances on the relative position of devices for method definition of constant amendment electronic rangefinder with installation of the devices in line is made. Taken into account the deviations of the middle tripod in plan and in height relative to the line extreme tripods. A mathematical model developed and performed mathematical modeling for electronic range-finder with an accuracy of measurement of lines $m_S = 2_{мм} + 2_{мм} \cdot S_{км}$, horizontal and vertical angles $10''$. The simulation results allow us to determine the range of permissible displacements of the middle of the tripod in plan and in height relative to the line of extreme tripods. The permanent amendment proposed to calculate taking into account the displacements of the middle of the tripod. This allows increasing the range of acceptable displacements and reducing the time of work on the area to determine the constant amendments.

Key words: surveys net, constant correction of electronic rangefinder, accuracy of measurement of lines, mathematical model, electronic total station, permits on the survey measuring.

Fig.:3. Tabl.: 4. Bibl.: 8.

Постановка проблеми. В останні роки в Україні широко застосовуються новітні методи створення геодезичних мереж на основі супутникових технологій. На її території збільшується кількість перманентних GNSS станцій, які з часом включаються як довірчі в мережене ущільнення EUREF [1].

У населених пунктах з багатоповерховою забудовою, у лісистих місцевостях застосування супутникових методів наштовхується на такі завади, як багатопроменевість поширення сигналу, недостатня кількість супутників для надійного визначення місцеположення приймача користувача та екранування сигналу. Тому застосовуються комбіновані методи створення геодезичних мереж. Вони включають визначення координат опорних пунктів супутниковими технологіями та розвиток мережі традиційними методами [2].

У таких методах, як полігонометрія і трилатерація, для вимірювання відстаней між пунктами використовуються електронні віддалеміри як у самостійному виконанні, так і у складі електронних тахеометрів. Для надійного визначення відстаней потрібно знати величину постійної поправки, або сталої віддалеміра. Значення цієї сталої може змінюватись через різні причини [3]. Тому в інструкціях з експлуатації цих приладів пропонується періодично повертатися до її значення. У разі використання для вимірювання відстаней інших моделей відбивачів визначення сталої віддалеміра (у подальшому – сталої) є обов'язковим.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Існує кілька варіантів визначення сталої, особливості яких наведено в інструкціях з експлуатації електронних віддалемірів і тахеометрів. Їх розглянуто у працях [4; 5]. Найбільш надійно сталою можна отримати на базисі з кількох ліній, на якому виконуються вимірювання відстаней електронним віддалеміром та у підсумку визначається значення постійної поправки. Однак у польових умовах за відсутності поблизу базису з високоточним визначенням його відрізків застосовує на увагу використання безбазисного способу.

Безбазисний спосіб вимірювання має дві модифікації. У першому випадку електронним віддалеміром вимірюються кілька ліній, розташованих у створі, а значення сталої віддалеміра обчислюється як різниці замикальної лінії та двох її складових [4]. Назвемо цю модифікацію безбазисним створним способом.

У другому випадку вимірювання ліній виконуються з трьох штативів, але центральний штатив встановлюють поза створом двох крайніх [5]. Назвемо таку модифікацію безбазисним позастворним способом. Цей спосіб удосконалено врахуванням не тільки позастворного положення середнього штатива в плані, а й по висоті [6].

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. Для використання безбазисного створного способу рекомендовано встановлювати електронний віддале-

мір та відбивач на одній висоті [7]. Виконують вимірювання ліній S_{13} електронним віддалеміром між крайніми штативами і з крайніх штативів – на середній, отримують значення S_{12} та S_{32} . Величина сталої визначається за формулою [3]

$$c = S_{13} - S_{12} - S_{32}. \quad (1)$$

Проте згідно з дослідженнями [6] у цьому способі не обов'язково встановлювати прилади на одній висоті, досить встановити їх на одній лінії – навіть похилій. Тому можна використовувати як горизонтальну місцевість, так і місцевість зі значним ухилом. Крім того, відбивач на середньому штативі може бути трохи зміщений у плані і по висоті відносно лінії крайніх штативів. Тоді виміряні лінії S_{12} та S_{32} проєктуються на S_{13} за функцією косинуса, який для малих кутів близький до одиниці, а самі проєкції близькі за величиною відповідним лініям.

Мета статі. Головною метою цієї роботи є теоретичне обґрунтування допусків на взаємне розташування приладів на станції визначення сталої електронного віддалеміра. Визначити діапазон припустимих зміщень середнього штатива в плані та по висоті відносно створної лінії крайніх, а також ступінь впливу нахилу місцевості на точність визначення сталої для безбазисного створного способу.

Виклад основного матеріалу. На рис. 1 показано просторове положення ліній, виміряних на станції визначення сталої. У точках 1, 2, 3 похилого майданчика розміщуються штативи з підставками, в які по черзі встановлюються електронний віддалемір і відбивач на висотах інструментів i_1, i_2, i_3 відповідно. У точках 1', 2', 3' вимірюються відстані S_{12}, S_{32}, S_{13} . На цьому рисунку показані лінії, які містять сталу c у неявному вигляді, так що $S_{ij}^{\circ} = S_{ij} + c$. Лінія S_{13}° має кут нахилу ν_{13} , перевищення h_{13} відносно горизонту інструменту Γ_1 точки 1'. Лінія S_{12}° має кут нахилу ν_{12} , перевищення h_{12} відносно Γ_1 і горизонтальний кут β_1 відносно S_{13}° . Лінія S_{32}° розташована під кутом нахилу ν_{32} , перевищенням h_{32} відносно Γ_3 та горизонтальним кутом β_3 відносно лінії S_{13} . Точки 2°п, 2'п, 2''п – проєкції точок 2°, 2', 2'' на вертикальну площину 1', 3'', 3', що проходить через S_{13} . Відрізки S'_{12}, S'_{32} , – проєкції ліній S_{12} та S_{32} на вказану вертикальну площину. Δ_{Γ} – зміщення в плані середнього штатива щодо створу крайніх. Відрізок (2'п – В) рівний вертикальному зсуву Δ_B по висоті середнього штатива щодо лінії S_{13}° . Відрізок (2'п – А), який дорівнює Δ'_B , є проєкція Δ_B на перпендикуляр (2'п – А) до лінії S_{13}° . Зміщення Δ_{Γ} і Δ_B ведуть до похибки Δ_c формули (1), яка дорівнює

$$\Delta_c = \tilde{c} - c, \quad (2)$$

де \tilde{c} – значення сталої за наявності зміщень, c – її значення за відсутності зміщень.

Зміщення Δ_{Γ} і Δ_B призводять до виникнення просторового трикутника (рис. 1), сторони якого S_{12} і S_{32} будуть завжди більші, ніж їх значення у разі розташування цих сторін на одній лінії S_{13}° . Оскільки зазначені сторони входять у формулу (1) з від'ємним знаком, то для незмінного значення S_{13} маємо $\tilde{c} \leq c$, а різниця $\Delta_c \leq 0$. Тому Δ_c можна вважати систематичною похибкою.

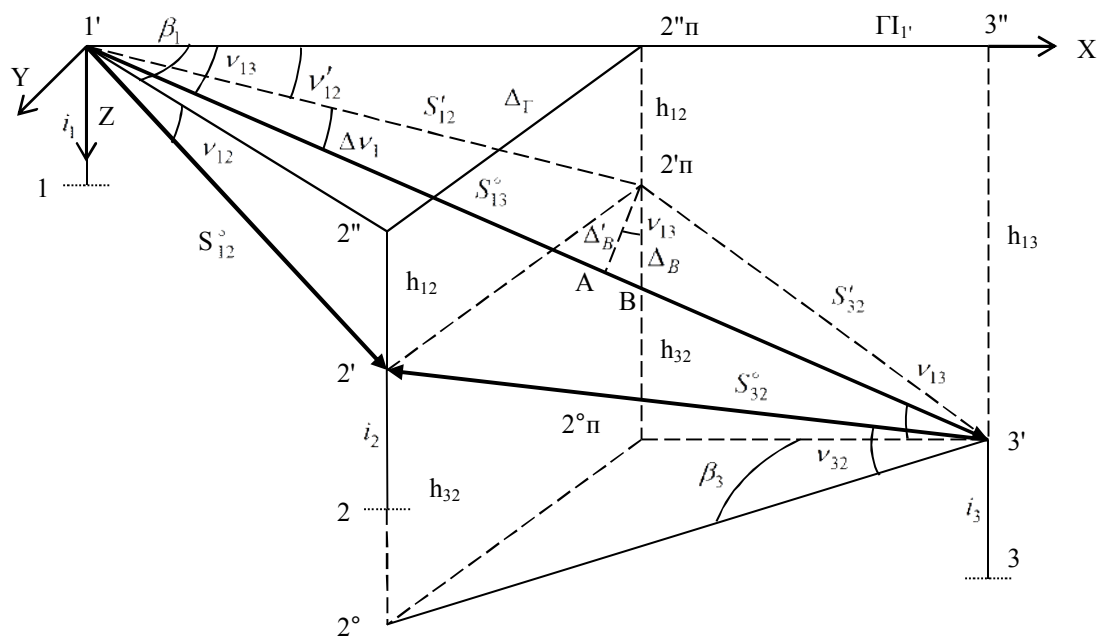


Рис. 1. Просторове положення вимірних ліній

Нехай центральний штатив розташований по середині створу. Тоді середня квадратична похибка (СКП) визначення сталої за формулою (1) дорівнює

$$m_c = \sqrt{m_{S_{13}}^2 + 2m_{S_{12}}^2}, \quad (3)$$

де $m_{S_{13}}^2$, $m_{S_{12}}^2$ – СКП вимірювання відстаней S_{13} і S_{12} відповідно. З відомої формули точності електронних віддалемірів $m_S = a_{\text{мм}} + b_{\text{мм}} \cdot S_{\text{км}}$ та $S_{13} \leq 100$ м впливає, що $m_{S_{ij}} \approx a$, а $m_c \approx \sqrt{3}a$ згідно з (3). Похибка вимірювання лінії з урахуванням похибки визначення сталої та відсутності Δ_c дорівнює $m'_S = \sqrt{m_S^2 + m_c^2}$. Щоб m_c практично не впливала на точність m'_S , необхідно дотримуватися умови $m_c = \frac{1}{3}m_S$. Для мінімальних відстаней $m_S \approx a$. Тоді $m_c = \frac{1}{3}a$. Як видно, реальна точність визначення сталої $m_c \approx \sqrt{3}a$ більша за необхідну. Тому потрібно виконати N прийомів з її визначення, отримати середнє значення постійної поправки $c_{\text{сп}}$ з точністю $m_{c_{\text{сп}}} = \frac{1}{3}a$. Тоді

$$N = \frac{m_c^2}{m_{c_{\text{сп}}}^2}. \quad (4)$$

У табл. 1 наведено значення m_c і N для діапазону S_{13} від 10 до 100 м та положення середнього штатива у створі крайніх ($\Delta_c = 0$).

Таблиця 1

Значення m_c та N залежно від S_{13} для $\Delta_c = 0$

| S_{13} | 10 м | 20 м | 30 м | 40 м | 50 м | 60 м | 70 м | 80 м | 90 м | 100 м |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| m_c , мм | 3,487 | 3,510 | 3,533 | 3,557 | 3,580 | 3,603 | 3,626 | 3,649 | 3,673 | 3,696 |
| N | 27 | 28 | 28 | 28 | 29 | 29 | 30 | 30 | 30 | 31 |

Якщо обмежити величини Δ_{Γ} і Δ_B припустимими значеннями $\Delta_{\Gamma_{\text{пр}}}$, $\Delta_{B_{\text{пр}}}$ і змінювати розташування першого та середнього штативів у кожному прийомі випадковим чином, то модуль Δ_{c_s} теж буде змінюватися випадковим чином у межах від нуля до деякого припустимого значення $\Delta_{c_{\text{пр}}}$, а значення Δ_{c_i} у прийомах будуть незалежні. Тоді розподіл модуля середнього значення $\Delta_{c_{\text{сп}}}$ буде наближатись до нормального з математичним сподіванням $b_c = \frac{|\Delta_{c_{\text{пр}}}|}{2}$ [8]. Точність вимірювання лінії в цьому випадку визначається за формулою Б'єнеме [8]

$$m'_S = \sqrt{m_S^2 + m_{c_{\text{сп}}}^2 + b_c^2}. \quad (5)$$

Щоб $m_{c_{\text{сп}}}$ і b_c не впливали на точність вимірювання ліній, необхідно дотримуватись умови $\sqrt{m_{c_{\text{сп}}}^2 + b_c^2} = \frac{1}{3}m_S = \frac{1}{3}a$ та значно не збільшувати число прийомів, покласти

$$b_c = \frac{1}{3}m_{c_{\text{сп}}}. \text{ Тоді}$$

$$m_{c_{\text{сп}}} = \frac{a}{\sqrt{10}}, \quad (6)$$

$$\Delta_{c_{\text{пр}}} = -\frac{2}{3\sqrt{10}}a. \quad (7)$$

Для визначення припустимих зміщень середнього штатива по висоті $\Delta_{B_{\text{пр}}}$ застосовано метод математичного моделювання з використанням програмного засобу Microsoft Excel. За вихідну математичну модель взято формулу (2), де за дійсне значення сталої можна прийняти конкретне число. Але була використана наступна математична модель-компаратор [6], що дозволяє контролювати правильність обчислення відстаней S_{ij}

$$c = \frac{S_{12} \cos v_{12} \cos \beta_1 + S_{32} \cos v_{32} \cos \beta_3 - S_{13} \cos v_{13}}{\cos v_{13} - \cos v_{12} \cos \beta_1 - \cos v_{32} \cos \beta_3}. \quad (8)$$

Вихідними даними для реалізації математичної моделі-компаратора (8) є: S_{13}° ; v_{13} ; $\Delta_{\Gamma_{\text{пр}}}$; c . Оскільки встановлювати середній штатив у створ крайніх у плані легше, ніж по висоті, то приймається $\Delta_{\Gamma_{\text{пр}}} = 0,03$ м, що відповідає можливому переміщенню підставки приладу відносно центру отвору головки штатива. Приймається, що кут нахилу v_{13} лінії S_{13} відповідає нахилу місцевості (рис. 1), а середній штатив встановлюється по середині на відстані $S^\circ = S_{13}^\circ/2 = (I' - B)$, але зі зміщенням у плані на $\Delta_{\Gamma_{\text{пр}}}$. Вводиться система координат, де за вісь абсцис взято напрям $I' - 3''$, за вісь ординат – перпендикуляр до площини створної лінії S_{13}° , за вісь аплікату – вертикаль точки I' , спрямовану в наDIR. Для розрахунку необхідних значень елементів формул (8), (1) і (2) використані наступні залежності, які впливають з рис. 1:

$$\left. \begin{aligned} S_x^\circ &= S^\circ \cos v_{13}, S_z^\circ = S^\circ \sin v_{13}, D_{12}^\circ = \sqrt{(S_x^\circ)^2 + \Delta_{\Gamma_{\text{пр}}}^2}, Z_{2'} = h_{12} = S_z^\circ - \Delta_{B_{\text{пр}}}, \\ S_{12}^\circ &= \sqrt{(D_{12}^\circ)^2 + h_{12}^2}, X_{3'} = S_{13}^\circ \cos v_{13}, Y_{3'} = 0, Z_{3'} = S_{13}^\circ \sin v_{13}, \\ S_{32}^\circ &= \sqrt{(X_{3'} - X_{2'})^2 + (Y_{3'} - Y_{2'})^2 + (Z_{3'} - Z_{2'})^2}, S_{ij} = S_{ij}^\circ - c. \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

Для даних величин S_{13}° , v_{13} , $\Delta_{Г_{пп}}$, c підбирається таке значення Δ_B , яке в результаті обчислень за формулами (9), (8), (1) і (2) дозволяють отримати значення Δ_c , яке не перевищує $\Delta_{c_{пп}}$, розраховане за формулою (7). Це значення приймається за $\Delta_{B_{пп}}$.

Математичне моделювання виконано для електронного віддалеміра з точністю вимірювання відстаней $m_s = 2\text{мм} + 2\text{мм} \cdot S_{км}$ і значенням сталої $c = -40\text{мм}$. Згідно з формулами (6), (7) $m_{c_{пп}} = 0,6325\text{мм}$, $\Delta_{c_{пп}} = 0,4216\text{мм}$. Число прийомів N обчислювалося за формулою (4), а m_c – за формулою (3). Результати математичного моделювання наведені в табл. 2. Аналіз даних таблиці дозволяє зробити такі висновки. Величини припустимого відхилення по висоті $\Delta_{B_{пп}}$ середнього штатива в залежності кута нахилу лінії S_{13} збільшилися всього на 1–2 мм. Число прийомів N , яке для створного положення середнього штатива ($\Delta_c = 0$) становило б від 27 до 30 (див. табл. 1), збільшилось і стало в межах від 31 до 34.

Таблиця 2

Параметри визначення сталої віддалеміра залежно від S_{13} та v_{13} ($\Delta_c < 0$)

| v_{13} | S_{13} | 10 м | 20 м | 30 м | 40 м | 50 м | 60 м | 70 м | 80 м | 90 м | 100 м |
|------------|-----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 0° | $\Delta_{B_{пп}}, \text{м}$ | 0,034 | 0,057 | 0,073 | 0,086 | 0,098 | 0,108 | 0,117 | 0,126 | 0,134 | 0,142 |
| 10° | $\Delta_{B_{пп}}, \text{м}$ | 0,035 | 0,058 | 0,074 | 0,088 | 0,099 | 0,110 | 0,119 | 0,128 | 0,136 | 0,144 |
| | $m_c, \text{мм}$ | 3,487 | 3,510 | 3,533 | 3,557 | 3,580 | 3,603 | 3,626 | 3,649 | 3,673 | 3,696 |
| | N | 30 | 31 | 31 | 32 | 32 | 32 | 33 | 33 | 34 | 34 |

Для визначення точності постійної поправки з урахуванням точності визначення величин Δ_G та Δ_B на станції взято спрощену формулу, отриману з формули (8) розкладанням у ряд функції $\cos v_{ij}$ з точністю до другого члена розкладання [6].

$$c = S_{13} - S_{12} - S_{32} + \frac{\Delta_G^2}{2} \left(\frac{1}{S_{12}} + \frac{1}{S_{32}} \right) + \frac{(\Delta'_B)^2}{2} \left(\frac{1}{S_{12}} + \frac{1}{S_{32}} \right). \quad (10)$$

У випадку визначення сталої електронного тахеометра, крім S_{12} , S_{13} та S_{32} , вимірюється горизонтальний кут β_1 , кут нахилу v_{12} (рис. 1). Тоді

$$\Delta_G = S_{12}^\circ \cos v_{12} \sin \beta_1 \approx S_{12} \cos v_{12} \sin \beta_1. \quad (11)$$

Вимірюється та визначається також вертикальний кут у напрямку на точки 3' і 2'. Вказаний кут близький до вертикального кута Δv_1 . Це впливає з того, що

$$\Delta v_1 = v_{13} - v'_{12}. \text{ Оскільки } \text{tg} v'_{12} = \frac{h_{12}}{1' - 2''} = \frac{\text{tg} v_{12}}{\cos \beta_1}, \text{ то для малих кутів } \beta_1 \text{ можна записати}$$

$$v'_{12} \approx v_{12}. \text{ Тоді } \Delta v_1 \approx v_{13} - v_{12} \text{ та } \Delta'_B = (1' - A) \text{tg} \Delta v_1 = \left[(1' - B) - \Delta_B \cdot \sin v_{13} \right] \text{tg} \Delta v_1. \text{ Для ма-}$$

лих значень Δ_B у порівнянні з $(1' - B) = \frac{S_{13}^\circ}{2} \approx \frac{S_{13}}{2}$. Тому

$$\Delta'_B \approx \frac{S_{13}}{2} \text{tg} \Delta v_1. \quad (12)$$

З урахуванням (11) та (12) вираз (10) набуде вигляду

$$c = S_{13} - S_{12} - S_{32} + \frac{1}{2} \left(\frac{1}{S_{12}} + \frac{1}{S_{32}} \right) \left(S_{12}^2 \cos^2 v_{12} \sin^2 \beta_1 + \frac{S_{13}^2}{4} \text{tg}^2 \Delta v_1 \right). \quad (13)$$

Після диференціювання (13) і з урахуванням $S_{12} \approx S_{32}$ отримаємо формулу СКП визначення сталої

$$m_c = \sqrt{m_{S_{13}}^2 + 2m_{S_{12}}^2 + \frac{4}{S_{12}^2} \left[\Delta_{\Gamma}^4 \left(\operatorname{tg}^2 \nu_{12} \frac{m_{\nu}^2}{\rho^2} + ctg^2 \beta \frac{m_{\beta}^2}{\rho^2} \right) + 4 \frac{(\Delta'_B)^4}{\sin^2 2\Delta \nu_1} \frac{m_{\Delta \nu}^2}{\rho^2} \right]}, \quad (14)$$

де m_{ν}^2 , $m_{\Delta \nu}^2$, m_{β}^2 – СКП вимірювання тахеометром кутів нахилу, вертикальних і горизонтальних кутів відповідно. Для $m_{\nu} = m_{\Delta \nu} = m_{\beta} = 10''$ і параметрів, розрахованих згідно з даними табл. 2, компонент формули (14) у квадратних дужках на кілька порядків менше попереднього компонента. Тому формула (14) набуде вигляду (3).

Таким чином, наведені розрахунки показують, що на станції визначення сталої можливе встановлення середнього штатива не точно у створі, а зі зміщенням у плані та висоті відносно створної лінії крайніх штативів. Це дозволяє дещо пришвидшити польову складову робіт з визначення сталої. Але вказані зміщення незначні і сягають від кількох сантиметрів до півтора дециметра – залежно від відстані між штативами (табл. 2). Щоб дотриматись цих допусків, необхідно докласти зусиль.

Тому пропонується розширити діапазон припустимих зміщень через врахування їх значень. Для обчислення величини сталої віддалеміра пропонується використати формулу (10). Можливості математичної моделі (10) наведено в табл. 3, де показано результати розрахунків за тими ж вихідними даними, що і для даних, наведених у табл. 2.

Таблиця 3

Параметри сталої віддалеміра залежно від S_{13} та ν_{13} ($\Delta_{\Gamma} = 0,03$ м)

| ν_{13} | S_{13} | 10 м | 20 м | 30 м | 40 м | 50 м | 60 м | 70 м | 80 м | 90 м | 100 м |
|------------|------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 0° | $\Delta_{B_{\text{пр}}}$, м | 0,45 | 0,85 | 1,21 | 1,55 | 1,87 | 2,18 | 2,47 | 2,77 | 3,05 | 3,33 |
| 10° | $\Delta_{B_{\text{пр}}}$, м | 0,46 | 0,86 | 1,23 | 1,57 | 1,90 | 2,21 | 2,52 | 2,81 | 3,10 | 3,38 |
| | m_c , мм | 3,488 | 3,512 | 3,536 | 3,560 | 3,585 | 3,610 | 3,634 | 3,660 | 3,685 | 3,710 |
| | N | 30 | 31 | 31 | 32 | 32 | 33 | 33 | 33 | 34 | 34 |

Порівняння даних табл. 2 і 3 вказує на збільшення в десятки разів допуску з висотного положення середнього штатива $\Delta_{B_{\text{пр}}}$ та мізерного збільшення СКП постійної поправки m_c внаслідок врахування похибок визначення відхилень середнього штатива у плані та по висоті за формулою (14). Тому і в цьому випадку формула (14) спрощується до формули (3).

Значне збільшення значень $\Delta_{B_{\text{пр}}}$ дає можливість зменшити число прийомів N за рахунок перерозподілу значень між величинами $m_{c_{\text{сп}}}$ та b_c , а також збільшити допуск Δ_{Γ} на планове положення середнього штатива.

Нехай для цілого числа k величина $b_c = \frac{m_{c_{\text{сп}}}}{k}$. Тоді за умови $\sqrt{m_{c_{\text{сп}}}^2 + b_c^2} = \frac{1}{3}a$

$$m_{c_{\text{сп}}} = \frac{a \cdot k}{3\sqrt{k^2 + 1}} \quad (15)$$

та

$$\Delta_{c_{\text{пр}}} = 2b_c = 2 \frac{m_{c_{\text{сп}}}}{k} = \frac{2a}{3\sqrt{k^2 + 1}}. \quad (16)$$

Значення коефіцієнта $y = \frac{k}{\sqrt{k^2 + 1}}$ у формулі (15) для $k = 1 \div 10$ наведені на рис. 2.

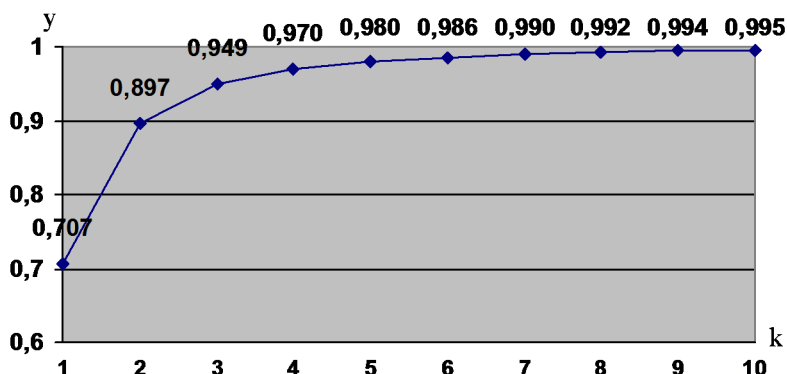


Рис. 2. Графік залежності $y = k / \sqrt{k^2 + 1}$

Для $y \approx 1$ у формулі (15) СКП $m_{c_{cp}} \approx \frac{a}{3}$. У цьому випадку стає можливим зменшити число прийомів з визначення сталюї.

У табл. 4 наведено результати розрахунків для припустимого планового зміщення середнього штатива на величину розміру головки штатива ($\Delta_r = 0,145$ м) та $k = 8$. Згідно з формулами (15) та (16) для $a = 2$ мм отримано $m_{c_{cp}} = 0,6615$ мм, $\Delta_{c_{пп}} = 0,1654$ мм. З табл. 4 видно, що число штативів N зменшено практично до значень, що відповідають створному положенню середнього штатива (див. табл. 1).

Таблиця 4

Параметри сталюї віддалеміра залежно від S_{13} та v_{13} ($\Delta_r = 0,145$ м, $k=8$)

| v_{13} | S_{13} , м | 10 м | 20 м | 30 м | 40 м | 50 м | 60 м | 70 м | 80 м | 90 м | 100 м |
|------------|-----------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| 0° | $\Delta_{B_{пп}}$, м | 0,25 | 0,56 | 0,83 | 1,08 | 1,32 | 1,56 | 1,78 | 2,00 | 2,22 | 2,43 |
| 10° | $\Delta_{B_{пп}}$, м | 0,26 | 0,57 | 0,84 | 1,10 | 1,35 | 1,58 | 1,81 | 2,04 | 2,25 | 2,47 |
| | m_c | 3,49 | 3,51 | 3,53 | 3,56 | 3,58 | 3,61 | 3,63 | 3,65 | 3,68 | 3,70 |
| | N | 28 | 28 | 29 | 29 | 29 | 30 | 30 | 31 | 31 | 31 |
| | $\Delta_{B_{пп}}$, м | 0,25 | 0,49 | 0,73 | 0,97 | 1,21 | 1,44 | 1,68 | 1,92 | 2,16 | 2,40 |

Причому значення $\Delta_{B_{пп}}$ розраховано зі зміщенням у плані середнього штатива на ± 1 м відносно середини створу крайніх. Для цього у формулах (9) приймалося, що відстань $S^\circ = S_{13}^\circ / 2 \pm 1$ м. Тоді припустима нерівність плечей на станції становитиме ± 2 м, що дозволяє не втрачати час на точне встановлення в плані середнього штатива в центр створу.

Графік припустимих вертикальних зміщень середнього штатива залежно від відстані між крайніми та апроксимуюче його рівняння показано на рис. 3. Показник достовірності апроксимації становить $R^2 = 0,997$. Для побудови графіка були взяті значення $\Delta_{B_{пп}}$, наведені в другому рядку табл. 4 для $v_{13} = 0^\circ$. З положення апроксимуючої прямої видно, що найбільше зміщення вниз має точка з $S_{13} = 10$ м.

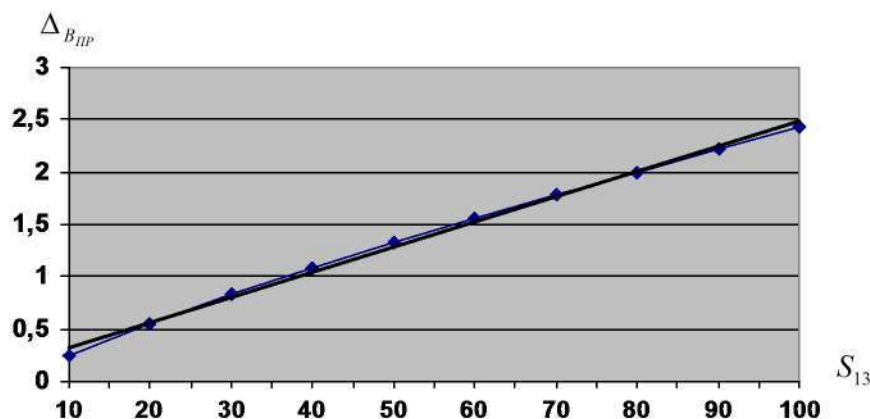


Рис. 3. Залежність вертикального зміщення середнього штатива від S_{13}

Зміщення становить $\Delta_{B_{пр}} = 0,0239 \cdot 10\text{ м} + 0,0887 - 0,25\text{ м} = 0,078\text{ м}$. Щоб не втратити точності з визначення СКП сталої для $S_{13} = 10\text{ м}$, пряму регресії опущено вниз на величину $0,078\text{ м}$. Для цього зменшено постійний доданок $0,0887\text{ м}$ рівняння регресії на величину $0,078\text{ м}$. Тоді рівняння регресії отримало кінцевий вигляд: $\Delta_{B_{пр}} = 0,0239 \cdot S_{13} + 0,0107\text{ м}$. Значення $\Delta_{B_{пр}}$, які відповідають цьому рівнянню, наведено в останньому рядку табл. 4. Вони забезпечують встановлення середнього штатива в досить широкому діапазоні по висоті відносно створної лінії крайніх штативів.

Висновки. Теоретично обґрунтовано допуски на взаємне розташування приладів для безбазисного створного способу визначення сталої електронного віддалеміра. За результатами математичного моделювання визначено діапазон припустимих зміщень середнього штатива в плані та по висоті відносно створної лінії крайніх штативів для електронних віддалемірів із заданими параметрами точності.

Запропоновано враховувати зміщення середнього штатива в плані та по висоті для обчислення сталої, що дозволяє розширити діапазон припустимих зміщень і скоротити час на виконання польової складової з визначення сталої.

Визначення сталої віддалеміра можна проводити як на горизонтальній, так і на похилій місцевостях без втрати точності її визначення.

Список використаних джерел

1. Терещук О. І. Досвід функціонування перманентної GNSS-станції «Чернігів» (CNIV) у мережі EPN / О. І. Терещук, І. О. Нисторьяк // Технічні науки та технології : науковий журнал. – 2015. – № 1 (1). – С. 130–140.
2. Патент 82874 Україна. ПМК G01C 7/00 Спосіб побудови геодезичної опорної фігури / В. Г. Бурачек, І. О. Нисторьяк, О. І. Терещук, ЧДІЕУ. – № u 2012 08638 ; заявл. 12.07.2012 ; опубл. 27.08.2013, Бюл. № 16.
3. Бронштейн Г. С. Комбинированные способы измерения расстояний / Г. С. Бронштейн. – М. : Недра, 1991. – 92 с.
4. Ворошилов А. П. Определение постоянной поправки дальномера электронного тахеометра / А. П. Ворошилов // Геопрофи. – 2005. – № 4. – С. 46–47.
5. Крячок С. Д. До визначення постійної поправки електронних віддалемірів / С. Д. Крячок // Вісн. геодез. та картогр. – 2015. – № 2. – С. 4–7.
6. Крячок С. Д. Розроблення просторової математичної моделі постійної поправки електронних віддалемірів / С. Д. Крячок, Л. С. Мамонтова // Технічні науки та технології : науковий журнал. – 2015. – № 1 (1). – С. 118–125.
7. Сборник инструкций по производству поверок геодезических приборов / Главное управление геодезии и картографии при Совете Министров СССР. – М. : Недра, 1988. – 77 с.

8. *Войтенко С. П.* Математична обробка геодезичних вимірів. Теорія похибок вимірів : навчальний посібник / С. П. Войтенко. – К. : КНУБА, 2003. – 216 с.

Крячок Сергій Дмитрович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри геодезії, картографії та землеустрою, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

Крячок Сергей Дмитриевич – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры геодезии, картографии и землеустройства, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

Kryachok Serhii – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Geodesy, Cartography and Land Management, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenko Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: kryachock.serg@yandex.ru

УДК 004.8

Анатолій Ревко, Артем Фесенко

ЕЛЕКТРОННА СИСТЕМА РОЗПІЗНАВАННЯ ОБРАЗІВ ДЛЯ КЕРУВАННЯ ЧАСТКОВО АВТОНОМНОЮ РУХОМОЮ ПЛАТФОРМОЮ НА КОЛЕСАХ ІЛОНА

Анатолій Ревко, Артём Фесенко

ЭЛЕКТРОННАЯ СИСТЕМА РАСПОЗНАВАНИЯ ОБРАЗОВ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ЧАСТИЧНО АВТОНОМНОЙ ПОДВИЖНОЙ ПЛАТФОРМОЙ НА КОЛЕСАХ ИЛОНА

Anatolii Revko, Artem Fesenko

ELECTRONIC SYSTEM OF PATTERN RECOGNITION FOR PARTLY AUTONOMOUS MOBILE PLATFORM ON BENGT ILON WHEELS

Розглянуто можливість побудови електронної системи розпізнавання образів для частково автономного керування рухомою платформою на колесах Ілона. Запропоновано для розпізнавання образів використовувати штучну нейронну мережу, що дозволить платформі маневрувати частково автономно, орієнтуючись на об'єкти навколишнього середовища, а також одержувати команди з навколишнього середовища у вигляді графічних символів. Машини, що пересуваються на колесах Ілона, вирізняються з-поміж інших аналогічних пристроїв можливістю виконувати досить складні маневри в обмеженому просторі. Це робить їх дуже перспективними для використання в багатьох галузях промисловості, зберігання та перевезення вантажів, військової сфері, де є необхідність переміщуватися в обмеженому просторі, виконувати складні рухи, що неможливі для платформ на звичайних колесах.

Ключові слова: розпізнавання образів, штучна нейронна мережа, колеса Ілона, перцептрон.

Рис.:6. Бібл.: 9.

Рассмотрена возможность создания электронной системы распознавания образов для частично автономного управления подвижной платформой на колесах Илона. Предложено для распознавания образов использовать искусственную нейронную сеть, что позволит платформе маневрировать частично автономно, ориентируясь на объекты окружающей среды, а также получая команды в виде графических символов. Машины, передвигающиеся на колёсах Илона, отличаются от других аналогичных устройств возможностью выполнять достаточно сложные манёвры в ограниченном пространстве. Это свойство делает их крайне перспективными для использования во множестве отраслей, хранения и перевозке грузов, военной сфере, везде, где есть необходимость перемещаться в ограниченном пространстве, выполнять сложные развороты, недоступные для платформ на обычных колёсах.

Ключевые слова: распознавание образов, искусственная нейронная сеть, колёса Илона, перцептрон.

Рис.:6. Библ.:9.

The article discusses the possibility of creating the electronic system of pattern recognition for partly autonomous control mobile platform on Bengt Ilon. It is proposed using artificial neuron system for pattern recognition. It allowing the platform maneuvers partly autonomous orient on the environment. Command can also be obtained from the environment in the form of graphic images. The devices moving on mechanum wheels different from other similar devices to perform quite complex maneuvers in confined spaces. This property makes them extremely promising for use in many industries, storage and transport goods military field, wherever there is a need to move in a confined space to perform complex turns, platforms inaccessible to conventional wheels.

Key words: pattern recognition, artificial neuron system, perceptron, mechanum wheels.

Fig.:6. Bibl.:9.

Вступ. На нинішньому етапі розвитку науки й техніки вже існують достатні теоретичні та практичні підвалини до якомога більшої автоматизації різноманітних виробничих процесів та сфер, пов'язаних з ними. Також важливим та перспективним напрям-

ком є впровадження автоматизації в системи керування різноманітними транспортними засобами. Особливо важливим це може бути в критичних, аварійних ситуаціях, коли реакція водія є не достатньо швидкою для уникнення катастрофічних наслідків.

Застосування ж на транспортних засобах коліс Ілона замість звичайних надає принципово нові можливості для складного маневрування як у відкритому, так і тісному просторі.

Саме тому доцільним є розроблення як самої системи автоматичного керування транспортним засобом, оснащеним колесами Ілона, що буде реагувати на зміни в навколишньому середовищі, так і напрацювання певних рекомендацій щодо її застосування.

Досить детально особливості роботизованих платформ з колесами Ілона розглянуто в окремій статті [1]. Зупинимось на ключових властивостях.

З метою зменшення навантаження на оператора та підвищення ступеня автономності роботизованої платформи доцільним є застосування автономної системи розпізнавання образів.

Крім власне завдання розпізнавання образів, також вирішення потребують завдання попереднього оброблення зображення (у випадку візуальних образів), або звуку (у випадку розпізнавання звукових сигналів) для подальших операцій розпізнавання.

Так доцільним є застосування штучних нейронних мереж [2]. Це спричинено такими перевагами, як здатність працювати з пошкодженими та такими, що містять шум, зображеннями, здатність до навчання, нечутливість до незначних відхилень від еталона та інше.

Узагалі система розпізнавання образів може бути не обов'язково розрахованою на роботу з візуальними образами об'єктів. Так для роботи у складних підводних умовах, де немає можливості орієнтуватися на зовнішній вигляд навколишнього середовища, було розроблено морський підводний захват з тактильними датчиками, що досліджує навколишнє середовище за допомогою дотику [3]. Головною перевагою такої системи є можливість працювати в абсолютній темряві чи за умов нульової видимості без застосування відеокамер. Оскільки відеокамери потребують додаткового захисту від тиску морської води, така система є дуже ефективною для глибоководних робіт. Розплатою за цю перевагу є відносно невелика швидкість власне розпізнавання, тому що захвату потрібно декілька разів торкнутися об'єкта розпізнавання для одержання даних про нього.

Так уже існують програмні моделі системи розпізнавання державних реєстраційних знаків на базі неогонітрона [4]. Вони дозволяють досягти вражаючих результатів навіть під час розпізнавання об'єктів, що нахилені під кутом або за поганого освітлення. Така система не потребує попередньої бінаризації зображення. Відповідно до поданих результатів експериментів неогонітрон більш ефективно за перцептрон долає геометричні спотворення, такі як розтяг або стиск зображення, шуми, повороти та зсуви. Проте недоліками таких систем є їх складність та досить чутливі вимоги щодо можливостей апаратного забезпечення.

Детально проблеми математичного моделювання та навчання неогонітрона розглянуто в [5]. Визначено такі переваги, як здатність до самоорганізації, стійкість до основних спотворень, гнучкість налаштування, висока швидкодія.

Суміжну проблему зачіпають системи розпізнавання облич для приставок розумного телебачення [6]. Слід одразу зазначити, що вони вирішують дещо специфічне завдання впізнавання облич членів родини, визначення їх реакції на програми, що на цей момент транслуються, за виразом обличчя. Така система передбачає стійкість до поворотів облич, умов поганого освітлення та інших проблем. Усі ці особливості роблять подібні системи дуже складними та ресурсоемними. Тому зазвичай сама приставка виконує лише збір та початкове оброблення візуальної інформації про глядачів. А складніші операції виконуються вже на віддаленому сервері. Цікавими є методи боротьби з пошкодженнями зображення, викривленнями та шумами.

Математичний пакет Matlab містить спеціалізовану бібліотеку для моделювання штучних нейронних мереж Neural Network Toolbox (NNtool) [7]. Це дозволяє моделювати та тестувати різноманітні нейронні мережі різної складності та налаштувань з використанням реальних або спеціально підібраних даних.

Математичне та комп’ютерне моделювання роботи штучної нейронної мережі.

З метою перевірки можливості побудови штучної нейронної мережі одержано вирази в загальному вигляді для оцінювання якості навчання спрощеної математичної моделі. Ця модель розрахована для мережі, що містить один штучний нейрон. Сума добутків вагових коефіцієнтів та входів нейрона розраховується за формулою (1).

$$NET = o_1 * w_1 + o_2 * w_2 + \dots + o_n * w_n = \sum_1^n o_i * w_i, \tag{1}$$

де o_i – і-тий елемент вхідного образу, w_i – і-тий елемент матриці вагових коефіцієнтів.

У межах цього розрахунку розглядалися симетрична та зміщена сигмоїдальні активаційні функції, вирази (2) та (3), а також гіперболічний тангенс, вираз (4).

$$OUT_1 = F(NET) = \frac{1 - e^{-NET}}{1 + e^{-NET}}, \tag{2}$$

$$OUT_2 = F(NET) = \frac{1}{1 + e^{-NET}}, \tag{3}$$

$$OUT_3 = F(NET) = \frac{e^{NET} - e^{-NET}}{e^{NET} + e^{-NET}}. \tag{4}$$

З метою оцінювання якості навчання мережі введено параметр δ – відхилення виходу мережі від бажаного значення (одиниці). Виконавши певні операції зі співвідношеннями (1–4), одержано вирази в загальному вигляді для кожної з активаційних функцій (формули (5–7)).

$$\delta_1 = 1 - \frac{1 - e^{-\sum_1^n o_i * w_i}}{1 + e^{-\sum_1^n o_i * w_i}}, \tag{5}$$

$$\delta_2 = 1 - \frac{1}{1 + e^{-\sum_1^n o_i * w_i}}, \tag{6}$$

$$\delta_3 = 1 - \frac{e^{\sum_1^n o_i * w_i} - e^{-\sum_1^n o_i * w_i}}{e^{\sum_1^n o_i * w_i} + e^{-\sum_1^n o_i * w_i}}. \tag{7}$$

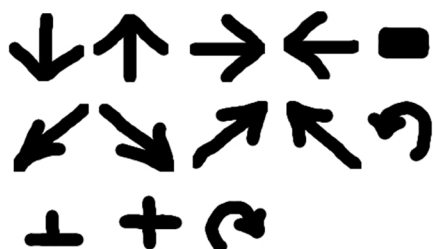


Рис. 1. Система команд

З метою дослідження особливостей та відмінностей між різними типами функцій навчання нейронних мереж побудовано Matlab-модель системи розпізнавання для базової системи команд роботизованої платформи. Така система команд містить тринадцять команд, зображених на рис. 1. Для моделювання було створено тринадцять окремих графічних файлів для кожної команди по одному відповідно, розміром 80 на 80 пікселів, що відповідає розміру реального зображення з камери. Всі вони входять у навчальну послідовність як вхідні дані нейромережі, вихідною буде діагональна матриця розмірністю 13 на 13, усі елементи головної діагоналі якої одиниці.

Попереднє оброблення цих зображень зводилось до вичитування з окремих файлів, переведення їх у виключно чорний та білий кольори, переформатування та склеювання в єдину навчальну матрицю.

З метою перевірки якості розпізнавання створено декілька умисно пошкоджених образів деяких команд, що наведені на рис. 2.



Рис. 2. Умисно пошкоджені команди

Було виконано моделювання для декількох різних функцій навчання нейронної мережі. Як тестові обрано такі функції: `traingdx`, `traingda`, `traingdm`, `traingd`, оскільки інші призводили до дещо нестабільної роботи мережі. На рис. 3 наведено структуру, яка створена в NNtool нейромережі. На рис. 4–5 позначено відповідно суцільною лінією, штриховою лінією, крапками, штрихпунктиром.

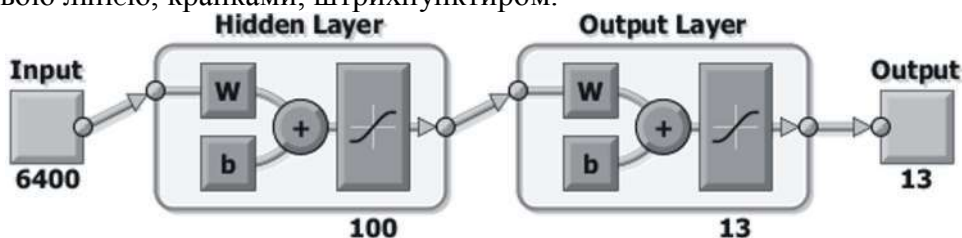


Рис. 3. Структура нейронної мережі, створена в NNtool

Порівняння проводилось за такими параметрами: кількість тактів роботи мережі, що витрачено на навчання, час навчання, градієнт. Побудовано криві, що характеризують вплив на ці параметри кількості нейронів в мережі. На рис. 4 наведено зв'язки кількості ітерацій та нейронів. Як бачимо з рисунка, найкращими є криві для методів навчання `traingdx` та `traingda`. Інші методи демонструють високу нестабільність результатів.

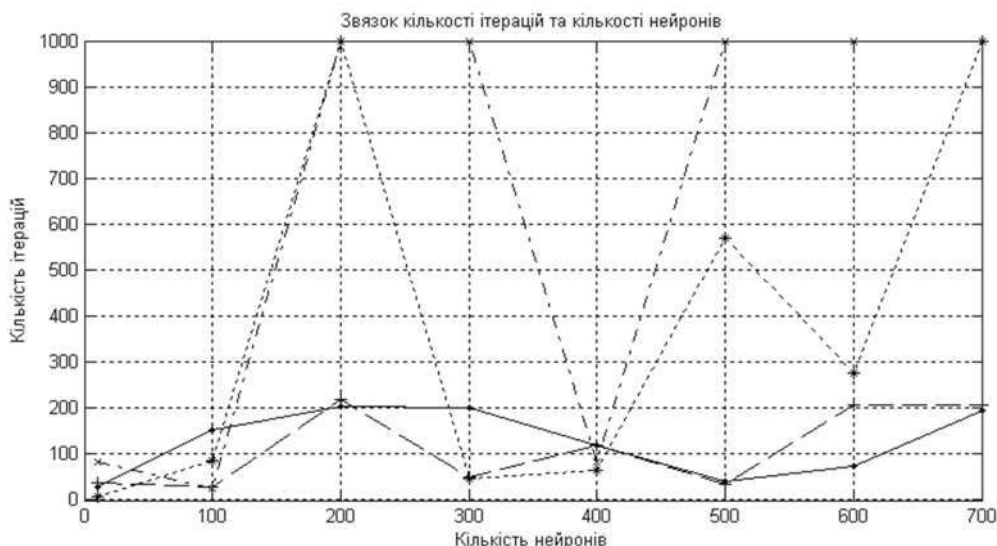


Рис. 4. Зв'язок кількості нейронів з кількістю ітерацій

На рис. 5 зображено залежність часу навчання від кількості нейронів. Як можна побачити, зі зростанням кількості нейронів час навчання суттєво збільшується.

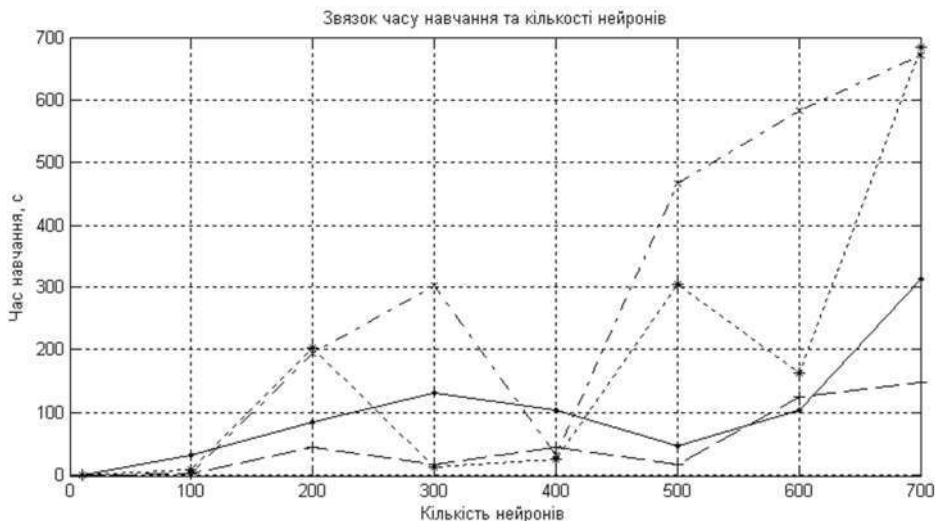


Рис. 5. Зв'язок кількості нейронів з часом навчання

Аналізуючи наведені результати, зроблено декілька висновків. По-перше, кількість нейронів неоднозначно впливає на параметри нейронної мережі. По-друге, збільшуючи кількість нейронів не завжди можна досягти бажаного впливу на якість навчання. По-третє, найкращі результати під час навчання досягаються з використанням методу навчання *trainIdx* для кількості нейронів що не перевищує 700, за даних умов.

Після навчання виконували симуляцію роботи мережі, на вхід якої подавався пошкоджений образ. На виході отримували вектор-стовбець, що містив 13 значень у діапазоні від 0 до 1. Його найближче значення до одиниці округлювали та за номером комірки визначали номер образу, що потрапив на вхід. Для всіх трьох пошкоджених образів їх вдалось визначити. Неокруглене значення, що визначало ступінь подібності вхідного образу до одного з відомих, складало від 0,8 до 0,9 при близьких до нуля інших елементах вектора, що свідчить про високу точність розпізнавання. Також вдалось відносно точно відновити пошкоджений образ.

Практична реалізація. У межах практичної реалізації випробувального макета зроблено та виготовлено систему маніпулювання модулем відеокамери *ov7670* у просторі. Система маніпулювання складається з двох сервомоторів, які забезпечують рух камери в вертикальній та горизонтальній площині на кути від 0 до 180 градусів. Система керування та оброблення даних з камери реалізована на стенді *STM32F4 Discovery*. Наведення камери може виконуватися як за допомогою команд від сенсорної клавіатури, так і в автоматичному режимі.

Функціональну схему стенда наведено на рис. 6, де К – камера; ПВ – пристрій введення; СКтО – система керування та оброблення даних; СП – система позиціонування; ПК – персональний комп'ютер.

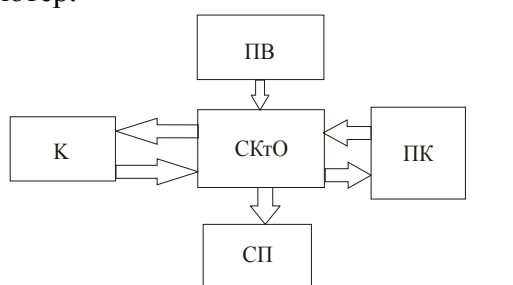


Рис. 6. Функціональна схема стенду

Автоматичний режим дозволяє стенду самостійно сканувати зображення з кроком повороту 30 градусів у вертикальній та горизонтальній площинах. Величина одного

кроку викликана тим, що кут огляду камери становить 30 градусів, а також необхідністю пришвидшити процес.

Після одержання кадру зображення з камери система виконує його пересилання на персональний комп'ютер, використовуючи адаптер RS-232 – USB. Далі одержане зображення потрапляє в Matlab, а саме в workspace у вигляді матриці. Після чого виконується його розпізнавання штучною нейромережею та формування відповідної реакції. З метою підвищення надійності передачі даних зі стенда рекомендується застосувати заводостійку систему передачі даних [8]. Як джерел живлення для сервоприводів доцільно використовувати реверсивний квазірезонансний перетворювач [9], що дасть змогу покращити масогабаритні показники та ККД системи.

Висновок. Було проведено моделювання штучної нейронної мережі для різних функцій навчання та інших параметрів. Його результати свідчать про можливість застосування подібної системи з метою розпізнавання образів. Розроблений стенд дозволяє проводити не тільки виключно matlab-моделювання, але й працювати з реальними даними, на які чинять вплив параметри навколишнього середовища.

Завдяки можливостям математичного пакета Matlab розроблений стенд може використовуватися не лише для моделювання штучних нейронних мереж, а й для завдань оброблення й перетворення зображень та інше. Гнучкість роботи самого математичного пакета відкриває широкі можливості для оброблення та аналізу одержаних даних.

Невеликі розміри стенда та організація його живлення від USB-роз'ємів персонального комп'ютера робить можливим також польові дослідження, роботу в різних типах приміщень за різних умов освітленості та прямої видимості. Ці особливості додатково підсилені завдяки можливості повертати камеру на 180 градусів по горизонталі та на кут 90 градусів по вертикалі. Така здатність до руху дозволяє охопити велику площу навколишнього простору без пересування всього стенда.

Можливість наведення камери на об'єкт, що цікавить оператора в ручному та автоматичному режимі, суттєво полегшує роботу. Режим автоматичного огляду навколишнього простору дозволяє установці працювати частково автономно.

Досягнуті результати дозволяють в подальшому реалізувати в повному обсязі частково автономну роботизовану платформу на колесах Ілона.

Список використаних джерел

1. *Improved mecanum wheel for omni-directional robots* / Olaf Diegel, Aparna Badve. – Institute of technology and Engineering, Massey University, Auckland 2002. – 141 p.
2. *Уоссермен Ф.* Нейрокомпьютерная техника: Теория и практика / Ф. Уоссермен. – М. : Мир, 1992. – 184 с.
3. *Object Recognition and Localization: The Role of Tactile Sensors* / Achint Aggarwal, and Frank Kirchner. – Sensors 2014, 14, 3227–3266.
4. *Тассов К. Л.* Применение искусственной нейронной сети неокогнитрон для распознавания государственных регистрационных знаков / К. Л. Тассов // Вестник МГТУ им. Н. Э. Баумана. Сер. «Приборостроение». – 2012. Спец. выпуск 2 : Программная инженерия. – С. 189–199.
5. *Сова А. А.* Математическая модель распознавания и обучения неокогнитрона / А. А. Сова, О. И. Федяев // Информатика и компьютерные технологии : VII Международная научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых научных работников. – Донецк, 2011. – С. 164–168.
6. *Face Recognition System for Set-Top Box-Based Intelligent TV* / Won Oh Lee, Yeong Gon Kim, Hyung Gil Hong and Kang Ryoung Park. – Sensors 2014, 14, 21726–21749.
7. *Neural network toolbox* [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.mathworks.com/help/nnet/index.html>.
8. *Леміш С. В.* Заводостійка система передачі даних для силового перетворювача / С. В. Леміш, О. О. Гусев, А. С. Ревко // Вісник Чернігівського державного технологічного університету : збірник. – Чернігів : ЧДТУ, 2013. – № 1 (63). – С. 192–199.

9. Денисов Ю. О. Реверсивный квазирезонансный импульсный преобразователь с цифровой системой управления / Ю. О. Денисов, А. С. Ревко // Технічна електродинаміка, тематичний випуск. Силова електроніка та енергоефективність. – 2005. – Ч. 4. – С. 50–53.

Ревко Анатолій Сергійович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри промислової електроніки, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 92, м. Чернігів, 14027, Україна).

Ревко Анатолій Сергеевич – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры промышленной электроники, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 92, г. Чернигов, 14027, Украина).

Revko Anatolii – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of Industrial Electronic Department, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: gudrunas.ch@gmail.com

Фесенко Артем Петрович – магістр, кафедра промислової електроніки, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 92, м. Чернігів, 14027, Україна).

Фесенко Артём Петрович – магистр, кафедра промышленной электроники, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 92, г. Чернигов, 14027, Украина).

Fesenko Artem – master, Industrial Electronic Department, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: asr@inel.stu.cn.ua, gudrunas.ch@gmail.com

УДК 528.48

Тетяна Малік, Всеволод Бурачек, Ярослав Брик

МЕТОД АВТОМАТИЧНОГО ГЕОДЕЗИЧНОГО СУЦІЛЬНОГО КОНТРОЛЮ ДЕФОРМАЦІЙ ІНЖЕНЕРНИХ СПОРУД

Татьяна Малик, Всеволод Бурачек, Ярослав Брик

МЕТОД АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО СПЛОШНОГО КОНТРОЛЯ ДЕФОРМАЦИЙ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Tetiana Malik, Vsevolod Burachek, Yaroslav Bryk

METHOD AUTOMATIC GEODETIC TOTAL CONTROL DEFORMATION OF ENGINEERING STRUCTURES

Розглянуто метод автоматичного геодезичного суцільного контролю деформацій інженерних споруд, в основі якого лежить спосіб побудови оптико-електронної створної лінії на основі фотоелектричного ланцюга деформаційних марок. Результатом запропонованого методу контролю деформацій інженерних споруд є підвищення точності вимірювання деформацій і суцільне охоплення контрольними вимірюваннями всього об'єму інженерної споруди, включаючи всі внутрішні конструкції, а також підвищення оперативності контролю деформацій.

Ключові слова: автоматичний контроль деформацій споруд, створна лінія.

Рис.: 5. Бібл.: 14.

Рассмотрено метод автоматического геодезического сплошного контроля деформаций инженерных сооружений, основой которого является способ построения оптико-электронной створной линии, базирующейся на фотоэлектрической цепи деформационных марок. Результатом предложенного метода контроля деформаций инженерных сооружений является повышение точности измерений деформаций и сплошной охват контрольными измерениями всего объема инженерного сооружения, включая все внутренние конструкции, а также повышение оперативности контроля деформаций.

Ключевые слова: автоматический контроль деформаций сооружений, створная линия.

Рис.: 5. Библ.: 14.

This article includes method automatical continuous geodetic deformation of engineering structures based on a method of constructing the line of alignment based on the photoelectric circuit expansion marks. The result of the proposed method for monitoring deformation in engineering structures is to increase the accuracy of measurements of deformations and continuous coverage of the control measurements of the continuous cover of engineering construction, including all internal structures, as well as increasing the efficiency of control deformations.

Key words: automatical control deformation structures, clearing line.

Fig.: 5. Bibl.: 14.

Огляд попередніх публікацій і постановка проблеми. Відомі традиційні способи й засоби визначення деформацій споруд, у тому числі створні, створно-оптичні, струнні, струнно-оптичні [1; 12], високоточне інженерно-геодезичне нівелювання [6], а також способи геодезичної засічки [6]. Основними недоліками цих способів є великий об'єм ручної праці, відсутність оперативності контролю. Також на сьогодні в Україні і

за кордоном застосовують автоматизовані системи моніторингу деформацій інженерних споруд, основані на комбінованому застосуванні сучасних геодезичних приладів і пристроїв, таких як: електронні тахеометри, GNSS-приймачі, інклінометри, різні види датчиків [7; 8; 11; 13; 14]. Недоліками цих систем є їх складність, недостатня точність внаслідок неможливості вимірювання безпосередньо величини деформацій конструкцій споруди, крім того, електронні тахеометри і GNSS-приймачі мають складності під час їх розташування й закріплення на споруді, високу вартість і недостатню захищеність від вандалізму [5].

У [10] описано спосіб побудови створної лінії на основі фотоелектричного ланцюга деформаційних марок (ДМ), який є основою цього методу. Недоліками способу [10] є відсутність додаткового контролю величини зміщення деформаційних марок і суцільного контролю деформацій у всьому об'ємі інженерної споруди.

Як аналог приймаємо спосіб [10], що має загальний принцип із запропонованим методом (оптико-електронний зв'язок деформаційних марок), а як прототип – спосіб [7] (загальна ознака – суцільний контроль деформацій не геодезичними методами).

Мета статті. Ефективним рішенням задачі контролю деформацій інженерних споруд є створення методу автоматичного геодезичного суцільного контролю деформацій інженерних споруд, що забезпечує вимірювання величин деформацій споруди у всьому її об'ємі з підвищеною точністю й оперативністю.

Викладення основного матеріалу. Поставлене завдання вирішується за рахунок створення методу автоматичного геодезичного суцільного контролю деформацій інженерних споруд. Цей метод оснований на технології автоматичного вимірювання деформацій за допомогою створної оптико-електронної лінії із взаємним візуванням приладів. Оптико-електронні (ОЕ) створні лінії формують у три пучка паралельних регулярних ліній, напрямки яких орієнтують за трьома головними осями споруди, таким чином з точок перетину створних ліній утворюють 3D об'ємну просторову матрицю, яка складається з множини матриць $M^{3D} = M_x \cdot i + M_y \cdot j + M_z \cdot k$, де $i = (\overline{1, n})$, $j = (\overline{1, m})$ і $k = (\overline{1, e})$ – число матриць, відповідно M_x , M_y і M_z – по осям споруди X , Y , Z . При цьому в безпосередній близькості до точок перетину ліній розміщують шестиканальні ОЕ прилади з цифровими камерами, які контролюють деформації за напрямками, перпендикулярними до створних ліній по осях X , Y , Z . Об'ємними пікселями просторової матриці $M_{x,y,z}^{3D}$ є малі області елементів споруди, центральні точки яких – є точками перетину створних ліній.

Результатом є підвищення точності вимірювання деформацій і суцільне охоплення контрольними вимірюваннями всього об'єму інженерної споруди, включаючи всі внутрішні конструкції, а також підвищена оперативність контролю деформацій.

Цей метод реалізується за допомогою системи, опис якої наведено в [2]. Основною складовою ланкою цієї системи геодезичного контролю є ланцюг ОЕ деформаційних марок, що утворює створну лінію [4].

На рис. 1 показано узагальнену схему ОЕ створної лінії на лінійній ділянці інженерної споруди, яка складається з ОЕ приладів–деформаційних марок [2].

На схемі (рис. 1) позначено основні блоки створної лінії [2]:

- 1, 2, 3, ... $n-1$, n – ОЕ прилади – ДМ;
- I , II – візирні марки опорних геодезичних знаків створу;
- 4 – об'єктиви цифрових фотокамер, встановлених в оправах;
- 5 – блоки подвійних фотоелектричних матриць;
- 6 – система оброблення даних за виміряними деформаціями;
- 7 – блок реєстрації, перетворення й оброблення інформації;

- 8 – блок індикації;
- 9 – блок запису й зберігання інформації;
- 10 – блок оцінювання стану міцності конструкції;
- 11 – блок моніторингу осадки ΔZ ;
- 12 – блок моніторингу деформацій просторової мережі $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$;
- 13 – блок оцінювання техногенної ситуації;
- 14 – блок сигналізації та оповіщення;
- 15 – засоби зв'язку.

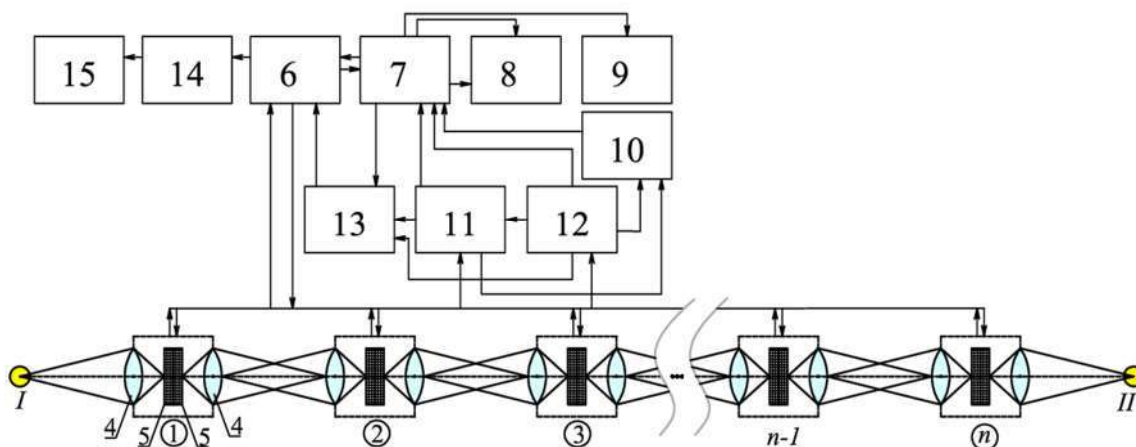


Рис. 1. Схема оптико-електронної створної лінії на лінійній ділянці інженерної споруди

Під час включення системи, в результаті взаємного візування приладів 1, 2, 3, ..., $n-1, n$, на матриці 4 утворюються відліки, за результатами яких виконується оброблення в блоці 6 та обчислюються величини змін координат деформаційних марок.

Конструкція ОЕ приладу–ДМ схематично представлена на рис. 2 [2], де позначено:

- 4 – об’єктиви цифрових фотокамер, встановлених в оправах;
- 5 – блоки подвійних фотоелектричних матриць;
- 16 – світлові елементи кільцевих джерел світла;
- 17 – світлові потоки від візорних марок;
- 18 – основа ОЕ приладу;
- 19 – корпус ОЕ приладу.

$L - L'$ – загальна створна вісь системи, що складається з ОЕ приладів.

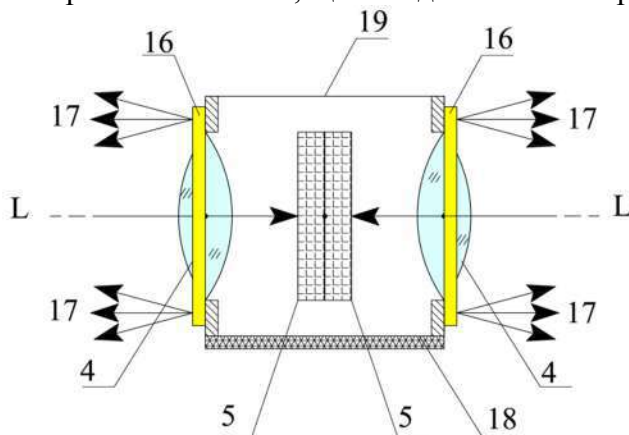


Рис. 2. Схема конструкції деформаційної марки

Щоб виміряти величину відхилення приладів від створу лінії, необхідно виміряти величину лінійного зсуву зображення пучка променів, сформованого об’єктивом у ро-

бочій площині фотоприймача. При цьому світлові потоки від візирних марок падають на об'єктиви, які фокусують зображення марок на мішенях фотоприймачів [2].

З фотоприймачів через блок управління 6 у блок оброблення інформації 7 потрапляють електричні сигнали про величини відхилень зображень марок від номінального положення, зафіксованого в пам'яті пристрою (в блоці 9) при первинному включенні системи (рис. 1) [2].

При горизонтальному розташуванні осі схеми (рис. 2) отримують суми відліків на фотоприймачах (матрицях) 5, які дорівнюють нулю.

ОЕ канали 1 і 2 приймають світлові промені (вектори \bar{A}_1 і \bar{A}_2), що йдуть від візирних марок $ВМ_1$ і $ВМ_2$, через об'єктиви O_1 і O_2 , які формують зображення візирних марок відповідно на фотоприймальних матрицях M_1 і M_2 та утворюють з векторами візирних осей приладу \bar{V}_1 і \bar{V}_2 малі кути Ψ_1 і Ψ_2 (рис. 3) [2; 4].

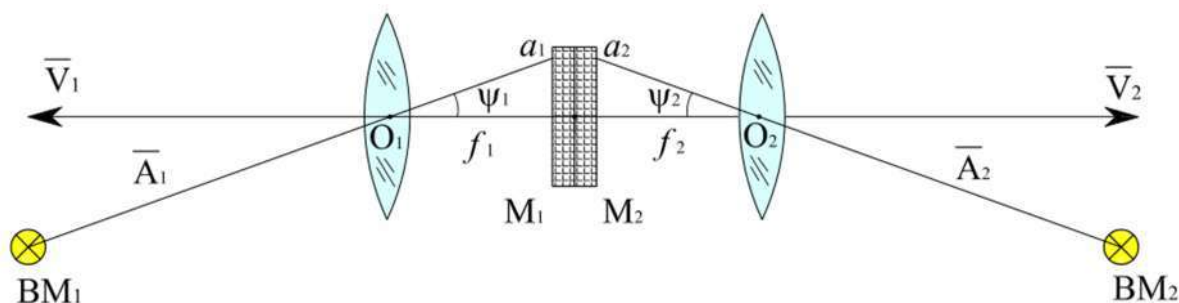


Рис. 3 Схема двоканального оптико-електронного приладу

Отримані зображення візирних марок $ВМ_1$ і $ВМ_2$ на матрицях M_1 і M_2 перетворюються в електричні сигнали з відліками a_1 і a_2 точок проєкцій променів \bar{A}_1 і \bar{A}_2 на двох осях кожної з матриць (рис. 3). Кут між векторами \bar{A}_1 і \bar{A}_2 буде дорівнювати

$\beta = 180^\circ - \left(\frac{a_1 \cdot \rho''}{f_1} + \frac{a_2 \cdot \rho''}{f_2} \right)$, де $f_1 = f_2 = f$ – фокусні або робочі відстані об'єктивів O_1 і

O_2 камер приладу, $\rho = 206265''$; отже $\beta = 180^\circ - \frac{(a_1 + a_2)}{f} \rho''$ [2].

У [3] наведено доказ важливої властивості приладу-ДМ – нечуттєвість його до нахилів і поворотів на малі кути, тобто при будь-яких відхиленнях приладу на кут між векторами променів (направлених на центри візирних марок) кут завжди буде дорівнювати сумі відліків на суміжних лініях подвійної фотоприймальної матриці, тобто

$$\beta_{i+1} = 180^\circ - \frac{(a_i'' + a_{i+2}'')}{f} \rho'' ,$$

де β_{i+1} – кут при вершині в точці встановлення приладу $i+1$;

a_i'' , a_{i+2}'' – відліки по лініях матриць приладу $i+1$ під час візування на прилад i і $i+2$;

f – фокусні відстані об'єктивів оптико-електронних камер приладу;

$\rho = 206265''$.

Тут, застосовуючи двоканальні марки (рис. 3) вздовж створної лінії, маємо лінійно-кутовий хід з кутами β_i , близькими до 180° у вершинах 2, 3, ..., $n-1$. Цей хід спірається на дві опорні марки [9].

Таким чином, рішення задачі створних вимірювань у цьому випадку зводиться до визначення величини деформацій елементів конструкцій споруди відносно їх початкового положення, при цьому, враховуючи близькість деформаційних марок до створної лінії,

можна відраховувати деформації елементів за напрямками, перпендикулярними до створної лінії, від створної лінії або від проектної лінії відповідної осі інженерної споруди.

Перехід від окремих створних ліній-ланцюгів ДМ до просторової ОЕ мережі ДМ пов'язаний із застосуванням шестиканальних ОЕ приладів ДМ, кожен з яких має три двоканальні блоки подвійного взаємного візування. Схему такого блока з орієнтацією по напрямку осей інженерної споруди X, Y, Z показано на рис. 4.

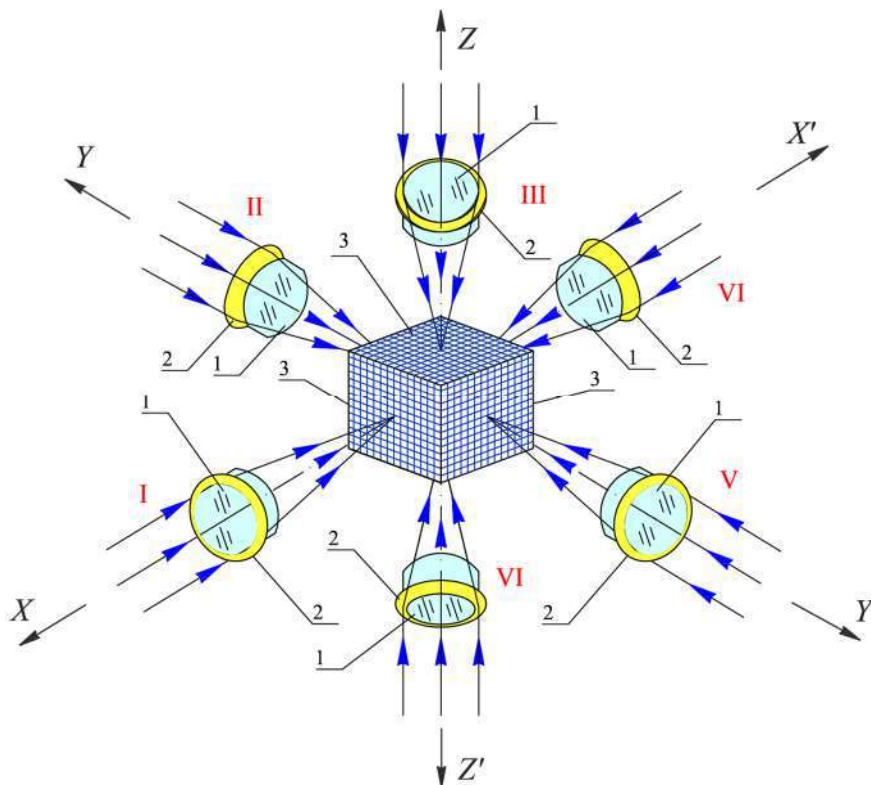


Рис. 4. Схема шестиканального оптико-електронного приладу-ДМ: 1 – об’єктиви цифрових камер; 2 – світлові елементи кільцевих джерел світла (візирна марка); 3 – багатоелементні фотоприймачі (матриці)

Під час використання шестиканальних ОЕ приладів (рис. 4) з розташуванням візирних осей каналів, паралельних головним осям споруди, в трьохосній системі координат X, Y, Z отримаємо в об’ємі споруди три паралельних пучка створних ліній по напрямкам головних осей.

На рис. 5 на прикладі утворення пучка паралельних створних ліній по напрямку осі X показано принцип побудови системи трьох паралельних пучків проектних створних ліній в об’ємі споруди, при цьому кожний пучок складається з дев’яти створних ліній. Пучок ліній (X) перетинає пучки створних ліній по напрямкам осей Y і Z , які знаходяться в площинах, паралельних площині YOZ , при цьому на перетині створних ліній цих трьох пучків утворюються так звані деформаційні точки q_{x_i, y_j, z_k} ($i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m}, k = \overline{1, e}$), де i, j, k – число точок на відповідній створній лінії.

У зоні перетину кожної трійки створних ліній (по напрямкам осей X, Y, Z) встановлюють шестиканальні деформаційні оптико-електронні марки, тим самим утворюють об’ємну просторову геодезичну мережу ДМ. Інакше кажучи, деформаційні марки не знаходяться точно на лінії проектних створних ліній інженерної споруди, тому за початкові відліки точок q_{x_i, y_j, z_k} приймають нульові значення по всім точкам на проектних лініях.

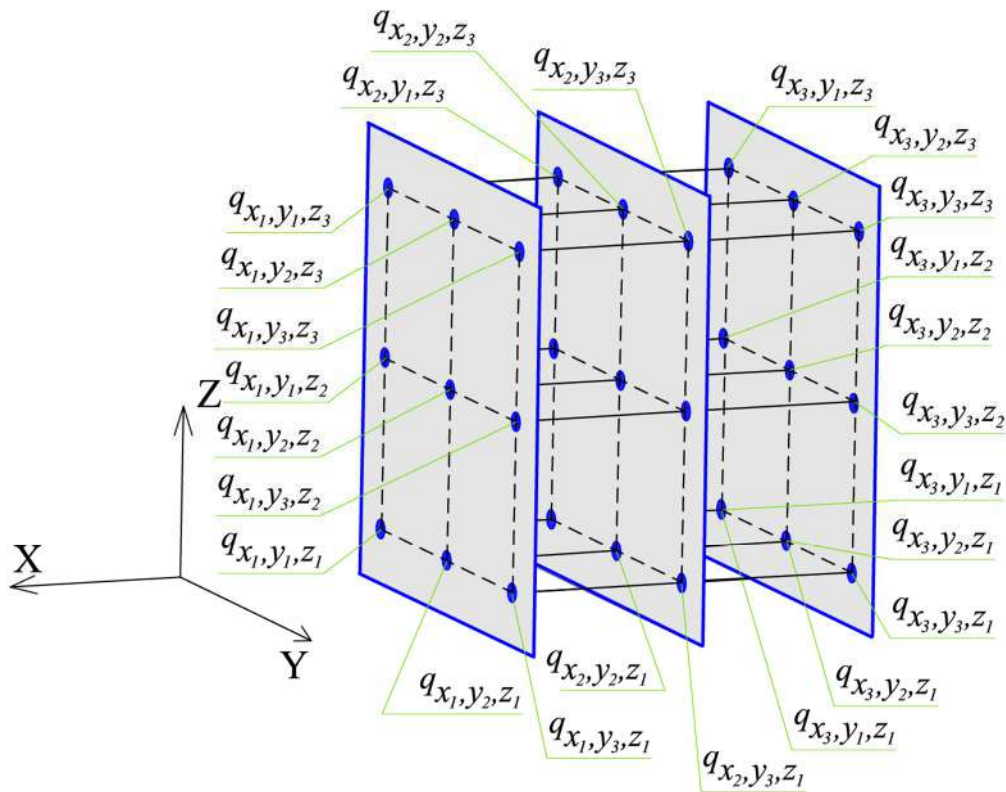


Рис. 5. Об'ємна просторова геодезична мережа ДМ

Отже, будемо вважати, що в просторовій геодезичній мережі деформаційні марки знаходяться в точках перетину пучків створних ліній.

Організацію цієї геодезичної мережі з позиції теорії множин можна описати як об'ємну трьохмірну деформаційну матрицю 3D. Множина деформаційних матриць Q включає в себе підмножини паралельних регулярних пучків проектних створних ліній деформаційних марок інженерної споруди: Q_x, Q_y і Q_z : $Q_x \in Q$; $Q_y \in Q$; $Q_z \in Q$, орієнтованих по трьом напрямкам системи координат інженерної споруди. Кожна з цих підмножин Q_x, Q_y і Q_z містить підмножини ланцюгів створних ліній ДМ:

$$Q_x^{(yz)}, Q_y^{(zx)}, Q_z^{(xy)},$$

при цьому перетин цих підмножин має вигляд:

$$\bigcap_{i=1}^{nml} Q_{(x,y,z)} = Q_x \cap Q_y \cap Q_z, \{x_p : p = \overline{1, n}, y_r : r = \overline{1, m}, z_s : s = \overline{1, e}\},$$

і, нарешті, кожний ланцюг – створна лінія ДМ $Q_x^{(yz)}, Q_y^{(zx)}$ і $Q_z^{(xy)}$ є підмножиною, що складається з елементів q_{x_i, y_j, z_k} :

$$\left. \begin{aligned} q_{x(yz)} &\in Q_x^{(yz)}, \\ q_{y(zx)} &\in Q_y^{(zx)}, \\ q_{z(xy)} &\in Q_z^{(xy)}. \end{aligned} \right\},$$

$$\{q_{xyz} : q_{xyz} = Q_x^{(yz)} \cap Q_y^{(zx)} \cap Q_z^{(xy)}, \Delta q_{xyz} = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2 + \Delta z^2}\},$$

тобто елементи q , утворені перетином створних ліній деформаційних марок, і є точками відліку для визначення відхилень $\Delta q_{x_i, y_j, z_k}$.

Множини елементів q_{x_i, y_j, z_k} можна представити як просторову фізичну матрицю $3D$, яка складається з підмножин плоских матриць M_{x_i} , M_{y_j} і M_{z_k} , кожна з яких міститься відповідно в площинах $ZOY - i$, $ZOX - j$, $XOY - k$ матриць. Кожна з матриць містить відхилення Δq по осям X, Y, Z , при цьому відхилення по осі, перпендикулярній до площини матриці, можуть бути відображені у вигляді ізолінії подібно зображенню горизонталей на топографічному плані.

Об'єднання цих підмножин має вигляд:

$$\bigcup_{xyz} M^{3D} = M_x \cup M_y \cup M_z.$$

До складу інженерно-геодезичного моніторингу складної інженерної споруди для рішення задачі просторового дослідження деформацій може бути включена система, подібна ГС з автоматизацією оброблення даних у реальному масштабі часу й візуалізацією деформаційної ситуації.

Висновок. Таким чином, метод автоматичного тотального геодезичного контролю деформацій інженерних споруд дозволяє здійснювати геодезичний контроль усього внутрішнього об'єму конструкції споруди в автоматичному режимі й реальному масштабі часу, підвищити точність контролю, а також рівень техногенної безпеки для персоналу та цінного обладнання.

Список використаних джерел

1. *Боровий В. О.* Автоматизація геодезичних вимірювань / В. О. Боровий, Л. В. Борисюк, В. Г. Бурачек; під ред. В. О. Борового. – Чернігів: Чернігівські береги, 2004. – 368 с.
2. *Бурачек В. Г.* Автоматизированная система точного геодезического контроля деформаций инженерных сооружений / В. Г. Бурачек, Т. Н. Малик, О. В. Лиховолов // Проектирование развития региональной сети железных дорог: сб. науч. тр. / под ред. В. С. Шварцфельда. – Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2015. – Вып. 3. – С. 86–98.
3. *Бурачек В. Г.* Про похибки вимірювань цифровою камерою при неузгодженості ортонормованих базисів приладової і геодезичної систем / В. Г. Бурачек, Т. М. Малік, В. Ю. Беленок // Інженерна геодезія. – 2012. – № 58. – С. 208–223.
4. *Дослідження шляхів підвищення точності геодезичних систем за рахунок створення нових оптико-електронних схем вимірювань: звіт про НДР (заключ.).* – № ДР 0113U003666 / Чернігівський державний інститут економіки і управління, Приватний вищий навчальний заклад Університет новітніх технологій; керівник роботи В.Г. Бурачек; виконавці: В.Г. Бурачек, Т.М. Малік, Д.В. Хомушко, В.Ю. Беленок. – К., 2013. – 172 с.
5. *Евстафьев О. В.* Проблемы установки и сохранности оборудования автоматизированных систем деформационного мониторинга [Электронный ресурс] / О. В. Евстафьев, А. И. Яценко // Инжиниринговый центр ГФК. – М., 2010. – Режим доступа: http://www.icentre-gfk.ru/data/save_obdefmon_02_2010_z.pdf.
6. *Зайцев А. К.* Геодезические методы исследования деформаций сооружений / А. К. Зайцев, С. В. Марфенко, Д. Ш. Михелев. – М.: Недра, 1991. – 272 с.
7. *Идиатуллин Д. Р.* Система мониторинга состояния несущих конструкций реального времени (СМИК) [Электронный ресурс] / Д. Р. Идиатуллин, В. И. Клещин // Предотвращение аварий зданий и сооружений. – № ФС77-35253. – Режим доступа: <http://www.pamag.ru/prensa/smik-rv>.
8. *Ковтун В.* Современный геодезический мониторинг – основа возведения и безопасной эксплуатации высотных зданий / В. Ковтун, Л. Чаплинская // Геопрофи. – М., 2011. – С. 20–22.
9. *Мазин И. Д.* Инженерно-геодезические работы при реконструкции промышленных объектов: справочное пособие / И. Д. Мазин. – М.: Недра, 1991. – 216 с.

10. Патент України на винахід 85229. Спосіб автоматичного контролю техногенної безпеки магістральних нафтогазопроводів; опубл. 12.01.2009, Бюл. № 1.
11. Хиллер Б. Автоматизированная система деформационного мониторинга (АСДМ) на Саяно-Шушенской ГЭС / Б. Хиллер, И. В. Сухов, В. Т. Ли // Гидротехника. – Санкт-Петербург, – 2015. – № 2. – С. 12–15.
12. Ямбаев Х. К. Высокоточные створные измерения / Х. К. Ямбаев. – М. : Недра, 1986. – 264 с.
13. Яценко А. И. От водяного уровня до высокоточного инклинометра / А. И. Яценко // Геопроби. – 2010. – № 4. – С. 17–19.
14. Cranenbroeck J. State of the Art in Structural Geodetic Monitoring Solutions for Hydro Power Plant / J. van Cranenbroeck // FIG Working Week 2011 Bridging the Gap between Cultures Marrakech, Morocco, 2011.

Малік Тетяна Миколаївна – старший викладач кафедри геодезії, картографії та фотограмметрії Університету новітніх технологій (провулок Машинобудівний, 28, м. Київ, 03067, Україна).

Малик Татьяна Николаевна – старший преподаватель кафедры геодезии, картографии и фотограмметрии Университета новейших технологий (переулок Машиностроительный, 28, г. Киев, 03067, Украина).

Malik Tetiana – senior lecturer at the Department of Geodesy, Cartography and Photogrammetry of University of emerging technologies (28 Mashynobudivnyi Per., 03067 Kyiv, Ukraine).

E-mail: kafgeodez@ukr.net

Бурачек Всеволод Германович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри геодезії, картографії та землеустрою Чернігівського національного технологічного університету (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

Бурачек Всеволод Германович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой геодезии, картографии и землеустройства Черниговского национального технологического университета (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

Burachek Vsevolod – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Head of Department of Geodesy, Cartography and Land Planning of Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027 Chernihiv, Ukraine)/

E-mail: vbur2008@ukr.net

Брик Ярослав Петрович – викладач кафедри геодезії, картографії та фотограмметрії Університету новітніх технологій (провулок Машинобудівний, 28, м. Київ, 03067, Україна).

Брик Ярослав Петрович – преподаватель кафедры геодезии, картографии и фотограмметрии Университета новейших технологий (переулок Машиностроительный, 28, г. Киев, 03067, Украина).

Bryk Yaroslav – lecturer at the Department of Geodesy, Cartography and Photogrammetry of University of emerging technologies (28 Mashynobudivnyi Per., 03067 Kyiv, Ukraine).

E-mail: kafgeodez@ukr.net

УДК 378.146:004.91

Тетяна Науменко

ОСОБЛИВОСТІ УПРАВЛІННЯ РОЗВИТКОМ ЕЛЕКТРОННОГО ІНСТРУМЕНТАРІЮ У СКЛАДІ СИСТЕМИ ОЦІНЮВАННЯ ЯКОСТІ ЗНАТЬ

Татьяна Науменко

ОСОБЕННОСТИ УПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЕМ ЭЛЕКТРОННОГО ИНСТРУМЕНТАРИЯ В СОСТАВЕ СИСТЕМЫ ОЦЕНИВАНИЯ КАЧЕСТВА ЗНАНИЙ

Tetiana Naumenko

PECULIARITIES OF MANAGEMENT OF THE ELECTRONIC TOOLBOX DEVELOPMENT IN THE STRUCTURE OF THE KNOWLEDGE QUALITY EVALUATION SYSTEM

З метою вдосконалення системи оцінювання рівня якості знань студентів ВНЗ на шляху реформування вищої освіти та розвитку технологічно-виробничої інфраструктури необхідно мати чітке уявлення про критерії визначення їх якості, вплив на формування. Для досягнення рішення поставленого завдання у статті досліджено успішні практики розвитку систем оцінювання з використанням електронних ресурсів, представлена характеристика розробленої автором автоматизованої системи оцінювання знань, розроблена концептуальна модель управління системами оцінювання якістю продуктів освітніх послуг у процесі їх динамічних змін та визначені перспективи подальших досліджень.

Ключові слова: якість знань, рейтинг, електронний інструментарій.

Рис.: 4. *Бібл.:* 15.

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

С целью усовершенствования системы оценивания уровня качества знаний студентов ВУЗов на пути реформирования высшего образования и развития технологического-производственной инфраструктуры необходимо иметь четкое представление об критериях определения их качества, влияние на формирование. Для достижения решения поставленного задания в статье исследованы успешные практики развития систем оценивания с использованием электронных ресурсов, представлена характеристика разработанной автором автоматизированной системы оценивания знаний, разработана концептуальная модель управления системами оценивания качеством продуктов образовательных услуг в процессе их динамических изменений и определены перспективы дальнейших исследований.

Ключевые слова: качество знаний, рейтинг, электронный инструментарий.

Рис.: 4. Библ.: 15.

In order to improve the knowledge quality evaluation system of the students of higher educational establishments on the way of reforms of the higher education and the development of the technological and production infrastructure it is necessary to have a clear idea about the criteria of quality identification, the influence on its formation. To achieve the task the successful experience of the evaluation system development with the electronic resources usage has been investigated, the characteristic of the developed by the author computer-aided knowledge quality evaluation system has been introduced, the conceptual model of the management of education service quality evaluation systems has been developed in the process of their dynamic changes and the prospects for further research have been stated in the article.

Key words: knowledge quality, rating, electronic toolbox.

Fig.: 4. Bibl.: 15.

Постановка проблеми. Процеси управління освітніми проектами завжди потребують особливої уваги, адже від якості продукту цього різновиду проектів залежить успішність реалізації проектів різних галузей та сфер життєдіяльності.

Сьогодні освітній процес України зазнає серйозних змін. До 2020 року передбачено створення системи забезпечення та постійного поліпшення якості вищої освіти, яка повинна відповідати рекомендаціям і стандартам Європейського простору вищої освіти (ЄПВО) із врахуванням кращих світових практик. Світовий досвід повинен розглядатися як одна із складових частин під час створення концепції стратегічного розвитку системи освіти та її якості в Україні, але з обов'язковим урахуванням національних особливостей.

Підвищення якості навчального процесу у вищих навчальних закладах (ВНЗ) тісно пов'язано з підвищенням ефективності управління навчальною діяльністю студентів на основі автоматизації й модернізації його інформаційного забезпечення, розвитком моніторингу якості освіти, складовою якого є електронне тестування.

Якісне оцінювання знань студентів є «вічною» проблемою, що турбує діячів освіти.

Загалом системи автоматизованого тестування створюються та експлуатуються понад сорок років, проте вузькість вирішуваних ними завдань істотно знижує очікуваний ефект.

Нині потрібна нова модель формування та використання знань, орієнтована на збалансування потреб наукової, освітньої та виробничої сфер регіонів. Цього вимагає рух нашої країни до технологічного оновлення виробництва і, відповідно, до трансформації системи інтелектуальних послуг, що зумовлює потребу в розробленні інноваційної системи знань як ресурсу розвитку технологічного-виробничих інфраструктур [9].

Отже, як традиційні, так і нетрадиційні системи оцінювання навчальних досягнень застарівають і вимагають адекватних, оперативних змін та модифікації.

За висновком експертів, система оцінювання навчальних досягнень студентів та випускників, що існує в системі вищої освіти України, не відображає реального стану справ. Інформація про результати навчання через недосконалість наявних методик і процедур оцінювання, низьку якість контрольно-вимірвальних матеріалів не є об'єктивною та валідною. Так, для технічних спеціальностей, крім використання традиційної системи тестування базових знань, для автоматизованого оцінювання практичних навичок доцільно застосовувати нові адаптивні алгоритми тестового контролю; використовувати в тестах мультимедійні можливості комп'ютерів; гейміфіковані ситуативні тренажери, симулятори різноманітних технічних приладів, процесів та процедур [14]. А це говорить про необхідність введення інтеграційних процесів у систему оцінювання.

Тобто існує наукове завдання, яке полягає в управлінні розвитком систем та інструментарію оцінювання якості продукту освітніх послуг. Рішення такого завдання забезпечить перегляд вимог щодо формування якісних освітніх послуг. Тому є необхідність у

побудові управлінських моделей, механізмів для модифікації діючих проектів систем контролю оцінювання знань студентів з врахуванням усіх чинників та стандартів якості.

З метою коректного застосування методів проектного менеджменту в освітній галузі є необхідність дослідження особливостей у розвитку проектів систем оцінювання знань.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. За міжнародними дослідженнями якості вищої освіти, висвітленими у проекті Стратегії реформування вищої освіти в Україні до 2020 року, встановлено, що показники якості вищої освіти України є доволі неоднорідними. За кількісним показником Україна перебуває в числі перших 10-15 країн світу. За якістю освіти Україна посідає майже соте місце.

Якість освіти як складна категорія і багатоаспектна проблема може бути розкрита через категорії властивості, структури, системи, кількості, ефективності, оцінки, управління та ін.

Дослідженнями категорії «якість освіти» та розробкою підходів до формування якості продукту займаються такі вчені, як: О. В. Василенко, В. А. Рач, А. Ю. Борзенко-Мірошніченко, О. В. Придатко, О. В. Длугопольський, В. А. Кальней, М. Р. Кудяєв, І. Я. Лернер, А. Н. Майоров, П. І. Підкасистий, А. Н. Ременцов, І. В. Столярова, Н. Ф. Талізїна, Ю. Г. Татур, М. Б. Челишкова, С. Є. Шишов та ін. Так, В. А. Рач розробив модель формування якості продукту освітніх проектів, яка забезпечується акцентуванням уваги на самостійній роботі студентів [12].

Із результатів досліджень можна зробити висновок, що категорії якості та оцінювання тісно взаємопов'язані.

У ВНЗ усього світу відповідно до систем освітнього процесу оцінювання навчальних досягнень студентів проводиться за допомогою електронних тестів [13]. Тестування використовується як один із розділів діагностики з метою визначення придатності об'єкта тестування до виконання функцій за потребами споживача.

Провідними європейськими країнами у сфері розвитку й удосконалення електронної освіти є: Німеччина, Іспанія, Італія, Фінляндія, Швеція, Франція, Чехія, Великобританія.

Якість тестування й достовірність його результатів значною мірою залежить від методів тестування, складу тестів та структури системи тестування. Комп'ютерне тестування, зазвичай, відносять до адаптивної моделі педагогічного тестування. Адаптивно-навчальні системи функціонують у контексті сучасного підходу до технології контролю знань, запропонованого Л. А. Растрігіним, відповідно до якого стосунки між учнем і вчителем подаються як стосунки між об'єктом керування та керувальним пристроєм.

Актуальним на сьогодні є також питання щодо розроблення та використання інтелектуальних автоматизованих систем оцінювання знань. Воно є предметом численних обговорень, досліджень вітчизняних та зарубіжних науковців і фахівців.

Дослідженню систем автоматизованого оцінювання знань студентів присвячено роботи С. Волкова, Ю. Кондратенко, Л. Мисник, Л. Оксамитної, Л. Ткаченко та ін.

Компанія Pearson є світовим лідером у галузі надання освітніх послуг. Однією з популярних та актуальних в Україні багатопрофільних безкоштовних систем для електронного опитування здобувачів вищої освіти є MOODLE, яка використовується більш ніж у 30 країнах світу. Про що свідчать як результати статистики Google Trends, так і дані ресурсу ListEdTech. Система впроваджена у Вінницькому торговельно-економічному інституті [15].

Вітчизняний ринок також має певні здобутки у галузі розроблення автоматизованих систем тестування знань. Наведемо декілька прикладів. Науковці Харківського національного університету радіоелектроніки розробили систему комп'ютерного тестування OpenTEST, що надає можливість створення тестів закритої форми, їх редагування, здійс-

нення експорту та імпорту до системи, проведення тестування в локальному мережевому класі або через Інтернет, експертної оцінки окремих питань тесту, або тесту загалом.

У Миколаївському державному гуманітарному університеті ім. Петра Могили науковцями Ю.П. Кондратенком та С.О. Волковою розроблено комп'ютеризовану систему тестування знань студентів VOLKON у вигляді інтелектуальної інформаційної системи підсумкового контролю знань студентів. Система має модульну структуру, яка забезпечує легкість розширення її функціональності без необхідності внесення змін в наявні модулі.

Фахівцями Національного університету Львівська політехніка Т. М. Басюком та В. В. Павелком описана розроблена клієнт-серверна система iLaT, що уможливило одночасне тестування знань групи користувачів та дає змогу вивести розгорнуту статистику результатів тестування. Спроекована система реалізована на модульній структурі, що забезпечує гнучкість її проектування, модифікації та впровадження [1].

У Дніпропетровській академії управління розроблена універсальна автоматизована система «Контроль–2000», в Запорізькій державній інженерній академії – комп'ютерна система контролю знань, яка демонструвалась на міжнародній виставці «Сучасна освіта в Україні –2002» та ін.

Зарубіжні системи оцінювання знань студентів, які були започатковані в другій половині ХХ ст., створювались у більшості як накопичувальні. І під час розроблення балово-рейтингових систем оцінювання (БРС) ліквідація недоліків традиційних систем була головною метою. Балово-рейтингова система оцінювання знань отримала назву Credit based system, що у перекладі звучить, як «Кредит–система» або «Система залікових одиниць». Основною метою запровадження Європейської кредитної системи (ECTS) було створення механізму оцінювання якості освіти, необхідної для академічної мобільності студентів. Технологія рейтингової оцінки навчальної успішності учнів являє собою багатофакторну технологію оцінювання навчання.

Проблемою рейтингового контролю займалися багато вітчизняних і зарубіжних дослідників. Серед них: Б. А. Сазонов, П. П. Одерій, Д. Бригс, Р. Гарньє, В. Карпов, І. Кругліков, А. Молібог, В. Монахов, О. Околелов, Є. Попов, Л. Романішина, В. Сосонко, М. Сукнов, Ю. Татур, А. Цахоева, М. Яковлева та багато інших. Необхідність впровадження рейтингової системи оцінювання результатів навчання відзначають А. Ф. Гусєва, В. Я. Зінченко, Р. Я. Касимов, А. В. Левін, В. І. Огорелков, А. Ф. Сафонов та ін.

У міжнародній практиці для оцінювання розроблені та використовуються різні шкали оцінювання, а в Україні – бінарна, п'ятибалова, дванадцятибалова, стобалова та рейтингова.

Рейтинг студента в зарубіжному університеті – це конфіденційна особиста інформація [13]. Як рейтинг студента відповідно до розповсюджені у світі моделі балово-рейтингової системи використовується загальний середній показник успішності (ЗСПУ). Він показує ступінь успішності освоєння освітньої програми в порівнянні з максимально можливим результатом [13]. В американській системі освіти аналог ЗСПУ (GPA) розраховується за чотирибальною шкалою, а у російській – на основі традиційної п'ятибальної системи оцінювання. Розрахунок ЗСПУ виконується за формулою (1):

$$ЗСПУ = \frac{O_1K_1 + O_2K_2 + \dots + O_nK_n}{K_1 + K_2 + \dots + K_n}, \quad (1)$$

де O_1, O_2, \dots, O_n – числові еквіваленти отриманих студентом оцінок за дисциплінами навчального плану;

K_1, K_2, \dots, K_n – трудомісткості відповідних дисциплін за навчальним планом у залікових одиницях [14].

У процесі організації та здійснення контролю та оцінювання якості підготовки студента вчені виділяють деякі проблеми, необхідні для вирішення, а саме:

- обрання шкали оцінок, яка має адекватно відображати рівень знань і вмінь, передбачених освітньо-кваліфікаційною програмою;
- формування контрольних завдань різної складності, за якими можна було б оцінити динаміку підготовленості студента;
- забезпечення зворотного зв'язку між процесами оцінювання та навчання;
- розроблення інструментарію, що забезпечує об'єктивність та повноту оцінювання.

Отже, розроблення ефективного інструментарію, здатного в повному об'ємі відобразити рівень якості отриманих знань, є одним з актуальних завдань, і в той же час проблемних завдань. Воно залежить від змін у системі оцінювання знань ВНЗ, які обумовлюються впливом певних факторів та досліджуються українськими вченими, серед яких вагомий внесок зроблений В. А. Рачом та А. Ю. Борзенко-Мірошніченко.

Але на сьогодні залишається невирішеною проблема визначення граничного значення якості знань, яке б використовувалось при кількісних вимірах знань в українській вищій школі і знайшло б відображення у формуванні стандартів щодо розроблення інструментарію освітніх проектів.

Взагалі програмні продукти, що виступають як інструментарій, характеризуються складним механізмом реалізації вискоефективних тестів для контролю знань по спеціальним дисциплінам, особливо технічного напрямку; невирішеністю проблеми перевірки якості запропонованих тестів; наукоємністю та технічною складністю розроблення, впровадження та експлуатації сучасних інформаційних систем, інформаційних ресурсів, баз даних і знань. Також наявні системи не реалізують засоби інтеграції в єдину комплексну систему та, за твердженнями науковців, розроблені засоби автоматизованого контролю знань потребують розроблення контролюючих програмних систем.

Будь-який розвиток продукту потребує на певному етапі вудосконалення відповідно до вимог ринку, потреб споживачів, інтересів інвесторів тощо. Не виключенням є і системи контролю та оцінювання знань як продукт проекту. Тим паче, що останнім часом є тенденція поступового переходу до більш складних методик оцінювання навчальних досягнень студентів, диференційованих підходів, до застосування багатобалових оцінювальних шкал та рейтингового оцінювання.

Мета статті. Дослідити особливості розвитку категорії оцінювання та якості знань, а також успішні практики щодо розвитку автоматизованих систем оцінювання як інструменту визначення рівня якості продукту освітніх послуг.

Виклад основного матеріалу. Інформаційне суспільство висуває нові вимоги і завдання щодо впровадження нових освітніх стандартів, ініційоване розробкою проекту Стратегії реформування вищої освіти в Україні. Тому вищі навчальні заклади України переходять у фазу вдосконалення і розвитку раніше реалізованих освітніх проектів. Електронне навчання є інноваційним освітнім підходом, яке допомагає уникнути деяких проблем, спричинених психологічними факторами; рівнем загальної та спеціальної підготовки, особистими якостями викладача.

Тому в роботі порушено актуальне питання щодо необхідності розроблення методів, механізмів, моделей управління системами з нетрадиційними методами оцінювання рівню якості вироблених знань.

У вітчизняній практиці тестування використовується в комплексі з іншими видами контролю та оцінювання знань [15]. Такий підхід є особливо затребуваним на технічних спеціальностях, де значний вплив на оцінювання якості знань має результат взаємодії «об'єкт–інструмент». Як об'єкт в організаційній моделі системи оцінювання є студент. Враховуючи взаємозв'язок різних інформаційних потоків до системи та вплив їх на формування складу оцінки, система повинна мати накопичувальний характер, що відповідає рейтинговій методології міжнародної практики оцінювання.

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

Тема порушена на досвіді експлуатації власного проекту комп’ютерної системи оцінки знань «КОЗС» з виникненням в епоху реформування проблемних питань.

Система «КОЗС» доповнює інформаційно-аналітичну систему управління навчальним процесом Первомайського політехнічного інституту Національного університету кораблебудування ім. адм. Макарова (ППІ НУК ім. адм. Макарова). Проект системи був орієнтований на проведення державних випробувань, але з часом у системі почали виконувати і поточний та підсумковий контроль знань.

Система «КСОЗ» оцінює знання студентів за вимогами кредитно-модульної системи. У роботі використовується технологія «клієнт-сервер», яка забезпечує взаємодію студент-система-викладач з використанням веб-інтерфейсу. На сервері повинно бути встановлене достатнє програмне забезпечення: Apache HTTP Server (версії 2.0 або вище); PHP server (версії 5 або вище); MySQL server (версії 5.0 або вище).

Під час написання програми було використано мову текстової розмітки HTML, серверну скриптову мову PHP, клієнтську скриптову мову JavaScript, каскадні таблиці стилів CSS, а також формат XML для трансферту даних, а також використані нові сучасні прийоми та технології web-програмування, такі як DOM та AJAX (для забезпечення безпеки та підвищення динамічності і швидкості роботи додатку). Програмою-клієнтом для цієї системи може послужити розповсюджений Інтернет-браузер (наприклад, Internet Explorer).

База даних (рис. 1) складається з трьох логічних частин – бази студентів, бази тестів та бази результатів тестувань. Тести складають за варіантами.

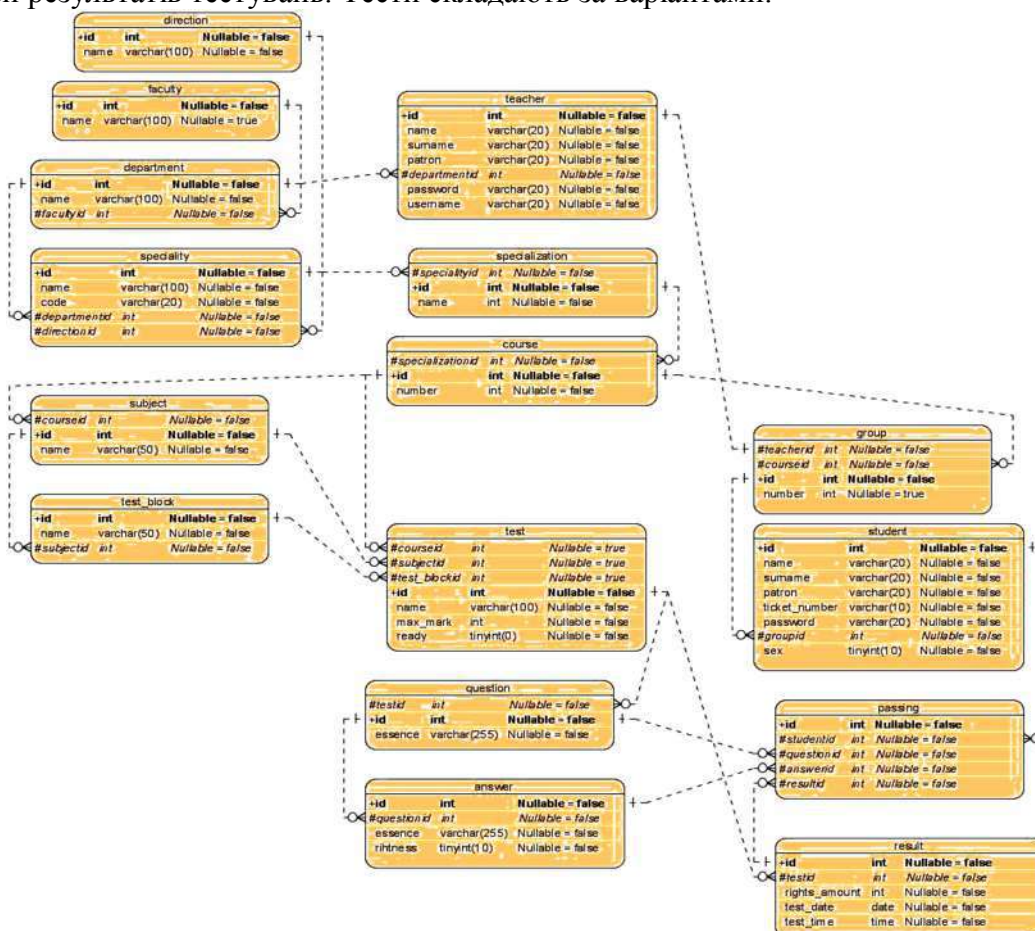


Рис. 1. Структура бази даних

База результатів проходження тестів містить інформацію про студента, дату та час тестування, рейтингову таблицю, відомість, архів результатів тестування.

У системі виконується ідентифікація викладача з метою забезпечення доступу для роботи з базою студентів та тестовими завданнями, а також студентів (кожному студенту привласнюється унікальний логін та пароль).

Загальні результати тестування відображаються в базі даних на сервері. Програма дозволяє сортувати, фільтрувати, знаходити різного виду підсумки та середній бал; виводити результати як окремих студентів, так і групи, курсу та спеціальності; формувати зведені відомості.

На виході системи студент отримує результат своїх знань, і, відповідно, має нагоду зробити висновки щодо недоліків, а викладач – відомість за рейтинговою системою.

Нижче за текстом для наочного уявлення наводяться вибіркові сторінки викладача та студента (рис. 2–3).

| Первомайський політехнічний інститут Національного університету кораблебудування ім. адм. Макарова | | | |
|---|---|----------|----------|
| Система тестування студентів | | | |
| Welcome, Тетяна Олександрівна Науменко | | | |
| Результати тестування | | | |
| Вийти Створити нову спеціальність | | | |
| 1 | Облік і Аудит (ОІА) | 6.123423 | Del Edit |
| 2 | Обслуговування комп'ютерних систем (ОКС) | 5.681231 | Del Edit |
| 3 | Інформаційні та управлінчі системи та технології (ІУСТ) | 6.080401 | Del Edit |

Рис. 2. Сторінка для організації структури середовища тестування

| Первомайський політехнічний інститут Національного університету кораблебудування ім. адм. Макарова | | | |
|---|--|-------|------------|
| Система тестування студентів | | | |
| Welcome, Тетяна Олександрівна Науменко | | | |
| Вийти Головна | | | |
| ФІЛЬТР | | | |
| Олександр Вікторович Колупа | | 10/20 | задовільно |
| Євгеній Олександрович Кулаков | | 20/20 | відмінно |

| Первомайський політехнічний інститут Національного університету кораблебудування ім. адм. Макарова | | | |
|---|--|--|--|
| Система тестування студентів | | | |
| Welcome, Євгеній Олександрович Кулаков | | | |
| Вийти Повернутись до списку дисциплін Моделювання систем | | | |
| 1 | Рядкові функції | | |
| 2 | Типи даних (пройдено; отримано 10 балів) | | |

За даним модулем ви набрали 10 балів з 10 можливих. Ваша оцінка: **відмінно.**

Рис. 3. Сторінки системи «КОЗС»

Система пройшла апробацію та використовується вже протягомі семи років. Використання такого виду програмних продуктів для досягнення мінімальних затрат часу та оптимізації трудомісткості виконуваних операцій вимагає наявності властивостей: гнучкість, якість та ефективність. Це забезпечується виконанням таких вимог:

- формат для формування даних, що передаються між системами, визначає Держінформнауки;
- можливість інтеграції з іншим базовим та прикладним програмним забезпеченням;
- можливість без високої трудомісткості додавання нових функціональних модулів без зміни структури програмного забезпечення;
- наявність вбудованих механізмів захисту інформації та електронних документів, реєстрації дій користувачів та управління доступом до інформації;
- інтерфейс користувача системи має бути максимально простим та зручним у використанні;
- обслуговування запитів користувачів та забезпечення необхідною інформацією у зручному для сприйняття вигляді;
- забезпечення оперативного та зручного пошуку інформації в архіві бази даних системи;

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

- передбачення можливості друку паперових форм за зразками, встановленими нормативними документами МОН та Держкомінформнауки з відображенням поточної дати друкування та іншої необхідної додаткової інформації;
- наявність механізму оброблення незавершених транзакцій та забезпечення ведення журналів усіх виконаних операцій;
- програмні та технічні збої не повинні викликати порушення бази даних;
- можливість створення та відновлення резервних копій інформації незалежно від зміни версій програмного продукту.

У ході реалізації розглянутий проект автоматизованої системи контролю та оцінювання знань, як і будь-який освітній проект, проявив себе як динамічна система. Зі зміною у часі вимог до складу знань, до рівня їх якості функціональне й методичне забезпечення системи потребує модифікації, в тому числі та інструментарію. Динамічні зміни обумовлені впливом внутрішніх та зовнішніх факторів: зміни в освітній політиці держави та ВНЗ, в організаційній та функціональній структурах ВНЗ; зміни вимог до рівня знань з боку роботодавців та стандартів освітніх послуг; галузеве спрямування знань; рівень довузівської підготовки; законодавча база; взаємодія ВНЗ та бізнес-структур на регіональному та інших рівнях.

Взаємодію об'єктів та суб'єктів системи під впливом факторів можна представити моделлю (рис. 4).

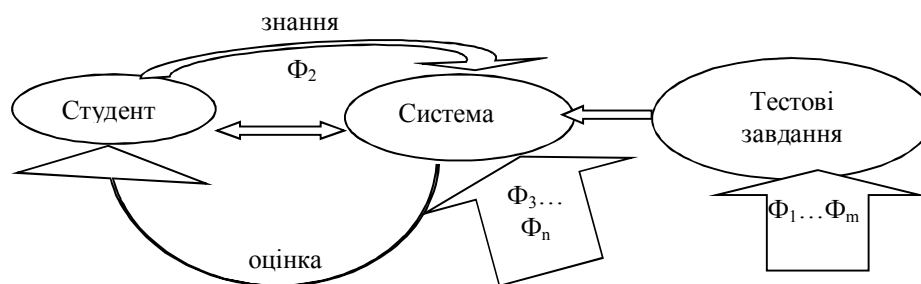


Рис. 4. Концептуальна модель управління системами оцінювання якості продуктів освітніх послуг у процесі їх динамічних змін

Тобто система оцінювання знань у цілому й автоматизована система як її інструмент під впливом факторів у певному часовому інтервалі будуть безперечно набувати змін, які продиктовані пріоритетними напрямками розвитку вищої освіти та інноваційної системи знань як ресурсу технолого-виробничих інфраструктур [9] у регіональному, державному та міждержавному масштабах.

Рівень якості є поплачковим індикатором [2], кількісне вимірювання якого визначають ознаки перерахованих факторів. Це є множина неконтрольованих факторів Z , що складається із показників, які формують вимір якості продукту освітніх проектів. Проведення критеріально-факторного аналізу надасть можливість обчислити факторні навантаження за кожним показником (планується виконати в наступних роботах).

Вагу фактора, на думку автора, можна буде вважати критерієм під час складання оцінки, і передбачається, що обраний підхід зможе забезпечити побудову граничного значення якості знань, яке б слугувало нормою якості при кількісних вимірах і знайшло б відображення в удосконаленні систем, стандартів, розробленні методів та механізмів для модифікації інструментарію оцінювання.

Висновки та перспективи подальших досліджень. У роботі викладене бачення підходу, сформоване на основі проведених досліджень успішних практик та виявлених проблем щодо вдосконалення системи оцінювання якості продуктів освітніх послуг вищої школи.

Проведено дослідження особливостей розвитку категорій оцінювання та якості знань, на основі яких зроблено висновок щодо необхідності визначення граничного значення якості знань, яке передбачається як кількісне «мірило» в формуванні оцінки знань.

Розроблення управлінських механізмів та моделей розвитку системи оцінювання знань з використанням програмно-технічних ресурсів надасть можливість оцінювати всебічний вплив на рівень якості знань студентів – майбутніх конкурентоздатних фахівців для забезпечення розвитку технолого-виробничих процесів та інфраструктур.

У подальших дослідженнях планується розробити життєвий цикл проекту розвитку систем з електронним інструментарієм оцінювання якості знань студентів ВНЗ; виявити закономірності для розроблення методів та механізмів оцінювання якості знань; дослідити критеріально-факторну модель їх оцінювання.

Список використаних джерел

1. *Басюк Т. М.* Аналіз та класифікація програмних засобів тестування знань / Т. М. Басюк, В. В. Павелко // Вісник Нац. ун-ту «Львівська політехніка». Серія: комп'ютерні науки та інформаційні технології. – Львів, 2010. – № 686. – С. 213–217.
2. *Борзенко-Мірошніченко А. Ю.* Моніторинг якості освітніх проектів на основі моделей системної динаміки : автореф. дис. ... канд. техн. : спец. 05.13.22 / А. Ю. Борзенко-Мірошніченко. – К., 2007. – 23 с.
3. *Буга Н. Ю.* Становлення наукової та інноваційної діяльності у вищих навчальних закладах / Н. Ю. Буга, Т. О. Науменко // Економіст. – К. : Колегіум, 2006. – № 239. – С. 60–62.
4. *Василенко О. В.* Якість продукту освітніх проектів з погляду споживача [Електронний ресурс] / О. В. Василенко // Управління проектами та розвиток виробництва : зб. наук. пр. – Луганськ : вид-во СНУ ім. В. Даля, 2008. – № 3 (27). – С. 93–96. – Режим доступу : <http://www.pmdp.org.ua/images/Journal/27/08vovpps.pdf>.
5. *Доценко С. М.* Модернізація системи управління освітою у ВНЗ в умовах євроінтеграції / С. М. Доценко, Т. О. Науменко // Управління проектами у розвитку суспільства : матер. Міжнар. наук.-практ. конф. (Київ, 19–20 травня 2011 р.). – К. : КНУБА, 2011. – С. 72–76.
6. *Кондратенко Ю. П.* Програмний комплекс для автоматизованого тестування знань студентів / Ю. П. Кондратенко, С. О. Волкова // Технічні вісті. – 2006. – № 1 (22), 2 (23). – С. 32–36.
7. *Науменко Т. А.* Организация жизненного цикла интеграционного инновационного процесса обеспечения развития наукоемкого производства в Украине / Т. А. Науменко // Управління розвитком складних систем : зб. наук. праць. – К. : КНУБА, 2014. – № 19. – С. 44–49.
8. *Науменко Т. О.* Запровадження інтеграційного підходу для генерації знань в інноваційний процес у проектній діяльності / Т. О. Науменко // Управління розвитком складних систем : зб. наук. праць. – К. : КНУБА, 2014. – № 17. – С. 31–36.
9. *Науменко Т. О.* Модель регіональної системи економіки знань / Т. О. Науменко, С. М. Доценко // Вісник національного університету «Львівська політехніка». – Львів : вид-во Львівської політехніки, 2015. – С. 327–333.
10. *Одерій П. П.* Оцінка в міжнародній системі освіти : [монографія] / П. П. Одерій // Методологія та інструментарій. – К. : ІСДО, 1995. – 196 с.
11. *Рач В. А.* Контроль і моніторинг у реалізації освітніх проектів / В. А. Рач, А. Ю. Борзенко-Мірошніченко // Управління проектами та розвиток виробництва : зб. наук. пр. – Луганськ : вид-во СНУ ім. В. Даля, 2005. – № 2 (14). – С. 72–81.
12. *Рач В. А.* Формування якості продукту освітніх проектів / В. А. Рач, А. Ю. Борзенко-Мірошніченко // Управління проектами та розвиток виробництва : зб. наук. пр. – Луганськ : вид-во СНУ ім. В. Даля, 2003. – № 2 (7). – С. 55–60.
13. *Сазонов Б. А.* Балльно-рейтинговые системы оценивания знаний и обеспечение качества учебного процесса [Электронный ресурс] / Б. А. Сазонов. – Режим доступа : <http://sfedu.ru/docs/obrazov/sazonov.pdf>.
14. *Стейскал В. Я.* Особливості автоматизованої оцінки знань та практичних навичок студентів технічних спеціальностей / В. Я. Стейскал // Матеріали міжвузівського вебінару (м. Вінниця, 15 грудня 2015 р.). – Вінниця : ВТЕІ КНТЕУ, 2015. – С. 30–32.

15. *Степова С. В.* Проблеми та перспективи використання автоматизованих систем оцінювання знань / С. В. Степова, Л. П. Половенко : матеріали міжвузівського вебінару (м. Вінниця, 15 грудня 2015 р.). – Вінниця : ВТЕІ КНТЕУ, 2015. – С. 32–35.

Науменко Тетяна Олександрівна – старший викладач, Первомайський політехнічний інститут ім. адм. Макарова (вул. Одеська, 107, м. Первомайськ, Миколаївська обл., 55202, Україна).

Науменко Татьяна Александровна – старший преподаватель, Первомайский политехнический институт им. адм. Макарова (ул. Одесская, 107, г. Первомайск, Николаевская обл., 55202, Украина).

Naumenko Tetiana – senior lecturer, Pervomaysk Polytechnic Institute of the National Shipbuilding University named after Admiral Makarov (107 Odeska St., 55202 Pervomaisk, Mykolaiivska Oblast, Ukraine).

E-mail: naum-t@yandex.ru

УДК 004.415+658.5.011

Ганна Машейко, Дмитро Орловський

ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ДІАГНОСТУВАННЯ ТА АНАЛІЗУ СТАНУ КЛІЄНТІВ ДЛЯ ПІДПРИЄМСТВА, ЩО ПІДТРИМУЄ КЛІЄНТООРІЄНТОВАНУ СТРАТЕГІЮ

Анна Машейко, Дмитрій Орловський

ИНФОРМАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ И АНАЛИЗА СОСТОЯНИЯ КЛИЕНТОВ ДЛЯ ПРЕДПРИЯТИЯ, ПОДДЕРЖИВАЮЩЕГО КЛИЕНТООРИЕНТИРОВАННУЮ СТРАТЕГИЮ

Hanna Masheiko, Dmytro Orlovskiy

INFORMATION TECHNOLOGY OF DIAGNOSTICS AND ANALYSIS OF THE STATE OF CLIENTS FOR THE COMPANY THAT SUPPORTS CUSTOMER-ORIENTED STRATEGY

Підприємствам, які хочуть бути конкурентоспроможними в сучасних умовах, необхідно використовувати клієнто-орієнтовану стратегію. Увага підприємств повинна бути орієнтована на пошук шляхів утримання клієнтів і підвищення їх лояльності. Для того, щоб взаємодія з клієнтом була ефективною необхідно, щоб фахівець під час прийняття управлінських рішень покладався не на власне емпіричне мислення, а мав можливість вчасно виявити проблемну ситуацію, пов'язану з клієнтом, провести діагностування і з'ясувати, в якому стані знаходиться клієнт і які управлінські рішення можна здійснити для поліпшення його стану. Тому в цій роботі було побудовано бізнес-процес діагностування стану клієнта, за допомогою діаграми варіантів використання відображено основні вимоги до програмного забезпечення, розроблено модель даних, яка дозволить вести як оперативний облік діяльності клієнтів, так і аналітичну діяльність, та розглянуто програмне забезпечення.

Ключові слова: CRM, клієнт, проблемна ситуація, діагностування, бізнес-процес, управлінське рішення.

Рис.: 8. Бібл.: 9.

Предприятиям, которые хотят быть конкурентоспособными в современных условиях, необходимо использовать клиентоориентированную стратегию. Внимание предприятий должно быть ориентировано на поиск путей удержания клиентов и повышения их лояльности. Для того, чтобы взаимодействие с клиентом было эффективным необходимо, чтобы специалист при принятии управленческих решений полагался не на собственное эмпирическое мышление, а имел возможность вовремя выявить проблемную ситуацию, связанную с клиентом, провести диагностирование и выяснить в каком состоянии находится клиент и какие управленческие решения можно осуществить для улучшения его состояния. Поэтому в данной работе был построен бизнес-процесс диагностирования состояния клиента, с помощью диаграммы вариантов использования отражены основные требования к программному обеспечению, разработана модель данных, которая позволит вести как оперативный учет деятельности клиентов, так и аналитическую деятельность, и рассмотрено программное обеспечение.

Ключевые слова: CRM, клиент, проблемная ситуация, диагностирование, бизнес-процесс, управленческое решение.

Рис.: 8. Библ.: 9.

Companies that want to be competitive in today's conditions it is necessary to use a client-oriented strategy. Attention companies should be focused on finding ways to retain customers and increase their loyalty. To be effective it is necessary to interact with the client, to specialist in management decisions rely not on their own empirical thought and time had the opportunity to identify a problem situation associated with the client, conduct diagnostics and find out what is the client and the management decisions in which the state can be carried out to improve his condition. Is why in this paper, was built business process of diagnosing the state of the client, through the use case diagrams reflect the basic requirements for software, developed a data model, which allows to conduct a records management clients activities and analytical work and developed software.

Key words: CRM, customer, problem situation, diagnostics, business process, management solution.

Fig.: 8. Bibl.: 9.

Постановка проблеми. Основною стратегією успішного існування та подальшого розвитку сучасних компаній поступово стає ефективне управління відносинами з клієнтами, тобто використання CRM-стратегії. CRM (Customers Relationship Management – управління відносинами з клієнтами) – це клієнтоорієнтована стратегія, яка ґрунтується на застосуванні передових управлінських та інформаційних технологій, за допомогою яких компанія вибудовує взаємовигідні стосунки зі своїми клієнтами [1].

Як клас інформаційних систем CRM-система є набором певного програмного забезпечення, що дозволяє автоматизувати й удосконалювати бізнес-процеси, пов'язані з управлінням продажами, маркетингом і сервісною підтримкою клієнтів. Це програмне забезпечення дає можливість координувати не лише дії різних департаментів, що взаємодіють з клієнтом (продажі, маркетинг, сервіс), але і роботу різних каналів взаємодії з клієнтом – особиста взаємодія, телефон, Інтернет – з тим, щоб встановити довгострокові й взаємовигідні стосунки [2]. CRM розширює концепцію продажу від дискретної дії, виконаної продавцем, до безперервного процесу, що залучає кожного співробітника компанії. Це – мистецтво й наука збору та використання інформації про клієнтів, що дозволяє підвищувати лояльність клієнта і збільшувати його цінність.

Як відомо, відносини із споживачами тим цінніші, чим довше підприємство співпрацює з найбільш вигідними для нього споживачами. Результати досліджень доводять, що у більшості галузей прибуток від кожного споживача росте у міру його співпраці з підприємством, а для компенсації втрат від одного старого клієнта, що пішов, необхідно привести декілька нових [3].

Слід зазначити, що в сучасних умовах виникає безліч різних ситуацій під час взаємодії з клієнтами. Вони вимагають опису, узагальнення й накопичення досвіду, пов'язаного з цими ситуаціями. Це передбачає необхідність швидкого діагностування стану клієнтів з метою підтримки вироблення адекватних управлінських рішень. Для цього використовуються методи ситуаційного менеджменту, елементом якого є діагностування. Для ефективного вирішення завдання діагностування стану клієнта треба використовувати формальні методи та підходи й програмне забезпечення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У працях таких учених, як: Е. Пейн [4], П. Гембл, М. Стоун, Н. Вудкок [5], П. Грінберг та інші сконцентровано увагу на визначенні сутності поняття, наведено класифікаційні ознаки CRM-системи, висвітлено тонкощі побудови систем управління відносинами з клієнтами та оцінено можливі помилки під час реалізації CRM-стратегії на практиці. Слід зазначити, що у працях Н. Бендапуді, Л. Беррі, А. Перваз, М. Рафік приділено увагу дослідженням чинників спонукання клієнтів для підтримки відносин із постачальниками послуг і сформовано концепт фокусування управління на клієнта.

Багато досліджень присвячено програмним продуктам CRM, їх можливостям та перевагам. Проводиться оцінювання ринку програмного забезпечення та перспективи його розвитку. Проблему досліджували такі зарубіжні вчені як Ф. Ньюелл [6], Ф. Котлер, Я. Гордон, П. Моліно [7]. Серед українських науковців варто відзначити О. Кирилова, В. Даннікова [8], В. Пилипчука, О. Шарапа [9] та ін.

Також необхідно відзначити праці учених, таких як С. Трофімов, А. Кудінов, П. Черкашин, С. Картишов, І. Кульчицька, М. Поташніков.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. Оскільки більшість представлених на ринку CRM-систем забезпечують тільки оперативний облік діяльності клієнтів, питання діагностування стану клієнтів на сьогодні залишається розкритим не повною мірою. Слід зазначити, що під час вирішення завдання діагностування та аналізу стану клієнтів використано формальні методи й підходи, тим самим розкриваючи проблему більшою мірою, що спонукає до подальших досліджень у цій сфері.

Мета статті. Головною метою цієї роботи є розроблення програмного забезпечення, яке дозволить вести оперативний облік діяльності клієнта, визначати проблемні ситуації, пов'язані з клієнтом, і у разі виявлення проблем проводити діагностування клієнта для визначення його стану та прийняття адекватних управлінських рішень. Також провести аналіз отриманих результатів діагностування для виявлення найбільш часто використовуваних управлінських рішень класу і залежності між відстанню та частотою використання.

Виклад основного матеріалу. Процес діагностування стану клієнта формально можна відобразити у вигляді бізнес-процесу за допомогою нотації IDEF0. Деталізуюча діаграма бізнес-процесу «Діагностування стану клієнта» наведена на рис. 1. Вхідними параметрами є часовий період, для якого проведено діагностування, з'ясовано статистичні дані про діяльність клієнта та проблемну ситуацію. Управління здійснюється за допомогою таких керуючих впливів: система показників і правила їх формування, алгоритм перетворення, алгоритм розпізнавання, алгоритм оцінювання адекватності, алгоритм класифікації, вимоги формування звітності. У ролі механізмів є: аналітик, відділ збуту, автоматизована система обліку та аналізу діяльності клієнтів. На виході отримано звіт про стан клієнта.

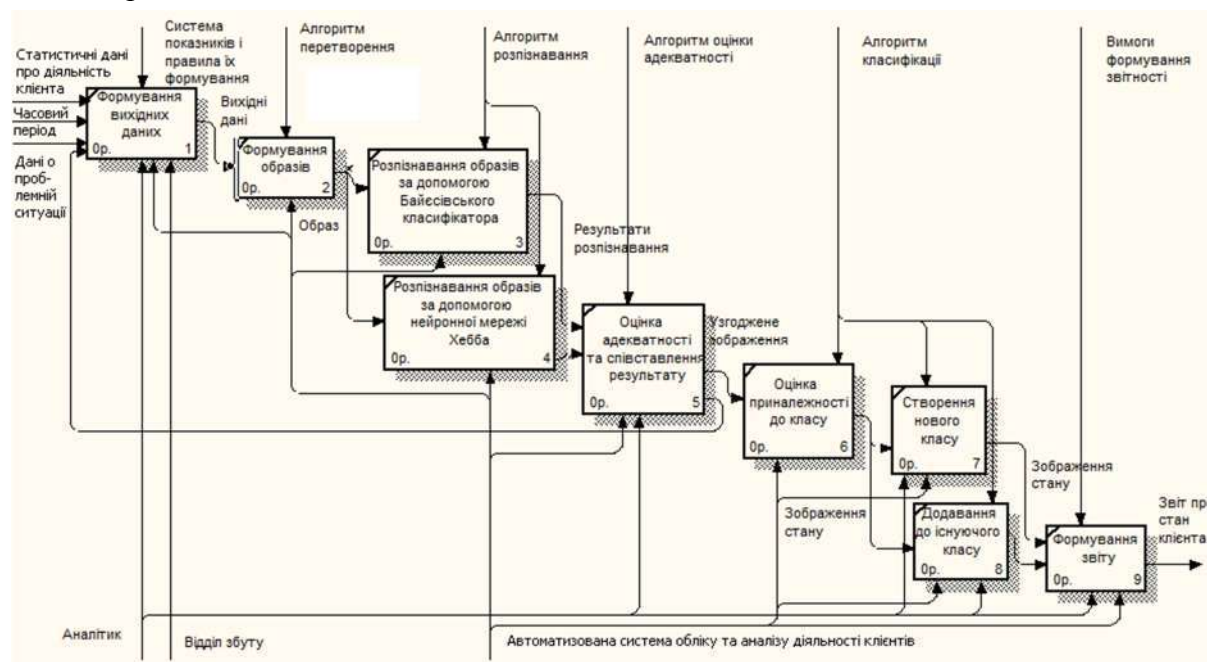


Рис. 1. Деталізуюча діаграма бізнес-процесу «Діагностування стану клієнта»

Часовий період, статистичні дані про діяльність клієнта та проблемну ситуацію надходять на вхід роботи формування вихідних даних. За допомогою участі аналітика, відділу збуту, автоматизованої системи та керуючого впливу системи показників і правил їх формування відбувається формування вихідних даних (множини показників, які характеризують стан клієнта). Вихідні дані є вхідними даними для процесу формування образів. Під впливом алгоритму перетворення формується образ. Цей образ є вхідними даними для процесів розпізнавання образів: розрізнення образів за допомогою Байєсівського класифікатора та нейронної мережі Хебба через алгоритми розпізнавання ці процеси відпрацьовують і на виході отримаємо результати розпізнавання. Вони у свою чергу потрапляють до процесу оцінювання адекватності та зіставлення результату, у ньому алгоритм оцінювання адекватності виконує поставлене завдання. На виході процесу зіставлення отримуємо узгоджене зображення або якщо результати розпізнавання виявились не адекватними, тоді повертаємось до процесу формування вихідних даних. Процес оцінювання

належності до класу дозволяє визначити клас, до якого відноситься зображення стану клієнта. Далі зображення стану потрапляє до процесів створення нового класу (якщо класу зображення такого стану не існує) або до додавання до наявного класу (якщо вже є відповідний клас зображення). Далі за вимогами формування звіту та при участі аналітика відбувається формування звіту й отримуємо звіт про стан клієнта.

Для того, щоб відобразити основні вимоги до програмного забезпечення (ПЗ) наведемо основні варіанти використання ПЗ. Діаграма варіантів використання, що деталізує управління поставками та управління збутом, наведена на рис. 2. Діаграма варіантів використання, яка деталізує діагностування стану клієнта, наведена на рис. 3. Як видно з рис. 2 та 3, основними можливостями ПЗ є: управління поставками, управління збутом, діагностування стану клієнта. У нашому випадку людьми, які взаємодіють з системою, є менеджер з постачання, менеджер зі збуту, аналітик.

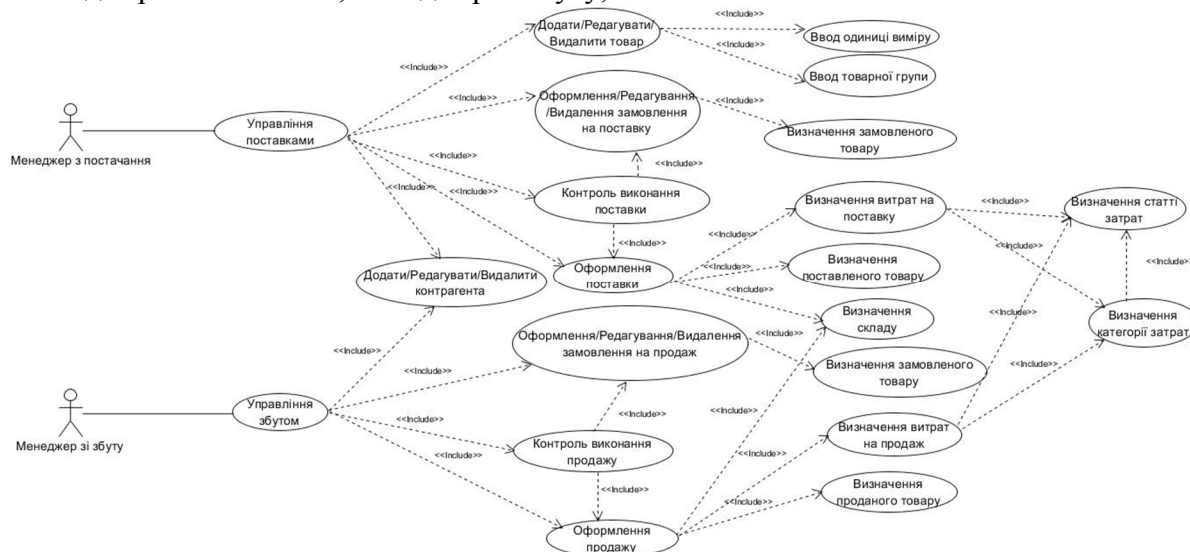


Рис. 2. Діаграма варіантів використання, яка деталізує управління поставками та управління збутом

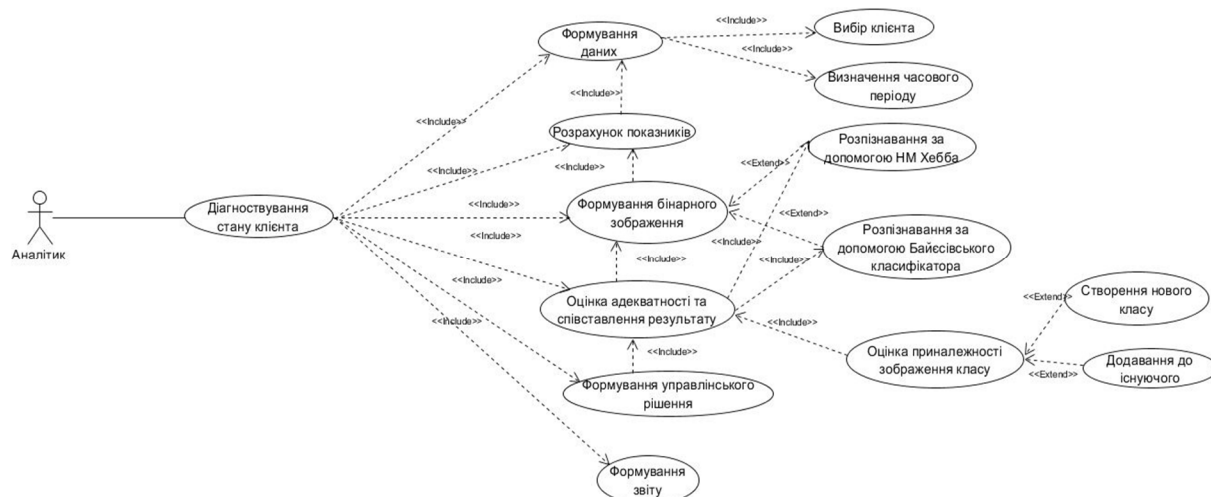


Рис. 3. Діаграма варіантів використання, що деталізує діагностування стану клієнта

Менеджер з постачання виконує управління поставками, тобто може оформлювати, редагувати та видаляти замовлення на поставку й вказувати замовлений товар. Здійснювати оформлення поставки, встановлювати витрати на поставку, визначати поставлений товар, з'ясувати, на який склад відправити поставку. Може додавати, редагувати та видаляти: товари, дані про постачальника й контролювати виконання поставки. Менеджер зі збуту здійснює управління збутом. Він може додавати, редагувати та видаляти дані про

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

клієнта. Також може оформлювати, редагувати й видаляти замовлення на продаж та вказувати замовлений товар. Робити оформлення продажу, з'ясовувати витрати на продаж, визначати проданий товар, встановлювати, з якого складу був проданий товар та контролювати виконання продажу. Аналітик виконує завдання діагностування стану клієнта. Він обирає клієнта для діагностування та часовий період, за який треба проаналізувати діяльність клієнта. Діагностування включає: розрахунок показників, формування бінарного зображення, його розпізнавання за допомогою нейронної мережі Хебба та Байєсівського класифікатора, оцінку адекватності та зіставлення результату, оцінку належності зображення до класу, формування управлінського рішення й формування звіту.

Для розроблення моделі даних використовувалася IDEF1X методологія, яка призначена для розроблення концептуальної схеми реляційної бази даних. Основною перевагою IDEF1X, у порівнянні з іншими методологіями, є суворі стандартизація моделювання. Встановлені стандарти дозволяють уникнути різного трактування побудованої моделі. Як CASE-засіб був використаний програмний засіб ERWin, який дозволяє проектувати, документувати, супроводжувати бази даних, а також є інструментом розроблення, здатним автоматично створювати таблиці й генерувати тисячі рядків тексту процедур, що зберігаються, і тригерів для всіх популярних СУБД.

Фрагмент моделі даних, який підтримує аналіз діяльності клієнтів, наведений на рис. 4. На підставі дослідження предметної галузі була розроблена модель даних, що відображає дисципліну взаємин з постачальниками продукції, тобто дозволяє відобразити ступінь виконання замовлень постачальником та врахувати суму витрат, які були витрачені підприємством на поставку. Підтримує процес оперативного обліку діяльності клієнта, до якої відноситься можливість оформлення замовлень на продаж та/або оформлення самого продажу. Розроблена структура дозволяє відобразити ступінь виконання замовлень від клієнтів або ж врахувати продаж клієнту, який здійснено без попереднього замовлення та врахувати суму витрат, що були витрачені підприємством на продаж. Також підтримує аналіз діяльності клієнтів, тобто дозволяє проводити розрахунок показників на підставі даних оперативного обліку за певний період. Зберігати створене зображення стану клієнта, яке відноситься до кластера, характеризується проблемною ситуацією та включає управлінське рішення.

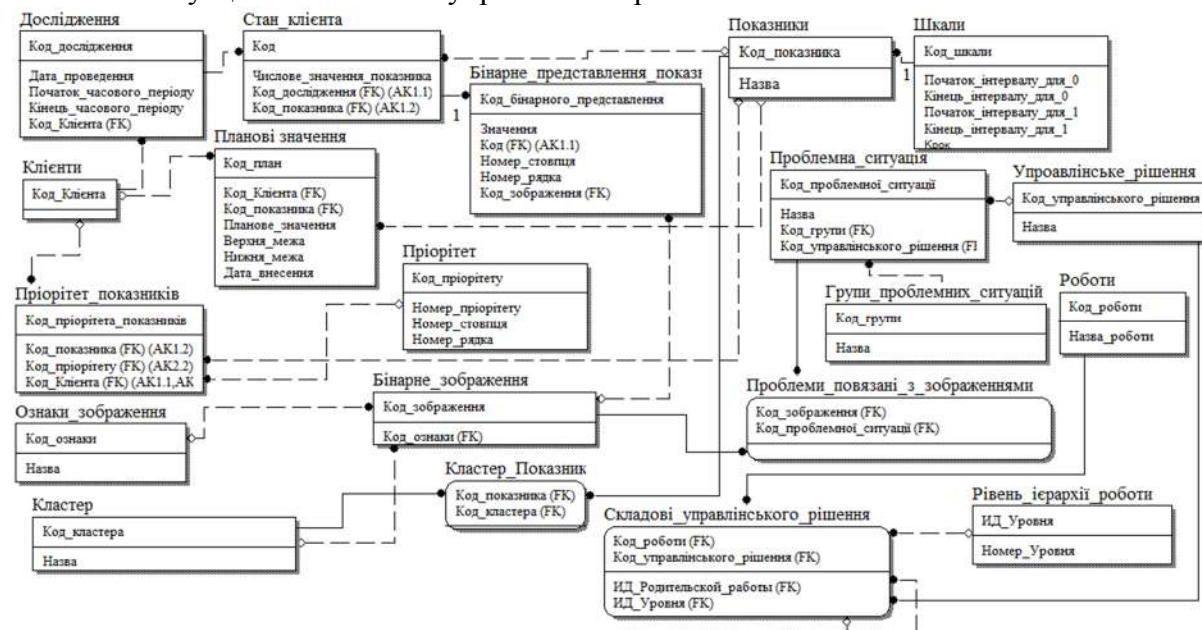


Рис. 4. Фрагмент моделі даних (для підтримки аналізу діяльності клієнтів)

Діаграма компонентів відображає архітектуру системи в цілому. Завдяки їй можна зрозуміти, як буде взаємодіяти з основними компонентами програмне забезпечення. Діаграма розміщення призначена для аналізу апаратної конфігурації, на якій працюватимуть окремі компоненти системи. Діаграма розміщення (Deployment diagram) і компонентів (Component diagram) представлена на рис. 5. MS SQL Server2008 – сервер баз даних під управлінням СУБД MS SQL Server2008. PC with Windows 7 – робоча станція користувача системи. PC with Windows 7 пов'язані з сервером за протоколом TCP/IP.

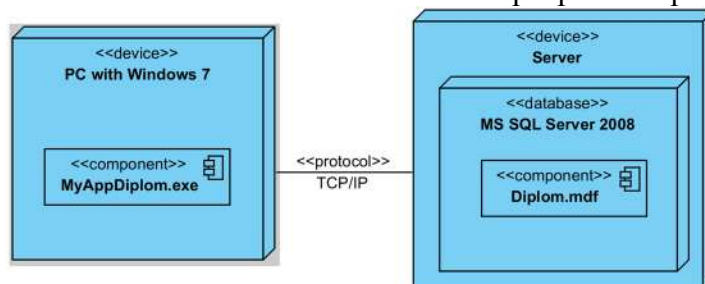


Рис. 5. Діаграма компонентів та розміщення системи

За допомогою інтегрованого середовища розроблення Microsoft Visual Studio і об'єктно-орієнтованої мови програмування C# було розроблено програмне забезпечення, яке дозволяє вести оперативний облік діяльності клієнтів, виявляти проблемні ситуації, проводити діагностування стану клієнтів та споживачів і аналізувати отримані результати.

Для того, щоб оцінити діяльність і мати можливість виявити проблемну ситуацію, була сформована система показників діяльності клієнтів і споживачів. Проблемною ситуацією ми будемо вважати суттєве відхилення фактичного значення показників від запланованого. Тому для кожного клієнта і за кожним показником призначається планове значення показників, верхню і нижню межу. При цьому вихід фактичного значення за межі означає необхідність проведення діагностування стану клієнта для визначення його стану та застосування відповідних йому управлінських рішень. Наглядний приклад побудови планових і фактичних траєкторій діяльності клієнта за одним з показників представлений на рис. 6.

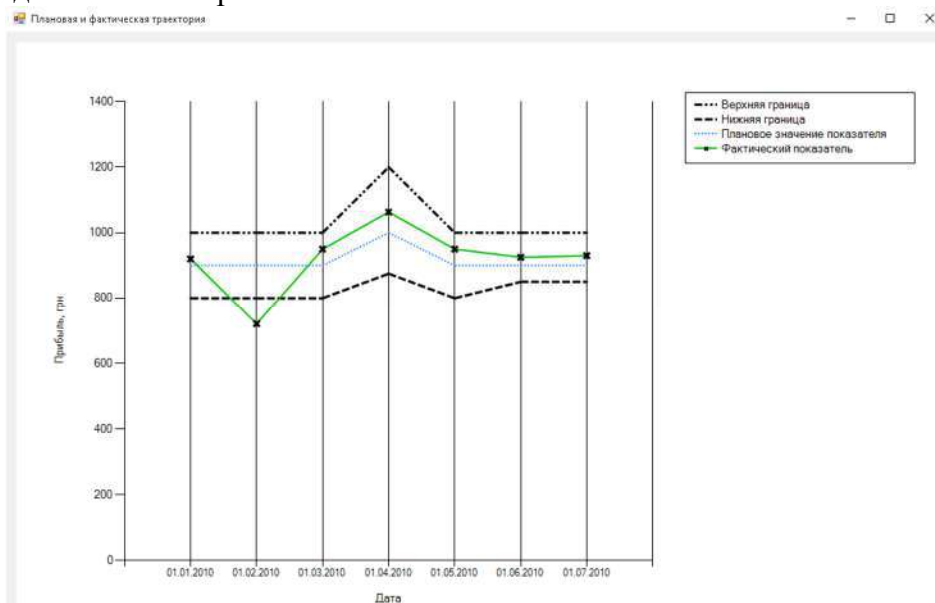


Рис. 6. Приклад побудови планових і фактичних траєкторій

Слід зазначити, що клієнт може перебувати в одному з визначених станів. Кожен стан – це клас, який має своє еталонне зображення, що характеризує цей стан. Кожне нове зображення стану відноситься до конкретного класу, виходячи з відстані між ета-

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

лоном та новим зображенням. У результаті роботи із програмним забезпеченням фахівець може з'ясувати, в якому стані знаходиться певний клієнт у певний період. Спеціаліст отримає назву стану, в якому перебуває клієнт і перелік управлінських рішень, які застосовуються для цього стану. Фахівець може використовувати як готові рішення, так і редагувати наявні або додати нові. Після чого отримати результати діагностування у вигляді звіту. Результати роботи програмного забезпечення наведені на рис. 7.

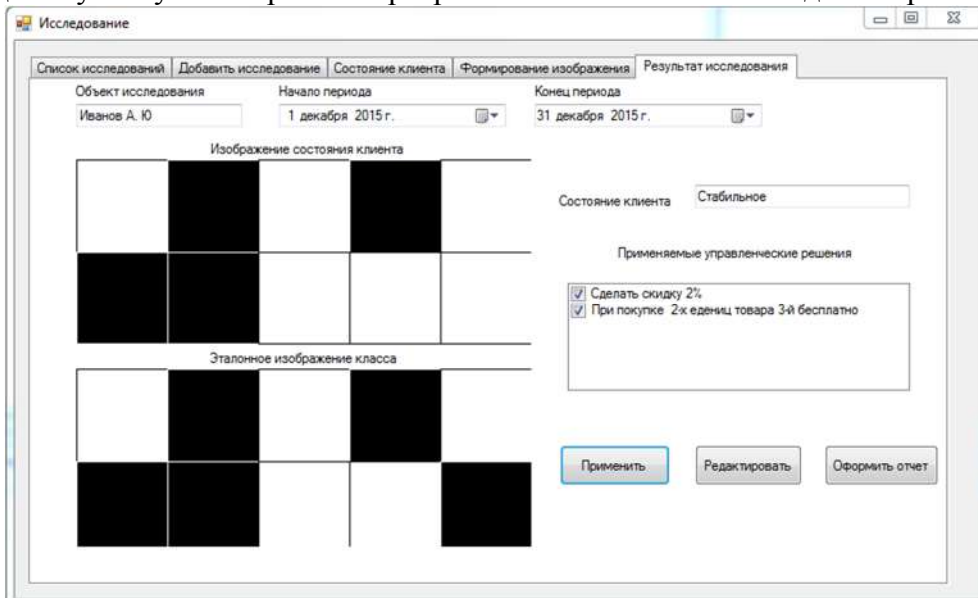


Рис. 7. Результат работы програмного забезпечення

Для того, щоб проаналізувати отримані результати, треба проранжувати управлінські рішення класів, виходячи з максимальної частоти їх вживання. Фрагмент результату аналізу представлений на рис. 8.

| Изображение Эталона | Класс | Частота использования | Управленческие решения |
|---------------------|---------|-----------------------|-----------------------------|
| | Хороший | 20% | ЗВьдать дисконтную карточку |

| Изображение клиентов класса | Клиенты | Решение | Растояние |
|-----------------------------|----------|---------|-----------|
| | Иванов | 1,2,3 | 0.1 |
| | Акимов | 1,2,3 | 0.1 |
| | Смирнова | 1,2 | 0.13 |
| | Ляжко | 1,3 | 0.15 |

Рис. 8. Фрагмент результату аналізу

Використовуючи такий підхід, можна виявити найбільш часто вживані управлінські рішення класу. Також з'ясувати залежність між рангом управлінських рішень і значен-

ням відстані, на якому знаходяться еталонне зображення й зображення стану клієнта. Було виявлено, що чим ближче зображення до еталону, тим більше управлінських рішень мають високий ранг.

Висновки і пропозиції. Стабілізація ринкової ситуації переорієнтовує увагу підприємства на пошук шляхів утримування клієнтів та підвищення їх лояльності. Тому найбільш ефективна стратегія в таких умовах – це стратегія управління відносинами з клієнтами. Практичне значення наведеного в роботі полягає у розробленні програмного забезпечення, яке дозволить фахівцю під час прийняття управлінських рішень покладатися не на власне емпіричне мислення, а мати можливість вчасно виявити проблемну ситуацію, пов’язану з клієнтом, провести діагностування й з’ясувати, в якому стані знаходиться клієнт і які управлінські рішення можна здійснити для поліпшення його стану. Проаналізувавши класи та виявивши залежність між рангом управлінських рішень і значенням відстані, можна направити подальший розвиток досліджень на завдання, пов’язане з розділенням класів за надмірної кількості управлінських рішень та появи груп зображень, які мають однаковий ранг управлінських рішень.

Список використаних джерел

1. *Кудинов А.* CRM: Практика ефективного бізнесу / А. Кудинов. – М. : ІС-Паблішинг, 2012. – 463 с.
2. *Черкашин П. А.* Готовы ли Вы к войне за клиента? Стратегия управления взаимоотношениями с клиентами (CRM) / П. А. Черкашин. – М. : ИНТУИТ.ру, 2004. – 384 с.
3. *Райхельд Ф.* Эффект лояльности: движущие силы экономического роста, прибыли и непреходящей ценности / Ф. Райхельд, Т. Тил. – М. : Вильямс, 2005. – 345 с.
4. *Пейн Э.* Руководство по CRM. Путь к совершенствованию менеджмента клиентов / Э. Пейн. – М. : Гревцов Паблішер, 2007. – 384 с.
5. *Гэмбл П.* Маркетинг взаимоотношений с потребителем / П. Гэмбл, М. Стоун, Н. Вудкок ; пер. с англ. В. Егорова. – М. : ФАИР-ПРЕСС, 2002. – 512 с.
6. *Ньюэлл Ф.* Почему не работают системы CRM. Управление отношениями с клиентами: Как добиться успеха, позволив клиентам управлять отношениями с вашей компанией / Ф. Ньюэлл ; пер. А. Стативка ; лит. ред. М. Драпкина. – М. : Хорошая книга, 2004. – 368 с.
7. *Молино П.* Технологии CRM: Экспресс-курс / П. Молино ; пер. Т. Новикова. – М. : ФАИР-ПРЕСС, 2004. – 272 с.
8. *Данніков О. В.* Маркетингове та інформаційне забезпечення формування та реалізації бізнес-рішень на основі впровадження CRM-технологій / О. В. Данніков, О. В. Кирилова, В. П. Пилипчук // Вісник Хмельницького національного університету. – 2009. – Т. 3, № 6. – С. 80–84.
9. *Шарапа О. М.* Управління взаємовідносинами з клієнтами через впровадження CRM-систем як складова ефективного ведення бізнесу / О. М. Шарапа // Актуальні проблеми економіки. – 2009. – № 7 (97). – С. 175–183.

Машейко Ганна Олександрівна – магістр, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут» (вул. Фрунзе, 21, м. Харків, 61002, Україна).

Машейко Анна Александровна – магістр, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт» (ул. Фрунзе, 21, г. Харьков, 61002, Украина).

Masheiko Hanna – master, National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute” (21 Frunze Str., 61002 Kharkiv, Ukraine).

E-mail: hannamasheiko@gmail.com

Орловський Дмитро Леонідович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри програмної інженерії та інформаційних технологій управління, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут» (вул. Фрунзе, 21, м. Харків, 61002, Україна).

Орловский Дмитрий Леонидович – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры программной инженерии и информационных технологий управления, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт» (ул. Фрунзе, 21, г. Харьков, 61002, Украина).

Orlovskiy Dmytro – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of Software Engineering and Management Information Technologies, National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute” (21 Frunze Str., 61002 Kharkiv, Ukraine).

E-mail: ordm@kpi.kharkov.ua

Volodymyr Kazymyr, Svitlana Lytvyn, Alina Posadska

REAL TIME NETWORK PLANNING IN CLOUD

Володимир Казимир, Світлана Литвин, Аліна Посадська

МЕРЕЖЕВЕ ПЛАНУВАННЯ В РЕЖИМІ РЕАЛЬНОГО ЧАСУ В ХМАРІ

Владимир Казимир, Светлана Литвин, Алина Посадская

СЕТЕВОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ В РЕЖИМЕ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ В ОБЛАКЕ

A new approach of network planning in real-time mode with built-in simulation modules on the cloud computing basis is proposed in the article. Integration of distributed modeling and forecasting system E-net Modeling System into the cloud is described.

Key words: network planning, cloud computing, network planning systems in real-time mode, modeling platform.

Fig.:7. Bibl: 10.

Запропоновано новий підхід до мережевого планування в режимі реального часу разом із вбудованими імітаційними модулями на базі хмарних обчислень. Також представлено інтеграцію системи розподіленого моделювання і прогнозування E-net Modeling System в хмарне середовище.

Ключові слова: мережеве планування, хмарні обчислення, система мережевого планування в режимі реального часу, платформа моделювання.

Рис.: 7. Бібл.: 10.

Предложен новый подход к сетевому планированию в режиме реального времени со встроенными имитационными модулями на базе облачных вычислений. Также представлена интеграция системы распределенного моделирования и прогнозирования E-net Modeling System в облачную среду.

Ключевые слова: сетевое планирование, облачные вычисления, система сетевого планирования в режиме реального времени, платформа моделирования.

Рис.: 7. Библ.: 10.

Introduction. Nowadays the network planning systems in real-time mode (NPSRT) are becoming increasingly popular. Such systems allow forecasting implementation of the executive work plans of separate and interrelated projects, developed for enterprises, corporations and entire industries, as well as the planning action for ensuring sustainability of plans to the emerging external influences, including in conditions of uncertainty. This fact makes urgent the task of the usage of built-in simulation models that can assess the effectiveness of the plans and check them to perform the specified requirements by time and resources.

In turn, the usage of complex simulation models in real time involves their execution in the distributed computing structures. High Level Architecture (HLA) [1] is the best known among them. Real-Time Infrastructure (RTI) forms the basis of the construction of HLA. It allows combining different models, providing their interaction within a single synthetic environment, which is typical for reactive systems [2]. NPSRT also refers to the latter.

E-net Modeling System (EMS) [3] is one of the realizations that are based on HLA. Powerful formal apparatus of control E-nets and hierarchical aggregate approach are used to create the models in this distributed simulation system. This provide possibility to forecast the execution of the work plan presented in the form of a simulation model. In addition, there is web-interface in the EMS, which provides suitability of remote mode usage.

However, considering the development of the large-scale projects, HLA is not the best decision of the problem, because the resources are used inefficiently, there is no possibility of load balancing, and weak ability to fault tolerance and complex process of model deployment are identified. At the same time, these difficulties can be overcome by using cloud technologies [4].

The aim of the work is to rationale a new approach of designing a universal NPSRT with built-in simulation modules on the cloud computing basis.

Network planning: from ASP to Cloud computing. Until nowadays, network planning systems (NPS) were used via Application Service Provider (ASP). This model of the software usage means that the ASP-provider provides applications (software products, packages) and all the necessary elements of infrastructure and their services for a fixed monthly payment, with client access to applications over the Internet or a virtual private network (VPN, Virtual

Private Network) [5]. In this case, each user has received his own copy of the application, which is performed at the provider server, and not on the customer's own server.

Network planning based on ASP is presented in Fig. 1.

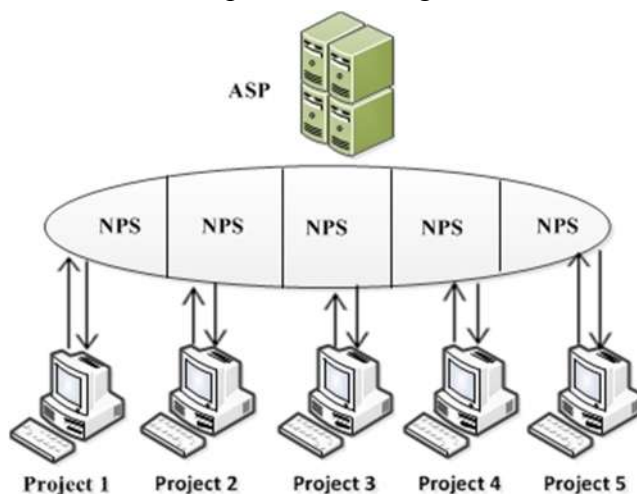


Fig. 1. Network planning in ASP

The main components of the ASP model are: companies as service providers, computers, servers, applications, network, and software license. ASP model has positive aspects, related, primarily, with cost savings for the purchase of software, and at the same time a number of disadvantages, and the main is the lack of scalability and complexity of registration lease. Nowadays, due to the development of network and communication capabilities, ASP services are transformed into the model of cloud computing (CC).

Cloud computing is computing, which represents dynamically scalable way of access to external computing resources as a service provided via the Internet [6]. Cloud computing model includes three main components:

- SaaS – software as a service;
- PaaS – platform as a service;
- IaaS – infrastructure as a service.

In fact SaaS is cloud analogue of ASP, other components make the CC model radically different from ASP, providing the possibility of multiple software using by clients without the need of registration of the license in addition to virtualization runtime.

The transformation of network planning services into the components of the CC, indicated above, are considered next.

Network planning and SaaS. SaaS (software as a service) is a business model of selling and usage of the software in which the supplier develops a web application and manage it independently, providing access to software over the Internet for customers. The main advantage of the SaaS model for customer service is the absence of costs associated with installing, upgrading and support of equipment operability and software operating [7].

Also one of the positive aspects of «software as a service» is the absence of the expenditure required to installing, upgrading, and support of servers and related software operability including the purchase of a license for it.

Variant of network planning in the SaaS is presented in Fig. 2.

The usage of cloud computing for network planning provides the following advantages:

- savings on maintenance staff and infrastructure - server virtualization and infrastructure;
- savings hardware resources - it can be greatly simplified with the data processing and storage of information in remote data centers;

- software standardization, even if the enterprise computers have different operating systems (Windows, Linux, MacOS, etc.).
- facilitating access to data for customers and for own employees which could be out of the office, but have the ability to connect via the Internet.

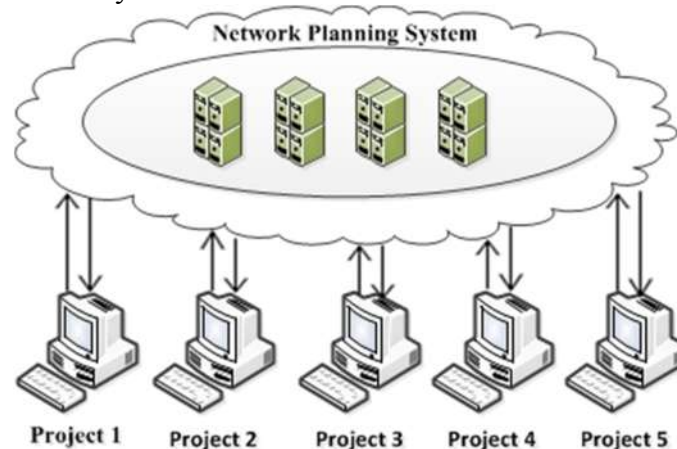


Fig. 2. Network planning in the SaaS

All these advantages allow significantly reducing the cost of processes implementation of planning and control.

PaaS as a modeling platform. The PaaS model provides access to the hardware and system software of the largest providers, also gives an opportunity to use additional tools of deployment and hosting. It allows having the ability to design, deliver, and maintain custom applications, and other resources.

As a software platform PaaS can provide the following services [8]:

- OS – network operating system, for example, Unix-system, including Ubuntu Server, BSD/OS Family, Solaris/SunOS, and others, or different versions of Windows Server).
- Database – a database management system, for example, MySQL, Microsoft SQL, SQL Database, PostgreSQL, Oracle, etc.
- Middleware – software middle layer or connecting (intermediate) software, which is designed to ensure interoperability between different applications, systems and components.
- Software development tools and testing – software tools for web application development and testing (software development environment: software frameworks, libraries, etc. for creating web applications using programming language like Python, Java, PHP, Ruby, JS for Node.js etc.).
- App server – application server for developing, testing, and debugging of web applications.
- Resource allocation in PaaS can be performed at several levels:
 - hardware – joint use of server among multiple virtual machines;
 - virtual machines – when the virtual machine can be used simultaneously by multiple applications;
 - applied – each application can perform multiple tasks in parallel.

For integration EMS distributed simulation system into the cloud the OpenStack [9] is used – freely available platform, that implements a set of opportunities for the creation, control and deployment of cloud services. Synergy architecture EMS and PaaS includes components of EMS, HLA and the OpenStack platform, and also their interaction with each other (Fig. 3).

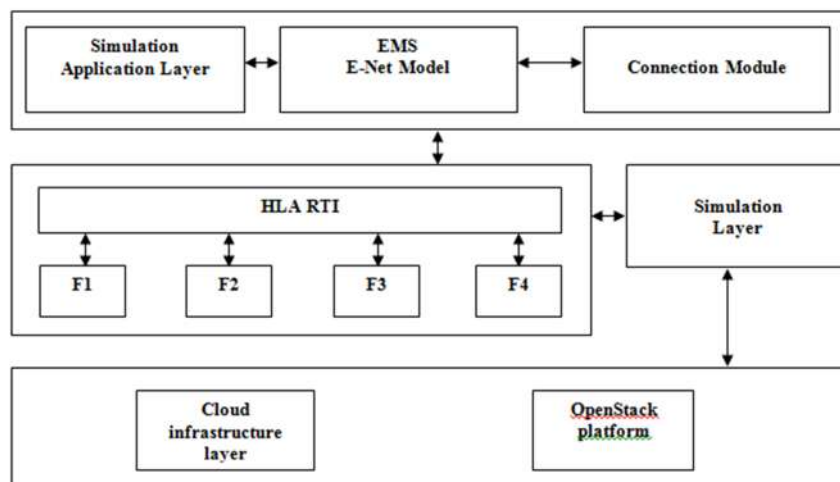


Fig. 3. Architecture EMS and PaaS

Infrastructure as a Service (IaaS). The key features of IaaS [10] in solving planning task consist:

1. The widespread usage of virtualization technology. The client does not buy access to physical computer, and, moreover, computer equipment. But operating time of processor with specific power, needed RAM and disk space, and access channel to the network with certain bandwidth are purchased. Thus, the customer orders and pays only for the computing equipment that is needed for real-time planning.

2. Integrated control system. There was binding software to the hardware platform before, but now is possible to use an integrated control system that enables collaboration OpenStack, HLA RTI and EMS.

3. Availability of elaborated architecture. Companies do not need to design and create IT infrastructure of planning by themselves, and ready-made solutions can be used, up to the environment models. The effectiveness of such an infrastructure is much higher than that are used by individual, not specializing in IT companies.

But the most important thing is that the usage of the IaaS model eliminates all cares of support of IT infrastructure from the company-client. This task goes to the company providing the service.

EMS adaptation under planning with Cloud technologies. EMS system architecture with its use in the cloud is shown in Fig. 4.

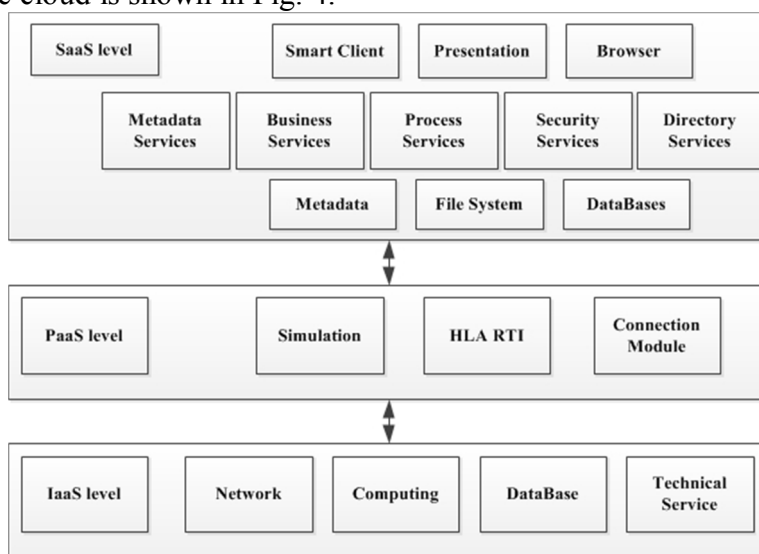


Fig. 4. EMS system architecture in cloud

Process Service provides client interface. Other services implement Business Services that interact with the relevant Data storage for using the business-data. Security Service is responsible for access control to the end user and for the services on the server. Metadata is responsible for configuration management of application for individual users.

The network planning process in the cloud is a sequence of steps shown in Fig. 5.

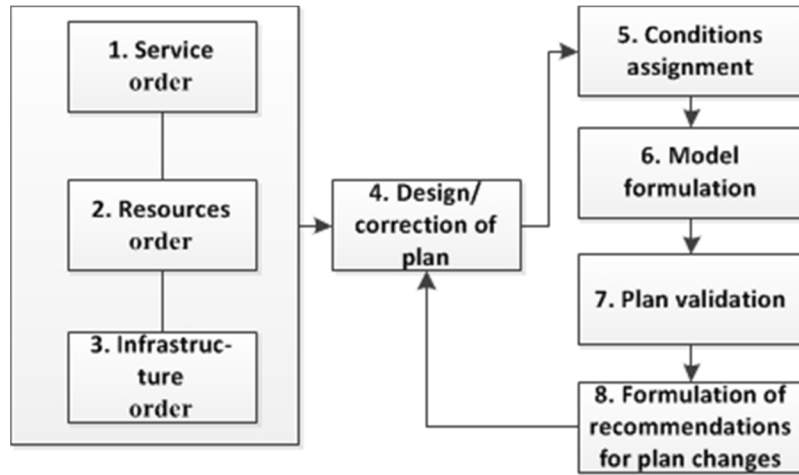


Fig. 5. Network planning process in the cloud

In the EMS work plan is represented as federate, described by the control E-net (Fig. 6) [3]. This federate is part of the federation - the aggregate of models of planning system (Fig. 7.). Synthetic environment is also presented as one or more federates that simulate the external conditions that influence to the executive plan.

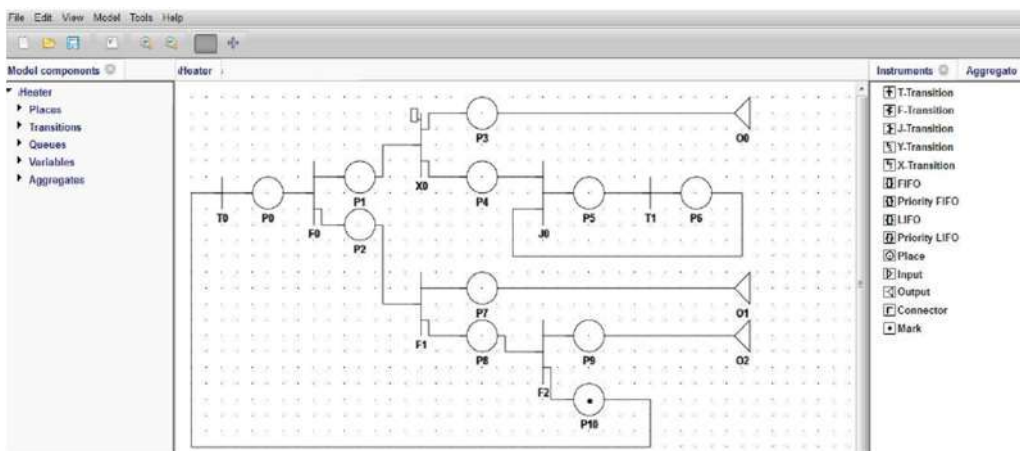


Fig. 6. Plan model in EMS

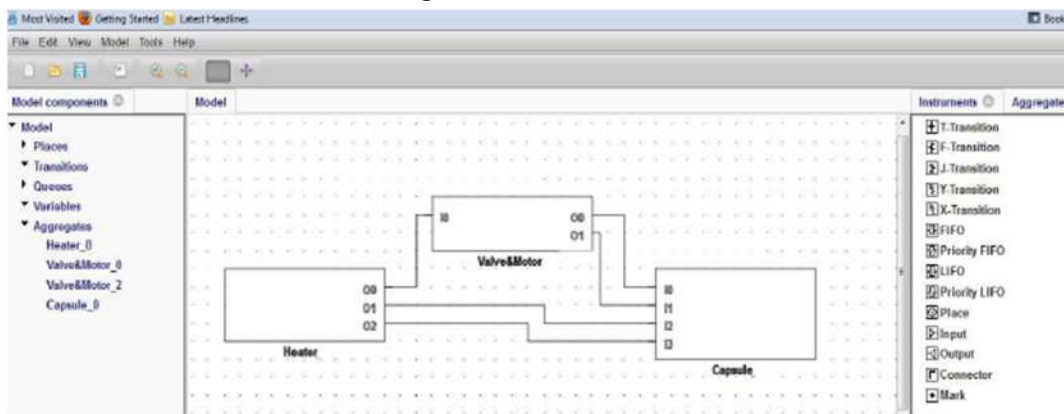


Fig. 7. Model of network planning system

Conclusion. The approach to network planning based on cloud technologies, presented in this article can be used to design work plans of various levels of complexity. The built-in simulation models are the basis of these plans, including synthetic environment models. This allows the forecasting and assessment of the implementation of generated work plans under conditions of uncertainty. The simulation and planning tools within the three components of cloud technologies will allow monitoring the implementation of the operational work plans, and their timely optimization in real time.

References

1. *IEEE Std 1516-2000*, 1516.1-2000, 1516.2-2000, IEEE Standard for Modeling and Simulation (M&S) High Level Architecture (HLA)(2000).
2. *Казимир В. В.* Верификация реактивных систем с помощью формул темпоральной логики на E-сетевых моделях / В. В. Казимир // Математичні машини і системи. – 2002. – № 1. – С. 29–40.
3. *Казимир В. В.* Розподілене моделювання в EMS на основі архітектури HLA / В. В. Казимир, Г. А. Сіра // Математичні машини і системи. – 2011. – № 4. – С. 125–135.
4. *Вууа R.* Cloud computing: The next revolution in information technology, In Proc. of the 1st International Conference on Parallel Distributed and Grid Computing, IEEE Computer Society, Los Alamitos, 2-3 (2010).
5. *Frey Kely L.* Application Service Provider and Software as a Service Agreements Line by Line: A Detailed Look at ASP and SaaS Agreements and How to Change Them to Meet Your Needs / L. Frey Sr., Thomas J. Hall. – Aspatore Books, 2007. – 108 p.
6. *Hassan, Qusay F.* Demystifying Cloud Computing / Qusay F. Hassan // The Journal of Defense Software Engineering (CrossTalk). – 2011. – Jan/Feb. – P. 16–21.
7. *Paul, Gil* What Is 'SaaS' (Software as a Service)? [Online]. – Available : http://netforbeginners.about.com/od/s/f/what_is_SaaS_software_as_a_service.htm.
8. *Brandon Butler* PaaS Primer: What is platform as a service and why does it matter? [Online]. – Available : <http://www.networkworld.com/article/2163430/cloud-computing/paas-primer--what-is-platform-as-a-service-and-why-does-it-matter-.html>.
9. *Open* source software for creating private and public clouds [Online]. – Available : <https://www.openstack.org/>.
10. *IAAS: ключевые особенности* [Online]. – Available : http://www.inoventica.ru/informacionnyj_centra/tehnologii/iaas_paas/iaas_kljuchevye_osobennosti.

Kazymyr Volodymyr – Doctor of Technical Sciences, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

Казимир Володимир Вікторович – доктор технічних наук, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

Казимир Владимир Викторович – доктор технических наук, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

E-mail: vvkazymyr@gmail.com

Lytvyn Svitlana – Doctor of Philosophy, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

Литвин Світлана Володимирівна – канд. пед. наук, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

Литвин Светлана Владимировна – канд. пед. наук, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

E-mail: xpower777@gmail.com

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

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

Посадская Алина Сергеевна – аспирант, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

E-mail: alinka.posadskaya@gmail.com

Mariya Verovko, Iryna Posadska

ANALYSIS AND COMPARISON OF THE FUNCTIONALITY OF NETWORK MONITORING TOOLS

Марія Верьовко, Ірина Посадська

АНАЛІЗ ТА ПОРІВНЯННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ МОЖЛИВОСТЕЙ ЗАСОБІВ МОНІТОРИНГУ МЕРЕЖІ

Мария Вереvко, Ирина Посадская

АНАЛИЗ И СРАВНЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ СРЕДСТВ МОНИТРИНГА СЕТИ

The analysis and comparison of the functionality of the most popular network monitoring and traffic monitoring tools is described in the paper. The results of the investigation of the network monitoring and traffic monitoring tools performance, tested in the real LAN, are also presented.

Key words: network, traffic, monitoring, LAN.

Fig.: 2. Tabl.: 3. Bibl.: 7.

Представлено аналіз і результати порівняння найбільш популярних засобів моніторингу мережі та мережевого трафіку. Показано результати дослідження продуктивності засобів моніторингу мережі й мережевого трафіку, виконаного у реальній локальній мережі.

Ключові слова: мережа, трафік, моніторинг, ЛОМ.

Рис.: 2. Табл.: 3. Бібл.: 7.

Представлен анализ и результаты сравнения наиболее популярных средств мониторинга сети и сетевого трафика. Показаны результаты исследования производительности средств мониторинга сети и сетевого трафика, выполненного в реальной локальной сети.

Ключевые слова: сеть, трафик, мониторинг, ЛВС.

Рис.: 2. Табл.: 3. Библ.: 7.

Introduction. Due to the growth of popularity of the Internet and wide usage of computer networks in all areas of human life the task of network administration has become a valuable and complex issue, which requires large amount of human, hardware and software recourses. To perform presented task a wide range of network monitoring tools, which provide different set of functionality, is available for modern network administrators. However, the problem of selection of an appropriate tool, which will provide all necessary information about a network and all required functionality, is quite difficult, despite the wide availability of such tools on market. The main issues, associated with this problem, are:

- disparity of the declared and real functionality;
- limitation of the available functions in different versions;
- requirement of additional payment for necessary functionality;
- low performance in the real LANs;
- redundancy of the resulted information.

The task of network monitoring can be divided on two main tasks – monitoring of network elements and monitoring of information, transmitted over the network. These tasks are more frequently called as the task of network monitoring and the task of traffic monitoring.

Network monitoring system is a system, provided inventory and advanced diagnostics of computer networks; constant monitoring of the functioning of used networking equipment, application systems and network services; collection of statistics (real time and archived) and visualization of key performance indicators and operating parameters of the network infrastructure; optimization of load on the network equipment and servers; fixation of incidents; analysis of the impact of the encountered problem on the business processes and critical applications; determination of the cause of the incident and its automatic correction or notification of responsible for its elimination persons. Usage of such systems allows active monitoring of the availability, status and performance of the components of the corporate network, analysis and optimization of their load, and also the prediction of the occurrence of emergency situations.

Monitoring of the network traffic is a complex task, which includes the collection and analysis of data, transmitted over the network. The devices, which collect traffic destined for other devices, are called sniffers and can be used for both destructive and good purposes. The analysis of abilities of available sniffers allows obtaining information about the resources, which system administrators have to prevent attacks and unauthorized access.

The determination of the abilities of the most popular tools for network monitoring and traffic monitoring, their analysis and comparison and the development of the recommendations, based on the conducted research, is the main task of the current investigation.

Related work. Network monitoring is the process connected with both network performance and network security issues. That is the reason why the investigation and development of network monitoring tools and algorithms is the task of great importance and described in the works of many researchers.

The task of the network management and network performance investigation using network monitoring tools is described in the papers of Y. Breitbart, J. Friedmann, A. Greenberg, Y. Yemini, G. Goldschmidt etc. [1–3]

Usage of network monitoring for issues related to network security has been investigated in the researches of F.T. Grampp, R.H. Morris and S.M. Bellovin. [4–5] At the same time many investigators propose their own systems for network monitoring. [6–7]

Methodology. Free monitoring tools have been tested in the network of CNUT (range 192.168.0.0-192.168.17.255). This is a corporate network, which includes a large number of subnets and network equipment with different levels of protection (servers, switches, routers etc). The scheme of the network, used during the investigation, is presented in Fig. 1.

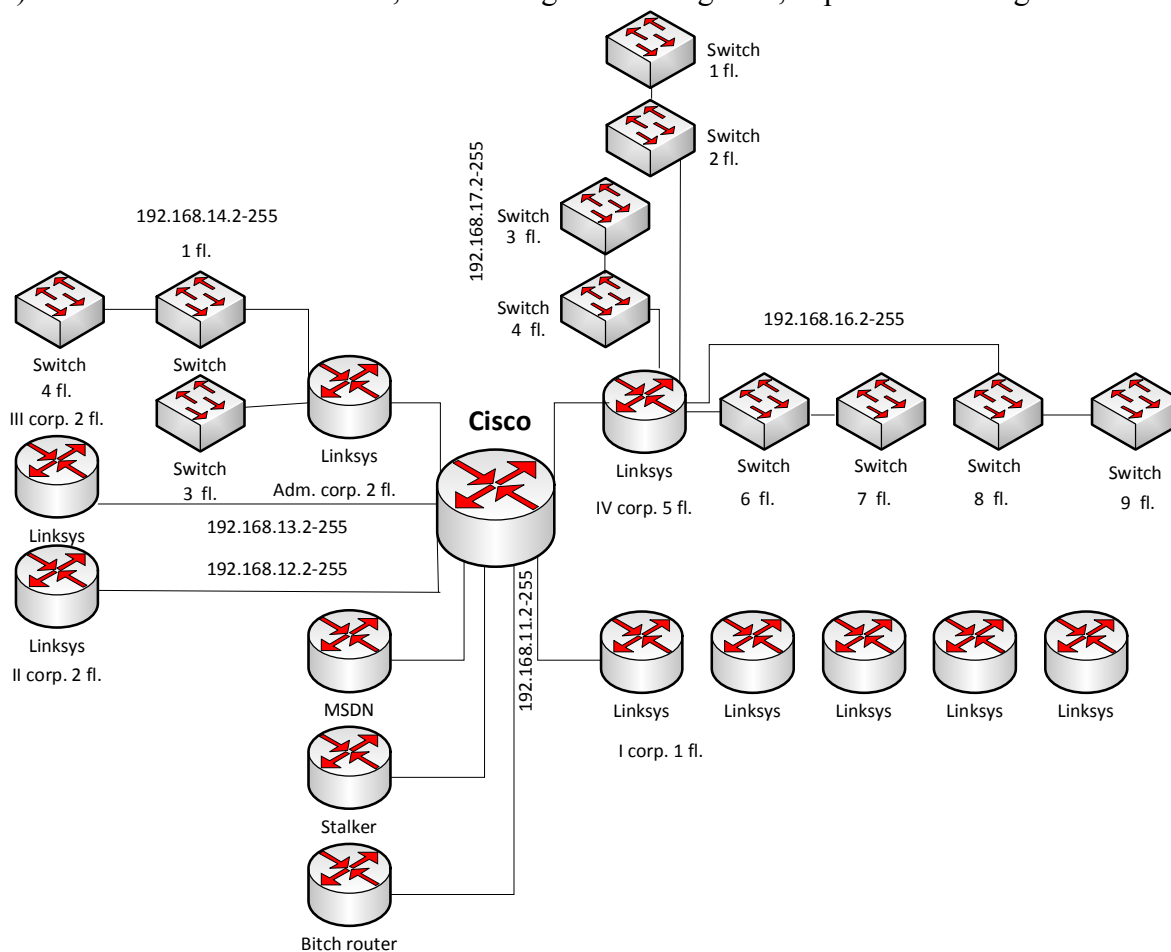


Fig. 1. The scheme of the investigated network

Tools for network monitoring. *Advanced IP Scanner* is reliable and free network scanner for analyzing local networks. The program is designed for scanning all the devices on the network, providing access to shared folders and FTP-servers makes possibility to remotely control computers (via RDP and Radmin), and can even remotely disable them.

Alchemy Network Monitor is designed to monitor the functioning of LAN and servers. In case detection of any problems or faults it should be generated message to the system administrator, that can be transmitted by e-mail, phone (SMS), pager or ICQ. It is a detailed log file.

Angry IP Scanner (or simply ipscan) is an open-source and cross-platform network scanner designed to be fast and simple to use. It scans IP addresses and ports as well as has many other features. It is widely used by network administrators and just curious users around the world, including large and small enterprises, banks, and government agencies. It runs on Linux, Windows, and Mac OS X, possibly supporting other platforms as well.

LanScope is a multithreaded network scanner. LanScope performs network monitoring for the presence of the available resources NetBios (Samba), FTP, and HTTP, scanning ranges given IP-address. It designed to show the access rights to resources: reading, writing. Resource Scanner searches for a given resource name, for example, music, video, etc.

LanSpector is designed for network administrators. It should provide the view of the shared resources on the local network, scanning ip address ranges for the presence of commonly used services, building a detailed report on the NetBios.

MegaPing is a utility for monitoring, including finger, name lookup, network time synchronizer, ping, port scanner, traceroute, and whois. MegaPing has separate tool to find specific information. IP-scanner checks the range of IP-addresses, determines which of them are active, converts computer names, if the appropriate mode is selected. Accordingly, by using NetBIOS scanner, it can be checked a range of IP-addresses and individual components - or the entire domain - and get the NetBIOS names of network nodes, registered users and MAC-address.

NetScan is a free multi-threaded ICMP, Port, IP, NetBIOS, ActiveDirectory and SNMP scanner with many advanced features. It is intended for both system administrators and general users who are interested in computer security. The program performs ping sweep, scans for opened TCP and UDP ports, resource shares and services. For devices with SNMP capability available interfaces are detected and basic properties displayed.

NetView is developed as a substitute for the Windows Network Neighborhood. It is enough powerful tool for monitoring and administration of local networks with powerful tools for performing auxiliary functions. It should allow to keep a log with a list of machines, addresses and descriptions and regularly check it for switching off the machine, keep a log of the active network connections (a black and white lists feature).

SoftPerfect Network Scanner is a free multi-threaded IPv4/IPv6 scanner with a modern interface and many advanced features. It is intended for both system administrators and general users interested in computer security. The program pings computers, scans for listening TCP/UDP ports and discovers shared folders, including system and hidden ones.

Total Network Monitor is a program for continuous monitoring of network operation, separate computers, network and system utilities. TNM should notify in advance of the occurrence of faults and generate a detailed report about what happened and when.

Advanced LAN Scanner uses a multi-threaded scanning method, allowing to scan more than 1000 elements per second.

Tools for traffic monitoring. A network analyzer (sniffer) - is software or complex device that is designed to capture and analyze, or only to analyze the network traffic destined for other nodes. The abilities of sniffer are limited to the analysis of the traffic, which goes

only through its network card. To perform the function of packets interception, the network adapter driver of the device must support the promiscuous operating mode. Such operation mode of network adapter is automatically activated at the sniffer start or can be selected manually using the appropriate settings of sniffer. The intercepted traffic is sent to the package decoder that identifies and splits packets to the appropriate levels of the hierarchy. Depending on the capabilities of particular sniffer package information, obtained during interception, can then be additionally analyzed and filtered.

The abilities of following sniffers were analyzed during the investigation: Analyzer v.2.2, CommView, Iris Network Traffic Analyzer and Wireshark.

Utility Analyzer, developed by NetGroup company is a small free available packet analyzer, which doesn't require the installation on the computer. Because of the simplicity Analyzer v.2.2 has only basic tools set.

CommView is commercial software with basic trial version. The valuable difference of current utility is the fact that it's not implemented based on WinPcap library, which is currently the basis for almost all available sniffers.

Iris Network Traffic Analyzer is also commercial software with basic demo version. Current utility has similar disadvantage: the ability to filter previously captured packets is absent. The main advantage is the ability to display statistical information about packet capture in a graphical form.

Initially developed for a Linux platform, *Wireshark* is the most powerful traffic monitoring tool, correctly available for Windows and Linux users. Wireshark can be started using both graphical interface and command line. The ability to monitor Wireless networks is also realized in this software. The set of the available protocols is the biggest and consists of 752 network protocols. Current utility is the most popular to solve the task of traffic sniffing due it high usability and wide functionality.

Analysis and comparison: tools for network monitoring. During the search of free network monitoring tools there the following features were found:

- Despite the large number of monitoring tools available in the Internet, about 80% of them are only demo or trial version (WhatsUp Gold, Observer, LAN Looking Any Network, XSpider, SNMP Manager, Net Meter, Actine Network Monitor, etc). The 30-day free period of operating life is declared, however after 1-2 minutes after installation the abnormal program behavior typically detected.

- A significant number of programs have only limited functionality from the set, presented in the manuals (Zabbix, Net Gear Genie, Net Privacy Monitor, PC Agent, Net Cut).

- Some programs, as Net Privacy Monitor, provide information only about the facts of connections to your network resources. Other perform monitoring only to the nearest switch (Net Gear Genie, Net Cut, etc);

- A significant number of programs requires registration and additional installations of web servers, etc. (Net Crunch, Total Network Inventory, LAN Spy, Big Brother.

The comparison of network analyzers is presented in the Tables 1 and 2.

Table 1

The comparison of network analyzers (part 1)

| | Node status (active / inactive) | Device name | IP address | Conformity of the device name and IP address | MAC address | Producer of network card |
|-------------------------|---------------------------------------|-------------|---------------|--|----------------|--------------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| Advanced IP Scanner | + | + | + | + | + | + |
| Alchemy Network Monitor | + | Partially | Partially | - | - | - |
| Angry IP Scanner | + | + | + | + | - | - |

End table 1

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|------------------------------|---|---|---|-----------|---|---|
| Lanscope | + | + | + | + | - | - |
| Lanspector | + | * | + | Partially | - | - |
| MegaPing | + | - | + | - | - | - |
| NetScan | + | + | + | + | - | - |
| NetView | + | + | + | + | - | - |
| Soft Perfect Network Scanner | + | + | + | + | + | - |
| Total Network Monitor | + | + | + | + | - | - |
| Advanced LAN Scanner | + | + | + | + | + | - |

Table 2

The comparison of network analyzers (part 2)

| | Active ports | OS | Working group | TTL | Used protocols |
|------------------------------|-----------------------------------|-----------|---------------|-----|---|
| Advanced IP Scanner | - | - | - | - | Unknown |
| Alchemy Network Monitor | Only for nodes with a device name | - | - | - | ICMP- for devices with IP addresses; FTP, HTTP, HTTPS, SMTP- only where devices names are indicated |
| Angry IP Scanner | - | - | - | - | ICMP, DNS |
| Lanscope | FTP and HTTP only | - | - | - | FTP** |
| Lanspector | - | Partially | Partially | + | FTP, http, Telnet, SSH, DNS |
| MegaPing | - | - | - | + | Unknown |
| NetScan | - | - | - | - | Unknown |
| NetView | - | - | - | - | Unknown |
| Soft Perfect Network Scanner | - | * | + | - | Unknown |
| Total Network Monitor | - | - | + | + | ICMP |
| Advanced LAN Scanner | + | * | + | - | + |

* - Parameter is stated in the software documentation, but was not obtained during the investigation in the real LAN.

** - Also provides characteristics of FTP connection: access error, protected by a password, FTP- server; HTTP- gives a characteristic of “WWW server”.

Analysis and comparison: tools for traffic monitoring. Conducted analysis of the sniffers available for network administrators allowed determining the general characteristics for all of the network analyzers. The allocated characteristics are presented below:

- All software sniffers could be divided into two categories: sniffers, supporting the launch from the command line, and sniffers with a graphical interface. Some of the sniffers support both functions.
- The main differences between sniffers include the set of available protocol, depth of analysis of captured packets, capabilities of filters configuration and presence of compatibility with other programs.
- Almost all sniffers perform the analysis of the encoded packets.
- All sniffers distribute captured packets through the levels and protocols. But not all sniffers include the ability to recognize the protocol and display the intercepted information.

– Typically, the window of any sniffer with a graphical user interface consists of three areas.

– The first area displays summary data about captured packets. Usually, only basic fields set is displayed in this area, such as the time of packet interception; IP-addresses of the source and destination; MAC-address of the source and destination, source and destination port addresses; protocol type (network, transport or application layer); some summary information about the intercepted data.

– The second area is dedicated to the statistical information about previously selected packet.

– The third area contains the hex or ASCII representation of the package content.

However the investigated tools have significant difference in the possibilities of traffic capturing and analysis. The comparison of network traffic sniffers is presented in the Table 3.

Table 3

The comparison of network sniffers

| | Deep analysis | Monitoring in Wireless networks | Filtering at the capturing stage | Post-filtering | Additional features |
|-------------------------------|----------------------|--|---|-----------------------|--|
| Utility Analyzer | - | - | + | - | – Only basic tools set and set of protocols. |
| CommView | - | + | + | - | – Not implemented using WinPcap library. – Ability to change IP and MAC addresses by the users names. – Statistical information in an additional window. |
| Iris Network Traffic Analyzer | + | - | + | - | – Ability to display statistics in a graphical form. |
| Wireshark | + | + | + | + | – Available for Windows and Linux users. – Both graphical interface and command line. – 752 network protocols |

Data obtained by traffic analysis. Traffic monitoring and analysis is a powerful tool, because it allows obtaining all the information, distributed over the network. The description of the data, which can be received from the traffic, captured by network sniffer, is presented using the Wireshark utility example. Current utility is the most popular to solve the task of traffic sniffing due it high usability and wide functionality. The main window of Wireshark utility is presented in Fig. 2.

The analysis of the packets, captured using Wireshark, allow to get following information about the network:

- Obtain all the data from not encrypted (and sometimes encrypted) traffic, such as passwords and other information (Logins, session, cookies);
- Obtain data from the protocols headers;
- Determine the characteristics of network devices (IP-addresses, MAC-addresses and ports);
- Identify network services that are configured in the network (DNS, DHCP, WWW);
- Determine the servers and their characteristics.

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

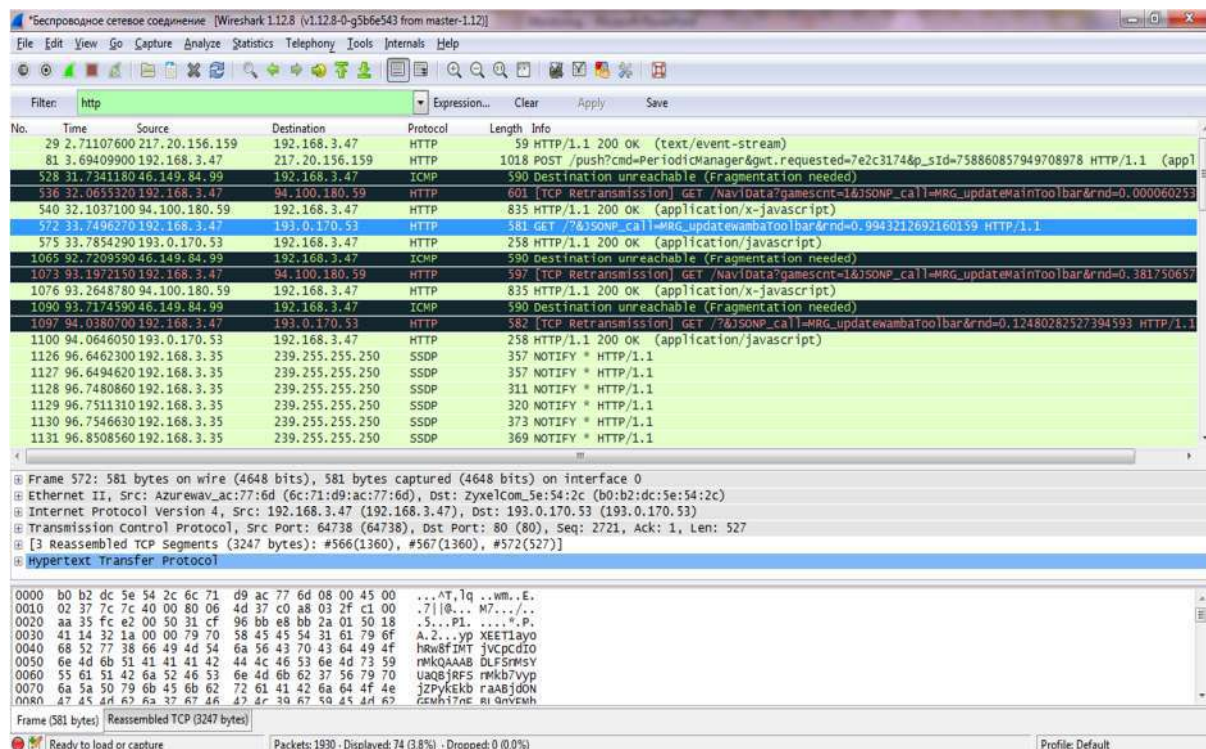


Fig. 2. The main window of Wireshark utility

All presented information can be used to get an unauthorized access to the DMZ-zone devices, which can be used as a start for intrusion to other network. However sniffers abilities can be used also to prevent intrusions into the network. Using the Wireshark data network administrator can:

- Detect a parasitic, viral and loopback traffic, which presence increases the load on the network equipment and communication channels.
- Identify the network malware and unauthorized software such as network scanners, flooder, Trojans, clients of peer to peer networks etc.
- Locate the network fault or error of network configuration agents.
- Get information about invasions to get correct security policy settings.

It should be mentioned that the majority of the tasks are solved by network administrators empirically. Network sniffers do not have sufficient levels of automation for intelligent data processing and decision making. The additional methods and approaches, which allow automation of the analysis of network traffic and to detect network anomalies, will be significant help for network administrator to prevent cyber-attacks.

Conclusion. The area of the typical LAN, its' complexity and number of nodes makes it impossible to perform network administration without the automation tools. At the same time to perform the task of network administration successfully usage of both types of monitoring – network nodes monitoring and network traffic monitoring – is required.

The results of presented research show that the abilities of software, available for modern network administrator, are completely different. Considering the information, obtained during the investigation, the conclusion also can be made, that not all abilities of network analyzers, which were determined by manufacturer, are really available in the software. However, the Advanced LAN Scanner and Wireshark are highlighted as the software with the widest functionality. At the same time, other tools, which are presented in the research, can also be used for the decision of the specific tasks. The selection of the appropriate tool depends on the set of functions, which network administrator requires from it.

Future work. Only network nodes monitoring and traffic monitoring tools are considered in the article. The complex intrusion detection systems, which combine presented functionality and additional abilities on intrusion detection, haven't been investigated. The research of such type of the system is the necessary step to obtain the complete information about network monitoring tools abilities.

Presented monitoring tools give a complete picture only in complex and in case of simultaneous usage of several of them. The development of software with a wider and combined functionality will significantly optimize the network administrator's job. The additional requirement for such software is the including of elements of the decision-making system, but not only raw data presentation.

References

1. *Y. Breitbart* et al. Efficiently monitoring bandwidth and latency in IP networks. In Proc. IEEE Infocom, pages 933–942, 2001.
2. *R. Caceres* et al. Measurement and analysis of IP network usage and behavior. IEEE Communications Magazine, pages 144–151, May 2000.
3. *Y. Yemini*, G. Goldschmidt, and S. Yemini. Network management by delegation. In Proc. of IFIP/IEEE International Symposium on Integrated Network Management, pages 95–107, 1991.
4. *F. T. Grampp* and R.H. Morris, “Unix operating system security”, AT and T Bell Labs Technical Journal, vol. 63, Oct. 1984.
5. *S. M. Bellovin*, “Security problems in the TCP/IP protocol suite”, Computer Communications Review, vol. 19, April 1989.
6. *Radha S. Shirbhate*, Pallavi A. Patil. Network Traffic Monitoring Using Intrusion Detection System. International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering. Volume 2, Issue 1, January 2012
7. *Li Li*, Marina Thottan, Bin Yao, Sanjoy Paul. Distributed Network Monitoring with Bounded Link Utilization in IP Networks. IEEE INFOCOM 2003.

Verovko Mariya – PhD in Technical Sciences, assistant of Information and Computer Systems Department, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

Верьовко Марія Вадимівна – кандидат технічних наук, асистент кафедри інформаційних та комп'ютерних систем, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

Веровко Мария Вадимовна – кандидат технических наук, ассистент кафедры информационных и компьютерных систем, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

E-mail: miya.tevkun@gmail.com

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

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

Посадская Ирина Сергеевна – аспирант, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

E-mail: irrkin@gmail.com