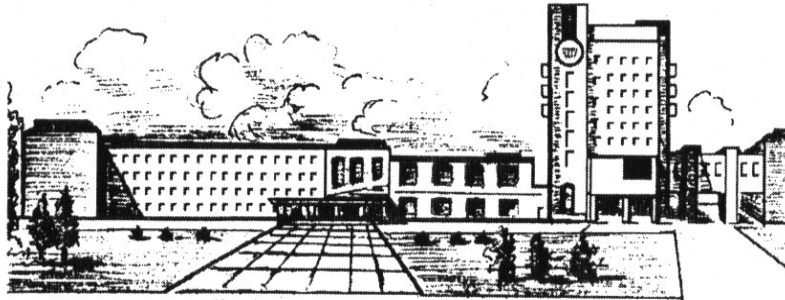


ISSN 2411-5363 (print)
ISSN 2519-4569 (online)

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



ТЕХНІЧНІ НАУКИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ

НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ

№ 2 (20)



Чернігів 2020

Друкується за рішенням вченої ради Чернігівського національного технологічного університету (протокол № 5 від 30.06.2020 р.). Науковий журнал «Технічні науки та технології» внесено до переліку наукових фахових видань України, затвердженого Наказом Міністерства освіти і науки України від 11.07.2019 р. № 975, відповідно до якого журналу надано категорію «Б».

Т38 **Технічні науки та технології : науковий журнал / Чернігів. нац. технол. ун-т. – Чернігів : ЧНТУ, 2020. – № 2 (20). – 324 с.**

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

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

УДК 62:67.05

Головний редактор:

Казимир В. В., доктор технічних наук, професор, Чернігівський національний технологічний університет.

Заступник головного редактора:

Сапон С. П., кандидат технічних наук, доцент, Чернігівський національний технологічний університет.

Члени редакційної колегії:

Прикладна механіка, матеріалознавство та машинобудування

Бойко С. В., кандидат технічних наук, доцент, Чернігівський національний технологічний університет;

Болотов Г. П., доктор технічних наук, професор, Чернігівський національний технологічний університет;

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

Срошенко А. М., кандидат технічних наук, доцент, Чернігівський національний технологічний університет;

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

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

Новомлинець О. О., доктор технічних наук, професор, Чернігівський національний технологічний університет;

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

Інформаційно-комп'ютерні технології

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

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

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

Зайцев С. В., доктор технічних наук, доцент, Чернігівський національний технологічний університет.

Енергетика, електротехніка та електромеханіка

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

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

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

Гусев О. О., кандидат технічних наук, доцент, Чернігівський національний технологічний університет;

Денисов Ю. О., доктор технічних наук, професор, Чернігівський національний технологічний університет;

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

Скоробогатова В. І., доктор технічних наук, професор, Чернігівський національний технологічний університет.

Хімічні та харчові технології

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

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

Цибуля С. Д., доктор технічних наук, професор, Чернігівський національний технологічний університет;

Челябієва В. М., кандидат технічних наук, доцент, Чернігівський національний технологічний університет.

Будівництво та геодезія

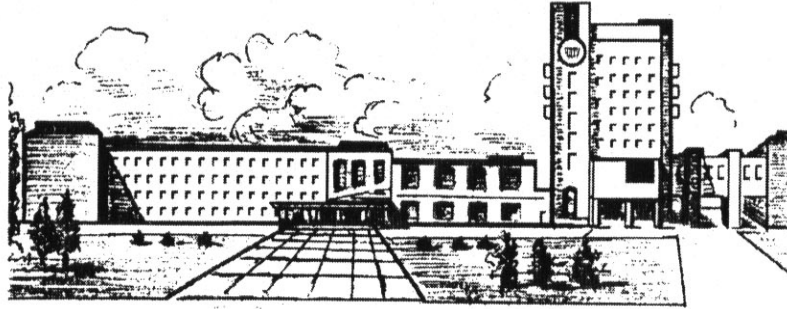
Вінніков Ю. Л., доктор технічних наук, професор, Полтавський національний технічний університет;

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



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

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



TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

SCIENTIFIC JOURNAL

ISSUE № 2 (20)

Chernihiv 2020

UDC 62:67.05
DOI: 10.25140/2411-5363-2020-2(20)

Published by the decision of the Academic Council of the Chernihiv National University of Technology (protocol № 5 dated 30.06.2020). Scientific journal “Technical sciences and technologies” is included into the list of scientific specialized editions of Ukraine, approved by the Order of the Ministry of Education and Science of Ukraine dated July 11, 2019 № 975, according to which magazine is assigned a category «B».

Technical sciences and technologies: scientific journal / Chernihiv National University of Technology. – Chernihiv : Chernihiv National University of Technology, 2020. – № 2 (20). – 324 p.

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

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

UDC 62:67.05

Editor in chief:

Kazymyr V. V., Doctor of Technical Sciences, Professor, Chernihiv National University of Technology (ChNUT).

Deputy Editor in chief:

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

Members of the Editorial Board:

Applied mechanics, materials science and machine building

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

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

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

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

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

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

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

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

Information and computer technologies

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

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

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

Zaitsev S. V., Doctor of Technical Sciences, ChNUT.

Power engineering, electrical engineering and electromechanical engineering

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

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

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

Husev O. O., PhD in Technical Sciences, Associate Professor; ChNUT;

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

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

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

Chemical and food technologies

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

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

Tsybulia S. D., Doctor of Technical Sciences, Professor; ChNUT;

Cheliabitiieva V. M., PhD in Technical Sciences, Associate Professor, ChNUT.

Construction and geodesy

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

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



ЗМІСТ

Вступне слово	9
РОЗДІЛ І. ПРИКЛАДНА МЕХАНІКА, МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО ТА МАШИНОБУДУВАННЯ	
<i>Лебедев В., Новиков С.</i> Колебатель изделия для автоматической дуговой наплавки	11
<i>Болотов М., Прибитько І., Назорна І.</i> Тліючий розряд як джерело поверхневого нагріву в процесах з'єднання різнорідних матеріалів (огляд)	22
<i>Залета О.</i> Аналіз та модернізація конструкції обладнання для пакування замороженої продукції	37
<i>Марков О., Хващинський А., Панов В., Різак П., Житніков Р.</i> Удосконалення процесу осадження масивних заготовок для виготовлення деталей енергетичного машинобудування	46
<i>Литвин О., Гаврушкевич А., Алексик Д.</i> Моделювання та дослідження динамічних параметрів мальтійських механізмів технологічних машин	53
<i>Акритова Т., Андрущенко М., Капустян О., Куликовський Р., Осінов М.</i> Технологія зміцнення штампів пресформ для виготовлення вогнетривких і будівельних виробів шляхом цементації	62
<i>Корнієнко О., Олексієнко С., Ющенко С., Руденко М.</i> Розвиток джерел електричного нагріву для паяння	74
<i>Крейда Р., Сапон С., Канашиевич Г.</i> Аналіз способів обробки неповних зовнішніх сферичних поверхонь лезовим інструментом	89
<i>Кальченко В., Кальченко В., Кужельний Я., Винник В.</i> Експериментальне дослідження процесу фрезерування опорних шийок та кулачків розподільчого вала на модернізованому верстаті ВЗ 208 Ф4	100
РОЗДІЛ ІІ. ІНФОРМАЦІЙНО-КОМП'ЮТЕРНІ ТЕХНОЛОГІЇ	
<i>Синенко М., Ткач Ю.</i> Математична модель методів активного захисту інформації	109
<i>Стеценко І., Стельмах О.</i> Технологія визначення інтенсивності дорожнього руху за даними відеореєстру	116
<i>Повхан І.</i> Метод побудови алгоритмічного дерева другого типу на основі апроксимації навчальної вибірки набором алгоритмів класифікації	126
<i>Круворучко О., Бебешко В., Кхоролська К., Десіатко А., Котенко Н.</i> Artificial intelligence face recognition for authentication	139
<i>Дубягін О., Гур'єв В., Фірсова І.</i> Компенсування наслідків міжкрівневого заміщення: процедура, ефективність	149
<i>Дорош М., Грек І., Бугай Ю.</i> Розробка моделі системи автоматизованого добору персоналу з використанням методів штучного інтелекту	158
<i>Бабич Ю., Бабич Н., Павлышко Е., Наконечная В.</i> Исследование детерминированных регулярных выражений с использованием структуры данных XML-типа	167
<i>Гребенник А., Трунова О., Казимир В., Міщенко М.</i> Виявлення та прогнозування рівня загроз для корпоративної комп'ютерної мережі	175
<i>Рзасва С., Рзасв Д., Краскевич В., Роскладка А., Гамалій В.</i> Особливості розробки інформаційної системи Automatic sales funnel	186
<i>Ткач Ю., Мехед Д., Мехед К., Черниш Л.</i> Організація наукових досліджень в умовах пандемії та карантину	197
<i>Ткач Ю., Шелест М., Черниш Л., Литвин С., Бригинець А.</i> Аналіз систем підтримки аудиту інформаційної безпеки	203
<i>Шелест М., Ткач Ю., Семендяй С., Синенко М., Черниш Л.</i> Дослідження стійкості алгоритму автентифікованого шифрування на базі sponge-функції	210
<i>Базилевич В., Мальцева М., Петренко Т., Черниш Л.</i> Захищена система розумного будинку з використанням Internet of Things	218

<i>Риндич Є., Петренко Т., Черниш Л., Семендяй С., Біленький Г.</i> Навчальний стенд для вивчення дисциплін із забезпечення мережевого захисту інформації.....	229
<i>Семендяй С., Шелест М., Ткач Ю., Черниш Л.</i> Етичний хакінг у бізнес-компаніях та виявлення вразливостей в інформаційних системах державних органів України	237
РОЗДІЛ III. ЕНЕРГЕТИКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА	
<i>Єршов Р.</i> Цифрові компаратори частоти та фази в складі системи стабілізації положення рухомої платформи	241
РОЗДІЛ IV. ХІМІЧНІ ТА ХАРЧОВІ ТЕХНОЛОГІЇ	
<i>Рибчук Л.</i> Перспективність використання бобових паст у кондитерському виробництві	253
<i>Денисова Н., Карцан В., Буяльська Н.</i> Дослідження використання цукрозамінників у технології виробництва плодово-ягідного морозива	263
<i>Іжєвська О., Козяр І., Косінова Я.</i> Млинці оздоровчої дії для закладів ресторанного господарства в умовах сучасності	269
РОЗДІЛ V. БУДІВНИЦТВО ТА ГЕОДЕЗІЯ	
<i>Крячок С.</i> Визначення величини й точності сталої віддалеміра електронного тахеометра за результатами прив'язки до подвійного стінного геодезичного знаку	278
<i>Сахно Є., Терещук О., Федорцов С., Сипливець В.</i> Термомодернізація огорожувальних конструкцій будівель і споруд	286
<i>Мовенко В.</i> Моніторинг радіаційного забруднення території Чорнобильської зони	297
<i>Качановський О.</i> Еколого-економічна оцінка впливу незаконного видобування бурштину на стан довкілля Рівненської області	308
<i>Бідаков А., Пустовойтова О., Распопов Є., Страшко Б.</i> Міцність ПКД панелей при зсуві та крученні.....	315
ОСНОВНІ ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ ТА ПОДАЧІ РУКОПИСІВ НАУКОВИХ СТАТЕЙ.....	323

CONTENT

Introductory word	9
SECTION I. APPLIED MECHANICS, MATERIALS SCIENCE AND MACHINE BUILDING	
<i>Lebediev V., Novykov S.</i> Vibrator of product for the automatic arc surfacing	11
<i>Bolotov M., Prybytko I., Nahorna I.</i> Glow discharge as a heating source for the processes of joining of different materials (review)	22
<i>Zaleta O.</i> Analysis and modernization of equipment construction for packaging of the frozen products	37
<i>Markov O., Khvashchynskyi A., Panov V., Rizak P., Zhytnikov R.</i> Improvement of the draught process of massive workpieces for the production of parts for energy engineering	46
<i>Lytvyn O., Havrushkevych A., Daniil A.</i> Modeling and research of dynamic parameters of malthian mechanisms of technological machines	53
<i>Akrytova T., Andrushchenko M., Kapustian O., Kulykovskyi R., Osipov M.</i> Hardening technology of stamps molds for the manufacture of refractory and building products by cementation	62
<i>Korniienko O., Oleksiienko S., Yushchenko S., Rudenko M.</i> Development of electric heating sources for brazing	74
<i>Kreida R., Sapon S., Kanashevych H.</i> Analysis of methods for processing partial exterior spherical surfaces with a blade tools	89
<i>Kalchenko V., Kalchenko V., Kuzhelnyi Ya., Morochko V.</i> Experimental research finishing single pass grinding of the cylindrical surface of the shaft with an oriented tool	100
SECTION II. INFORMATION AND COMPUTER TECHNOLOGIES	
<i>Sylenko M., Tkach Yu.</i> Mathematical model of active information protection methods	109
<i>Stetsenko I., Stelmakh O.</i> Technology of traffic intensity evaluation according to the video data	116
<i>Povkhan I.</i> A method for constructing an algorithmic tree of the second type based on the approximation of the training sample by a set of classification algorithms	126
<i>Kryvoruchko O., Bebesko B., Khorolska K., Desiatko A., Kotenko N.</i> Artificial intelligence face recognition for authentication	139
<i>Dubiagin A., Guryev V., Firsova I.</i> Compensation of the consequences of inter-level substitution: procedure, efficiency	149
<i>Dorosh M., Hrek I., Buhai Yu.</i> Development of a model of automated personnel selection system using artificial intelligence methods	158
<i>Babych Yu., Babych M., Pavlyshko O., Nakonechna V.</i> Researching of determined regular expressions using the XML type data structure	167
<i>Grebennyk A., Trunova O., Kazimir V., Mishchenko M.</i> Detection and forecasting of the threat level for a corporate computer network	175
<i>Rzaieva S., Rzaiev D., Kraskevych V., Roskladka A., Gamaliy V.</i> Features of development of Automatic sales funnel information system	186
<i>Tkach Yu., Mekhed D., Mekhed K., Chernysh L.</i> Organization of scientific research in the conditions of pandemic and quarantine	197
<i>Tkach Yu., Shelest M., Chernysh L., Lytvyn S., Bryhynets A.</i> Analysis of information security audit support systems	203
<i>Shelest M., Tkach Yu., Semendyay S., Sinenko M., Chernish L.</i> Study of the strength of an authenticated encryption algorithm based on sponge function	210
<i>Bazylevych V., Maltseva M., Petrenko T., Chernysh L.</i> Protected intelligent house system using internet of things	218
<i>Ryndych Ye., Petrenko T., Chernysh L., Semendyay S., Bilenky H.</i> Training stand for the study of disciplines to ensure network information protection	229
<i>Semendiai S., Shelest M., Tkach Yu., Chernysh L.</i> Ethical hacking in business companies and detection of vulnerabilities in information systems of state authorities of Ukraine	237

**SECTION III. POWER ENGINEERING, ELECTRICAL ENGINEERING
AND ELECTROMECHANICAL ENGINEERING**

Yershov R. Digital frequency and phase comparators as parts of a movable platform position stabilization system241

SECTION IV. CHEMICAL AND FOOD TECHNOLOGIES

Rybchuk L. The prospects of use of bean pastes in the confectionery manufacturing253
Denysova N., Kartsan V.a, Buialska N. Research of the use of sugar substitutes in the technology of the production of fruit and berry ice cream263
Izhevskaya O., Kozhar I., Kosinova Ya. Healthcare pancakes for restaurant establishments in modern conditions269

SECTION V. CONSTRUCTION AND GEODESY

Kryachok S. Determination of the magnitude and accuracy of the range finder constant correction of an electronic total station from the results of binding to a double geodetic wall sign278
Sakhno Ye., Tereshchuk O., Fedortsov S., Siplevich V. Thermal modernization of protecting constructions of buildings and structures286
Movenko V. Monitoring of radiation pollution of the territory of the chornobyl zone297
Kachanovskyi O. Ecological and economic assessment of the impact of illegal amber mining on the environment of rivne oblast.....308
Bidakov A., Pustovoitova O., Raspopov Ie., Strashko B. Strength of clt panels by shear and torsion.....315

BASIC REQUIREMENTS FOR EXECUTION AND SUBMISSION OF MANUSCRIPTS OF SCIENTIFIC ARTICLES.....323

Вельмишановні колеги, читачі!

Цього року Чернігівський національний технологічний університет (ЧНТУ) святкує 60-ту річницю свого заснування. За ці роки було пройдено славний шлях зростання від філіалу Київського політехнічного інституту до статусу самостійного національного закладу вищої освіти. Нині університет є не тільки головним науковим і навчальним осередком у Чернігівському регіоні, але й заслужено посідає передові позиції серед українських університетів, впевнено нарощуючи свій рейтинг. А останнім часом ЧНТУ став відомим і за межами України, беручи активну участь у численних міжнародних програмах і грантах, підтримуючи зв'язки з багатьма закордонними університетами та організаціями, використовуючи у своїй діяльності кращі надбання світової науки та педагогіки.

Значно розширивши перелік напрямів підготовки фахівців за рахунок впровадження нових (дуже важливих для України) спеціальностей економічного, юридичного, соціального та управлінського спрямування, університет продовжує ставити за першочергове завдання вважати відтворення інтелектуального потенціалу держави за рахунок забезпечення сфери виробничої діяльності висококваліфікованими інженерними кадрами та науковцями. У цьому значну роль відіграє наш науковий журнал «Технічні науки і технології», завдяки якому студенти, аспіранти й викладачі мають можливість розповсюджувати відомості про свої наукові здобутки серед широкого кола науковців, знайомитися із доробком своїх колег з інших університетів, зокрема й закордонних авторів.

Під новою назвою «Технічні науки і технології» журнал виходить із 2015 року, прийнявши естафету від «Вісника Чернігівського технологічного інституту: збірник наукових праць» (1996-1998), а потім «Вісника Чернігівського державного технологічного університету: науковий збірник» (1999-2005) та «Вісника Чернігівського національного технологічного університету. Серія «Технічні науки»: науковий збірник» (2006-2014). Завдяки зусиллям редакційних колегій, які в різні роки очолювали видатні професори: доктор технічних наук Зіневич Володимир Дорофійович (з 1996 по 1998 рік) та Пилипенко Олег Іванович (з 1999 по 2010 рік), були сформовані основні принципи функціонування журналу як наукового видання. Він набрав силу та завоював авторитет серед науковців та викладачів, став науковим фаховим виданням, яке було включено до переліку Вищої атестаційної комісії із захисту дисертацій у галузі технічних наук. Усього за період існування «Вісника» вийшло 78 його випусків, які налічували понад три тисячі наукових статей із технічних наук. За цей час змінився формат журналу, розширилась кількість рубрик, завдяки новій обкладинці із зображенням університету, він став більш впізнаваний. У ньому стали публікуватися науковці не тільки нашого університету, а й колеги з інших закладів вищої освіти, додалися публікації англійською мовою. Це значно сприяло поширенню інформації про наукові досягнення і створило основу для подальшого зростання авторитету журналу як міжнародного наукового видання.

До 60-річчя університету, який у цьому році отримав назву Національного університету «Чернігівська політехніка», науковий журнал «Технічні науки та технології» належить до наукових фахових видань України категорії «Б», в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора наук, кандидата наук та ступеня доктора філософії. Ми успішно пройшли акредитацію за 11 спеціальностями, включаючи: 131 – Прикладна механіка, 132 – Матеріалознавство, 133 – Галузеве машинобудування, 122 – Комп'ютерні науки, 123 – Комп'ютерна інженерія, 126 – Інформаційні системи та технології, 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка, 161 – Хімічні технології, 181 – Харчові технології, 192 – Будівництво та цивільна інженерія, 193 – Геодезія та землеустрій.

Склад редколегії поповнився новими членами – видатними вченими, з-поміж яких і закордонні, які мають кількісні публікації у виданнях, що індексуються в міжнародних науково-метричних базах. Це дало змогу підвищити рівень рецензування статей та поси-

лити їх відповідність новим вимогам щодо наукових видань. На сьогодні до складу редакційної колегії журналу входять 22 доктори наук, з яких 12 штатних працівників університету, 5 співвітчизників із закладів вищої освіти України та 5 закордонних професорів із Великої Британії, Естонії, Іспанії, Латвії та Словаччини.

Ми намагаємось стабільно підтримувати періодичність видання 4 рази на рік і komponувати статті за п'ятьма рубриками: «Прикладна механіка, матеріалознавство та машинобудування», «Інформаційно-комп'ютерні технології», «Енергетика, електротехніка та електромеханіка», «Хімічні та харчові технології», «Будівництво та геодезія». Присмодно відзначити, що багато статей публікується англійською мовою, а коло авторів поповнилося представниками іноземних держав.

Журнал з 2010 року перейшов на самоокупність і навіть постійно розширює дохідність видавництва. Це дало змогу покращити його зовнішній вигляд, якість підготовки статей до публікацій, активізувати роботу з авторами та рецензентами, стимулювати роботу відповідальних за випуск та редакторів. На велику подяку заслуговують заступник головного редактора Сапон Сергій Петрович, верстальниця Колот Тетяна Миколаївна, редакторка Смелова Ольга Семенівна, провідна фахівчиня відділу підготовки науково-педагогічних кадрів Кормило Ірина Миколаївна та весь редакційно-видавничий відділ університету під керівництвом Музики Владислава Віталійовича, які своєю наполегливою справою, з великим професійним хистом та відповідальністю підтримують високу якість та безперебійність виходу журналу. Щиро дякую колективу наукової бібліотеки, що на чолі з директором Мороз Наталією Вікторівною забезпечує наявність журналу в інформаційному просторі та поширюють його вплив у науковому світі. Зокрема, завдяки їхнім зусиллям, більш ніж 50 кандидатів наук і 13 докторів технічних наук за час існування журналу змогли отримати наукові ступені, публікуючись у нашому журналі. А тепер і нові здобувачі ступеня доктора наук та доктора філософії – молоді науковці, викладачі, аспіранти та студенти, мають змогу розширювати перелік своїх фахових публікацій, знайомити наукову спільноту зі своїми результатами та здобутками в професійному технічному виданні. Особливо хочу висловити подяку ректору, професору Шкарлету Сергію Миколайовичу, який своїм постійним піклуванням і професійною підтримкою сприяє підвищенню авторитету журналу і його крокуванню шаблями наукових видань. Дякую всім авторам і читачам журналу за їхній професіоналізм і увагу до нашого видання та запрошую всіх до продовження співпраці.

У цей ювілейний для університета рік хочу побажати міцного здоров'я та подальшого зростання всьому колективу університету. Впевнений, що й надалі науковий журнал «Технічні науки та технології» буде гідно виконувати свою просвітницьку функцію, забезпечувати високий рівень підготовки фахівців та науковців, сприяти зміцненню технічного та інтелектуального потенціалу нашого університету та України загалом.

З глибокою повагою і вдячністю за співпрацю
Головний редактор
д.т.н., професор

В. В. Казимир

РОЗДІЛ І. ПРИКЛАДНА МЕХАНІКА, МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО ТА МАШИНОБУДУВАННЯ

УДК 62-503.55

DOI: 10.25140/2411-5363-2020-2(20)-11-21

Владимир Лебедев, Сергей Новиков

КОЛЕБАТЕЛЬ ИЗДЕЛИЯ ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ДУГОВОЙ НАПЛАВКИ

Актуальность темы исследования. Дуговая наплавка с применением низкочастотных механических колебаний сварочной ванны является простым и эффективным технологическим решением для существенного повышения технологической прочности наплавленного металла. Создание установки с простой и точной системой обеспечения таких колебаний является ключевой задачей в проведении качественных исследований.

Постановка проблемы. Для создания установки необходимо провести серию расчётов, позволяющих выбрать основные узлы обеспечения колебаний с заданными характеристиками, ввода параметров и управления процессом колебания.

Анализ последних исследований и публикаций. Наиболее применяемыми технологическими приёмами влияния на показатель технологической прочности является механическое и/или тепловое влияние на сварочную ванну или сварочный инструмент. В последнее время широко применимы такие методы, как периодическое воздействие магнитного поля на расплав сварочной ванны, импульсные режимы наплавки на базе аддитивных алгоритмов управления работой оборудования, применение ультразвука и дополнительного легирования наплавленного металла, а также комбинированные методы.

Выделение неисследованных частей общей проблемы. Большинство работ посвящено исследованию периодического воздействия на расплав сварочной ванны с частотами, существенно превышающими 10 Гц, в то время как влияние колебаний диапазона низких частот почти не исследован.

Постановка задачи. Провести анализ факторов, влияющих на работу установки по обеспечению продольных механических гармонических колебаний сварочной ванны частотой до 5 Гц и амплитудой до 7 мм. На основе данного анализа разработать методику определения крутящего момента и осуществить выбор электродвигателя.

Изложение основного материала. При заданной частоте колебания подвижного стола с закреплённой деталью определяется момент на валу электродвигателя с учётом статической и динамической составляющих для максимального веса наплавленного изделия и его смещения относительно направления наплавки. Задаваясь углом поворота изделия, что определяется желаемой величиной ширины наплавленного валика, определяется полное время (период) колебательного движения. На основании полученных результатов осуществляется выбор типа и модели электродвигателя.

Выводы в соответствии со статьёй. Расчёт и конструирование устройства для получения регулируемых колебаний наплаваемого или свариваемого изделия должен базироваться на определении нескольких составляющих, основные из которых: статическая и динамическая составляющие момента, прикладываемого к двигателю, при этом необходимо при выполнении наплавленного слоя учитывать возможность смещения изделия относительно оси колебаний, если это невозможно выполнить смещением сварочного инструмента. Наиболее перспективными для применения являются высокомоментные безредукторные электродвигатели (шаговые и вентильные) с компьютеризованными системами управления и регулирования. Именно такие электродвигатели позволяют получить достаточно высокую регулируемую частоту колебаний. Разработанная установка, её эффективная работа и полученные результаты могут быть прототипом для промышленного изготовления и применения при высококачественной и производительной сварке-наплавке металлоконструкций небольших габаритов.

Ключевые слова: дуговая наплавка; колебания изделия; выбор электропривода; качество наплавленного слоя; управление.

Рис.: 5. Библ.: 12.

Актуальность темы исследования. Дуговая наплавка узлов и деталей с целью их восстановления или придания им необходимых механических свойств (износостойкость, прочность и др.) является эффективным способом повышения надёжности и работоспособности узлов и деталей машин и механизмов различного назначения [1].

Постановка проблемы. Потребность в восстанавливающей, защитной и упрочняющей наплавке достаточно велика и это вызывает проблему повышения её эффективности, а решение этой проблемы определяется различными направлениями, в том числе разработкой новых наплавочных материалов и способов их применения.

Анализ последних исследований и публикаций. Введение новых действенных способов повышения эффективности процесса наплавки, как правило, связано с модернизацией или разработкой новых видов механизированного или автоматического наплавочного оборудования, которое может ввести в технологию наплавки, например, такие

возможности, как регулируемая модуляция режимов дугового, импульсные режимы работы систем полуавтоматов, станков и автоматов, определённые алгоритмы перемещения сварочно-наплавочного инструмента [2]. Дает определённые эффекты применение дополнительных порошков паст и жидкостей с механизмами их ввода [3].

Одним из эффективных способов влияния на процесс автоматической наплавки является способ с колебаниями наплавляемого изделия с регулируемыми параметрами, суть которого изложена в работе [4]. Следует отметить, что этот способ оказывает комбинированное влияние на результаты наплавки, в том числе существенное повышение производительности из-за расширения наплавляемого валика, улучшение структуры металла шва вследствие уменьшения роста столбчатых кристаллов и др.

Получить колебания необходимой формы, частоты и амплитуды оказалось возможным, создав специализированную установку.

Целью работы является кинематическое описание установки для наплавки с колебаниями изделия с выбором оптимальной конструкции электропривода, анализа работы системы и получаемых результатов.

Изложение основного материала. На рис. 1 представлен разработанная установка для дуговой наплавки с колебаниями изделия. Механизм колебаний установки совершает гармонические (синусоидальные) колебания в направлении перпендикулярном направлению ведения наплавочного процесса с управляемой по частоте и углу поворота. Некоторые примеры возможностей сравнительных технологий наплавки с колебаниями и без колебаний изделия представлены на рис. 2 и 3 в виде наплавленных валиков и его микроструктуры соответственно. Наплавка производилась механизмом подачи полуавтомата ПШ107В электродной проволоки Св08Г2С диаметром 1,2 мм на токах 170...200 А. Использовался источник сварочного тока типа ВДУ506.

Из рассмотрения сравнительных результатов наплавки следует, что при всех прочих равных условиях при использовании колебательных режимов работы установки, как отмечалось выше, существенно увеличивается ширина наплавленного валика, а это повышение производительности наплавки, а также изменение в структуре металла шва, в частности, относящимся к кристаллической структуре, что ведёт к повышению прочности и износостойкости наплавленной поверхности.

Опираясь на имеющиеся исследования, касающиеся колебаний изделий, т.е. сварочной ванны, например [5; 6], можно отметить, что для решения комплекса задач технологии сварки – наплавки с колебаниями важным явля-

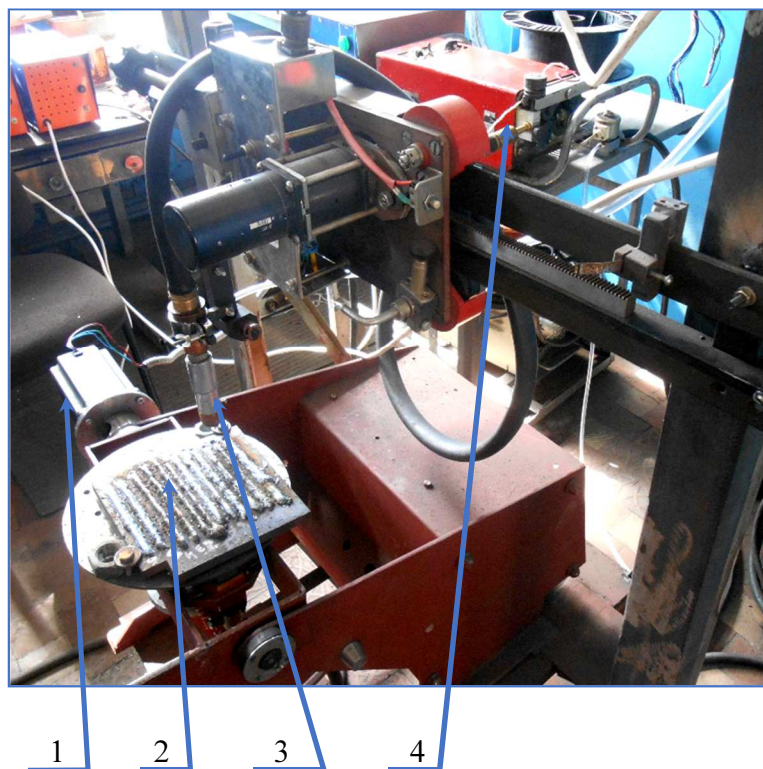


Рис. 1. Установка для наплавки с колебаниями:

1 – привод колебателя; 2 – наплавляемое изделие;

3 – сварочная горелка;

4 – компьютеризованная система управления

ется возможность генерирования колебаний с достаточно широким диапазоном частот и амплитуд, и это позволяет сформулировать основные требования к механизму колебаний установки:

- оснащение приводным электродвигателем с системой управления и регулирования с высокими показателями момента и минимально возможными инерционными характеристиками;

- возможность применения электродвигателей без промежуточного редуктора и других промежуточных элементов, влияющих на инерционность системы;

- надёжность при работе с высокой частотой реверсивного движения и воспроизводства заданного алгоритма колебаний.

Исходя из требований к электродвигателю, наиболее подходящими по техническим характеристикам являются безколлекторные вентильные и шаговые электродвигатели с высокими значениями крутящего момента.

В рамках данной работы были испытаны несколько конструкций указанных электродвигателей. При этом из числа шаговых электродвигателей. Необходимо определить силовые и частотные характеристики выбираемого электродвигателя.

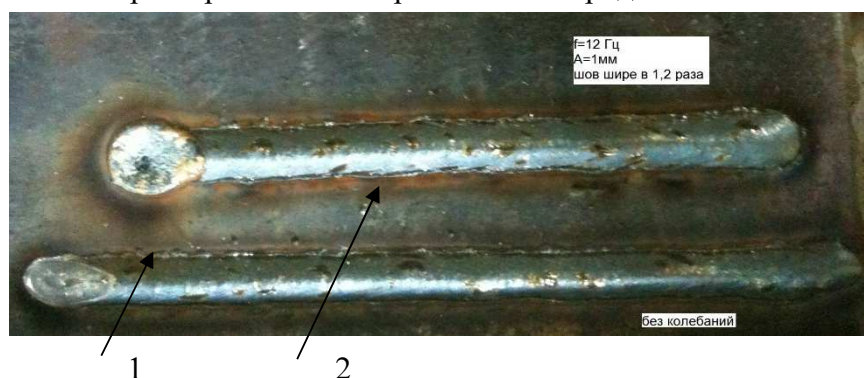


Рис. 2. Результаты сравнительной наплавки:
1 – без колебаний; 2 – с колебаниями

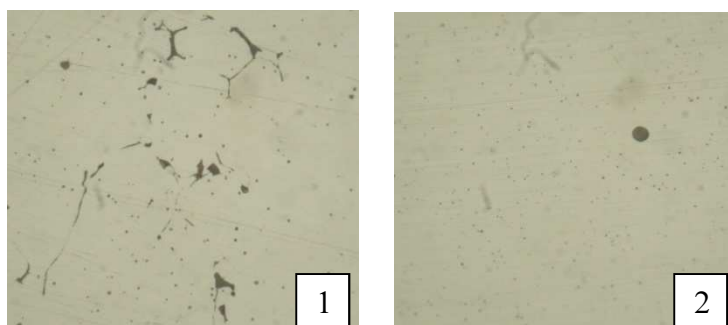


Рис. 3. Микроструктуры наплавленного металла:

1 – при наплавке обычным способом; 2 – с управляемыми колебаниями наплаваемого изделия

На рис. 4 представлены кинематические схемы механизма колебаний в различных фазах цикла движений.

Обозначения по рисунку:

$\lambda_e \lambda_{e1}$ – вылет электродной проволоки в исходном состоянии и в изменённом состоянии поворота соответственно;

$\lambda_u \lambda_{u1}$ – толщина наплаваемого изделия;

$\lambda_p \lambda_{p1}$ – величина рычага колебания в исходном состоянии и в изменённом состоянии поворота соответственно;

λ_c λ_{c1} – сдвиг зоны наплавки в исходном состоянии и в изменённом состоянии поворота соответственно;

α – угол поворота наплавляемого изделия;

$\Delta\lambda_e$ – изменение вылета при повороте изделия.

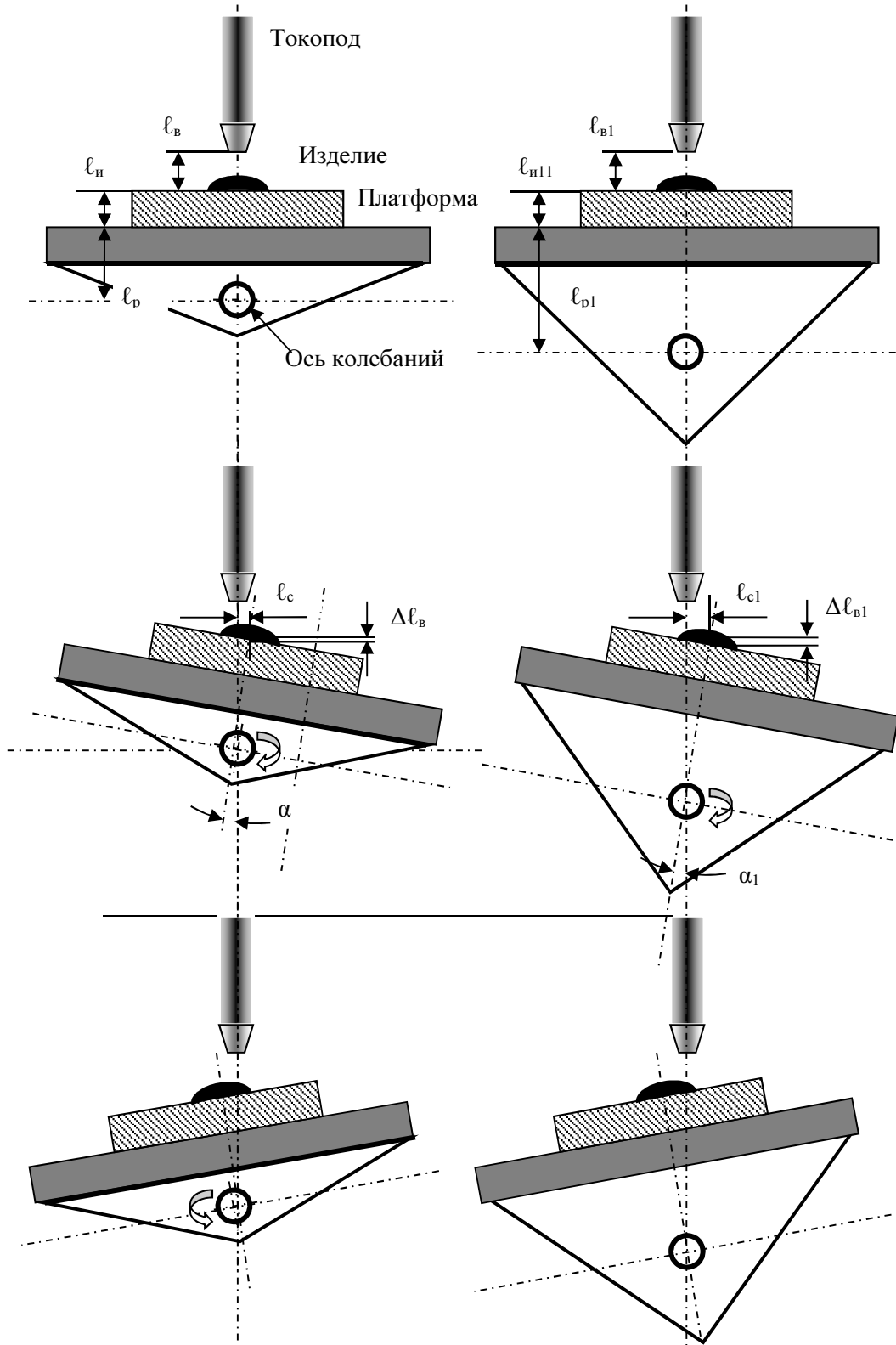


Рис. 4. Фазы цикла колебаний изделия

В механизме колебаний сделано дополнительное регулирование величины рычага колебаний для снижения угла отклонения, что обеспечивает возможность увеличения частоты колебаний.

Вначале определим важные параметры для формирования наплавленного валика – увеличение ширины наплавленного валика или сдвиг места горения дуги, а также изменения в величине вылета электродной проволоки при возвратных колебаниях наплавливаемого изделия.

Из геометрических построений на рис. 4 определяются:

$$\lambda_c = (\lambda_p + \lambda_u) \sin \alpha ; \tag{1}$$

$$\Delta \lambda_e = (\lambda_p + \lambda_u) (1 - \cos \alpha) . \tag{2}$$

Из рассмотрения выражений (1), (2) следует важный вывод, всегда выполняется соотношение:

$$\Delta \lambda_e \gg \lambda_e . \tag{3}$$

Для выбора приводного электродвигателя необходимо определить момент на его валу. На рис. 5 представлена схема разложения сил при выполнении колебательных движений с наплавливаемой деталью весом P и рычагом $\lambda_p + \lambda_u$.

Определим усилие F , определяющего переменный момент в виде:

$$F = P \sin \alpha . \tag{4}$$

Рассмотрим вариант работы механизма колебаний с синусоидальным характером симметричных колебаний и массой изделия, равномерно и одинаково размещенной относительно оси колебаний. В этом случае статический момент нагрузки содержит активную составляющую M_a и зависит от угла поворота вала приводного двигателя α . Кроме того, в статическом моменте электропривода присутствует постоянная M_n составляющая, которая зависит от трения в опорах колебателя и механических потерь в самом электродвигателе. При этом можно записать выражения определения крутящего момента на валу приводного электродвигателя M для различных направлений цикла колебаний с постоянной угловой скоростью ω для текущего времени t без учёта периодов разгона и торможения системы:

1) при движении от центра колебаний $M_1 = M_n - M_a \sin \omega t$ или с учётом выражения (4)

$$M_1 = M_n - (\lambda_n + \lambda_u) P \sin \alpha \sin \omega t . \tag{5}$$

2) при движении к центру колебаний

$$M_2 = M_n + M_a \sin \omega t$$

$$M_2 = M_n + (\lambda_n + \lambda_u) P \sin \alpha \sin \omega t . \tag{6}$$

Составляющая статического момента M_a представляет собой синусоидальную кривую с различной амплитудой в отрицательной и положительной полупериоды.

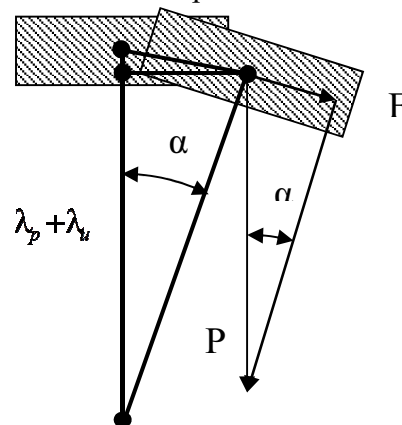


Рис. 5. Силы, действующие при повороте колебателя с изделием

В реальных системах для колебаний наплавленного изделия обычно вес части изделия относительно центра колебаний различен. При этом колебания в одну сторону отличаются от колебаний в другую на некоторую величину ΔP , ведя отсчёт от центра колебаний. При колебании в сторону, где изделие имеет больший вес нагружают приводной электродвигатель моментом:

3) при движении от центра колебаний

$$M_3 = M_n - (\lambda_n + \lambda_u)(P + \Delta P) \sin \alpha \sin \omega t; \quad (7)$$

4) при движении к центру колебаний

$$M_4 = M_n + (\lambda_n + \lambda_u)(P + \Delta P) \sin \alpha \sin \omega t. \quad (8)$$

Для механизма колебаний, разрабатываемого с вышеуказанными задачами, важнейшим показателем является реализуемая регулируемая частота колебаний, которая в основном зависит от всех сил и моментов, действующих в переходные моменты.

На основании [7] запишем уравнение движения системы механизм колебаний – приводной электродвигатель с учётом различных значений моментов M_1, M_2, M_3, M_4 на различных этапах колебания изделий:

$$M_o - M_{1,2,3,4} = J \frac{d\omega}{dt}. \quad (9)$$

где M_o – динамический момент системы с учётом электромагнитного момента приводного электродвигателя; J – момент инерции системы.

Можно заметить, что согласно уравнению (9) электромагнитный момент на валу электродвигателя уравнивается статическим и инерционным динамическим моментами.

Далее имеет смысл рассматривать только вариант наиболее нагруженного варианта электропривода со статическим моментом по уравнению (8). Следует отметить, что значение статического момента определяется весом изделия и платформы, потерями в узлах качания и в самом электродвигателе. И если вес колеблющихся изделий можно определить достаточно просто, то другие потери определяются в большинстве случаев экспериментально, равно как и момент инерции системы по методикам, которые изложены в технической литературе, например в [8], и ряде других.

Можно отметить, что привод механического колебателя изделия при работе практически всегда находится в режиме переходного процесса, при этом время разгона электродвигателя зависит от инерционных свойств системы и от выбранной системы регулирования электропривода, а время торможения определяется системой торможения системы регулирования. Исходя из указанного и уравнения (8) уточним, что момент на валу электродвигателя зависит от угловой скорости ω :

$$M = f(\omega). \quad (10)$$

При этом необходимо уточнить зависимости (10) для приводного электродвигателя и механизма колебаний. Учитывая, что будут использоваться шаговые и вентильные электродвигатели – можно положить, что их механические характеристики будут иметь линейный характер. Механические характеристики механизма колебаний пропорциональны синусоидальной зависимости (8), однако в рассматриваемой системе, углы отклонений (поворота) изделия от вертикали относительно небольшие $\alpha = 10...20^\circ$, что даёт возможность рассматривать, с достаточной для выбора электродвигателя точностью, механические характеристики как линейные. При этом важной частью в выборе электродвигателя и системы его регулирования является определение времени разгона системы электродвигатель – механизм колебаний.

Учитывая вышеуказанное, можно для угловой скорости записать следующее линейное дифференциальное уравнение с правой частью:

$$\frac{d\omega}{dt} + \frac{\omega}{T_m} = \frac{\omega_y}{T_m}, \quad (11)$$

где T_m – электромеханическая постоянная времени; ω_y – установившаяся после отработки переходного процесса угловая частота вращения вала электродвигателя или колебательного движения изделия.

Определение T_m с учётом принимаемого постоянства $M_n = const$ и приравниванием шаговых и вентильных электродвигателей к коллекторным электродвигателям может быть представлено в следующем виде:

$$T_m = J \frac{R_a}{(k\Phi)^2}, \quad (12)$$

где k и Φ – конструктивные характеристики электродвигателя.

Достаточно сложно рассчитать параметр T_m , поэтому его проще получить экспериментальным путём, используя известные методики, например [9].

Решением уравнения (11) с учётом нулевой начальной частоты вращения будет уравнение экспоненты в виде

$$\omega = \omega_y \left(1 - e^{-\frac{t}{T_m}}\right). \quad (13)$$

Логарифмируя уравнение (13) и преобразовывая его, получим значение времени t необходимое для разгона электродвигателя до угловой скорости ω_y :

$$t = T_m \ln\left(1 - \frac{\omega}{\omega_y}\right). \quad (14)$$

Учитывая выражение (1), а также небольшие значения угла колебаний (поворота) изделий α можно заменить дугу качания прямой линией λ_c . В этом случае, рассматривая движение изделия как практически прямолинейное, определим для этого случая среднюю скорость перемещения v_{cp} в виде:

$$v_{cp} = \frac{(\lambda_p + \lambda_u) \sin \alpha}{t_u}, \quad (15)$$

где t_u – полное время колебательного движения изделия.

Средняя угловая скорость перемещения изделия ω_{cp} определяется

$$\omega_{cp} = 2 \frac{\alpha}{t_u}. \quad (16)$$

Путь s_p , пройденный механизмом колебаний за время разгона привода с учётом постоянства динамического момента $M_d = const$ и начала движения после полной остановки согласно [7] можно определить в виде:

$$s_p = \frac{M_d t^2}{2J}. \quad (17)$$

Заметим, что путь, пройденный при разгоне, учитывает инерционные и силовые характеристики колебательной системы.

Путь s , пройденный изделием при движении от крайнего до вертикального, при $\frac{\alpha}{2}$ составляет:

$$s = s_n + s_p, \quad (18)$$

где s_n – путь колебательного процесса изделия при равномерном движении.

Укажем, что, стремясь достичь максимального быстродействия колебательной системы, т.е. получить максимальную частоту колебаний изделия, а следовательно, ванны жидкого металла, следует выполнить условие:

$$s \leq s_p, \quad (19)$$

т.е. практически исключить равномерное движение как менее эффективное. Кроме этого, необходимо стремиться получить одинаковый эффект наплавки в различных фазах колебательного движения.

Стремление поучить максимально возможную частоту колебаний ванны вызвано неопределённостью выводов ряда авторов [10; 11] относительно целесообразности выбора этого параметра для получения максимального технологического эффекта. В нашем случае получение максимально возможной регулируемой частоты колебаний вызвано конструированием исследовательской установки, использование которой и определит эффективные характеристики системы колебаний, при выбранных по указанным параметрам технических возможностях системы.

В настоящее время для систем колебаний изделия в сварочном производстве наиболее целесообразными, исходя из нашего опыта применения [12], являются высокомоментные электроприводы с упомянутыми выше шаговыми или вентильными электроприводами с современными системами управления и регулирования на основе микропроцессорной техники как с обратными связями по частоте вращения вала, так и более простые – без введения обратных связей.

Отметим, что торможение системы колебаний осуществляется эффективными электрическими способами, которые в современных электроприводах являются неотъемлемым элементом алгоритма управления современных электроприводов и в настоящей работе не рассматриваются и не учитываются.

Опираясь на вышеприведенные выводы, можно предложить следующий порядок выбора электропривода с учётом того, что обычно, исходя из работ, касающихся процесса наплавки для механизмов колебаний, задают необходимую для процесса частоту колебаний f :

- определяется момент на валу электродвигателя с учётом статической и динамической составляющих для максимального веса наплавляемого изделия и его смещения относительно направления наплавки;

- далее необходимо задать угол поворота изделия $\frac{\alpha}{2}$, что, в итоге, определяет ширину наплавленного валика, а также производительность дугового процесса, при этом половина пути колебательного движения, соответствующая $\frac{\alpha}{2}$ определяется условием (19);

- определяется полное время (период) колебательного движения исходя из уравнения (17) и с учётом (19):

$$t = 2\sqrt{\frac{2J_s p}{M_0}}, \quad (20)$$

где $f = \frac{1}{t}$.

На основании вышеприведенного алгоритма для экспериментальной установки был выбран шаговый 2-фазный электродвигатель KINCO 2S86Q-051F6 с максимальным крутящим моментом 8,4 Н·м с драйвером KINCO 2M880N на базе контролёра KINCO – K306 – 24АТ. Такой комплект обеспечил колебательный режим работы установки с управляемой частотой колебаний наплавляемого изделия массой 10...12 кг до 2,5...10 Гц.

Выбранный электродвигатель, система управления которого была запрограммирована на решение вышеописанной задачи при наплавке со скоростью 12 м/час для восстанавливающего-упрочняющего слоя электродной самозащитой проволокой на поверхность матрицы штампового инструмента массой 10...15 кг с углом колебаний порядка $\frac{\alpha}{2} = 12^\circ$ обеспечило создание сплошного слоя наплавленного металла с достижением основных эффектов и сравнением с обычными технологиями наплавки:

- расширение наплавленного валика, представленное на фотографии (рис. 2);
- улучшение структуры наплавленного металла в части измельчения кристаллов и влиянием (улучшением) эксплуатационных свойств, показанное на фотографиях (рис. 3). Важнейшей характеристикой наплавленного слоя является его твёрдость. При этом, применяя способ наплавки с управляемыми колебаниями можно существенно повысить твёрдость наплавленного слоя, что показано в работе [12].

В процессе выполнения экспериментальных работ по наплавке с колебаниями изделия было испытано применение вентильного электропривода с положительными результатами.

Рассмотренное устройство – колебатель изделия может быть использовано для сварки металлоконструкций преимущественно в стык с разделкой, в частности, когда зазор между свариваемыми элементами не имеют гарантированного зазора.

Выводы в соответствии со статьёй.

1. Расчёт и конструирование устройства для получения регулируемых колебаний наплавляемого или свариваемого изделия должен базироваться на определении нескольких составляющих, основные из которых: статическая и динамическая составляющие момента, прилагаемого к двигателю, при этом необходимо при выполнении наплавленного слоя учитывать возможность смещения изделия относительно оси колебаний, если это невозможно выполнить смещением сварочного инструмента.

2. Наиболее перспективными для применения являются высокомоментные безредукторные электродвигатели (шаговые и вентильные) с компьютеризованными системами управления и регулирования. Именно такие электродвигатели позволяют получить достаточно высокую регулируемую частоту колебаний.

3. Разработанная установка, её эффективная работа и полученные результаты могут быть прототипом для промышленного изготовления и применения при высококачественной и производительной сварке-наплавке металлоконструкций небольших габаритов.

Список использованных источников

1. Патон Б. Е. Избранные труды. Киев : Ин-т электросварки им. Е. О. Патона, 2008. 896 с.
2. Лебедев В. А., Драган С. В., Жук Г. В., Новиков С. В., Симутенков И. В. Применение импульсных воздействий при дуговой сварке плавящимся электродом в среде защитных газов (Обзор). *Автоматическая сварка*. 2019. № 8. С. 30–40.
3. Патон Б. Е., Савицкий М. М., Гвоздецкий В. С., Кривцун И. В., Савицкий А. М., Голдис Ю. Е., Лупан А. Ф. Применение активных флюсов и активных газов для повышения эффективности дуговой и плазменной сварки. *Автоматическая сварка*. 2003. № 5. С. 3–6.

4. Лебедев В. А., Новиков С. В. Анализ параметров управления формированием структуры шва при воздействии механических колебаний низкой частоты на расплав сварочной ванны. *Упрочняющие технологии и покрытия*. 2017. № 12. С. 536–541.
5. Balasubramanian Balusamy V., Kesavan D. Studies on the effect of vibration on hot cracking and grain size in AA7075 aluminum alloy welding. *International Journal of Engineering and Science and Technology (IJEST)*. 2011. Vol. 3. № 1. P. 681–686.
6. Pravin Kumar Singh, Patel D., Shashi B. Prasad. Development of vibratory welding technique and tensile properties investigation of shielded metal arc welding joints. *Indian Journal of Science and Technology*. 2016. Vol. 9. P. 1–6.
7. Теория электропривода. Примеры расчетов : учеб. пособие / Драчев Г. И. и др. ; под ред. Г. И. Драчева. Челябинск : ЮУрГУ, 2010. 192 с.
8. Сивухин Д. В. Общий курс физики : учеб. пособие для вузов. Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2006. 560 с.
9. Лебедев В. А., Гулый М. В. Быстродействующий вентильный электропривод для оборудования механизированной дуговой сварки. *Мехатроника. Автоматизация, Управление*. 2014. № 6. С. 47–51.
10. Chih-Chun Hsieh, Peng-Shuen Wang, Jia-Siang Wang, Weite Wu. Evolution of microstructure and residual stress under various vibration modes in 304 stainless steel welds. *The Scientific World Journal*. Vol. 2014. Article ID 895790, 9 p.
11. Болдырев А. М. О механизме формирования структуры металла шва при введении низкочастотных колебаний в сварочную ванну. *Сварочное производство*. 1976. № 2. С. 1–3.
12. Лебедев В. А., Новиков С. В., Соломийчук Т. Г. Определение твердости наплавленного металла и металлозоны термического влияния (ЗТВ) при низкочастотных колебаниях сварочной ванны. *Нові матеріали в технології, металургії та машинобудуванні*. 2019. № 2. С. 54-61.

References

1. Paton, B. E. (2008). *Izbrannyye trudy [Selected works]*. Kiev: In-t elektrosvariki im. E. O. Patona [in Russian].
2. Lebedev, V. A., Dragan, S. V., Zhuk, G. V., Novikov, S. V., Simutenkov, I. V. (2019). Primenenie impulsnykh vozdeystvii pri dugovoi svarke plaviashchimsia elektrodom v srede zashchitnykh gazov [Application of pulsed impact in consumable electrode gas – shielded arc welding (Review)]. *Avtomaticheskaya svarka – Automatic welding*, 8, 30–40 [in Russian].
3. Paton, B. E., Savitckii, M. M., Gvozdetckii, V. S., Krivtun, I. V., Savitckii, A. M., Goldis, Iu. E., Lupan, A. F. (2003). Primenenie aktivnykh flusov i aktivnykh gazov dlia povysheniia effektivnosti dugovoi i plazmennoi svarki [Application of active fluxes and gases for increasing in efficiency of arc and plasma welding]. *Avtomaticheskaya svarka – Automatic welding*, 5, 3–6 [in Russian].
4. Lebedev, V. A., Novikov, S. V. (2017). Analiz parametrov upravleniia formirovaniem struktury shva pri vozdeystvii mekhanicheskikh kolebaniy nizkoi chastoty na rasplav svarochnoi vannы [Analysis of control parameters for the formation of the weld structure under the influence of mechanical vibrations of low frequency on the weld pool melt]. *Uprochniaiushchie tekhnologii i pokrytiia – Strengthening technologies and coatings*, 12, 536–541 [in Russian].
5. Balasubramanian Balusamy V., Kesavan D. (2011). Studies on the effect of vibration on hot cracking and grain size in AA7075 aluminum alloy welding. *International Journal of Engineering and Science and Technology (IJEST)*, 3 (1), 681–686 [in English].
6. Pravin Kumar Singh, Patel D., Shashi B. Prasad. (2016). Development of vibratory welding technique and tensile properties investigation of shielded metal arc welding joints. *Indian Journal of Science and Technology*, 9 (35), 1–6 [in English].
7. Drachev, G. I. (2010). *Teoriia elektroprivoda. Primery raschetov [Theory of electric drive. Examples of calculations]*. Cheliabinsk: IuUrGU [in Russian].
8. Sivukhin, D. V. (2006). *Obshchii kurs fiziki [General course of physics]*. Moscow: Fizmatlit. [in Russian].
9. Lebedev, V. A., Guly, M. V. (2014). Bystrodeistvuiushchii ventilnyi elektroprivod dlia oborudovaniia mekhanizirovannoi dugovoi svarki [The high-speed valve electric drive for the equipment of the mechanized arc welding]. *Mekhatronika. Avtomatizatsiia, Upravlenie – Mechatronics, Automation, Control*, 6, 47–51 [in Russian].

10. Chih-Chun Hsieh, Peng-Shuen Wang, Jia-Siang Wang, Weite Wu (2014). Evolution of microstructure and residual stress under various vibration modes in 304 stainless steel welds. *The Scientific World Journal*. Article ID 895790 [in English].

11. Boldyrev, A. M. (1976). O mekhanizme formirovaniia struktury metalla shva pri vvedenii nizkochastotnykh kolebaniy v svarochnuuiu vannu [About the formation mechanism of the weld metal structure in low-frequency oscillations are introduced into the weld pool]. *Svarochnoe proizvodstvo – Welding Production*, 2, 1–3 [in Russian].

12. Lebedev, V. A., Novykov, S. V., Solomiichuk, T. G. (2019). Opredelenie tverdosti naplavlennogo metalla i metallozony termicheskogo vliianiia (ZTV) pri nizkochastotnykh kolebaniyakh svarochnoi vanny [Determination of the hardness of the weld metal and the metal of the heat affected zone (HAZ) during low-frequency oscillations of the weld pool]. *Novi materiali v tekhnologii, metalurgii ta mashinobuduvanni – New Materials and Technologies in Metallurgy and Mechanical Engineering*, 2, 54-61 [in Russian].

UDC 62-503.55

Volodymyr Lebediev, Sergii Novykov

VIBRATOR OF PRODUCT FOR THE AUTOMATIC ARC SURFACING

Urgency of the research. Arc surfacing with application of a low-frequency mechanical oscillations of the weld pool is an ordinary and effective technological solution for a significant increase in the technological strength of the welded metal. The creating an installation with a simple and accurate system for provide such influences is a key problem in carrying out qualitative research.

Target setting. To create the installation, it is necessary to carry out a series of calculations to select the main units of it for providing oscillations with specified characteristics, input parameters and control parameters of the oscillation process.

Actual scientific researches and issues analysis. The most used technological methods for influencing the technological strength indicator are mechanical and / or thermal effects on the weld pool or welding tool. Recently, such methods as the periodic acting of a magnetic field to a weld pool melt, pulsed surfacing modes based on additive algorithms operation control of an equipment, the using of ultrasound and additional alloying of welded metal, as well as combined methods have been widely applied.

Isolation of previously unexplored parts of a common problem. Most of the works are devoted to the study of the periodic influence on the weld pool melt with frequencies significantly exceeding 10 Hz, while the fluctuations influence of the low-frequency range has hardly been studied.

The research objective. To analyze the factors influencing the work of the installation to provide longitudinal mechanical harmonic oscillations of the weld pool with a frequency of up to 5 Hz and an amplitude of up to 7 mm. Based on the analysis, a methodic for determining torque and select an appropriate electric motor will be developed.

The statement of basic materials. For a given oscillation frequency of a movable table with a fixed sample, the moment on the motor shaft is determined taking into account the static and dynamic components for the maximum weight of the surfacing sample and its displacement relative to the direction of the surfacing process. Given the angle of rotation of movable table with a fixed sample — which is determined by the desired value of the width of the weld bead — the total time (period) of the oscillatory motion is determined. Based on the results obtained, the type and model of the electric motor are selected.

Conclusions in accordance with the study. Calculation and construction of an installation for obtaining controlled oscillations of a surfacing or welded product should be based on the determination of several components, the main of which are: static and dynamic components of the torque applied to the motor, while it is necessary taking into account a possibility of displacement of the sample relative to the axis when performing the surfacing of welded metal layer with oscillations, if it is impossible to perform the displacement of the welding tool. The most promising for use are high-torque gearless motors (step-per and valve) with computerized control and regulation systems. It is such electric motors that allow a sufficiently high adjustable oscillations frequency to be obtained. The developed installation, its effective operation and the results obtained can be a prototype for industrial production and application in high-quality and productive welding-surfacing of metal structures of small dimensions.

Keywords: arc surfacing; product vibrations; electric drive selection; quality of welded metal; control.

Fig.: 5. **References:** 12.

Лебедев Владимир Александрович – доктор технических наук, профессор кафедры сварки, Национальный университет кораблестроения имени адмирала Макарова, Херсонский филиал (просп. Ушакова, 44, г. Херсон, 73022, Украина).

Lebediev Volodymyr – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Welding, National University of Shipbuilding named by admiral Makarov, Kherson branch (44 Ushakova Av., 73022 Kherson, Ukraine).

E-mail: valpaton@ukr.net

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0391-6113>

Новиков Сергей Владимирович – ведущий инженер отдела № 013 – Парофазных технологий неорганических материалов, Институт электросварки им. Е. О. Патона НАНУ (ул. Володимира Антоновича, 68, г. Киев, 02000, Украина).

Novykov Sergii – Lead Engineer, Department of vapor-phase technology of inorganic materials № 013, Institute of electric welding them E. O. Paton (68 Volodymyr Antonovych Str., 01030 Kyiv, Ukraine).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8295-0987>

УДК 621.791.12

DOI: 10.25140/2411-5363-2020-2(20)-22-36

Максим Болотов, Ірина Прибитько, Ірина Нагорна

**ТЛІЮЧИЙ РОЗРЯД ЯК ДЖЕРЕЛО ПОВЕРХНЕВОГО НАГРІВУ
В ПРОЦЕСАХ З'ЄДНАННЯ РІЗНОРІДНИХ МАТЕРІАЛІВ (ОГЛЯД)**

Вступ. Тліючий розряд, відомий своїми яскравими світловими ефектами, знайшов значне поширення в різних галузях науки і техніки, зокрема, для отримання електронних та світлових пучків, поверхневої обробки матеріалів, для отримання захисних покриттів тощо. Як джерело зварювального нагріву тліючий розряд застосовується порівняно нещодавно, і його розвиток у цій галузі пов'язаний із дуже цікавими, а іноді й зовсім суперечливими фактами.

Мета роботи. Метою цієї роботи є ознайомити читача з основними історичними віхами становлення тліючого розряду як джерела поверхневого нагріву в процесах зварювання та паяння матеріалів, а також із труднощами, з якими стикалися вітчизняні дослідники на шляху досягнення своєї мети.

Основні етапи розвитку тліючого розряду як джерела поверхневого нагріву в процесах дифузійного зварювання та паяння. Історично перші спроби застосування тліючого розряду в процесах з'єднання матеріалів припали ще на 60-і роки ХХ століття. Уже тоді вітчизняні вчені відмічали цілий спектр його особливостей, таких як рівномірний нагрів, можливість регулювання технологічних параметрів у досить широких межах, можливість здійснювати обробку та модифікування поверхонь перед зварюванням. Але водночас було виявлено й певні недоліки, що обмежують його поширення в цих технологічних процесах, головним чином пов'язаних із частковою або повною втратою його стійкості й переходом в інші, більш стабільні форми газового розряду.

Тліючий розряд із порожнистим катодом в умовах прецизійного зварювання та паяння. Тривалий пошук способів удосконалення плазмових технологій, стосовно до умов зварювального нагріву, призвів до розробки нового джерела енергії для дифузійного зварювання та паяння на базі тліючого розряду, ініційованого в катодній порожнині. Володіючи більш високою цілісністю енергії в плямі нагріву, в порівнянні з нормальним тліючим розрядом, унаслідок осциляції електронів у катодній порожнині, він дозволяє значно розширити номенклатуру з'єднуваних матеріалів і забезпечувати нагрів як струмопровідних матеріалів, так і діелектриків.

Висновки. Досвід застосування тліючого розряду в процесах зварювання в твердій фазі показує, що найбільш перспективними напрямками подальших розробок стануть створення автоматизованих установок та систем керування процесом дифузійного зварювання в тліючому розряді на базі мікропроцесорної техніки з використанням математичних моделей для формування оптимальних алгоритмів керування.

Ключові слова: плазма; тліючий розряд; порожнистий катод; дифузійне зварювання; паяння.

Рис.: 6. Бібл.: 50.

Вступ. Стрімке зростання потреби в новітніх матеріалах для різних галузей промисловості (атомної енергетики, ракетобудування, електроніки та ін.) змушує відшукувати та розвивати нові шляхи та способи їх нагріву, обробки та з'єднання. Постійні пошуки найбільш досконалого джерела нагріву для різних технологічних цілей пробудили цікавість як вітчизняних, так і закордонних учених до газорозрядних технологій із використанням низькотемпературної розподіленої плазми тліючого розряду.

Відкрите в середині ХІХ ст. Фарадеєм явище тліючого розряду завдяки своїй оригінальності та яскравим світловим ефектам стає дуже цікавим дослідникам у галузі спектрального аналізу. Однак необхідність у промисловому використанні настільки потужного джерела енергії, що забезпечує температуру в плямі нагріву понад 2000 °С, з'явилося лише через сто років, що пов'язано з бурхливим розвитком в другій половині ХХ ст. процесів поверхневої обробки матеріалів, нанесення покриття, зокрема й методів зварювання без розплавлення.

До теперішнього часу тліючий розряд при середніх тисках широко використовується для безпосереднього впливу на оброблюваний матеріал [1; 2], для отримання електронних [3; 4] та світлових пучків [5; 6; 7].

У промисловості тліючий розряд при тисках 0,1...1000 Па застосовують для нанесення покриттів катодним розпиленням [8; 9], травлення кремнію при виробництві мікроелектронних приладів [10; 11], хіміко-термічної обробки виробів [12; 13; 14; 15]. Проведено лабораторні дослідження процесів осаджування металів із газової фази [16; 17], які здійснюються при тиску 0,13...6,65 кПа, напрузі на розряді до 1500 В і густині енергії на катоді до 100 Вт/см². Максимальна повна потужність розряду, що використовується в промислових умовах для азотування сталей, досягає 100 кВт [18].

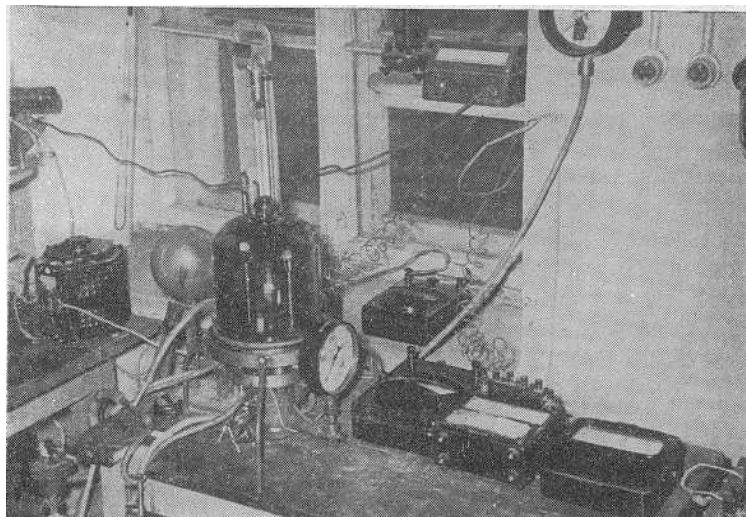
Відносно нещодавно тліючий розряд знайшов своє застосування як потужне джерело поверхневого нагріву в процесах дифузійного зварювання та паяння. Барвисте явище проходження струму в газі, назване тліючим розрядом, здатне забезпечувати концентрований або розподілений потік енергії. Саме в другому випадку в тліючого розряду виявляють абсолютно несподівані властивості як у зварювального джерела енергії. Однак, на жаль, як і будь-який інший винахід або явище, воно повинно пройти досить складний шлях, перш ніж стане в пригоді в різних галузях людської діяльності і тліючий розряд як джерело зварювального нагріву також не є винятком.

Мета роботи. Метою цієї роботи є ознайомити читача з основними історичними віхами становлення тліючого розряду як джерела поверхневого нагріву в процесах зварювання та паяння матеріалів та труднощами, з якими стикалися вітчизняні дослідники на шляху досягнення своєї мети.

Слід зауважити, що оскільки жодних претензій на наукову новизну в цій роботі автори не висловлюють, тому вся подальша оповідь буде вестись у дещо публіцистичному стилі.

Основні етапи розвитку тліючого розряду як джерела поверхневого нагріву в процесах дифузійного зварювання та паяння. Перші спроби застосування тліючого розряду в технологічних процесах з'єднання матеріалів припадають на 60-і роки ХХ ст., коли український учений В. С. Ванін у стінах Миколаївського кораблебудівельного інституту вперше здійснив дифузійне зварювання та паяння в плазмі аномального тліючого розряду. Він вважав, що оскільки практично вся величина падіння потенціалу концентрується у вузькій області поблизу катода, то не виникне жодних проблем із зарядом катода (деталей, що зварюються) потоком бомбардуючих його поверхню іонів, що стане причиною нагрівання деталей.

У своїх роботах [19; 20] В. С. Ванін наводить перші результати щодо дифузійного зварювання та наплавлення Сталі 15 та У8 в аномальному тліючому розряді, коли при щільності струму 150 A/cm^2 , робочій напрузі 2500 В у середовищі ацетону та вуглеводів була отримана температура 1000...1200 °С. У цьому ж повідомленні він вказує на можливість використання тліючого розряду в процесах паяння металів із застосуванням різного роду припоїв і наводить схему першої установки для зварювання та паяння з використанням іонного нагріву потужністю в декілька кіловат, здатної забезпечувати високотемпературний нагрів (рис. 1).



а

Рис. 1. Загальний вигляд установки В. С. Ваніна (а) та реактора для зварювання в аномальному тліючому розряді (б):

- 1 – зона зварювання; 2 – термомпара; 3 – гумова прокладка; 4 – гідроциліндр; 5 – манометр;
6 – ізоляційна підкладка; 7 – анод; 8 – зварні зразки (катод); 9 – вакуумна камера;
10 – стійка; 11 – поршень

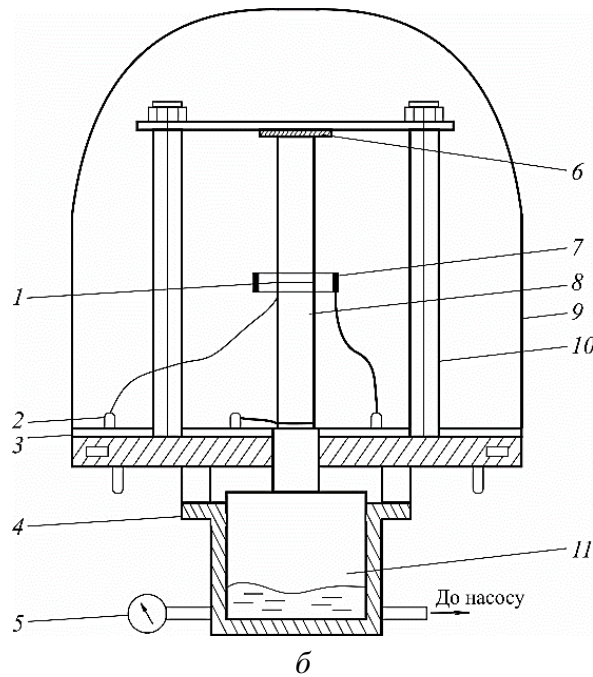


Рис. 1. Аркуш 2

Дослідження, проведене В. С. Ваніним, активізувало роботу інших українських учених у сфері застосування розподіленої газорозрядної плазми тліючого розряду в технологічних процесах зварювання та паяння. Так, роботи українських науковців: В. Ф. Квасницького, Д. І. Котельникова, Г. П. Болотова, І. М. Мухи стали основою розвитку вітчизняної науки у сфері застосування ресурсозберігаючих іонних технологій у процесах поверхневої обробки, модифікації, прецизійного зварювання та паяння металевих виробів.

Дмитро Іванович Котельников, почавши свою роботу в середині 60-х років ХХ ст., під керівництвом завідувача кафедрою зварювального виробництва при КПІ В. І. Дятлова, стає автором понад 160 наукових праць та 11 авторських свідоцтв у галузі зварювання тиском у тліючому розряді. У своїх роботах [21; 22; 23; 24], виконаних у 1968-1976 роках, Д. І. Котельников відзначає специфічні особливості тліючого розряду як джерела поверхневого нагріву, серед яких він виділяє можливість регулювання у широких межах інтенсивності та площі розподілу теплової енергії, що вводиться у виріб.

Перші спроби застосування газорозрядної плазми в умовах, характерних для дифузійного зварювання [19; 22; 25; 26] (при тисках 1,3...13,3 кПа) виявило певні труднощі переважно пов'язані з частковою або повною втратою стійкості тліючого розряду і переходом його в більш стабільну форму – електричну дугу. Як основну причину такого переходу Дмитро Котельников виділяв: наявність на поверхні деталей, що зварюються (катода розряду), різного роду оксидів, забруднень та інших часток, що стають причиною виникнення короткочасних електричних дуг; нагрів нейтрального газу в результаті імпульсної зміни напруги в розрядному проміжку, що сприяє формуванню стабільного дугового розряду.

У цих же роботах він вказує і на інші причини втрати стійкості тліючого розряду в умовах зварювання, пов'язаних із його видозміною в межах однієї форми газового розряду. Такі видозміни, на його думку, зумовлені насамперед конструктивно-геометричними характеристиками деталей, що зварюються. Так, він зауважував, що наявність на поверхнях з'єднаних заготовок різного роду щілин, зазорів, отворів або поглиблень можуть стати причиною появи іншої форми тліючого розряду – розряду з ефектом порожнистого катода. Володіючи високою щільністю струму (понад 50 А/см²), він може стати причиною порушення технологічного процесу зварювання.

Дослідження характеристик різних форм тліючого розряду та їхній вплив на нагрів Д. І. Котельников здійснював на прикладі дифузійного зварювання сталі 45 з хромнікельтитановою сталлю (12X18H9T) і армко-залізом у середовищі азоту при тиску газу 10 кПа і температурі 1125...1200 °С протягом 360 с. Аналізуючи отримані результати, він дійшов висновку, що найкращими технологічними властивостями володіє нормальний тліючий розряд, як найбільш стабільна форма тліючих розрядів він легко піддається регулюванню (рис. 2, а). Максимальну швидкість нагріву з найбільшою щільністю енергії в плямі нагріву забезпечує розряд у порожнистому катоді (рис. 2, б). Абсолютно непридатною для дифузійного зварювання при середніх тисках він виділяв аномальну форму тліючого розряду, що пов'язано з підвищеною його схильністю до переходу в електричну дугу (рис. 2, в) [27].

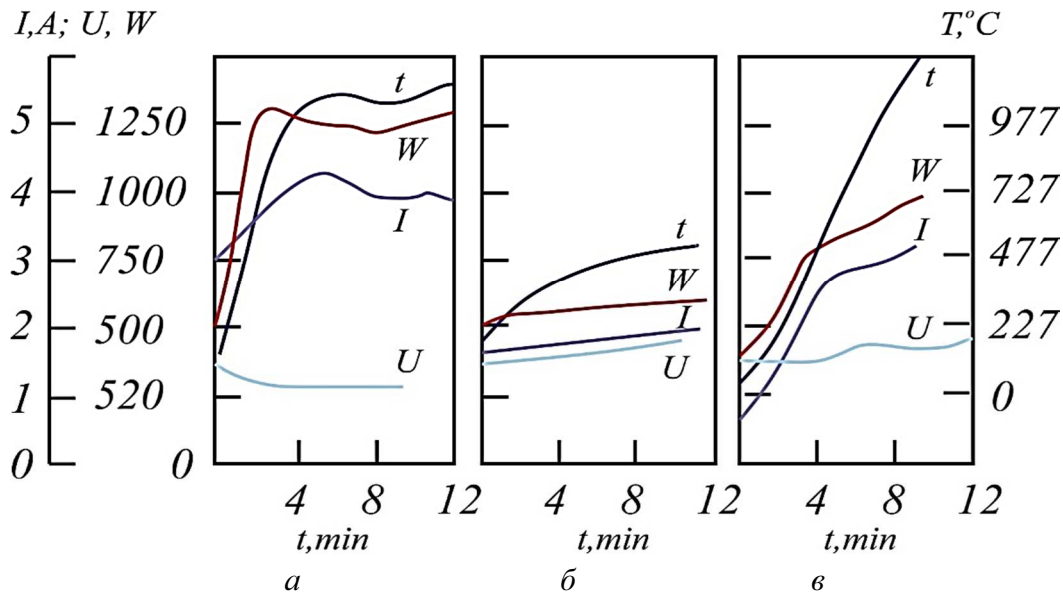


Рис. 2. Характеристика процесу нагрівання при різних формах тліючого розряду:
а – ненормальний ТР; б – нормальний ТР; в – ТР у порожниці

Отже, Дмитро Іванович Котельников уперше запропонував використовувати як джерело нагріву для дифузійного зварювання саме нормальний тліючий розряд і став автором першої у світі установки напівпромислового типу потужністю 10 кВт для дифузійного зварювання різномірних металів і сплавів із іонним нагрівом [28] (рис. 3). При безпосередній його участі й консультації застосування тліючого розряду в промисловості вперше здійснено в нашій країні на виробничому об'єднанні ім. С. П. Корольова м. Київ у середині 70-х років ХХ ст. для дифузійного зварювання металів та твердих сплавів із неметалами [23].

На нашу думку, цьому факту посприяла гостра потреба того часу в розробці прогресивних методів відновлення твердосплавного технологічного оснащення та ріжучого інструменту, елементи якого, до цього часу, з'єднувались між собою за допомогою паяння. Так, у 1973 році вченими, співробітниками київського ВО ім. С. П. Корольова І. М. Мухомою, М. Н. Довбищуком розроблена технологія реставрації вольфрамового (ВК6 і ВК15) і безвольфрамового (ТН20) твердосплавного ріжучого інструменту методом дифузійного зварювання з іонним нагрівом у розподіленій плазмі тліючого розряду. Зварювання здійснювали в середовищі водню через тонкі металеві прошарки сталі 50НХС та нікелю, отриманих шляхом вакуумного термічного осадження. Як оптимальні параметри, що забезпечують високу міцність зразків на вигин, було виділено: температуру нагріву 1250 °С, час ізотермічної витримки 7...10 хв, тиск газу в камері 13,3 кПа, робочу напругу 400...600 В та струм розряду 3...5 А.

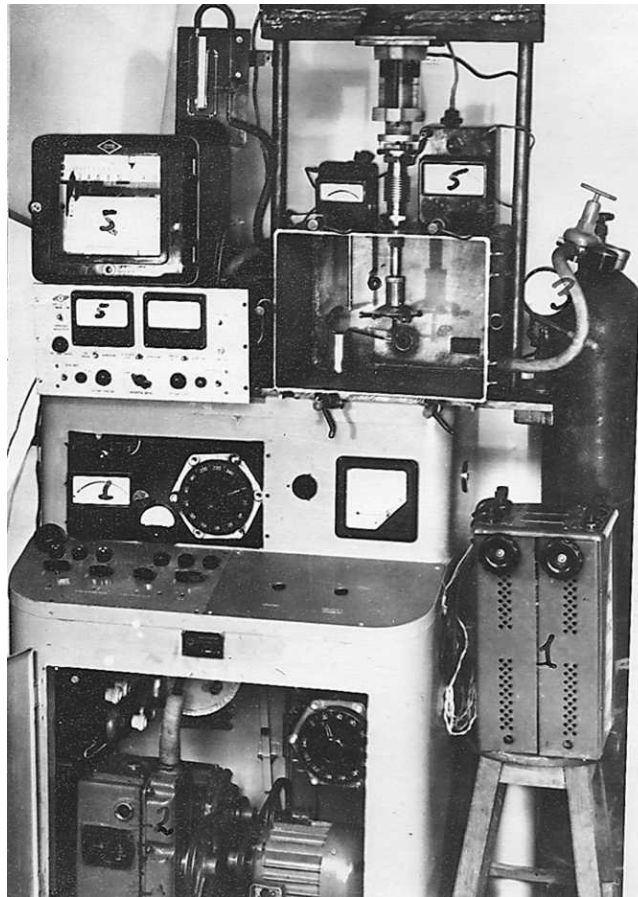
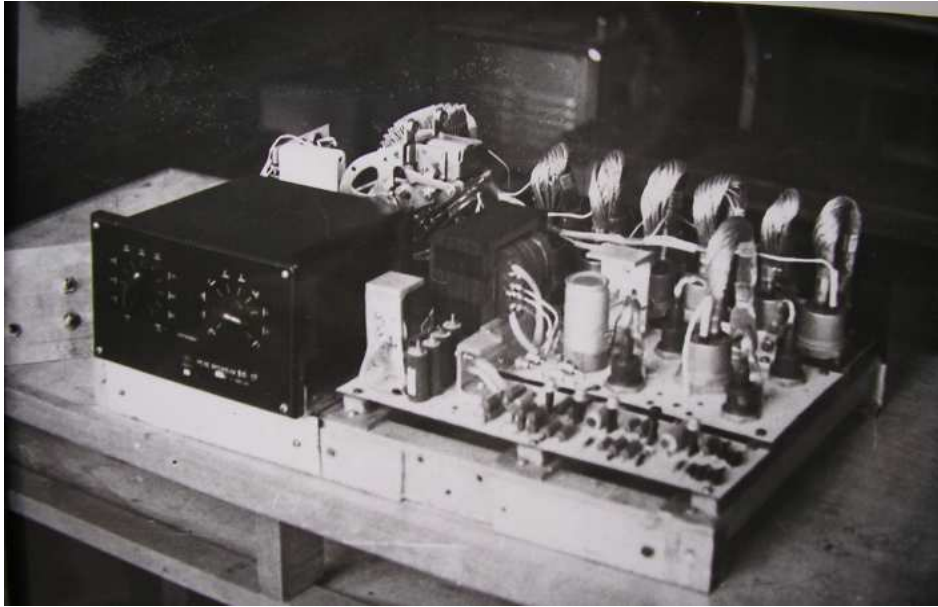


Рис. 3. Зовнішній вигляд установки іонного нагріву для дифузійного зварювання та паяння, розробленої Д. І. Котельниковим

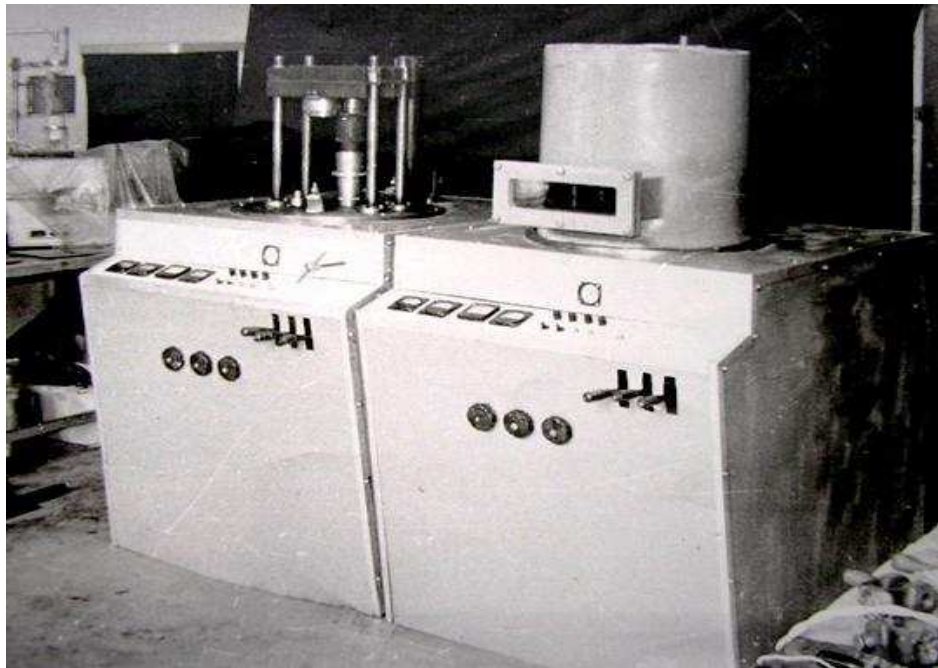
На проблеми стійкості тліючого розряду в умовах дифузійного зварювання та паяння вказували й інші радянські вчені. У роботах [29; 30; 31] зазначено можливість порушення технологічного процесу внаслідок появи тривалих потужних дугових розрядів, що супроводжується значними ударними струмовими перевантаженнями джерела живлення та деталей, що зварюються.

Тривалий пошук способів усунення вказаного недоліку призвів до розробки в 1976 році Д. І. Котельниковим разом із Г. П. Болотовим у стінах Чернігівського філіалу «Київського політехнічного інституту» перших пристроїв релеино-тиристорного та тиристорно-напівпровідникового типів, які суміщають захист виробу, що зварюється та джерела живлення від перевантажень в умовах формування стійкого дугового розряду [32]. Дія таких захисних пристроїв заснована на використанні сигналу від електричної дуги, поява якої супроводжується стрибкоподібним зростанням струму в колі розряду й покрокового його зниження доти, поки не зникнуть ознаки дугового розряду, тобто поки параметри електричного кола не повернуться до початкового режиму горіння тліючого розряду. Ці пристрої отримали назву СУ-1, СУ-2 (СУ – система управління), перевагами яких є комбінований захист виробу і джерела живлення та можливість самоналагоджування системи (рис. 4, а). Швидкодія спрацювання релеинової схеми становить близько 0,1 с, а напівпровідникової – 0,01 с.

Такі пристрої автоматичної стабілізації тліючого розряду були впроваджені Д. І. Котельниковим і Г. П. Болотовим при виготовленні промислової універсальної установки для зварювання твердосплавного штампного й ріжучого інструменту в Ленінградському конструкторському бюро технологічного оснащення (ЛКБТО) в 1975 році та пізніше при виготовленні 2-камерної установки для зварювання магніострикторів на Московському радіотехнічному заводі (МРТЗ) на початку 80-х років (рис. 4, б) [33; 34].



а



б

Рис. 4. Загальний вигляд пристрою стабілізації тліючого розряду (CV-1) (а) та зовнішній вигляд двокамерної багатопозиційної установки для зварювання магніострикторів у тліючому розряді (б)

У подальшому, було встановлено, що специфічні особливості тліючого розряду в умовах зварювального нагріву вимагають розробки поряд із дугогасячими системами і нових типів джерел живлення, стабілізуючих розрядний струм та здатних витримувати потужні його стрибки. Така стабілізуюча дія може бути досягнута лише за умови узгодженості статичної вольт-амперної характеристики розряду й зовнішньої характеристики джерела живлення.

У зв'язку з цим, наприкінці 70-х – початку 80-х років Д. І. Котельников і Г. П. Болотов розробили і впровадили ряд джерел живлення потужнострумове тліючого розряду із зовнішньою характеристикою близькою до крутопадаючої [35]. Найбільш простим варіан-

том отримання такої характеристики, що знайшло значне поширення в промисловості, виявилось застосування джерела із зовнішнім активним (баластним) опором, значення якого, за їхньою рекомендацією, вибирають у межах від $1/3$ до повного опору розряду (рис. 5, а). Проте, як виявилось, така схема вносить значні енергетичні втрати – ККД такого джерела не перевищувало 0,4...0,6. У майбутньому заміна в джерелі живлення активного опору на індуктивно-ємнісний перетворювач [36] дозволила отримати зовнішню характеристику близьку до вертикальної (штикової), що значно розширило діапазон стійкого існування системи «джерело-розряд». Однак застосування реактивних перетворювачів значно ускладнює конструкцію джерела та підвищує його вартість. Крім того, збільшується і вага такого джерела (від 11 до 22 кг на 1 кВт залежно від потужності). Для установок підвищеної потужності ними було розроблено і впроваджено більш економні джерела живлення з можливістю керування параметрами у широких межах на основі вентильних перетворювачів (тиристорів), крутопадаюча характеристика в яких забезпечується автоматичним регулюванням струму (рис. 5, б).

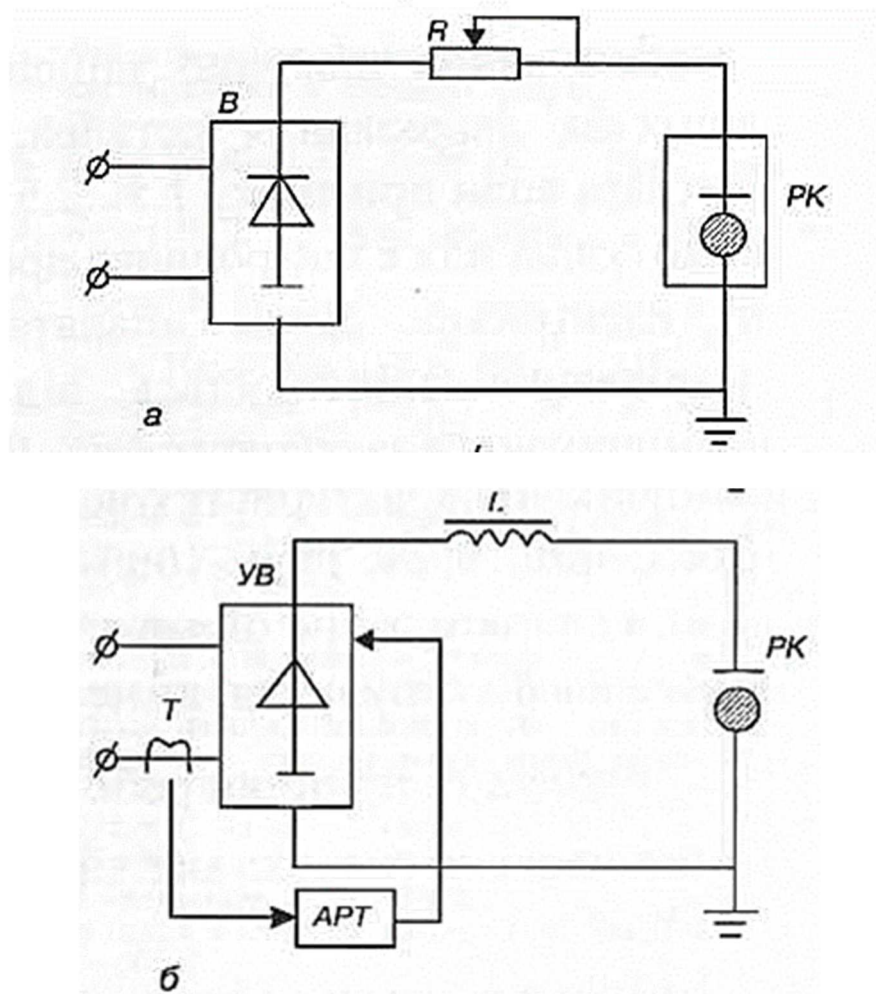


Рис. 5. Схеми джерел живлення тліючого розряду з активним баластним опором в колі розряду (а) та перетворювачами клапанів (б):

B – випрямляч; *UB* – керований випрямляч; *APT* – автоматичний регулятор струму;
PK – розрядний проміжок; *R* – резистор; *L* – згладжуючий фільтр; *T* – трансформатор

Таким чином, розглянутий період завершується опублікуванням в 1981 році Д. І. Котельниковим монографії [37], в якій він узагальнює результати досліджень та досвід промислового застосування тліючого розряду при зварюванні різномірних металів, сплавів та неметалевих матеріалів із металами; розглядає процеси в газорозрядній плазмі середніх

тисків; наводить характеристики розробленого і впровадженого в промисловість обладнання та вказує на основні проблеми та перспективи застосування тліючого розряду при дифузійному зварюванні та паянні. Як основні фактори, що обмежують широке промислове застосування такого джерела енергії в технологічних процесах з'єднання матеріалів, він виділяв недостатню стійкість тліючого розряду в межах обраної форми, викликані флуктуацією його енергетичних параметрів, та обмежений діапазон матеріалів, що зварюються, оскільки деталі, у цьому випадку, є одним з електродів розряду (катодом).

У зв'язку з цим основна увага вчених у щодо іонного нагріву в газорозрядній плазмі протягом останніх десятиліть була прикута до пошуку способів розширення технологічних можливостей тліючого розряду, зокрема, шляхом розробки та впровадження нових, більш досконалих джерел енергії для зварювання та паяння на його основі.

Тліючий розряд із порожнистим катодом в умовах прецизійного зварювання та паяння. З тліючим розрядом, що горить у порожнистому катоді, відкритим Пашеном на початку ХХ століття, пов'язано безліч різноманітних наукових і прикладних напрямів застосування електричного струму, що протікає в газовому середовищі. Передусім історично це область дослідження спектра світіння. Уже тоді перші дослідники відзначали виняткові особливості розряду у випадку використання не плоского, а порожнистого катода.

Передумовою для використання тліючого розряду в процесах нагріву та обробки матеріалів стали роботи англійського вченого Вільяма Крукса, виконані ще наприкінці ХІХ ст. Досліджуючи електричні явища в газах всередині вакуумної трубки він дійшов висновку, що відкриті в 1859 році вченим Юліусом Плюккером катодні промені є ніщо інше як заряджені частинки (електрони), що вилітають із катода з великою швидкістю під прямим кутом до нього. Він також показав можливість їх фокусування, використовуючи при цьому не плоский, а порожнистий катод напівсферичної форми.

У подальшому й до сьогодні тліючий розряд з осциляцією електронів у катодній порожнині знайшов поширення в різних галузях промисловості – від електронної (при виготовленні іонних джерел з порожнистим катодом: стабілітрони, тиратрони з холодним порожнистим катодом, газорозрядні лампи; для отримання тонких металевих плівок та захисних покриттів тощо) до металообробної (у процесах іонної обробки та модифікації металевих поверхонь, поверхневої хіміко-термічної обробки в тліючому розряді, з метою надання необхідних властивостей поверхонь деталей, що обробляються, а також для з'єднання матеріалів концентрованими електронними пучками).

Однак знадобилося майже сотні років, щоб таке потужне джерело енергії знайшло своє застосування для з'єднання матеріалів. Так, поставлене завдання розширення можливостей дифузійного зварювання із застосування іонних технологій була вирішена наприкінці 2000-х років, коли вченими Чернігівського національного технологічного університету Г. П. Болотовим та М. Г. Болотовим було вперше опубліковано результати досліджень стійкості тліючого розряду, ініційованого в порожнистому катоді стосовно до умов зварювального нагріву [38; 39].

Головною особливістю такого джерела нагріву, що відрізняє його від інших газорозрядних джерел, запропонованих В. С. Ваніним та Д. І. Котельніковим, в яких забезпечується прямий нагрів деталей, що зварюються, шляхом бомбардування їхньої поверхні прискореними позитивними іонами робочого газу (рис. 6, *a*), є відсутність гальванічного зв'язку виробу з електродами розряду [40; 41]. Тобто зварювані деталі є електронейтральними, що дозволяє здійснювати зварювання як металевих, так і неметалевих виробів у різних їх поєднаннях. Із заміною катода в розрядній системі на металевий порожнистий циліндр зазнав змін і сам механізм зварювального нагріву в ТРПК, при якому здійснюється не прямий нагрів у результаті бомбардування поверхні деталей електронами, емітованими з поверхні порожнистого катода внаслідок іонно-електронної емісії і прискорених в електричному полі області катодного падіння потенціалів тліючого розряду (рис. 6, *b*) [42; 43].

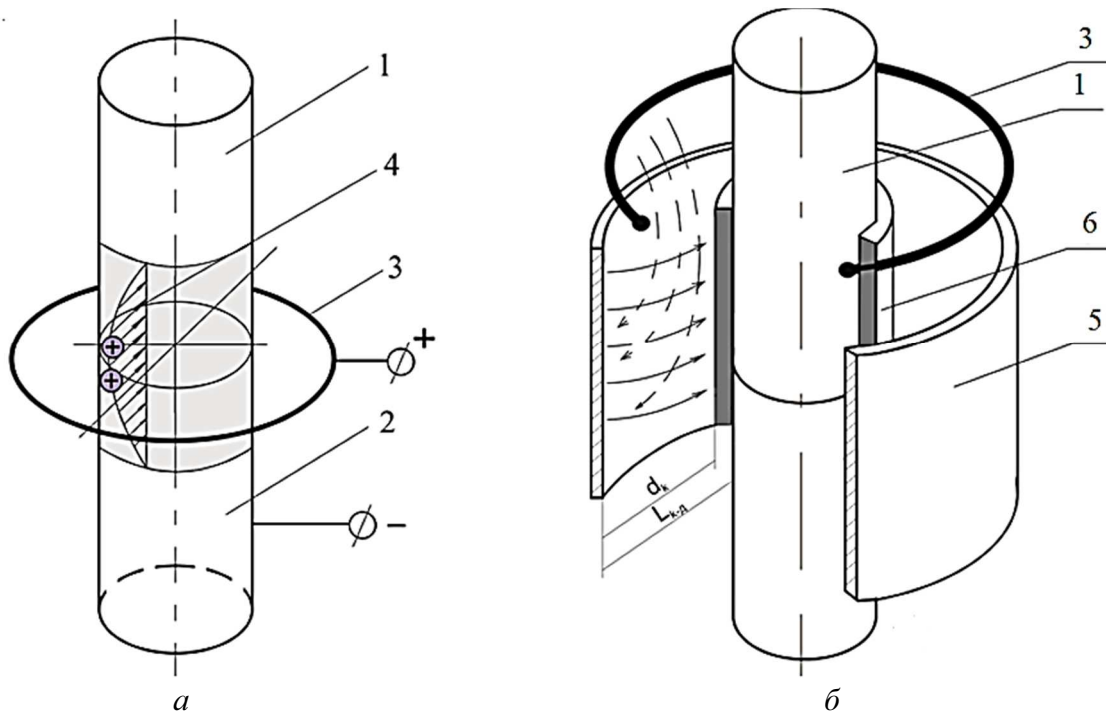


Рис. 6. Схеми зварювального нагріву в нормальному тліючому розряді (а) та розряді в порожнистому катоді (б):

1, 2 – деталі, що зварюються (катод у випадку нормального тліючого розряду); 3 – циліндричний анод; 4 – траєкторія руху іонів; 5 – циліндричний порожнистий катод; 6 – область від'ємного тліючого світіння; d_k – темний катодний простір; $L_{к-д}$ – відстань катод – деталь

Джерело: [44].

У подальші роки (2009–2014) ними було здійснено комплекс експериментальних досліджень фізико-технічних, технологічних та енергетичних характеристик тліючого розряду з порожнистим катодом в умовах, притаманних високотемпературному нагріванню в газорозрядній плазмі, а також визначенню сфери його існування [45; 46]. Також у роботах [48; 49] показано застосування тліючого розряду з метою активації та модифікування активних металів перед зварюванням. У жовтні 2014 року Г. П. Болотовим та М. Г. Болотовим було отримано патент на корисну модель [47].

У 2016 році Г. П. Болотовим було опубліковано монографію [50], яка, по суті, є другою спробою узагальнення даних зі зварювання та паяння в тліючому розряді з моменту видання монографії Д. І. Котельнікова. У ньому узагальнені фізика, техніка й досвід промислового застосування плазми тліючого розряду при зварюванні та обробці матеріалів.

Висновки відповідно до статті. Застосування тліючого розряду в дифузійному зварюванні, початок якому було покладено ще в 1962 році дослідженнями В. С. Ваніна і продовжене роботами Д. І. Котельнікова, Г. П. Болотова та іншими українськими вченими привело до того, що це джерело нагріву досить швидко посіло гідне місце серед інших джерел енергії для дифузійного зварювання та паяння. Однак подальший розвиток і широке промислове впровадження цього джерела нагріву обмежувалося насамперед недостатньою його технологічністю, що пов'язано з обмеженою номенклатурою матеріалів, що зварюються.

Підвищити технологічні можливості тліючого розряду як джерела зварювального нагріву вдалося лише за рахунок розробки та створення нового, більш досконалого газорозрядного джерела на основі тліючого розряду, що горить у порожнистому катоді.

Досвід застосування тліючого розряду в процесах зварювання в твердій фазі показує, що найбільш перспективними напрямками подальших розробок стануть створення автоматизованих установок та систем керування процесом дифузійного зварювання в тліючому розряді на базі мікропроцесорної техніки з використанням математичних моделей для формування оптимальних алгоритмів керування.

Список використаних джерел

1. Бабад – Захряпин А. А., Кузнецов Г. Д. Химико-термическая обработка в тлеющем разряде. Москва : Атомиздат, 1975. 176 с.
2. Диффузионная сварка в тлеющем разряде / В. И. Дятлов и др. Ленинград : ЛДНТП, 1968. 26 с.
3. Москалев Б. И. Разряд с полым катодом. Москва : Энергия, 1969. 212 с.
4. Назаренко О. К. Электроннолучевая сварка. Москва : Машиностроение, 1981. 146 с.
5. Абильсиитов Г. А., Велихов Е. П., Голубев В. С. Мощные газоразрядные CO₂ лазеры и их применение в технологии. Москва : Наука, 1984. 105 с.
6. Газовые лазеры / под ред. Р. И. Солоухина. Новосибирск – Москва: СО, Наука, 1947. 360 с.
7. Коваленко В. С. Технология и оборудование электрофизических и электрохимических методов обработки материалов. Київ : Вища школа, 1983. 176 с.
8. Акишин А. И. Ионная бомбардировка в вакууме. Москва : Госэнергоиздат, 1963. 288 с.
9. Ройх И. Л., Колтунова Л. Н. Защитные вакуумные покрытия на стали. Москва : Машиностроение, 1971. 279 с.
10. Готра З. Ю. Технология микроэлектронных устройств. Москва : Радио и связь, 1991. 528 с.
11. Данилин Б. С. Получение тонкопленочных элементов микросхем. Москва : Энергия, 1972.
12. Бабад – Захряпин А. А., Кузнецов Г. Д. Радиационно – стимулируемая химико – термическая обработка. Москва : Энергоиздат, 1982. 94 с.
13. Лахтин Ю. М., Коган Я. Д. Азотирование стали. Москва : Машиностроение, 1976. 256 с.
14. Лахтин Ю. М., Крымский Ю. Н. Физические процессы при ионном азотировании. *Защитные покрытия на металлах*. 1968. Вып. 2. С. 225–229.
15. Лахтин Ю. М. Современное состояние и пути развития технологии химико – термической обработки стали. *Металловедение и термическая обработка металлов*. 1965. № 8. С. 34.
16. Данилин Б. С. Применение низкотемпературной плазмы для нанесения тонких пленок. Москва : Энергоатомиздат, 1989. 328 с.
17. Прокошкин Д. А. Получение покрытий на металлах в тлеющем разряде. *Защитные покрытия на металлах*. 1970. Вып. 3. С. 81–86.
18. Рамазанов К. Н., Ишмухаметов Д. З., Садаков Н. С. Ионное азотирование в неоднородной плазме тлеющего разряда. *Вестник УГАТУ*. 2011. № 3. С. 67–71.
19. Ванин В. С. Сварка и пайка металлов в тлеющем разряде. *Автоматическая сварка*. 1962. № 4. С. 23–25.
20. Ванин В. С. Наплавка в тлеющем разряде. *Автоматическая сварка*. 1975. № 6. С. 75–76.
21. Котельников Д. И. Исследование соединения стали, полученного диффузионной сваркой. *Автоматическая сварка*. 1970. № 4. С. 25–27.
22. Котельников Д. И. Нагрев тлеющим разрядом при диффузионной сварке. *Вестник Киев. политехн. ин-та. Сер. «Машиностроение»*. 1968. № 5. С. 56–60.
23. Котельников Д. И. Сварка твёрдых сплавов с применением тлеющего разряда. *Твердосплавная штамповая оснастка и ее применение в электротехнической промышленности*. Таллин : НИИ ТЭЗ, 1975. С. 153–159.
24. Котельников Д. И. Технология и оборудование диффузионной сварки в тлеющем разряде. *Диффузионное соединение в вакууме металлов, сплавов и неметаллических материалов*. Москва : ПНИЛДСВ, 1970. С. 298–303.
25. Квасицкий В. Ф., Кох Б. А., Сазонов А. И. Технология диффузионной сварки жаропрочных сплавов. Ленинград : ЛДНТП, 1969. 26 с.
26. Котельников Д. И. Тлеющий разряд как источник тепла в сварочных процессах. *Автоматическая сварка*. 1978. № 4. С. 15–21.
27. Котельников Д. И., Крысанов Ю. Н. Распределение плотности тока в катодном пятне тлеющего разряда. *Автоматическая сварка*. 1979. № 11. С. 27–29.

28. А.с. 927451, СССР, кл. В 23К 20/14. Способ нагрева в тлеющем разряде / Д. И. Котельников, Г. П. Болотов (СССР). Заявл. 23.05.80. Опубл. 1982, Бюл. № 18.
29. А.с. 525257, СССР, кл. Н 05В 7/16. Устройство для стабилизации сильноточного тлеющего разряда / Блинов В. И., Кириченко В. В., Сизова Н. Е., Денисов В. Е. (СССР). Заявл. 26.06.74, опубл. 1976, Бюл. № 30.
30. Использование энергии тлеющего разряда в качестве источника тепла для пайки / А. М. Большова и др. *Пайка в машиностроении*. Москва : МАТИ, 1974. С. 136–138.
31. Жилов Е. А. Установка для диффузионной сварки в тлеющем разряде при изготовлении штампов, армированных твердым сплавом. *Информ. лист № 73 – 0465*. Москва : ВИМИ, 1976. С. 2–4.
32. Болотов Г. П., Збань В. И., Котельников Д. И. Устройство для автоматической защиты изделий при сварке. *Информ. лист № 76 – 03*. Чернигов : Укр НИИНТИ, 1976. С. 1–4.
33. А.с. 927451, СССР, кл. В 23К 20/14. Способ нагрева в тлеющем разряде / Д. И. Котельников, Г. П. Болотов (СССР). Заявл. 23.05.80. Опубл. 1982, Бюл. № 18.
34. Котельников Д. И., Болотов Г. П., Романенков А. П., Сиваков А. Л. Установка для диффузионной сварки в тлеющем разряде. *Автоматическая сварка*. 1985. № 7. С. 71–72.
35. А.с. 872091, СССР, В 23К 9/00. Источник питания / Д. И. Котельников, Г. П. Болотов, Ю. Н. Крысанов (СССР). Заявл. 04.07.79. Опубл. 1981, Бюл. № 38.
36. Болотов Г. П., Котельников Д. И. Источники питания тлеющего разряда при сварке и пайке. *Деп. в ГНТБ Украины*. 1994. № 596 – Ук 94. 9 с.
37. Котельников Д. И. Сварка давлением в тлеющем разряде. Москва : Металлургия, 1981. 116 с.
38. Болотов Г. П., Болотов М. Г. Дослідження стійкості тліючого розряду з порожнистим катодом в умовах зварювання. *Вісник ЧДТУ*. 2008. № 36. С. 100–106.
39. Болотов Г. П., Болотов М. Г. Розрахункове визначення температури нагріву деталей при дифузійному зварюванні в тліючому розряді з порожнистим катодом. *Вісник ЧДТУ*. 2009. № 40. С. 29–37.
40. Болотов Г. П., Рыжов Р. Н., Болотов М. Г. Очистка тлеющим разрядом металлических поверхностей перед диффузионной сваркой и пайкой в вакууме. *Вестник НТУУ «КПИ», сер. «Машиностроение»*. 2009. № 57. С. 124–127.
41. Болотов Г. П., Рыжов Р. М., Болотов М. Г. Активізаційна дія тліючого розряду в умовах дифузійного зварювання. *Вісник Донбаської державної машинобудівної академії*. 2011. № 1. С. 18–21.
42. Болотов М. Г. Дослідження локальних властивостей плазми тліючого розряду з порожнистим катодом стосовно до умов зварювального нагріву. *Вісник ЧДТУ*. 2013. № 1(63). С. 112–119.
43. Болотов М. Г. Аналіз основних нестабільностей тліючого розряду середніх тисків в умовах обробки матеріалів. *Вісник ЧНТУ, Серія «Технічні науки та технології»*. 2018. № 2 (12). С. 103–116.
44. Болотов М. Г., Ганєєв Т. Р. Ефективність нагріву при зварюванні в тліючому розряді з порожнистим катодом. *Вісник ЧДТУ*. 2012. №1(55). С. 126–131.
45. Болотов М. Г., Болотов Г. П. Порівняльна оцінка ефективності джерел енергії для дифузійного зварювання у вакуумі. *Вісник ЧДТУ*. 2010. № 42. С. 144–147.
46. Болотов М. Г., Руденко М. М. Застосування тліючого розряду з порожнистим катодом у процесах поверхневої обробки металів. *Вісник ЧНТУ. Серія «Технічні науки»*. 2014. № 2(73). С. 100–103.
47. Патент України на корисну модель № 93483. Джерело енергії для дифузійного зварювання та паяння на основі тліючого розряду з порожнистим катодом / Болотов М. Г., Болотов Г. П. 10 Жовтень 2014 р.
48. Олексієнко С. В., Савченко О. М., Ющенко С. М. Флюсове видалення оксидних плівок під час паяння алюмінію та сплавів на його основі (літературний огляд). *Вісник ЧДТУ*. 2013. № 1(63). С. 119–124.
49. Олексієнко С. В., Куликовський Р. А., Мартиненко В. О., Ющенко С. М. Спосіб реактивно-флюсового паяння алюмінію. *Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні*. 2013. № 2. С. 84–87.
50. Болотов Г. П. Зварювання та паяння в плазмі тліючого розряду. Чернігів : ЧНТУ, 2016. 144 с.

References

1. Babad – Zahryapin, A. A., Kuznetsov, G. D. (1975). *Himiko-termicheskaia obrabotka v tleuschem razryade [Chemical-heat treatment in a glow discharge]*. Moscow: Atomizdat [in Russian].

2. Dyatlov, V. I. et. al. (1968). *Diffuzionnaia svarka v tleiuschem razryade [Diffusion welding in a Glow Discharge]*. Leningrad: LDNTP [in Russian].
3. Moskalev, B. I. (1969). *Razriad s polym katodom [Hollow Cathode Glow Discharge]*. Moscow: Energiia [in Russian].
4. Nazarenko, O. K. (1981). *Elektronmoluchevaia svarka [Electron beam welding]*. Moscow: Mashinostroenie [in Russian].
5. Abilsiitov, G. A., Velihov, E. P., Golubev, V. S. (1984). *Moschnyye gazorazryadnyie SO₂ lazery i ih primeneniye v tehnologii [Powerful gas-discharge CO₂ lasers and their application in technology]*. Moscow: Nauka [in Russian].
6. Solouhina, R. I. (1947). *Gazovyye lazery [Gas lasers]*. Novosibirsk – Moscow: Nauka [in Russian].
7. Kovalenko, V. S. (1983). *Tehnologiya i oborudovaniye elektrofizicheskikh i elektrohimicheskikh metodov obrabotki materialov [Technology and equipment of electrophysical and electrochemical methods of material processing]*. Kyiv: Vischa shkola [in Russian].
8. Akishin, A. I. (1963). *Ionnaia bombardirovka v vakuume [Ion bombardment in vacuum]*. Moscow: Gosenergoizdat [in Russian].
9. Royh, I. L., Koltunova, L. N. (1971). *Zaschitnye vakuumnye pokryitiia na stali [Defending vacuum coatings on steel]*. Moscow: Mashinostroenie [in Russian].
10. Gotra, Z. Yu. (1991). *Tehnologiya mikroelektronnykh ustroystv [The technology of microelectrjn devices]*. Moscow: Radio i sviaz [in Russian].
11. Danilin, B. S. (1972). *Poluchenie tonkoplnochnyih elementov mikroshem [The obtaining of thing films elements of microschem]*. Moscow: Energiia [in Russian].
12. Babad – Zahryapin, A. A., Kuznetsov, G. D. (1982). *Radiatsionno-stimuliruemaya himiko – termicheskaya obrabotka [Radiation-stimulated chemical – thermal treatment]*. Moscow: Energoizda [in Russian].
13. Lahtin, Yu. M., Kogan, Ya. D. (1976). *Azotirovaniye stali [The nitriding of steel]*. Moscow: Mashinostroenie [in Russian].
14. Lahtin, Yu. M., Kryimskiy, Yu. N. (1968). Fizicheskie protsessy pri ionnom azotirovanii [Physical processes in steel nitriding]. *Zaschitnye pokryitiia na metallakh – Protective coatings on metals*, 2, 225–229 [in Russian].
15. Lahtin, Yu. M. (1965). Sovremennoe sostoianie i puti razvitiia tehnologii khimiko-termicheskoi obrabotki stali [Current state and ways of development of technology of chemical – heat treatment of steel]. *Metallovedeniye i termicheskaya obrabotka metallov – Metallurgy and heat treatment of metals*, 8, 34 [in Russian].
16. Danilin, B. S. (1989). *Primeneniye nizkotemperaturnoi plazmy dlia naneseniia tonkikh plenok [Application of low temperature plasma for thin films deposition]*. Moscow: Energoatomizdat [in Russian].
17. Prokoshkin, D. A. (1970). Poluchenie pokrytii na metallakh v tleiuschem razriade [Obtaining of a metal coatings in the glow discharge]. *Zaschitnye pokryitiia na metallakh – Protective coatings on metals*, 3, 81–86 [in Russian].
18. Ramazanov, K. N., Ishmuhametov, D. Z., Sadakov, N. S. (2011). Ionnoe azotirovaniye v neodnorodnoi plazme tleiuschego razriada [Ion nitriding in unhomogenous plasma of a glow discharge]. *Vestnik UGATU – Bulletin of USATU*, 3, 67–71 [in Russian].
19. Vanin, V. S. (1962). Svarka i payka metallov v tleyuschem razryade [Welding and brazing in a glow discharge]. *Avtomaticheskaya svarka – Automatic welding*, 4, 23–25 [in Russian].
20. Vanin, V. S. (1975). Naplavka v tleiuschem razriade [Glow discharge surfacing]. *Avtomaticheskaya svarka – Automatic welding*, 6, 75–76 [in Russian].
21. Kotelnikov, D. I. (1970). Issledovaniye soedineniia stali, poluchennogo diffuzionnoi svarkoy [Study of the connection of steel obtained by diffusion welding]. *Avtomaticheskaya svarka – Automatic welding*, 4, 25–27 [in Russian].
22. Kotelnikov, D. I. (1968). Nagrev tleiuschim razriadom pri diffuzionnoi svarke [The heating by the glow discharge while diffusion welding]. *Vestnik Kiev. politehn. in-ta. Ser. «Mashinostroeniye» – Bulletin of Kiev. Polytechnic Institute. Ser. “Engineering”*, 5, 56–60 [in Russian].
23. Kotelnikov, D. I. (1975). Svarka tverdykh splavov s primeneniem tleiuschego razriada [Welding hard alloys with application of a glow discharge]. In *Tverdospлавnaia shtampovaya osnastka i ee primeneniye v elektrotehnicheskoi promyshlennosti – Tungsten carbide tooling and its application in the electrical industry* (pp. 153–159). Tallin: NII TEZ [in Russian].

24. Kotelnikov, D. I. (1970). Tehnologiya i oborudovanie diffuzionnoy svarki v tleyuschem razryade [The technology and equipment of diffusion welding in a glow discharge]. *Diffuzionnoe soedinenie v vakuume metallov, splavov i nemetallicheskih materialov – Diffusion compound in a vacuum of metals, alloys and non-metallic materials* (298–303). Moscow: PNILDSV [in Russian].
25. Kvasnitskiy, V. F., Kokh, B. A., Sazonov, A. I. (1969). *Tehnologiya diffuzionnoi svarki zharoprochnykh splavov [Thechnology of diffusion welding of heat-resistant alloys]*. Leningrad: LDNTP [in Russian].
26. Kotelnikov, D. I. (1978). Tleiuschii razriad kak istochnik tepla v svarochnykh protsessakh [The glow discharge as a heating source in a welding processes]. *A Avtomaticheskaya svarka – Automatic welding*, 4, 15–21 [in Russian].
27. Kotelnikov, D. I., Krysanov, Yu. N. (1979). Raspredelenie plotnosti toka v katodnom pyatne tleiushego razryada [The spreading of a current density in a cathode spot of a glow discharge]. Kotelnikov. *Avtomaticheskaya svarka – Automatic welding*, 11, 27–29 [in Russian].
28. Kotelnikov, D. I., Bolotov, G. P. (SSSR). (1982). A.s. 927451, SSSR, kl. V 23K 20/14. *Sposob nagreva v tleiuschem razryade [The way of heating in a glow discharge]* [in Russian].
29. Blinov, V. I., Kirichenko, V. V., Sizova, N. E., Denisov, V. E. (SSSR). (1976). A.s. 525257, SSSR, kl. N 05V 7/16. *Ustroystvo dlia stabilizatsii silnotochnogo tleiushego razryada [The seating for stabilization of a high-current glow discharge]* [in Russian].
30. Bolkova, A. M. et. al. (1974). Ispolzovanie energii tleiushego razriada v kachestve istochnika tepla dlia paiki [The usage of energy of a glow discharge as a heating source for brazing]. In *Paika v mashinostroenii – Soldering in mechanical engineering* (136–138). Moscow: MATI [in Russian].
31. Zhilov, E. A. (1976). Ustanovka dlia diffuzionnoi svarki v tleiuschem razryade pri izgotovlenii shtampov, armirovannykh tverdym splavom [Installation for a diffusion welding in a glow discharge during manufacturing of stamps reinforced with hard alloy]. *Inform. listok – Information letter № 73 – 0465* (pp. 2–4). Moscow: VIMI [in Russian].
32. Bolotov, G. P., Zban, V. I., Kotelnikov, D. I. (1976). Ustroystvo dlia avtomaticheskoy zashchity izdelyi pri svarke. [The installation for automatic defending of specimens during welding]. *Inform. listok – Information letter № 76 – 03* (pp. 1–4). Chernigov: Ukr NIINTI [in Russian].
33. Kotelnikov, D. I., Bolotov, G. P. (SSSR) (1982). A.s. 927451, SSSR, kl. V 23K 20/14. *Sposob nagreva v tleiuschem razryade [The way of heating in a glow discharge]* [in Russian].
34. Kotelnikov, D. I., Bolotov, G. P., Romanenkov, A. P., Sivakov, A. L. (1985). Ustanovka dlia diffuzionnoy svarki v tleiuschem razryade [The installation for a diffusion welding in a glow discharge]. *Avtomaticheskaya svarka – Automatic welding*, 7, 71–72 [in Russian].
35. Kotelnikov, D. I., Bolotov, G. P., Krysanov, Yu. N. (SSSR). (1981). A.s. 872091, SSSR, V 23K 9/00. *Istochnik pitaniya [Power source]* [in Russian].
36. Bolotov, G. P., Kotelnikov, D. I. (1994). Istochniki pitaniya tleiushego razriada pri svarke i paike [Power sources of a glow discharge in welding and brazing]. *Dep. v GNTB Ukrainyi – Dep. in SSTL of Ukraine*, 596, Uk 94 [in Russian].
37. Kotelnikov, D. I. (1981). *Svarka davleniem v tleiuschem razryade [Pressure welding in a glow discharge]*. Moscow: Metallurgiya [in Russian].
38. Bolotov, G. P., Bolotov, M. G. (2008). Doslidzhennia stiikosti tliuchoho rozriadu z porozhnistim katodom v umovakh zvariuvannia [The investigation of a hollow cathode glow discharge in welding]. *Visnyk ChDTU – Bulletin of ChSTU*, 36, 100-10 [in Ukrainian].
39. Bolotov, G. P., Bolotov, M. G. (2009). Rozrahunkove viznachennya temperaturi nagrIvu detaley pri difuzynomu zvaryuvanni v tliuchomu rozryadi z porozhnistim katodom [The calculation of heating temperature of samples in diffusion welding with a hollow cathode glow discharge]. *Visnyk ChDTU – Bulletin of ChSTU*, 40, 29–37 [in Ukrainian].
40. Bolotov, G. P., Ryzhov, R. N., Bolotov, M. G. (2009). Ochistka tleiuschim razryadom metallicheskih poverhnostey pered diffuzionnoy svarkoy i paykoy v vakuume [Glow discharge cleaning of metal surfaces before diffusion welding and vacuum soldering]. *Vestnik NTUU «KPI», ser. «Mashinostroenie» – Bulletin of NTUU «KPI», ser. «Engineering»*, 57, 124–127 [in Russian].
41. Bolotov, G. P., Rizhov, R. M., Bolotov, M. G. (2011). Aktivatsiina diia tliuchoho rozriadu v umovah difuziinogo zvariuvannia [Activation action of a glow discharge in diffusion welding]. *Visnik Donbaskoi derzhavnoi mashinobudivnoi akademii – Bulletin of the Donbass State Engineering Academy*, 1, 18–21 [in Ukrainian].

42. Bolotov, M. G. (2013). Doslidzhennia lokalnykh vlastyvostei plazmy tliuchoho rozriadu z porozhnystym katodom stosovno do umov zvariuvannoho nagrivu [Investigation of local properties of glow discharge plasma with a hollow cathode in relation to welding heating conditions]. *Visnyk ChDTU – Bulletin of ChSTU*, 1(63), 112-119 [in Ukrainian].
43. Bolotov, M. G. (2018). Analiz osnovnykh nestabilnosti tliuchogo rozryadu serednikh tiskiv v umovakh obrobky materialiv [Analysis of the main instabilities of the glow discharge of medium pressures in the processing of materials]. *Visnyk ChDTU – Bulletin of ChSTU*, 2 (12), 103-116 [in Ukrainian].
44. Bolotov, M. G., Ganieiev, T. R. (2012). Efektivnist nagrivu pri zvaryuvanni v tliuchomu rozryadi z porozhnistim katodom. [Heating efficiency during welding in a glow discharge with a hollow cathode]. *Visnyk ChDTU – Bulletin of ChSTU*, 1(55), 126–131 [in Ukrainian].
45. Bolotov, M. G., Bolotov, G. P. (2010). Porivnyalna otsinka effektivnosti dzhерel energiyi dlya difuzynogo zvaryuvannya u vakuumi [Comparative evaluation of the efficiency of energy sources for diffusion welding in vacuum]. *Visnyk ChDTU – Bulletin of ChSTU*, 42, 144–147 [in Ukrainian].
46. Bolotov, M. G., Rudenko, M. M. (2014). Zastosuvannya tliuchoho rozriadu z porozhnistim katodom u protsesakh poverhnevoi obrobky metaliv [Application of a glow discharge with a hollow cathode in the processes of surface treatment of metals]. *Visnyk ChDTU – Bulletin of ChSTU*, 2(73), 100–103 [in Ukrainian].
47. Bolotov, M. G., Bolotov, G. P. (October 2014). Patent Ukraini na korisnu model № 93483. *Dzherelo energii dlia difuziynoho zvariuvannya ta paiannia na osnovy tliuchoho rozriadu z porozhnistim katodom [Energy source for diffusion welding and soldering based on a glow discharge with a hollow cathode]* [in Ukrainian].
48. Oleksienko, S. V., Savchenko, O. M., Yuschenko, S. M. (2013). Flusove vidalennia oksydnykh plivok pid chas paiannia aliuminiiu ta splaviv na yoho osnovy (literaturnii ohliad) [Flux removal of oxide films during soldering of aluminum and alloys based on it (literature review)]. *Visnyk ChDTU – Bulletin of ChSTU*, 1(63), 119–124 [in Ukrainian].
49. Oleksienko, S. V., Kulikovskiy, R. A., Martinenko, V. O., Yuschenko, S. M. (2013). Spisib reaktivno-flusovoho paiannia aliuminiiu [The method of reactive-flux soldering of aluminum]. *Novi materialy i tekhnologii v metalurhii ta mashinobuduvanni. ZNTU – New materials and technologies in metallurgy and mechanical engineering*, 2, 84-87 [in Ukrainian].
50. Bolotov, G. P. (2016). *Zvariuvannya ta paiannia v plazmi tliuchoho rozriadu [Welding and brazing in the glow discharge plasma]*. Chernihiv: ChNTU [in Ukrainian].

UDC 621.791.12

Maksym Bolotov, Iryna Prybytko, Iryna Nahorna

GLOW DISCHARGE AS A HEATING SOURCE FOR THE PROCESSES OF JOINING OF DIFFERENT MATERIALS (REVIEW)

Introduction. *The glow discharge, known for its bright light effects, has become widespread in various fields of science and technology, in particular, for the production of electron and light beams, surface treatment of materials, for protective coatings, etc. As a source of welding heat, glow discharge is used relatively recently and its development in this area is associated with very interesting and, sometimes, completely contradictory facts.*

The purpose of the work. *The purpose of this work is to acquaint the reader with the main historical milestones of the formation of the glow discharge as a source of surface heating in the processes of welding and soldering materials, and the difficulties encountered by domestic researchers to achieve their goal.*

The main stages of development of the glow discharge as a source of surface heating in the processes of diffusion welding and brazing. *Historically, the first attempts to use glow discharge in the process of joining materials occurred in the 60s of last century. Even then, domestic scientists noted a range of its features, such as uniform heating, the ability to adjust technological parameters in a wide range, the ability to process and modify surfaces before welding. However, a number of shortcomings have been identified that limit its widespread use in these processes, mainly related to the partial or complete loss of its stability and the transition to other, more stable forms of gas discharge.*

Hollow cathode glow discharge in the conditions of precision welding and brazing. *The long search for ways to improve plasma technology in relation to welding heating conditions has led to the development of a new energy source for diffusion welding and soldering based on a glow discharge initiated in the cathode cavity. With a higher energy density in the heating spot, compared to a normal glow discharge, due to the oscillation of electrons in the cathode cavity, it can significantly expand the range of connected materials and provide heating for both conductive materials and dielectrics.*

Conclusions. *The experience of using glow discharge in solid phase welding shows that the most promising areas of further development will be the creation of automated installations and control systems for diffusion welding in glow discharge based on microprocessor technology using mathematical models to form optimal control algorithms.*

Keywords: *plasma; glow discharge; hollow cathode; diffusion bonding; brazing.*

Fig.: 6. References: 50.

Болотов Максим Геннадійович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри зварювального виробництва та автоматизованого проектування будівельних конструкцій, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

Bolotov Maksym – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of Department of Welding Technology and CAD/CAM/CAE Systems of Building Structures, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: bolotovmg@gmail.com

ResearcherID: H-4183-2014

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0915-4132>

Прибитько Ірина Олександрівна – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри зварювального виробництва та автоматизованого проектування будівельних конструкцій, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

Prybytko Iryna – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of Department of Welding Technology and CAD/CAM/CAE Systems of Building Structures, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: prybytko_ira@ukr.net

ResearcherID: F-7325-2014

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8550-8318>

Нагорна Ірина В'ячеславівна – асистент кафедри зварювального виробництва та автоматизованого проектування будівельних конструкцій, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна)

Nahorna Iryna – assistant Lecturer of Department of Welding Technology and CAD/CAM/CAE Systems of Building Structures, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: zavalnaya89@gmail.com

ResearcherID: F-4705-2014

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5075-8712>

Ольга Залета

АНАЛІЗ ТА МОДЕРНІЗАЦІЯ КОНСТРУКЦІЇ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ПАКУВАННЯ ЗАМОРОЖЕНОЇ ПРОДУКЦІЇ

Актуальність теми дослідження. Заморожена продукція має високий попит серед споживачів. Для забезпечення збереження її органолептичних властивостей, зокрема й належного естетичного вигляду, необхідно правильно підібрати упаковку та визначити чини здійснити технологічний процес пакування.

Постановка проблеми. Основним реологічним недоліком замороженої продукції є її крихкість, ламкість, а отже, і висока чутливість до ударних навантажень, що можуть виникати під час реалізації технологічної операції фасування. Усунути цю проблему можна лише шляхом модернізації обладнання, що виконує цей процес.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У відомих дослідженнях, спрямованих на вдосконалення конструкції технологічного обладнання, розглядаються і застосовуються переважно точні методи оптимізаційного синтезу компонентів, у той час як вузькі інженерні завдання, одне з яких висвітлено в цій роботі, часто потребують індивідуального підходу та вирішуються евристичними методами, які значно менш формалізовані.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Існуюче обладнання, що призначене для пакування саме замороженої продукції, має складну конструкцію, значні габарити та не передбачає переналадження, яке б впливало на швидкість переміщення продукції в упаковку.

Постановка завдання. Виявлення механізму, який може впливати на швидкість переміщення сипкого продукту під час його пакування, та вдосконалення його конструкції таким чином, щоб зменшити сили ударної взаємодії частинок замороженої продукції між собою.

Вклад основного матеріалу. У статті здійснено аналіз конструкції типового автомата для пакування сипких речовин. Об'єктом проектування є рукоутворювач та спосіб його фіксації на рамі автомата. Запропонований варіант модернізації полягає в застосуванні механізму регулювання кута нахилу рукоутворювача. Результати проектування представлені у вигляді складального креслення, виконаного в САД-середовищі, на якому зображено спосіб кріплення рукоутворювача на рамі автомата, та механізм, який забезпечує його поворот на потрібний кут.

Висновки відповідно до статті. У роботі розроблено елементи конструкції автомата для пакування сипких речовин, які дозволяють виконати його переналадження, адаптоване під специфічні технологічні вимоги до пакування замороженої продукції. Одержані результати проектування можуть бути використані для переоснащення типового автомата вертикального типу, що призначений для пакування продукції в тришовні полімерні пакети, з метою пакування сипкої або дрібношпичної замороженої продукції будь-якого походження. Запропонована розробка також може бути застосована при виготовленні нового обладнання аналогічного призначення.

Ключові слова: заморожена продукція; пакет; пакування; автомат; механізм; конструкція; проектування; рукоутворювач.

Рис.: 5. Бібл.: 11.

Актуальність теми дослідження. Заморожена продукція (напівфабрикати, морепродукти, овочі, ягоди та ін.) дуже поширена та має попит серед споживачів завдяки помірній ціні і тривалому терміну придатності за умови дотримання належних умов зберігання. Водночас завдяки простоті виготовлення чи переробки вона може випускатись дрібними підприємствами, часто – із залученням значної частки ручної праці, де з огляду на економічні можливості, автоматизовані лише окремі технологічні операції, а дорогі вартісні автоматичні лінії, які б охоплювали весь технологічний процес, залишаються недоступними. У цій же площині існує проблема й з модернізацією обладнання. Ринкова конкуренція зумовлює стрімкий і невпинний розвиток пакувальної галузі, що постійно диктує потреби в удосконаленні тих чи інших технічних засобів, які обслуговують виробничий процес. В ідеалі це досягається періодичним оновленням парку наявного на підприємстві обладнання. Однак у реальних умовах діючого виробництва не завжди є змога придбати нові технологічні машини (ТМ). У такому разі проектне завдання часто спрямовується на розробку (вдосконалення) окремих пристроїв, механізмів, машин, спрямовану або на підвищення показників ефективності їхньої роботи, або на покращення якості продукції, що виготовляється.

Постановка проблеми. Заморожена продукція має специфічні реологічні властивості, що зумовлюють її високу чутливість до механічних впливів, зокрема тих, що виникають під час виконання технологічного процесу її пакування, коли відміряна доза фасується в пакет та зазнає при цьому ударів частинок одна об одну. Для уникнення такого впливу пропонується удосконалити спосіб подачі продукту в пакет та конструкцію механізму, який виконує цю функцію.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Сучасні умови виробництва вимагають підвищення якості проєктованого пакувального обладнання, що переважно призводить до ускладнення його конструкції і, як наслідок, збільшення обсягу проєктних робіт. З іншого боку, обмеження фінансування цих робіт робить необхідним скорочення тривалості та зменшення трудомісткості процесу проєктування. Це зумовлює необхідність застосування систем автоматизованого проєктування (САПР), які б підвищували ефективність робіт, пов'язаних із проєктуванням пакувальних машин (ПМ) [1].

Отже, головне завдання САПР полягає в тому, щоб на ранніх етапах проєктування правильно вибрати основні параметри конструкції і оцінити різні характеристики її ефективності, а також впродовж усього процесу проєктування контролювати зміну цих характеристик так, щоб у результаті пред'явити до випробувань конструкцію, доцільність якої вже не вимагає доведення [2].

Алгоритмізація процесу синтезу компонувань ТМ стала можливою тільки після створення систем їх формалізованого опису з різним ступенем конкретизації. Існує багато методів кодування функцій, технічних характеристик і компонувань машин [3; 4; 5].

Зокрема, у [3] запропоновано описувати компонування з допомогою структурних формул, побудованих згідно з принципами алгебри логіки й теорії множин, що відображають структуру машини та розміщення ФМ у координатному просторі.

Графічний метод опису й синтезу компонувань машини, наведений у [4] полягає в побудові моделей її структури у вигляді принципово-структурних схем ТМ, елементами якої є функціональні модулі (ФМ) – пристрої, що є функціонально самостійними та конструктивно закінченими сукупністю механізмів, що об'єднані спільним функціональним призначенням. Ці схеми описують не лише склад та просторове розташування ФМ, а і зв'язки між ними та траєкторію переміщення рухомих ФМ, що надає більш повну інформацію про ТМ порівняно зі структурними формулами [6].

Аналіз робіт у галузі автоматизації проєктування ТМ свідчить про те, що автоматизовані, переважно креслярські й обчислювальні операції, пов'язані з їх конструюванням. Водночас проблеми вибору найбільш раціональних технологічних і конструкторських рішень залишаються поза межами автоматизованого розв'язання [6; 7].

Проєктування передувє конструюванню і є пошуком науково обґрунтованих, технічно здійснених та економічно доцільних рішень. Результат проєктування – проєкт створюваного об'єкта. Конструювання – створення конкретної однозначної конструкції об'єкта відповідно до проєкту. Конструкція – це взаємне розміщення частин та елементів будь-якого предмета, машини, приладу, яка визначається його призначенням. Конструкція передбачає спосіб з'єднання, взаємодію частин, також матеріал, з якого виготовляють окремі елементи. Конструювання базується на результатах проєктування і уточнює всі інженерні рішення, прийняті під час проєктування. Проєктування і конструювання мають одну мету – це види розумової діяльності, пов'язаної зі створенням конкретного уявленого образу нового виробу, якого ще не існує або існує в іншій формі й має інші розміри. Цей образ зазнає розумових перетворень (перестановка складових частин, заміна їх іншими елементами, або надання їм іншої форми). Одночасно проводиться оцінювання ефективності внесених змін, визначається їхній вплив на кінцевий результат. Об'єкт створюють відповідно до загальних принципів логічного мислення і він набуває згодом кінцевої, технічно обґрунтованої форми й будови [8].

САПР, які найчастіше використовуються для проєктування та конструювання ТМ загалом та ПМ зокрема, є САД-системи, призначені для створення віртуальних моделей машини та її типових ФМ у графічному середовищі відповідних програм. Для цього використовуються три типи даних про об'єкт проєктування: множина віртуальних моделей ФМ, множина параметрів і характеристик (геометричні, фізичні, технічні, техніко-економічні), множина відношень (зв'язків) між ФМ та ознаками чи характеристиками ПМ. Визначальним для якості майбутньої машини завданням є розробка системи правил для об'єднання електронних моделей ФМ у загальну модель машини [1; 6].

Функціонально-модульна структура ТМ викликає деякі особливості її автоматизованого проектування, які необхідно врахувати [7]:

1. Загальна службова функція будь-якого машинного обладнання виконується кінцевою множиною ФМ, кожен з яких виконує закінчену частину загальної службової функції.

2. Вибір ФМ здійснюється на основі ієрархічного підходу. Структура технологічної лінії формується з функціональних елементів у вигляді окремих технологічних машин і транспортних машин, а структура окремої технологічної машини – із функціональних елементів у вигляді окремих функціонально закінчених механізмів і вузлів.

3. Структура технологічного комплексу будь-якого ієрархічного рівня створюється шляхом появи зв'язків між ФМ. Ці зв'язки забезпечують передачу виробів (матеріальні зв'язки), приводи робочих органів (енергетичні зв'язки) та контроль та керування функціонуванням машинного обладнання (інформаційні зв'язки).

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Відсутні конструктивні можливості для переналадження пакувального обладнання під технологічні вимоги для пакування замороженої продукції

Мета статті. Основною метою роботи є аналіз конструкції автомата для пакування сипкої продукції з метою виявлення та вдосконалення механізму, який би забезпечував безпечне фасування чутливих до механічних впливів заморожених виробів в упаковку.

Виклад основного матеріалу. Ця робота присвячена вирішенню завдання модернізації конструкції обладнання для пакування попередньо замороженої продукції, такої як напівфабрикати (пельмені, вареники), ягоди, подрібнені овочі, морепродукти.

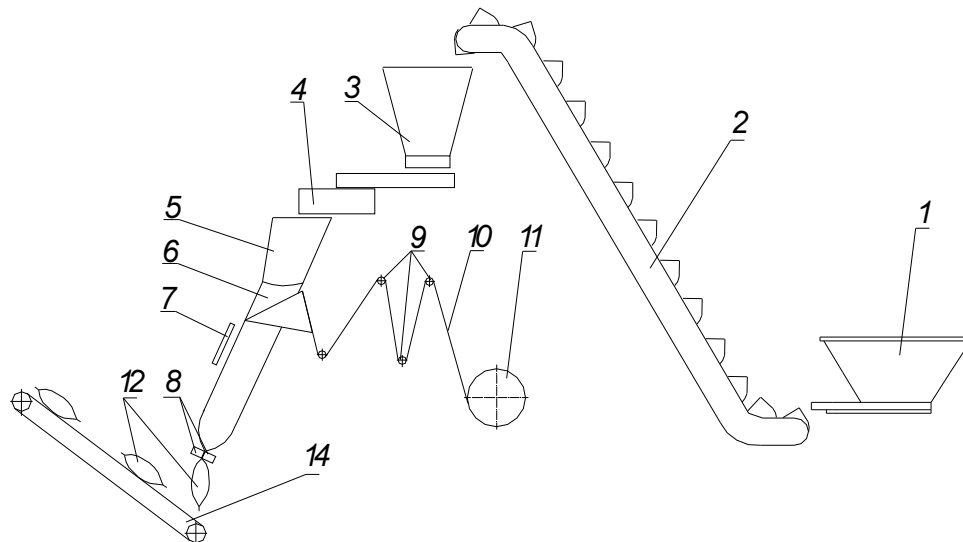
Заморожування напівфабрикатів може здійснюватися тунельним, контактним способами з використанням різного типу швидкоморозильних апаратів і камер. Дрібні плоди, зокрема, заморожують способом флюїдизації (псевдозрідження). Суть методу полягає в тому, що через шар продукту знизу вгору з певною інтенсивністю продувається повітря. При цьому щільний шар продукту переходить у зважений стан, частки продукту інтенсивно перемішуються, бурлять, нагадуючи киплячу рідину. Цей метод забезпечує індивідуальне заморожування, відсутність ефекту злипання, привабливий зовнішній вигляд, високу якість і малі втрати маси [9].

Таким чином, розглядатимемо цю продукцію як сипку і дрібноштучну, до яких можна застосувати то же самий технологічний процес пакування. Взагалі для пакування таких речовин використовуються упаковки, виготовлені з полімерних плівкових матеріалів. Для заморожених виробів придатними є плівки з поліетилену високої густини, поліпропілену чи комбінованих полімерних матеріалів, які володіють достатньою морозостійкістю та механічною міцністю та водночас мають низьку собівартість, що робить їх пріоритетним пакувальним матеріалом серед інших можливих.

Технологічний процес пакування сипкої та дрібноштучної продукції (зокрема продукції, технологія виготовлення якої вимагає попереднього заморожування) у тришовні полімерні пакети в загальному випадку складається з таких технологічних операцій [10]:

- завантаження продукту;
- розмотування і подача пакувального матеріалу;
- формування плівкового рукава;
- зварювання поздовжнього шва пакета;
- протягування плівкового рукава на крок;
- зварювання нижнього поперечного шва пакета;
- дозування продукту і фасування відміряної дози у сформовану упаковку;
- зварювання верхнього поперечного шва пакета;
- відрізання пакета;
- відведення готової продукції;
- утворення транспортної упаковки.

Функціональну схему роботи технологічної лінії для пакування зморожених продуктів представлено на рис. 1.



*Рис. 1. Функціональна схема технологічної лінії для пакування замороженої продукції:
1 – живильник; 2 – завантажувальний транспортер; 3 – бункер; 4 – дозатор; 5 – приймальна воронка;
6 – рукавоутворювач; 7 – механізм поздовжнього зварювання; 8 – механізм поперечного зварювання;
9 – система подаючих валків; 10 – плівка; 11 – рулон; 12 – готова продукція;
13 – відвідний транспортер*

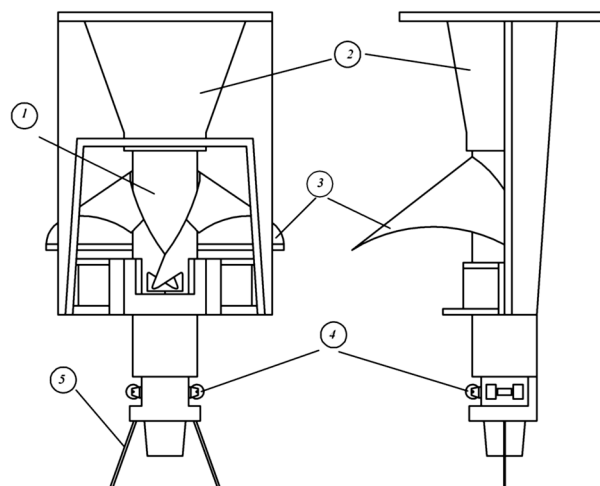
Основна частина цього технологічного процесу реалізується автоматом або напівавтоматом вертикального типу для пакування продукції в тришовні полімерні пакети.

Поставлене інженерне завдання полягає в оптимізації технологічної операції подачі продукту в пакет, яка виконується рукавоутворювачем 7.

Рукавоутворювач – це пристрій для виготовлення рукава стрічки пакувального матеріалу склеюванням, термосклеюванням чи зварюванням [11].

Як видно з рис. 1, рукавоутворювач виконує дві функції одночасно: забезпечує як формоутворення упаковки, так і ціленаправлений рух продукту в пакет. У переважній більшості ПМ, які працюють за принципом описаного технологічного процесу (здебільшого для пакування сипкої продукції) рукавоутворювач розміщений строго вертикально.

У загальному випадку він являє собою металеву трубу (рис. 2) з овальною, круглою або прямокутною формою поперечного перерізу, обладнану «комірцем» або без нього.



*Рис. 2. Механізм рукавоутворення:
1 – приймальний бункер; 2 – продуктопровід; 3 – «комірець»;
4 – натяжні ролики; 5 – механізм поперечного натягування рукава*

Рукавоутворювач працює так: стрічка пакувального матеріалу надходить спочатку до рукавоутворювального комірця 3, після чого формується рукав навколо продуктопроводу 2. Після того, як рукав сформований, пакувальний матеріал надходить до натяжних роликів 4, які забезпечують постійний натяг плівки. Коли упаковка сформована по продуктопроводу 2 продукт подається з дозатора через приймальний бункер 1. Механізм 5 призначений для поперечного натягування рукава. Це потрібно для того, щоб зварний шов мав гарний вигляд, без складок і загинів.

Як відомо з практики роботи підприємств, що спеціалізуються на виготовленні заморожених напівфабрикатів, традиційний варіант просторового розміщення рукавоутворювача зумовлює стрімке висипання виробів та різкі удари один об одного під час потрапляння в плівковий рукав, що може призводити до появи дефектів (тріщин, надломлень) та, як наслідок, зниження їхньої споживчої якості. Тому відмінною особливістю обладнання для пакування саме заморожених продуктів має бути похиле розміщення рукавоутворювача для сповільнення руху виробів та убезпечення їх від механічних пошкоджень. Очевидно, що чим більший кут нахилу, тим плавнішого переміщення вдається досягти. Однак наближення до горизонтального положення, поперше, ускладнює реалізацію операції фасування, по-друге, надмірне гальмування продукту під час його переміщення по внутрішній поверхні рукавоутворювача може негативно відобразитися на продуктивності ПМ. Вибір і налагодження оптимального положення доцільно визначати для конкретної продукції безпосередньо на виробництві.

Таким чином, необхідно спроектувати такий механізм, який, з одного боку, дозволить би зменшити швидкість руху продукції під час її фасування в упаковку, з іншого – положення якого можна було б регулювати безпосередньо під час експлуатації ПМ залежно від потреб, продиктованих властивостями цієї продукції.

Прототипом для модернізації оберемо фасувально-пакувальну машину УФС-30А-3В (рис. 3).

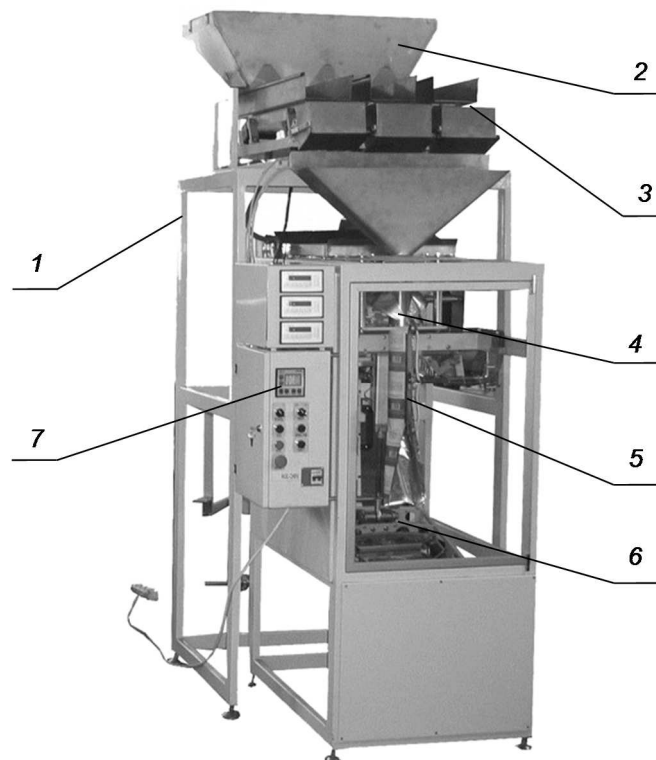


Рис. 3. Пакувальний автомат УФС-30А-3В:

1 – рама; 2 – бункер; 3 – дозатор; 4 – рукавоутворювач; 5 – механізм поздовжнього зварювання; 6 – механізм поперечного зварювання; 7 – блок керування

Процес пакування виконується нею в такій послідовності. Стрічка пакувального матеріалу розмотується з рулону та з допомогою системи механізмів подачі плівки (на рисунку не показані), направляється на рукавоутворювач 4 і обгортає його, утворюючи накладку, що відповідає ширині поздовжнього шва пакета. Механізм поздовжнього зварювання 5 завершує формування рукава. Він являє собою рухому зварну губку, яка притискається до рукавоутворювача в місці накладання країв плівки в момент її вистою, утворює завдяки нагріванню зварний шов та повертається в початкове положення.

Механізм поперечного зварювання 6, що являє собою пару зварних губок, у розімкненому стані переміщується вгору на крок, рівний висоті пакета, після чого змикається, захопивши рукав, і протягує його вниз, зварюючи при цьому одночасно верх нижнього пакета та дно верхнього. Механізми поздовжнього і поперечного зварювання працюють по чергово. Дозування продукту, що висипається із бункера 2, виконується дозатором 3. Фасування відбувається під час утворення поперечних зварних швів упаковки та протягування рукава на крок.

У даному типі обладнання рукавоутворювач розташований у компонованні, як показано на рис. 4.

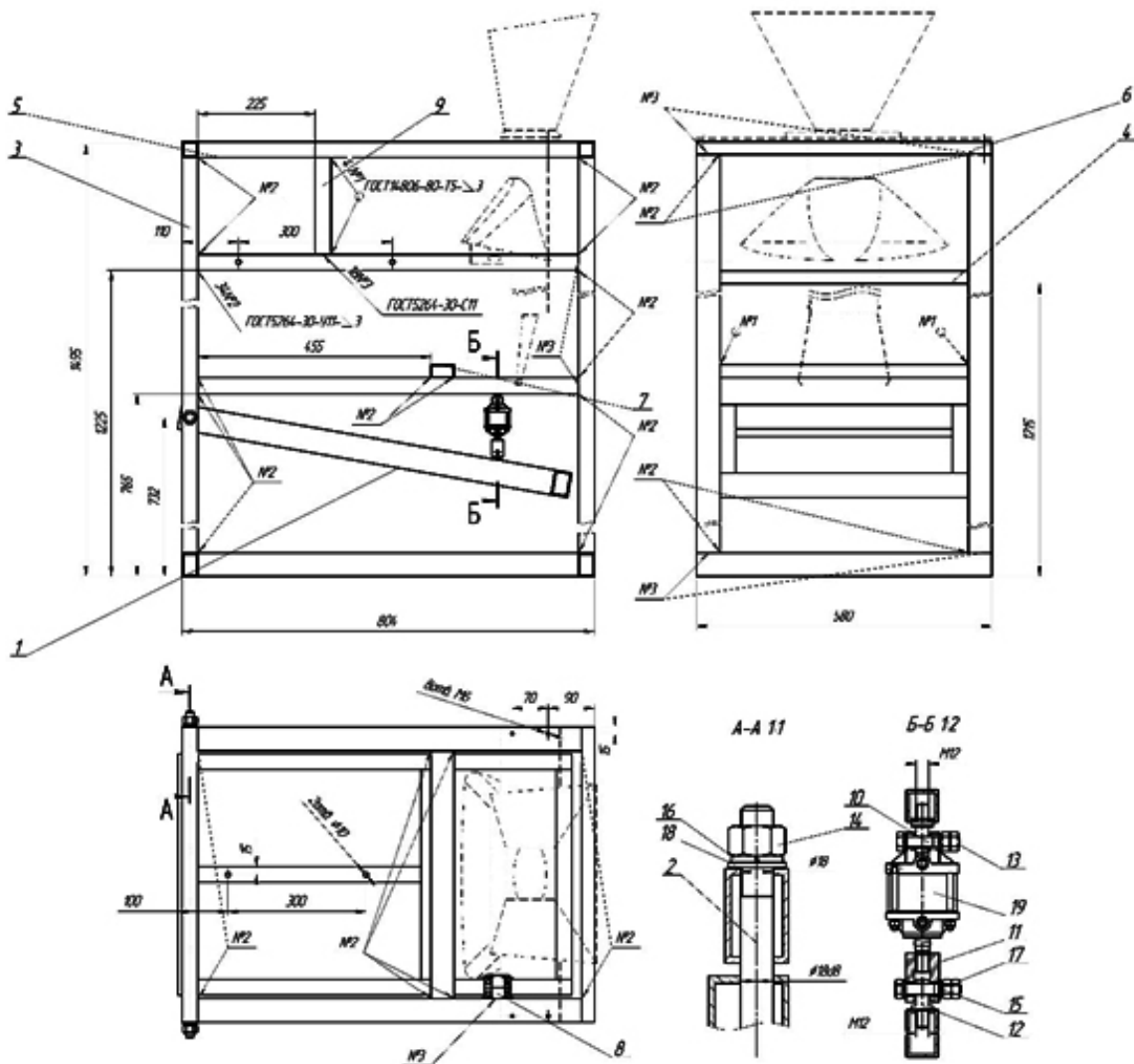


Рис. 4. Загальна конструкція механізму переміщення продукту в пакет:
1 – рамка; 2 – вісь; 3 – стійка; 4 – розпірка; 5 – поперечина довга; 6 – поперечина коротка;
7 – балка; 8 – консоль; 9 – розпірка вертикальна; 10 – болт; 11 – вилка; 12 – вушко;
13-16 – шайби; 17 – гайка; 18 – пневмоциліндр

Поставлене завдання полягає в розробці механізму регулювання положення рукавоутворювача, який забезпечує переміщення замороженої продукції в плівковий рукав. Безпосереднім об'єктом проектування є рама автомата, на якій кріпляться основні виконавчі пристрої. Модернізація цього ФМ полягає в забезпеченні можливості нахилу рукавоутворювача у вертикальній площині на потрібний кут для безпечної подачі дози продукту в пакет без відчутних втрат продуктивності.

На рис. 5 представлено результат проектування конструкції розроблюваного механізму в САПР AutoCAD.

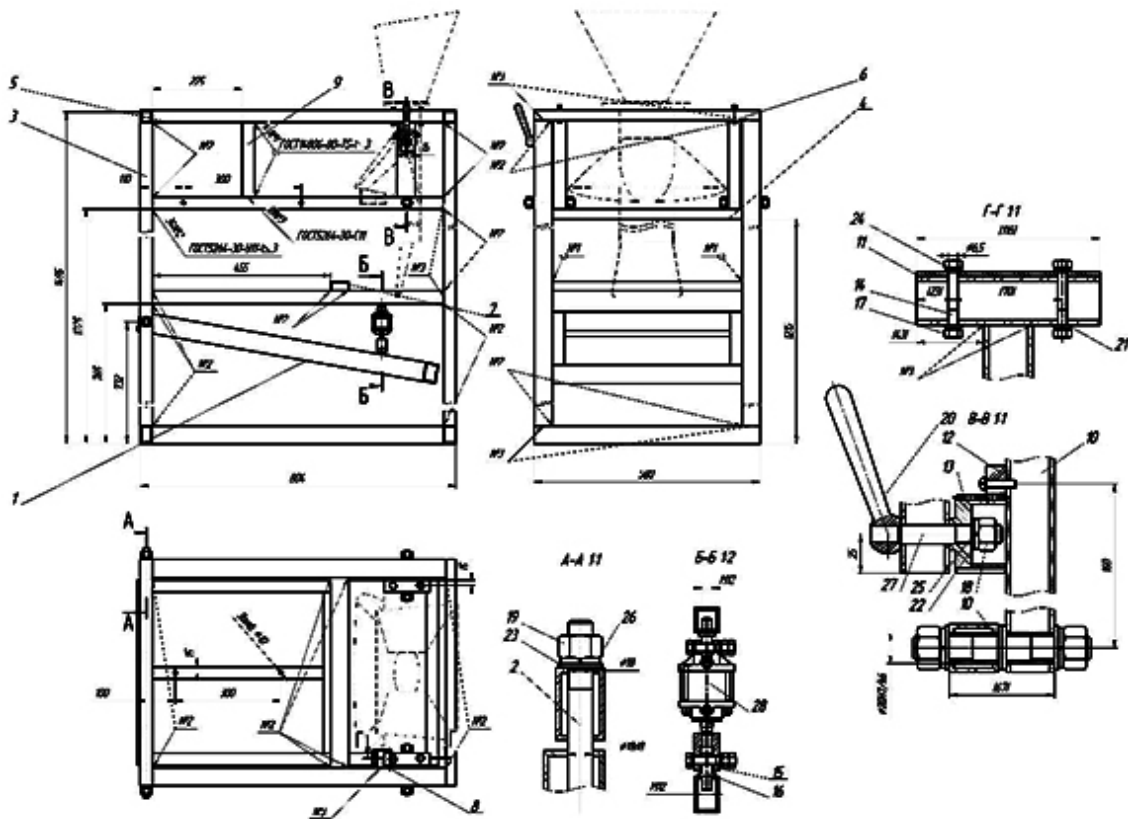


Рис. 5. Модернізована конструкція механізму переміщення продукту в пакет:
 1 – рама; 2 – вісь; 3 – стійка; 4 – розпірка; 5 – поперечина довга; 6 – поперечина коротка; 7 – балка;
 8 – консоль; 9 – розпірка вертикальна; 10 – стійка мала; 11 – полицка; 12 – рейка зубчата;
 13 – колесо зубчасте; 14 – болт; 15 – вилка; 16 – вушко; 17-19 – гайки; 20 – руків'я;
 21-26 – шайби; 27 – шпильки; 28 – пневмоциліндр

Основними елементами модернізованого ФМ є: рамка 1, вісь 2, стійки 3, розпірка 4, довга поперечина 5, коротка поперечина 6, балка 7, консоль 8, вертикальна розпірка 9, стійка 10, полицка 11, зубчата рейка 12, зубчасте колесо 13, руків'я 20, пневмоциліндр 28.

Принцип роботи вузла полягає в наступному: після подачі продукту в плівковий рукав пневмоциліндр 28 переміщує рамку, на якій закріплений механізм поперечного зварювання, вгору. Зварні губки змикаються, після чого рамка опускається вниз. У процесі руху відбувається зварювання поперечних швів пакета і протягування рукава.

У разі виникнення потреби змінити (відрегулювати) кут нахилу механізму рукавоутворення слід повернути руків'я 20. При цьому через рейкову передачу змінюється положення стійок 3 із полицками і закріпленими на них рукавоутворювачем і вузлом поздовжнього зварювання.

Коригування положення механізму рукавоутворення здійснюється оператором, який обслуговує це обладнання. При цьому треба керуватись результатами спостережень за якістю виконання процесу фасування для конкретного виду продукції, що пакується.

Висновки відповідно до статті. На основі викладеного матеріалу можна зробити такі висновки. У роботі виконано модернізацію автомата для пакування продукції в тришарові полімерні пакети шляхом вдосконалення механізму переміщення продукту в пакет, а саме – розроблено і представлено на кресленні детальну конструкцію механізму рукавоутворення, який забезпечує безпечне переміщення чутливої до механічних впливів замороженої продукції в пакет. При цьому забезпечено можливість регулювання кута нахилу відповідно до реологічних особливостей продукції, що пакується. Такий спосіб вдосконалення адаптований під специфічні технологічні вимоги до пакування замороженої продукції. Отриманий результат може бути використаний для переоснащення типового пакувального обладнання зазначеного виду з метою пакування сипкої чи дрібноштучної замороженої продукції, або застосований для виготовлення нового обладнання подібного призначення.

Список використаних джерел

1. Пальчевський Б. О. Автоматизований синтез технологічних машин. *Міжвузівський збірник «Наукові нотатки»*. Луцьк, 2009. № 26. С. 266–270.
2. Пальчевський Б. О. Принципи побудови і сучасні тенденції розвитку методів проектування технологічного обладнання (на прикладі пакувального виробництва). *Науковий журнал «Технологічні комплекси»*. 2010. № 1. С. 3–9.
3. Агрегатно-модульне технологічне обладнання: у 3 част. : навч. посіб. для ВНЗ / під заг. ред. Ю. М. Кузнецова. Частина 1. Принципи побудови агрегатно-модульного технологічного обладнання. Кіровоград, 2003. 422 с.
4. Шувалова Л. А. Методы абстрактного синтеза структуры и последовательности выполнения операций фасовочно-упаковочных машин. *Вісник Технологічного університету Поділля*. 2005. № 4. С. 55–58.
5. Романенко В. Д. Методи автоматизації прогресивних технологій : підручник. Київ : Вища школа, 1995. 519 с.
6. Основи САПР пакувального обладнання : навч. посіб. / Б. О. Пальчевский та ін. Луцьк : РВВ ЛНТУ, 2008. 160 с.
7. Автоматизация процессов машиностроения : учеб. пособие для машиностр. спец. вузов / Я. Буда и др. ; под ред. А. И. Дашенко. Москва : Высш. шк., 1991. 480 с.
8. Кіндрацький Б. І. Раціональне проектування машинобудівних конструкцій : монографія. Львів : КІНПАТРИ ЛТД, 2003. 280 с.
9. Назаренко В. О. Формування якості товарів: Частина 1 : навч. посіб. Київ : Центр учбової літератури, 2012. 386 с.
10. Гавва О. М. Пакувальне обладнання : в 3 кн. Кн. 1. Обладнання для пакування продукції у споживчу тару. Київ : ІАЦ «Упаковка», 2008. 436 с.
11. Пристрої устаткування для пакування функціональні. Терміни та визначення: ДСТУ 2379-94. Київ : Держстандарт України, 1995. 21 с.

References

1. Palchevsky, B. O. (2009). Avtomatyzovanyi syntezy tehnologichnyh mashyn [Automated synthesis of technological machines]. *Mizhvuziv's'kyi zbirnyk «Naukovi notatky» – Intercollegiate collection «Scientific Notes»*, 26, 266–270 [in Ukrainian].
2. Palchevsky, B. O. (2010). Prynypy pobudovy i suchasni tendencii rozvytku metodiv proektuvannya tehnologichnogo obladdnannya [Principles of construction and modern trends in the development of methods for technological equipment design (on the example of packaging production)]. *Naukovyi zhurnal «Tehnologichni komplekсы» – Scientific journal «Technological complexes»*, 1, 3–9 [in Ukrainian].
3. Kuznetsov, Yu. M. (Ed.). (2003). *Agregatno-modulne tehnologichne obladdnannya [Aggregate-modular technological equipment]*. (Vols. 3. Vol. 1. Prynypy pobudovy agregatno-modulnogo tehnologichnogo obladdnannya – Principles of construction of aggregate-modular technological equipment). Kirovograd [in Ukrainian].
4. Shuvalova, L. A. (2005). Metody abstraktnogo sinteza struktury i posledovatelnosti vypolneniya operatsiyi fasovochno-upakovochnykh mashyn [Methods of abstract structure synthesis and sequencing operations of packing machines]. *Visnyk Tehnologichnoho universyrtu Podillya – Bulletin of the Technological University of Podillya*, 4, 55–58 [in Ukrainian].

5. Romanenko, V. D. (1995). *Metody avtomatyzatsii progresyvnih tehnologiy [Methods of automation of advanced technologies]*. Kyiv: Higher school [in Ukrainian].
6. Palchevsky, B. O., Krestyanpol, O. A., Valetskyi, B. P., Bondarchuk, D. V., Rak, V. S. (2008). *Osvovy SAPR pakuvalnogo obladnannya [Fundamentals of CAD-design of packaging equipment]*. Lutsk: LNTU [in Ukrainian].
7. Buda, J., Ganovski, V., Wichmann, V. S., Dashchenko, A. I. (Ed.) (1991). *Avtomatizatsiia protsesov mashynostroeniia [Automation of mechanical engineering processes]*. Moscow: Higher school [in Russian].
8. Kindratsky, B. I., Sulim, G. T. (2003). *Ratsionalne proektuvannya mashynobudivnyh konstruktsiy [Rational design of machine-building structures]*. Lviv: KINPATRI LTD [in Ukrainian].
9. Nazarenko, V. O., Yudicheva, O. P., Zhuk, V. A. (2012). *Formuvannia yakosti tovariv [Formation of product quality]*. (Vol. 1). Kyiv: Center for Educational Literature [in Ukrainian].
10. Gavva, O. M., Bezpalko, A. P., Volchko, A. I. (2008). *Pakuvalne obladnannya [Packing equipment]*. (Vols 1-3). Vol. 1: *Obladnannya dlya pakuvannya produktiv v spozhyvchu taru – Equipment for packaging products in consumer packag.* Kyiv: IAC “Packag” [in Ukrainian].
11. DSTU 2379-94. *Devices of the equipment for packing are functional. Terms and definitions* (1995). Kyiv: State Standard of Ukraine.

UDC 621.798:004.9

Olga Zaleta

ANALYSIS AND MODERNIZATION OF EQUIPMENT CONSTRUCTION FOR PACKAGING OF THE FROZEN PRODUCTS

Urgency of the research. Frozen products are in high demand among the consumers. To ensure the preservation of its organoleptic properties, including the proper aesthetic appearance, it is necessary to properly select the package and in a certain way to carry out the packaging technological process.

Target setting. The main rheological disadvantage of the frozen products is its fragility, fracturing, and hence high sensitivity to shock loads that may occur during the implementation of the technological operation. This problem can be solved only by upgrading the equipment, that performs this process.

Actual scientific researches and issues analysis. In the known studies aimed at improving the design of technological equipment, mainly exact methods of optimization synthesis of configurations are considered and applied, while narrow engineering problems, one of which is considered in this paper, often require an individual approach and are solved by heuristic methods, which are much less formalized.

Uninvestigated parts of general matters defining. Existing equipment designed for packaging frozen products has a complex structure, large dimensions and does not provide for readjustment, which would affect the speed of the movement of the products into the package.

The research objective. To identify a mechanism that can affect the speed of the movement of the bulk product during its packaging, and improve its design to reduce the impact forces of the particles of the frozen products with each other.

The statement of basic materials. The article analyzes the design of a typical machine for packaging bulk materials. The object of design is the sleeve former and the method of its fixation on the machine frame. The design results are presented in the form of an assembly drawing made in CAD-environment, which shows the method of mounting the sleeve former on the machine frame and the mechanism that ensures its rotation to the desired angle.

Conclusions. The paper develops elements of the design of the machine for packaging bulk materials, which allow us to perform its readjustment, adapted to the specific technological requirements for the packaging of the frozen products. The obtained design results can be used to re-equip a typical vertical type machine, which is designed for packaging products in three-seam polymer bags, to pack bulk or small frozen products of any origin. The proposed development can also be used in designing of new equipment for similar purposes.

Keywords: frozen products; package; packaging; machine; mechanism; construction; design; sleeve former.

Fig.: 5. References: 11.

Залета Ольга Михайлівна – кандидат технічних наук, доцент кафедри прикладної механіки, Луцький національний технічний університет (вул. Потебні, 56, м. Луцьк, 46018, Україна).

Zaleta Olga – PhD in Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Applied Mechanic, Lutsk National Technical University (56 Potebni Str., 46018 Lutsk, Ukraine).

E-mail: o.zaleta@lutsk-ntu.com.ua

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0777-9972>

УДК 621.321

DOI: 10.25140/2411-5363-2020-2(20)-46-52

Олег Марков, Антон Хващинський,
Володимир Панов, Павло Різак, Роман Житніков

УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСУ ОСАДЖЕННЯ МАСИВНИХ ЗАГОТОВОК ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ ЕНЕРГЕТИЧНОГО МАШИНОБУДУВАННЯ

Актуальність теми дослідження. Технологічні процеси кування масивних поковок відповідального призначення потребують точного встановлення технологічних режимів процесу деформування. Це потрібно для забезпечення високої якості та оптимальних витрат при виготовленні виробів вагою від 20 до 200 тонн. Оптимальні технологічні режими кування можна встановити на основі даних напружено-деформованого стану заготовки при куванні.

Постановка проблеми. Кування великих поковок є дрібносерійним та одиничним видом дороговартісного виробництва з низькою ліквідністю, тому ці процеси потребують попереднього скінчено-елементного моделювання напружено-деформованого стану та силових параметрів кування. Моделювання повинно дозволяти точно встановлювати напружено-деформований стан заготовки в процесі кування.

Аналіз досліджень і публікацій. На основі аналізу публікацій за останні роки було встановлено, що основну увагу при моделюванні процесів кування великих поковок методом скінчених елементів приділяли формозміненню заготовки при використанні нових способів кування та деформуючого інструменту.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Невирішеними залишаються питання щодо ефективних кута та глибини граней чотирипроменевої заготовки, які дозволять інтенсифікувати заковування внутрішніх дефектів.

Метою статті є підвищення якості деталей відповідального призначення за рахунок заварювання внутрішніх дефектів на основі вдосконалювання операції осадження чотирипроменевих злитків.

Виклад основного матеріалу. У роботі досліджений спосіб осадження масивних злитків. На основі скінчено-елементного моделювання був встановлений розподіл інтенсивності деформації у меридіональному перерізі після осадження чотирипроменевих заготовок. Теоретичне дослідження дозволило встановити розподіл деформації в об'ємі поковки при осадженні чотирипроменевих заготовок. Скінчено-елементне дослідження дозволило встановити, що раціональна висота граней повинна становити 15 % від діаметра заготовки. При такій висоті граней відбувається максимальне заковування внутрішнього отвору.

Висновки відповідно до статті. Скінчено-елементне дослідження дозволило встановити, що раціональна висота граней повинна становити 15 % від діаметра заготовки. У результаті досліджень виконаних у роботі було встановлено, що осадження чотирипроменевих заготовок підвищує якість масивних деталей.

Ключові слова: кування; осадження; злиток; внутрішній дефект; масивна деталь; чотирипроменева заготовка; увігнуті грані; МСЕ; параметр напруженого стану; напруження стискання.

Рис.: 4. Бібл.: 14.

Актуальність теми дослідження. Технологічні процеси кування масивних поковок відповідального призначення потребують точного встановлення технологічних режимів процесу деформування. Це потрібно для забезпечення високої якості та оптимальних витрат при виготовленні виробів вагою від 20 до 200 тонн. Оптимальні технологічні режими кування можна встановити на основі даних напружено-деформованого стану заготовки при куванні.

Постановка проблеми. Кування великих поковок є дрібносерійним та одиничним видом дороговартісного виробництва з низькою ліквідністю, тому ці процеси потребують попереднього скінчено-елементного моделювання напружено-деформованого стану та силових параметрів кування. Моделювання повинно дозволяти точно встановлювати напружено-деформований стан заготовки в процесі кування.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Розробка та проектування технологічних процесів виготовлення масивних поковок спрямовані на пошук раціональних способів осадження для підвищення дрібнозернистості структури металу. У масивних злитках основна локалізація усадкових дефектів відбувається в осьовій зоні. Це викликано відповідним напружено-деформованим станом (НДС) при деформуванні. Застосування операцій осадження та протягування підвищує рівномірність механічних властивостей, але при цьому підвищується трудомісткість і енергоємність процесу кування.

Останніми роками кількість масивних поковок, виготовлених зі злитків, підвищується. Це пояснюється збільшенням потужності важких машин. Однак якість виготовлених поковок не завжди відповідає вимогам замовника. Низька якість масивних поковок пояснюється низькою якістю вихідних злитків [3; 4].

Потреба в масивних кованих деталях, що виготовляються з використанням операції осадження, останнім часом зростає, як показано в роботі [5]. Якість таких поковок визначається механічними властивостями та ступенем неоднорідності структури металу. Застосувані процеси кування масивних поковок не гарантують одержання високої якості.

У роботі [6] розглянуто спеціальні методи кування масивних виробів. Ці методи кування відрізняються типом використовуваних операцій, режимами деформування й геометрією бойків [7]. Механічні властивості деталей переважно залежать від використання операцій осадження й подальшого протягування. При розробці ефективних техпроцесів деформування основний інтерес становить вдосконалення операції осадження.

Зростання виробництва поковок високої якості вимагає розвитку і впровадження нових техпроцесів кування з низькими витратами, як відзначається в роботі [8]. Однак у роботі не досліджувалися нові способи осадження, що дозволяють знизити силу деформування. Деформування секційним інструментом або зміна перерізу заготовки дозволяє знизити силу осадження [9].

Основним дефектом поковок після осадження є несучільність в осьовій зоні, яка встановлюється ультразвуковим контролем [10]. На думку авторів, виникнення цього дефекту пояснюється несприятливим НДС при осадженні заготовок циліндричної форми за рахунок появи радіального плинину металу, що приводить до внутрішніх розривів металу заготовки. Оригінальна модель, що описує закриття дефектів, а також враховує орієнтацію дефектів і деформований стан заготовки розроблена авторами роботи [11]. Модель була розроблена й перевірена на основі значної кількості експериментів методом скінчених експериментів (МСЕ). Однак великогабаритні злитки мають внутрішні дефекти, подовженої форми тому ці дефекти краще моделювати осьовим отвором. Однак отримана модель не є універсальною для моделювання закриття осьової пористості.

Авторами роботи [12] запропонований спосіб і оснащення для осадження дисків із бобишкою. Осадження проводиться із застосуванням операції розгонки поля диска. Обмеженням цього способу осадження є те, що інструмент не перекриває все поле диску. Залишаються непродеформовані ділянки з утворенням затисків, що призводить до збільшення витрат металу при механічній обробці.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. На основі літературного огляду встановлено, що вдосконалення техпроцесів кування з використанням спеціального способу осадження заготовок являє собою важливе наукове та практичне значення, яке підтверджує актуальність роботи [13; 14]. Більше того, осадження не забезпечують високих і ізотропних механічних властивостей осьової зони деталі через неповне заковування внутрішніх дефектів злитка, що вимагає проведення подальших досліджень у цьому напрямі. Одним із напрямів удосконалення операції осадження є застосування профілювання заготовки перед осадженням. Встановлено, що увігнуті грані з кутом 120° не сприяють повному закриттю осьової пористості. Збільшення глибини граней при цьому куті знижує ступінь заварювання внутрішніх дефектів. Тому потрібно проводити подальші дослідження для визначення ефективних кута та глибини граней чотирипроменевої заготовки, які дозволять інтенсифікувати заковування внутрішніх дефектів.

Метою статті є підвищення якості деталей відповідального призначення за рахунок заварювання внутрішніх дефектів на основі вдосконалення операції осадження чотирипроменевих злитків.

Виклад основного матеріалу. Моделювання процесу осадження профільованих на чотирипроменевий переріз заготовок проводилося методом скінчених елементів (МСЕ). За результатами моделювання встановлювалися розподіл НДС поковки й формозміна осьового дефекту після осадження. Після профілювання всі заготовки осаджувалися на 50 %. Рівняння зв'язку компонент напружень і швидкостей деформацій

$$S_{ij} = \frac{2\bar{\sigma}}{3\dot{\bar{\epsilon}}} \dot{\bar{\epsilon}}_{ij},$$

де $\dot{\bar{\epsilon}}_{ij}$, σ_{ij} – компоненти швидкостей деформацій і напружень;

S_{ij} – компоненти девіатора напружень.

Крива течії матеріалу задана рівнянням $\bar{\sigma} = \sigma(\bar{\epsilon}, \dot{\bar{\epsilon}}, T)$,

де $\bar{\epsilon}$, $\dot{\bar{\epsilon}}$, T – інтенсивності деформацій і швидкостей деформацій;

T – температура.

Заготовки для скінчено-елементного моделювання мали такі розміри (рис. 1): зовнішній діаметр заготовки $D = 1,5$ м, висота заготовки $H = 3,75$ м, діаметр отвору дефекту приймався 10 % від зовнішнього діаметра заготовки (0,15 м), кут граней заготовки становив 150° . Глибина увігнутих граней ($h = d/D$) досліджувалася в діапазоні 15, 20 і 25 % від діаметра заготовки.

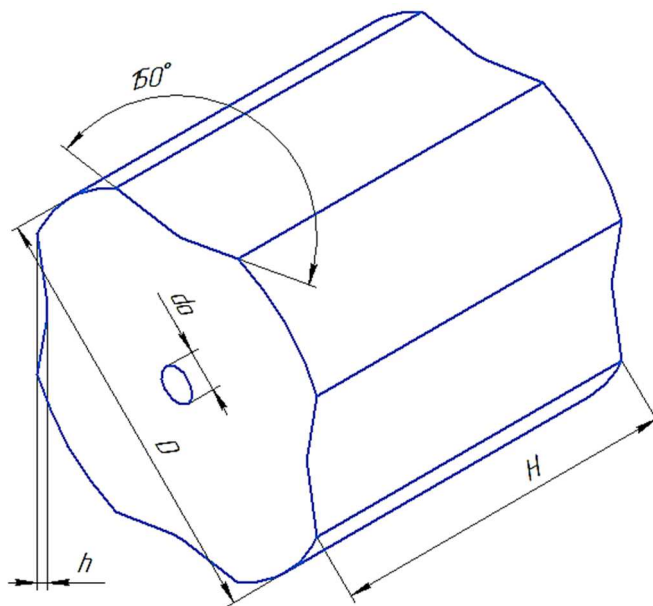


Рис. 1. 3D-модель профільованої заготовки на чотирипроменевий переріз

Матеріал – сталь 70X3ГНМФ, температура нагрівання заготовки 1150°C , температура інструмента – 20°C , коефіцієнт тертя 0,45, сітка містить 75 000 елементів, швидкість деформування 35 мм / с. Параметр схеми напруженого стану осьової зони заготовки

$$\Pi_\sigma = \frac{3\sigma_{cp}}{\sigma_i},$$

де σ_{cp} – гідростатичний тиск, МПа;

σ_i – інтенсивність напружень, МПа.

На заковування дефектів у процесі осадження чотирипроменевої заготовки чинить вплив глибина увігнутих граней. У дослідженні використовувалися ввігнуті грані з кутом 150° і відносною їхньою глибиною d/D , яка становила 25; 20 і 15 %. Ступінь заковування отвору після осадження профільованих чотирипроменевих заготовок на 50 % показано на рис. 2. За результатами моделювання було виявлено, що для розглянутих параметрів глибин граней відбувається заковування отвору в середній частині поковки. Ступінь заковування отвору більше для зразків із відносною глибиною граней 15 %. Заготовки, профільовані на глибину 25 %, показали гірші результати щодо закриття осьового дефекту.

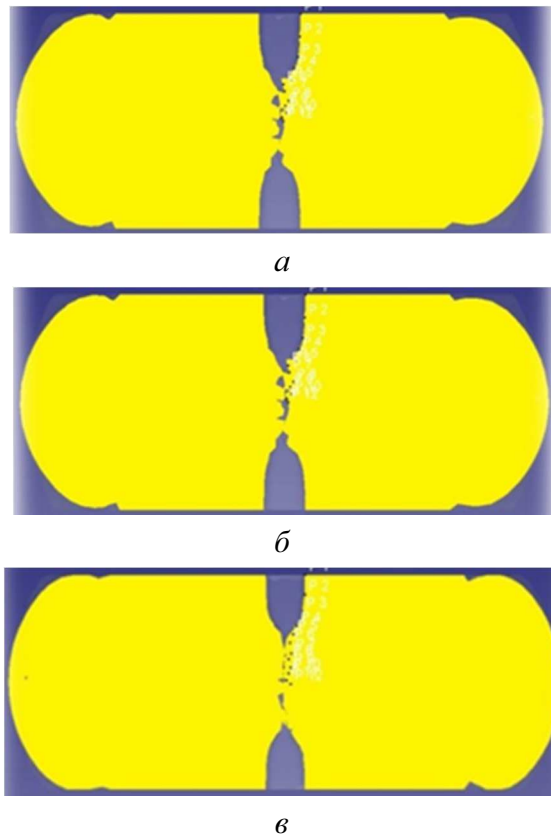


Рис. 2. Заковування отвору після осадження профільованих чотирипроменевих заготовок на 50 %:
 а – $d/D=25\%$; б – $d/D=20\%$; в – $d/D=15\%$

Залежність механізму заковування отвору в процесі осадження чотирипроменевих моделей з різною відносною висотою граней показано на рисунку 3. Аналіз отриманих результатів дозволив установити, що відносна глибина граней більше 15 % не приводить до збільшення ступеня заковування дефекту.

Після осадження чотирипроменевих заготовок з $d/D=15\%$ на 50 % відбувається заковування діаметра дефекту на 50 % (рис. 3).

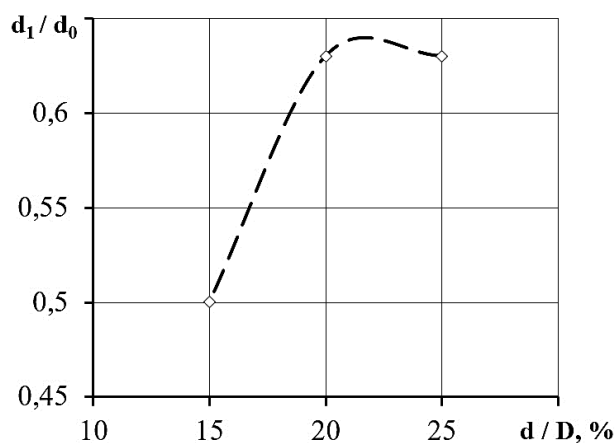


Рис. 3. Залежність відносного діаметра отвору в процесі осадження чотирипроменевих моделей із різною відносною глибиною граней

Розподіл логарифмічних деформацій у меридіональному перерізі поковки після деформації на 50 % представлено на рис. 4. Деформації з максимальною величиною розташовуються в центральній частині поковки, а з мінімальною – на плоских торцях поковки. Розподіл деформацій для різних параметрів заготовок із чотирипромінним перерізом має

схожі результати. Але при осадженні чотирипроменевих заготовок із глибиною граней $d/D = 15\%$ площа деформацій із максимальною величиною більше на 35...45% у порівнянні з іншими параметрами заготовок (рис. 4).

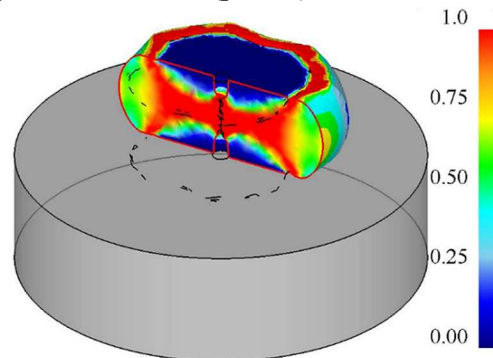


Рис. 4. Розподіл логарифмічних деформацій у процесі осадження чотирипроменевих заготовок ($d/D = 0,15$)

Висновки відповідно до статті. Установлений вплив кута граней чотирипроменевих заготовок 150° на розподіл деформацій, напружень і заварювання внутрішніх дефектів після осадження. Заковування отвору починає відбуватися при деформації 10%. Максимальне заковування отвору відбувається після осадження на 65% при відносній глибині граней 15...20% від діаметра заготовки. Увігнуті грані глибиною 15% від діаметра заготовки після осадження на 55% приводять до виникнення в тілі заготовки стискаючих напружень. Розроблений новий науково обґрунтований спосіб осадження чотирипроменевих заготовок, який підвищує якість масивних поковок. На основі проведених комплексних теоретичних досліджень розроблені рекомендації для проектування техпроцесів кування за новими схемами деформування.

Список використаних джерел

1. Markov O. E., Gerasimenko O. V., Shapoval A. A., Abdulov O. R., Zhytnikov R. U. Computerized simulation of shortened ingots with a controlled crystallization for manufacturing of high-quality forgings. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2019. Vol. 103. P. 3057–3065. DOI: <http://doi.org/10.1007/s00170-019-03749-4>.
2. Smyrnov Y. N., Skliar V. A., Belevitin V. A., Shmyglya R. A., Smyrnov O. Y. Defect healing in the axial zone of continuous-cast billet. *Steel in Translation*. 2016. Vol. 46(5). P. 325-328. DOI: <http://dx.doi.org/10.3103/S0967091216050132>.
3. Wang J., Fu P., Liu H., Li D., Li Y. Shrinkage porosity criteria and optimized design of a 100-ton $30\text{Cr}_2\text{Ni}_4\text{MoV}$ forging ingot. *Mater. Design*. 2012. Vol. 35. P. 446-456. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.matdes.2011.09.056>.
4. Zhang X-X., Cui Z-S., Chen W., Li Y. A criterion for void closure in large ingots during hot forging. *J Mater Process Tech*. 2009. Vol. 209(4). P. 1950-1959. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2008.04.051>.
5. Dobrzański L. A., Grajcar A., Borek W. Influence of hot-working conditions on a structure of high-manganese austenitic steels. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*. 2008. Vol. 29 (2). P. 139–142.
6. Baiqing Z., Haixing L., Yifei T., Dongbo L., Yong X. Research on Charging Combination Based on Batch Weight Fit Rule for Energy Saving in Forging. *Mathematical Problems in Engineering*. 2015. Article ID 531756. 9 pages. DOI: <http://dx.doi.org/10.1155/2015/531756>.
7. Ameli A., Movahhedy M. R. A parametric study on residual stresses and forging load in cold radial forging process. *Int J Adv Manuf Tech*. 2007. Vol. 33(1–2). P. 7–17. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s00170-006-0453-2>.
8. Hippenstiel F., Johann K.-P. Recent developments in gear steels for use in power generation plants. *Forgemasters Meeting*, Santander, Spain. 2008. 3–7 Nov.
9. Markov O. E., Oleshko M. V., Mishina V. I. Development of Energy-saving Technological Process of Shafts Forging Weighting More Than 100 Tons without Ingot Upsetting. *Metalurgical and Mining Industry*. 2011. Vol. 3(7). P. 87–90. DOI: <http://www.metaljournal.com.ua/assets/Uploads/attachments/87Markov.pdf>.

10. Markov O. E., Perig A. V., Markova M. A., Zlygoriev V. N. Development of a new process for forging plates using intensive plastic deformation. *Int J Adv Manuf Technol.* 2016. Vol. 83(9-12). P. 2159–2174. DOI: <http://doi.org/10.1007/s00170-015-8217-5>.

11. Saby M., Bouchard P.-O., Bernacki M. A geometry-dependent model for void closure in hot metal forming. *Finite Elements in Analysis and Design.* 2015. Vol. 105. P. 63–78. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.finel.2015.07.003>.

12. Markov O. E. Forging of Large Pieces by Tapered Faces. *Steel in Translation.* 2012. Vol. 42 (12). P. 808–810. DOI: <https://doi.org/10.3103/S0967091212120054>.

13. Kakimoto H., Arikawa T., Takahashi Y., Tanaka T., Imaida Y. Development of forging process design to close internal voids. *J Mater Process Tech.* 2010. Vol. 210(3). P. 415–422. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2009.09.022>.

14. Kun C., Yitao Y., Guangjie S., Kejia L. Strain function analysis method for void closure in the forging process of large sized steel ingot. *Computational Materials Science.* 2012. Vol. 51(1). P. 72–77. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.commatsci.2011.07.011>.

References

1. Markov, O. E., Gerasimenko, O. V., Shapoval, A. A., Abdulov, O. R., & Zhytnikov, R. U. (2019). Computerized simulation of shortened ingots with a controlled crystallization for manufacturing of high-quality forgings. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 103, 3057–3065. DOI: <http://doi.org/10.1007/s00170-019-03749-4>.

2. Smyrnov, Y. N., Skliar, V. A., Belevitin, V. A., Shmyglya, R. A., & Smyrnov, O. Y. (2016). Defect healing in the axial zone of continuous-cast billet. *Steel in Translation*, 46(5), 325–328. DOI: <http://dx.doi.org/10.3103/S0967091216050132>.

3. Wang, J., Fu, P., Liu, H., Li, D., Li, Y. (2012). Shrinkage porosity criteria and optimized design of a 100-ton 30Cr₂Ni₄MoV forging ingot. *Mater. Design*, 35, 446–456. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.matdes.2011.09.056>.

4. Zhang, X-X., Cui, Z-S., Chen, W., Li, Y. (2009). A criterion for void closure in large ingots during hot forging. *J Mater Process Tech.*, 209(4), 1950–1959. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2008.04.051>.

5. Dobrzański, L. A., Grajcar, A., Borek, W. (2008). Influence of hot-working conditions on a structure of high-manganese austenitic steels. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, 29 (2), 139–142.

6. Baiqing, Z., Haixing, L., Yifei, T., Dongbo, L., Yong, X. (2015). Research on Charging Combination Based on Batch Weight Fit Rule for Energy Saving in Forging. *Mathematical Problems in Engineering*. – Article ID 531756, 9 pages. DOI: <http://dx.doi.org/10.1155/2015/531756>.

7. Ameli, A., Movahhedy, M.R. (2007). A parametric study on residual stresses and forging load in cold radial forging process. *Int J Adv Manuf Tech.*, 33(1–2), 7–17. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s00170-006-0453-2>.

8. Hippenstiel, F., Johann, K.-P. (2008). Recent developments in gear steels for use in power generation plants. *Forgemasters Meeting*, Santander, Spain, (3–7 Nov. 2008).

9. Markov, O.E., Oleshko, M.V., Mishina, V.I. (2011). Development of Energy-saving Technological Process of Shafts Forging Weighting More Than 100 Tons without Ingot Upsetting. *Metalurgical and Mining Industry*, 3(7), 87–90. DOI: <http://www.metaljournal.com.ua/assets/Uploads/attachments/87Markov.pdf>.

10. Markov, O. E., Perig, A. V., Markova, M. A., Zlygoriev, V. N. (2016). Development of a new process for forging plates using intensive plastic deformation. *Int J Adv Manuf Technol.*, 83(9-12), 2159–2174. DOI: <http://doi.org/10.1007/s00170-015-8217-5>.

11. Saby, M., Bouchard, P.-O., Bernacki, M. (2015). A geometry-dependent model for void closure in hot metal forming. *Finite Elements in Analysis and Design*, 105, P. 63–78. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.finel.2015.07.003>.

12. Markov, O.E. (2012). Forging of Large Pieces by Tapered Faces. *Steel in Translation*, 42 (12), 808–810. DOI: <https://doi.org/10.3103/S0967091212120054>.

13. Kakimoto, H., Arikawa, T., Takahashi, Y., Tanaka, T., Imaida, Y. (2010). Development of forging process design to close internal voids. *J Mater Process Tech.*, 210(3), 415–422. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2009.09.022>.

14. Kun, C., Yitao, Y., Guangjie, S., Kejia, L. (2012). Strain function analysis method for void closure in the forging process of large sized steel ingot. *Computational Materials Science*, 51(1), 72–77. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.commatsci.2011.07.011>.

UDC 621.321

Oleg Markov, Anton Khvashchynskiy, Volodymyr Panov, Pavel Rizak, Roman Zhytnikov
**IMPROVEMENT OF THE DRAUGHT PROCESS OF MASSIVE WORKPIECES
 FOR THE PRODUCTION OF PARTS FOR ENERGY ENGINEERING**

Urgency of the research. Technological processes of forging large-sized workpieces with responsible destination require precise determination of technological modes of the deformation process. It is necessary to ensure high quality and optimal cost in the manufacture of products weighing from 20 to 200 tons. The optimal technological forging regimes can be established on the basis of the data of the stress-strain state of the workpiece during forging.

Target setting. The forging of large forgings is a small-scale and single type of expensive production with low liquidity; therefore, these processes require preliminary finite-element modeling of the stress-strain state and power parameters of forging. Modeling should allow to accurately establish the stress-strain state of the workpiece in the forging process.

Actual scientific researches and issues analysis. Based on the analysis of publications in recent years, it was found that the main attention in modeling the processes of forging large forgings using the finite element method was given to changing the shape of the workpiece when using new methods of forging and deforming tools.

Uninvestigated parts of general matters defining. Unresolved issues remain the effective angle and depth of the faces of the four-beam blanks, which will intensify the forging of internal defects.

The research objective is to improve the quality of responsible parts by welding of the internal defects on the basis of improving the operation of the upsetting of four-beam ingots.

The statement of basic materials. The method of draught of large ingots has been investigated in this work. Strains effective and mean stresses in the longitudinal cross-section of the workpiece with concave faces after draught have been determined by finite element modeling. The theoretical investigations allowed to determine a distribution of stresses and strains parameters into body of the four-beam workpieces after draught. Finite element modeling allowed to found a rational depth of the concave faces should be which has to be 15 % from workpiece diameter. Maximum closing of the internal defect take place for this depth of the concave faces.

Conclusions. Finite element modeling allowed to found a rational depth of the concave faces should be which has to be 15 % from workpiece diameter. It has been established that draught of the four-beam workpieces improved a quality of the massive parts.

Keywords: forging; upsetting; ingot; internal defect; massive part; four-beam workpiece; concave faces; FEM; compressive stresses.

Fig.: 4. References: 14.

Марков Олег Євгенійович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри комп'ютеризованого дизайну і моделювання процесів і машин, Донбаська державна машинобудівна академія (вул. Академічна, 72, м. Краматорськ, 84313, Україна).

Markov Oleg – Doctor of Technical Science, Professor, Head of Department of Computerized Design and Modeling of Processes and Machines, Donbass State Engineering Academy (72 Akademichna Str., 84313 Kramatorsk, Ukraine).

E-mail: oleg.markov.ond@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9377-9866>

SCOPUS Author ID: 55648046800

Хвацинський Антон Станіславович – аспірант кафедри комп'ютеризованого дизайну і моделювання процесів і машин, Донбаська державна машинобудівна академія (вул. Академічна, 72, м. Краматорськ, 84313, Україна).

Khvashchynskiy Anton – PhD student of Department of Computerized Design and Modeling of Processes and Machines, Donbass State Engineering Academy (72 Akademichna Str., 84313 Kramatorsk, Ukraine).

E-mail: antonio.hvasherman@ukr.net

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2690-8354>

Панов Володимир Володимирович – аспірант кафедри комп'ютеризованого дизайну і моделювання процесів і машин, Донбаська державна машинобудівна академія (вул. Академічна, 72, м. Краматорськ, 84313, Україна).

Panov Volodymyr – PhD student of Department of Computerized Design and Modeling of Processes and Machines, Donbass State Engineering Academy (72 Akademichna Str., 84313 Kramatorsk, Ukraine).

E-mail: v.panov@emss.dn.ua

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2373-319X>

Різак Павло Іванович – молодший науковий співробітник, Донбаська державна машинобудівна академія (вул. Академічна, 72, м. Краматорськ, 84313, Україна)

Rizak Pavlo – Junior Researcher, Donbass State Engineering Academy (72 Akademichna Str., 84313 Kramatorsk, Ukraine).

E-mail: pariz-l@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2574-2521>

Житніков Роман Юрійович – аспірант кафедри комп'ютеризованого дизайну і моделювання процесів і машин, Донбаська державна машинобудівна академія (вул. Академічна, 72, м. Краматорськ, 84313, Україна)

Zhytnikov Roman – PhD student of Department of Computerized Design and Modeling of Processes and Machines, Donbass State Engineering Academy (72 Akademichna Str., 84313 Kramatorsk, Ukraine).

E-mail: romajitnikov2015@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0540-8465>

Олександр Литвин, Андрій Гаврушкевич, Данііл Алексик

МОДЕЛЮВАННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ МАЛЬТІЙСЬКИХ МЕХАНІЗМІВ ТЕХНОЛОГІЧНИХ МАШИН

Актуальність теми дослідження. У сучасних поліграфічних машинах та технологічному обладнанні машинобудування широко використовуються механізми періодичного повороту, зокрема мальтійські, для автоматизації різних технологічних процесів. На показники продуктивності і якості процесів впливають особливості динамічних характеристик зазначених механізмів, тому тема дослідження є прикладною та актуальною. Розглядається математична модель та результати дослідження динамічних та силових параметрів мальтійських механізмів технологічних машин.

Постановка проблеми. Підвищення швидкодії механізму повороту обмежує значне зростання динамічних навантажень у його ланках. Це приводить до збільшення максимального значення крутного моменту на приводі, на ведучому валу в першій половині повороту. У процесі конструювання машин розробнику доводиться балансувати між продуктивністю і надійністю технічних систем. Розв'язок цієї проблеми неможливий без застосування методів математичного моделювання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Були розглянуті наукові публікації вітчизняних і закордонних авторів та методики автоматизованого проектування вищевказаних механізмів.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Немає надійних методик моделювання та дослідження динамічних параметрів мальтійських механізмів.

Постановка завдання. Мета – розробити математичну модель для дослідження коливальних процесів робочого органу з мальтійським механізмом повороту та з її допомогою дослідити динамічні та силові параметри та конкретизувати елементи конструкції.

Виклад основного матеріалу. Розглянуто методи дослідження механізмів повороту: інформаційні, аналітичні, моделювання.

Отримано аналітичні залежності для визначення передатних функцій мальтійських механізмів із круговими пазами хреста. Вибрано раціональну конструкцію механізму і його параметрів. Розроблено алгоритми і програми для моделювання в середовищі MatLAB.

Висновки відповідно до статті. У результаті математичного моделювання процесу повороту отримані графіки зміни моментів сил пружності при обертанні мальтійського механізму з прямими пазами та пазами у вигляді дуги кола, що дозволить внести зміни до геометричних параметрів ланок зазначених механізмів.

Ключові слова: математична модель; кінематичні характеристики; процес повороту; навантаження; динамічні навантаження; механізми періодичного повороту; надійність; довговічність.

Рис.: 6. Бібл.: 8.

Актуальність теми дослідження. Суттєвим фактором, який обмежує підвищення продуктивності, надійності, довговічності традиційних механізмів повороту, є значні динамічні навантаження в їх елементах.

Висвітлена в цій роботі тема є актуальною для галузі машинобудування, зокрема поліграфічного та фасувально-пакувального обладнання. При створенні нових і модернізації існуючих механізмів технологічного обладнання, зокрема авіабудування, виникає необхідність вибору варіанта конструкції механізму на основі оцінки величини динамічних навантажень різних ланок. Визначення кількісних характеристик процесу з врахуванням реальних фізичних факторів можна здійснити тільки на основі численно-аналітичних методів, що вимагає розробки відповідних моделей і методик розрахунків.

На показники продуктивності і якості процесів впливають особливості динамічних характеристик зазначених механізмів, тому тема дослідження є прикладною і актуальною.

Розглядається математична модель та результати дослідження динамічних та силових параметрів мальтійських механізмів технологічних машин.

Постановка проблеми. Описується проблема (задача), якій присвячене дослідження, важливість і актуальність її вирішення для певної галузі науки й техніки, зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями.

Поворотні пристрої застосовують у верстатах автоматах, агрегатних верстатах та автоматичних лініях різного технологічного призначення. Найбільш комплексно роботу цих пристроїв зручно розглядати в технологічному обладнанні, в яких переміщення оброблюваних деталей і інструменту з позиції на позицію здійснюється за допомогою механізмів періодичного повороту. Серед таких використовують такі типи механізмів: кулачковий, кулісний, равликовий, мальтійський, зубчасто-важільний.

Найбільшого поширення серед поворотних отримали мальтійські механізми. Істотним фактором, що обмежує підвищення продуктивності, надійності й довговічності робочих органів із мальтійськими механізмами, є значні динамічні навантаження в його ланках.

Мальтійський механізм, крім простоти конструкції, повинен задовольняти таким основним вимогам:

- поворот робочих органів за якомога менший час при припустимих значеннях навантажень, що виникають, і відсутності ударів;
- поворот робочих органів на необхідний кут із точністю, достатньою для забезпечення нормальної роботи механізму фіксації робочих органів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Кінематика мальтійських механізмів із радіальними пазами вивчається в теорії механізмів. Однак мальтійські хрести з круговими пазами в навчальній літературі не представлені. Наскільки відомо авторам із джерел [1-8], загалом нині немає закінчених теоретичних розробок з цієї проблеми. Велика кількість публікацій присвячена дослідженню окремих аспектів динамічних властивостей поліграфічних машин із поворотним робочим органом [1; 2]. Здебільшого увагу авторів привертають головні вузли, що визначають показники його динамічної якості. Дослідження в цьому напрямі мають фундаментальний характер [3].

Складовим елементом у сучасних фасувальних машинах є система внутрішньомашинного переміщення споживчої тари. У машинах роторного типу для приведення в рух карусельного столу широко використовується мальтійський механізм з електроприводом. Його дослідження наведені в [2]. Робота [3] присвячена проблемі підвищення продуктивності блокооброблювальних агрегатів та машин карусельного і конвеєрного типу брошурально-палітурного виробництва у приводах, в яких використовуються механізми періодичного повороту, зокрема, комбіновані мальтійські механізми.

Сучасні виробничі машини з використанням у приводах мальтійських механізмів характеризуються максимальним спрощенням кінематики, зниженням матеріалоемності основних вузлів. При цьому виникають різноманітні динамічні режими роботи. Зокрема, можливі автоколивальні й резонансні режими в області низьких частот (до 500 Гц). При цьому вони не забезпечують точної фіксованої зупинки робочого органу [4].

У роботі [5] запропоновані математичні моделі і їх програмна реалізація. У багатьох роботах запропоновані математичні моделі і їх програмна реалізація [5]. Механізми з мальтійським хрестом використовують при автоматизації, у робототехніці, механічних передачах, безперервних змінних передачах, годинниках, особливо коли йдеться про передачу сил і високих моментів. Вони використовуються замість або з передачами. У статті [6] наведена геометрія механізму, що складається з двох елементів, кінематика та сили, що виникають у цьому механізмі з верхньою муфтою четвертого класу. Розглянуті сили, які виникають у середині механізму пари, наведені результати також динамічних досліджень.

У статті [7] розглядається застосування мальтійського механізму при виготовленні зброї в оболонці або патронному конвеєрі за допомогою гідравлічного привода. Описана кінематика та динаміка цього механізму. Розроблена математична модель з одним ступенем вільності і друга модель, що має дві ступені вільності. Обидві моделі використовують механізм із різною функцією передачі. Наведено рівняння, що описують механічну та гідравлічну частини.

Авторами [8] розроблена комп'ютерна програма GEO7, яка дозволяє обчислювати розміри, кут роботи, швидкість та прискорення внутрішніх мальтійських механізмів. GEO7 створює креслення мальтійського колеса та приводного кривошипа як файли DXF або IGES, які використовуються з програмним забезпеченням CAD. Складові частини можна генерувати у вигляді STL-файлів, потім надрукувати на 3D-принтері та зібрати як функціонуючу модель мальтійського механізму.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. У літературних джерелах [1-8] не виявлено надійних методик моделювання та дослідження динамічних параметрів мальтійських механізмів. Тому є підстави вважати, що недостатня дослідженість цього питання зумовлюють необхідність проведення досліджень у цьому напрямі.

Постановка завдань. У роботі поставлено мету – розробити математичну модель для дослідження коливальних процесів робочого органу з мальтійським механізмом повороту та з її допомогою дослідити динамічні та силові параметри мальтійських механізмів технологічних машин.

Динамічні навантаження призводять до виникнення складних коливальних процесів у динамічній системі шпинделя і верстата в цілому. Ці коливальні процеси мають стохастичний характер і є суттєво нестационарними. Для усунення перелічених недоліків використовують динамічний розвантажувач. Дослідження таких процесів пов'язано зі значними труднощами і потребує розробки спеціальних методик і алгоритмів.

На сьогодні немає загальних підходів до моделювання нестационарних стохастичних процесів, що мають місце в робочих машинах. Найбільша ефективність автоматизації розрахунково-конструкторських робіт із застосуванням ЕОМ досягається тоді, коли розрахунки зведені до використання узагальнених динамічних моделей і невеликої кількості типових модулів, що дозволяють провести розрахунки характеристик якомога більшого числа механізмів. Тому теоретичне визначення причин і наслідків таких режимів роботи є надзвичайно актуальним завданням.

Виклад основного матеріалу. Досвід показує, що найбільша ефективність використання САПР досягається тоді, коли розрахунки приведені до використання узагальнених математичних моделей, що дозволяє обрати найкращий варіант механізму.

Для виготовлення мальтійських механізмів зазвичай приймають такі технічні умови: на розміри R і L допуск $\pm 0,1$ мм; допустиме відхилення кроку розташування пазів (на зовнішній дузі хреста) $\pm 0,1$ мм; ширина паза хреста – по посадці $h8$; зовнішній діаметр ролика кривошипа - по посадці $H8$; непаралельність осей ролика і кривошипа – до $0,05$ мм на 100 мм; шорсткість робочих поверхонь пазів хреста – по 8-му квалітету.

У випадку виконання хреста складеним, допускається відхилення від перпендикулярності робочих площин накладного сектора хреста до опорної площини до $0,02$ мм по всій ширині.

Завдання полягає в розробці комп'ютерної моделі функціонування мальтійського механізму з пазами у вигляді дуги кола. Розроблена узагальнена нелінійна трьохмасова динамічна модель механізмів повороту робочого органу, що містить мальтійський механізм (будь-якого типу і з різною кількістю пазів) і динамічний розвантажувач, з кінематичним збурюванням (рис. 1).

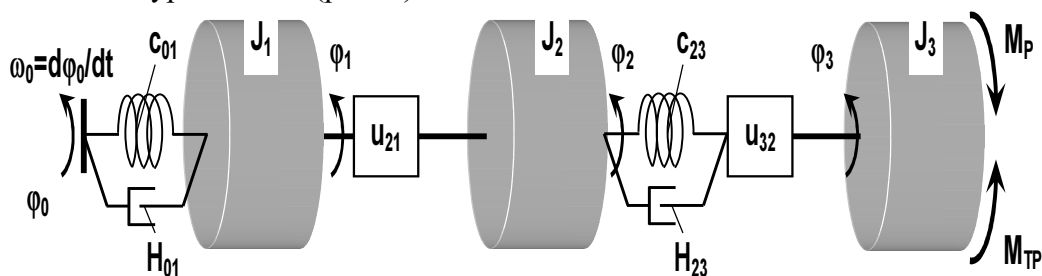


Рис. 1. Розрахункова динамічна схема механізму

Подвійними тонкими лініями на рис. 1 позначені ланки, прийняті абсолютно твердими, а потовщеними лініями – безінерційні пружні ланки. Прийняті також такі позначення: J_1 , J_2 , J_3 – приведені моменти інерції маси кривошипа мальтійського механізму, мас хреста мальтійського механізму та зубчастих передач і маси робочого органу відповідно; φ_0 , φ_1 , φ_2 і φ_3 – кути повороту ведучої ланки (черв'ячного колеса на розподільному валу) і мас і

кривошипа мальтійського механізму, мас хреста мальтійського механізму та зубчастих передач і маси робочого органу відповідно; C_{01} , C_{23} – жорсткості пружних ланок, розташованих між ведучою ланкою та кривошипом і між мальтійським хрестом і робочим органом; H_{01} , H_{23} – коефіцієнт демпфування; U_{21} – кінематична передаточна функція першого порядку мальтійського механізму; U_{32} – передаточне відношення зубчастих передач, розташованих між хрестом і робочим органом; M_{mp} – момент сил «сухого» тертя, прикладених до робочого органу; M_p – момент, що створюється динамічним розвантажувачем; Z – число пазів мальтійського хреста; Z_{po} – число позицій робочого органу; t – поточний час; M_g – приведений момент приводу повороту.

Зазори в рухомих з'єднаннях не враховуються, щоб не спотворювати закономірності зміни сил, що діють на ланки механізмів, зумовлених їхніми кінематичними характеристиками. У цьому випадку по характеру зміни сил можливо визначити моменти часу, у яких відбувається перерозподіл зазорів у механізмі, що робить істотний вплив на процес повороту робочого органу. У динамічну модель не включені маси ланок привода.

Рівняння руху мас динамічної моделі, отримані з рівнянь Лагранжа другого роду, мають вигляд:

$$\begin{aligned} \varphi_1 = \{ & C_{01}(\varphi_0 - \varphi_1) + H_{01}(\varphi_0 - \varphi_1) - (C_{23}(\varphi_2 - \varphi_3 / U_{32}) + H_{23}(\varphi_2 - \varphi_3 / U_{32}) + \\ & + J_2 U_{21} \varphi_1^2) U_{21} \} / (J_1 + J_2 U_{21}^2), \quad (1) \\ \varphi_3 = & \left[[C_{23}(\varphi_2 - \varphi_3 / U_{32}) + H_{23} \left(\varphi_2 - \frac{\varphi_3}{U_{32}} \right)] / U_{32} - M_r \operatorname{sign} \varphi_3 + M_p / J_3, \right. \end{aligned}$$

де $\varphi_0 = \omega t$; $\varphi_0 = \omega = \text{const}$ – кутова швидкість ведучої ланки; $\varphi_2 = \varphi_2(\varphi_1)$ – функція положення мальтійського механізму.

$$U_{21} = \frac{d\varphi_2}{d\varphi_1}, \quad U_{21}' = \frac{dU_{21}}{d\varphi_1}, \quad \varphi_2 = \varphi_1 u_{21}, \quad U_{32} = \frac{Z}{Z_{po}}. \quad (2)$$

Перше рівняння системи (1) отримане з рівняння обертального руху тіла з перемінним моментом інерції (рівняння Лагранжа другого роду для узагальненої координати у виді кута) [6]:

$$J_{n1} \frac{d\omega_1}{dt} + \frac{\omega_1^2}{2} \frac{dJ_{n1}}{d\varphi_1} = M_g - M_c, \quad (3)$$

де J_{n1} – приведений до розподільчого валу момент інерції механізму.

$$J_{n1} = J_1 + J_2 U_{21}^2, \quad \omega_1 = \dot{\varphi}_1, \quad \frac{dJ_{n1}}{d\varphi_1} = 2J_2 U_{21} \frac{dU_{21}}{d\varphi_1}, \quad (4)$$

$$M_g = C_{01}(\varphi_0 - \varphi_1) + H_{01}(\varphi_0 - \varphi_1), \quad (5)$$

$$M_c = [C_{23}(\varphi_2 - \varphi_3 / U_{32}) + H_{23}(\varphi_2 - \varphi_3 / U_{32})] U_{21} \quad (6)$$

Визначення величин кінематичних характеристик мальтійських механізмів, розвантажувального моменту, вихідних параметрів динамічної моделі (приведених моментів інерції мас, жорсткостей пружних ланок, коефіцієнтів демпфування і моменту сил тертя) подано нижче.

$$c_{\varphi n} = \sum \left[c_i \left(\frac{f_i}{\varphi_n} \right)^2 + c_{\varphi i} \left(\frac{\varphi_i}{\varphi_n} \right)^2 \right], \quad H_{\varphi i} = \frac{\delta}{\pi} \sqrt{c_{\varphi i} (J_i + J_{i+1} u_{\varphi i}^2)} \frac{1}{\varepsilon + u_{\varphi i}^2},$$

$$\varepsilon = (0.05 \dots 0.1) \sqrt{\frac{J_1}{J_2 + J_3 u_{32}^2}}, \quad M_{TP} = \frac{G_{PO} R_{PO} \mu_0}{1 + K_{TP} R_{PO} \frac{d\varphi_3}{dt}},$$

$$M_P = \frac{\mu (J_2 + J_3 u_{32}^2) \frac{du_{21}}{dt} \left(\frac{d\varphi_3}{dt} \right)^2 \sin^\tau \left(\frac{\pi}{T_n} t \right) \eta^{\text{sign} \left(\frac{du_{21}}{dt} \right)}}{u_{32}}$$

Математична модель приводу повороту робочого органу має такий вигляд:

$$\frac{d^2 \varphi_1}{dt^2} = \frac{c_{01} (\varphi_0 - \varphi_1) + H_{01} \left(\frac{d\varphi_0}{dt} - \frac{d\varphi_1}{dt} \right)}{J_1 + J_2 u_{32}^2} -$$

$$\frac{\left(c_{23} \left(\varphi_2 - \frac{\varphi_3}{u_{32}} \right) + H_{23} \left(\frac{d\varphi_2}{dt} - \frac{d\varphi_3}{dt} \frac{1}{u_{32}} \right) + J_2 \frac{du_{12}}{dt} \left(\frac{d\varphi_1}{dt} \right)^2 \right) u_{12}}{J_1 + J_2 u_{32}^2},$$

$$\frac{d^2 \varphi_3}{dt^2} = \frac{\left(c_{23} \left(\varphi_2 - \frac{\varphi_3}{u_{32}} \right) + H_{23} \left(\frac{d\varphi_2}{dt} - \frac{d\varphi_3}{dt} \frac{1}{u_{32}} \right) \right) \frac{1}{u_{312}} - M_{TP} \text{sign} \left(\frac{d\varphi_3}{dt} \right) + M_P}{J_3}.$$

Кінематична функція мальтійського механізму з пазами у вигляді дуги кола наведена на рис. 2.

Формули (4)...(6) встановлюють зв'язок між кутом повороту водила й кутом повороту, кутовий швидкістю і кутовим прискоренням хреста на обох фазах руху. Розглянемо визначення кінематичних передавальних функцій мальтійського механізму за допомогою розрахункової схеми замінюючого кулісного механізму.

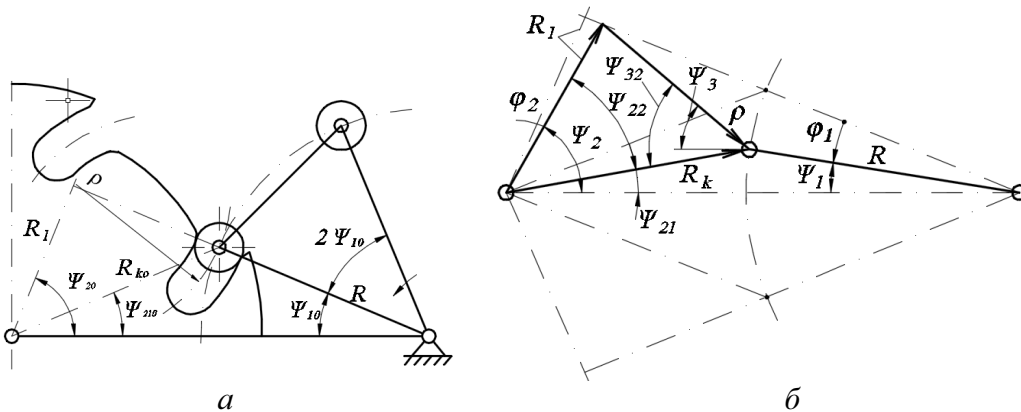


Рис. 2. Кінематична функція мальтійського механізму з пазами у вигляді дуги кола

$$R_K = \sqrt{R^2 + A^2 - 2RA \cos(\Psi_1)}, \quad \Psi_1 = \Psi_{10} - \varphi_1,$$

$$\Psi_2 = \arctg \frac{R \sin(\Psi_1)}{A - R \cos(\Psi_1)} + \arccos \left(\frac{R_K^2 + R_1^2 - \rho^2}{2R_K R_1} \right),$$

$$\Psi_3 = \arccos \left(\frac{\rho^2 + R_K^2 - R_1^2}{2R_K \rho} \right) - \arctg \frac{R \sin(\Psi_1)}{A - R \cos(\Psi_1)},$$

$$u_{21} = -\frac{R \sin(\Psi_1 - \Psi_3)}{R_1 \sin(\Psi_2 + \Psi_3)}, \quad \frac{du_{21}}{dt} = \frac{\rho u_{31}^2 + R_1 u_{21}^2 \cos(\Psi_2 + \Psi_3) + R \cos(\Psi_1 - \Psi_3)}{R_1 \sin(\Psi_2 + \Psi_3)}$$

Розроблені алгоритми розрахунку динамічних процесів реалізовані у вигляді структурної математичної моделі повороту мальтійського механізму.

Структурна математична модель реалізована засобами системи SIMULINK пакету MATLAB. Розрахункова процедура пакета MATLAB для визначення динамічних характеристик приводу з мальтійським механізмом наведена на рис. 3, а на рис. 4 та 5 представлено візуальну математичну модель процесу.

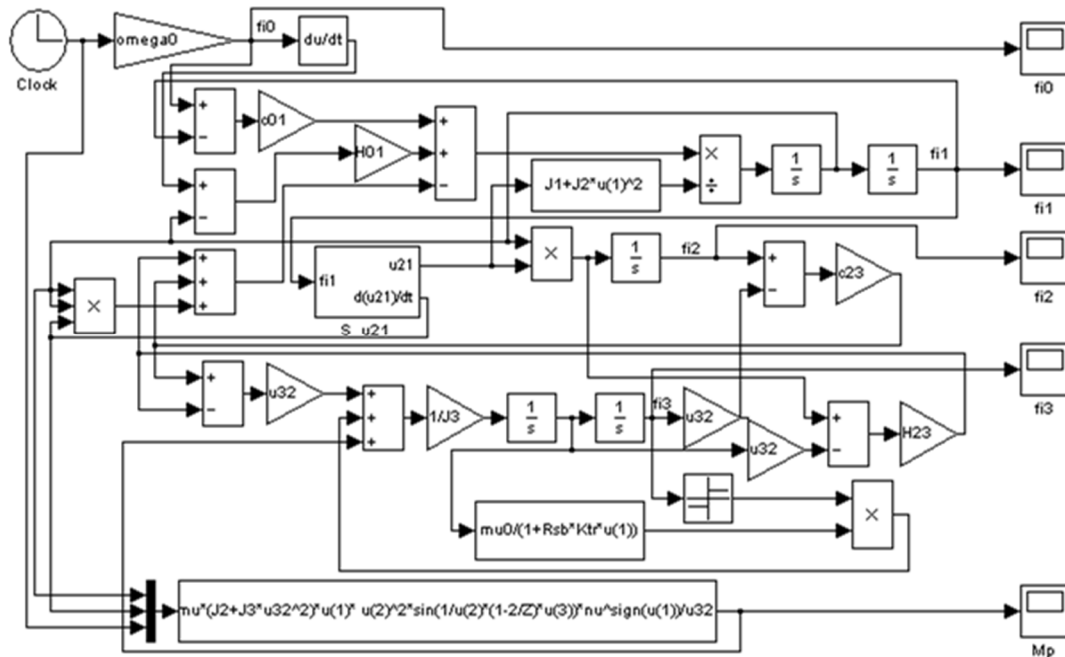


Рис. 3. Розрахункова процедура для визначення динамічних характеристик приводу

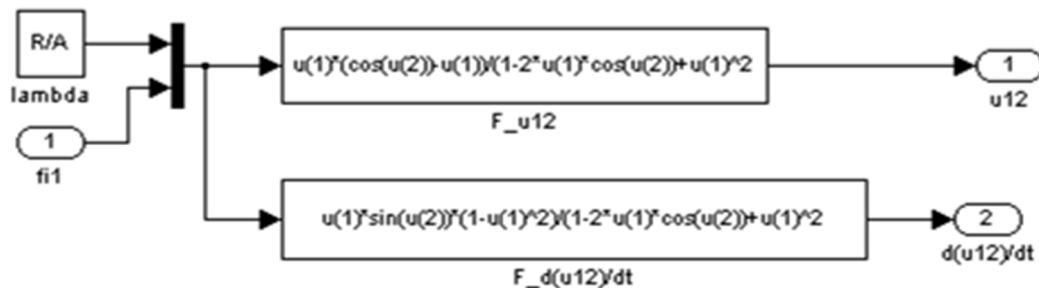


Рис. 4. Розрахункова кінематична функція мальтійського механізму з прямими пазами

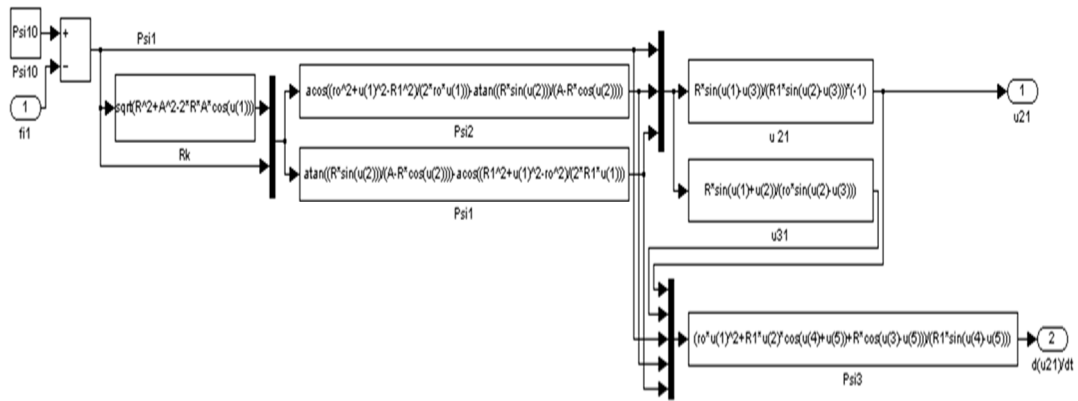


Рис. 5. Розрахункова кінематична функція мальтійського механізму з пазами у вигляді дуги кола

У результаті математичного моделювання процесу повороту отримані графіки зміни моментів сил пружності при обертанні на 60° мальтійським механізмом з прямими та пазами у вигляді дуги кола (рис. 6).

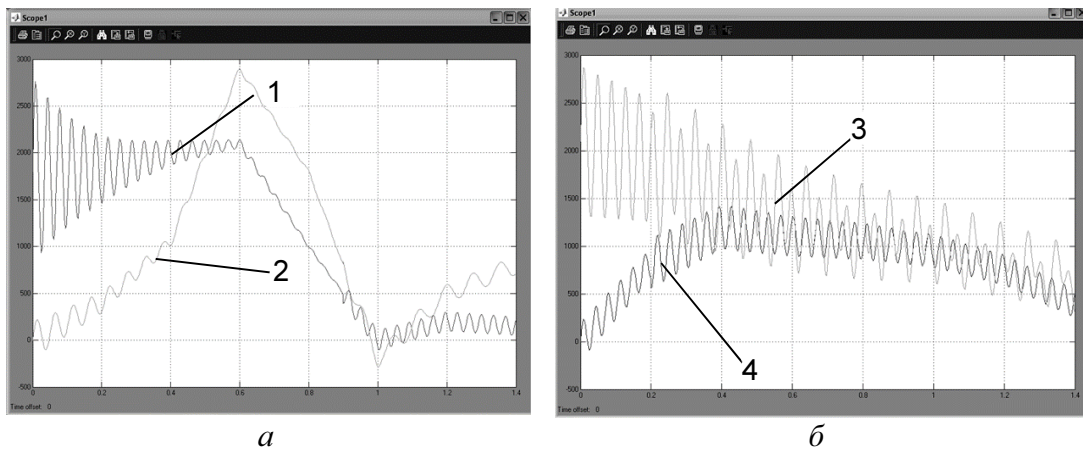


Рис. 6. Графіки зміни моментів сил пружності при обертанні робочого органу на 60° мальтійським механізмом із прямими пазами (а) та з пазами у вигляді дуги кола (б): 1, 3 – на валу кривошипа; 2, 4 – на осі штиндельного барабана

Розглянуто методи дослідження механізмів поворот, інформаційні, аналітичні, моделювання.

Отримано аналітичні залежності для визначення передатних функцій мальтійських механізмів із круговими пазами хреста. Вибрано раціональну конструкцію механізму і його параметрів. Розроблено алгоритми і програми для моделювання на в середовищі MatLAB.

Висновки відповідно до статті. У статті розроблено узагальнену динамічну модель механізмів повороту, що включають мальтійські механізми різних типів і динамічний розвантажувач, що враховує пружність ланок і їх дисипативні характеристики. Отримано аналітичні залежності для визначення передаточних функцій мальтійських механізмів із круговими пазами хреста. Розроблено алгоритми та програми для моделювання. Аналіз результатів моделювання (рис. 6 та рис. 7) дозволяє зробити висновок про більш плавну зміну моменту на елементах механізму, відсутність пікових до 3000 Нм моментів на валу кривошипа, зменшення до 500 Н м моменту на осі робочого органу. Розроблені методи вдосконалення механізмів повороту, які забезпечують підвищення надійності й довговічності роботи. Подальше використання передбачає створення віртуальних конструкцій для різних галузей машинобудування.

Список використаних джерел

1. Пасіка В. Р. Теоретичні основи синтезу комбінованих механізмів зі змінною довжиною вхідної ланки на базі вихідних важільних і мальтійських механізмів : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.02.02 / Національний університет «Львівська політехніка». Львів, 2011. 40 с.
2. Токарчук С. В., Гавва О. М. Синтез плоских мальтійських механізмів з водилом змінної довжини в приводах пакувальних машин. *Харчова промисловість*. 2007. № 5. С. 83–86.
3. Полюдов О. М., Кандяк Н. М. Енергосилові параметри комбінованого мальтійського механізму. *Науковий вісник НЛТУ*. Львів : НЛТУ. 2010. № 20.1. С. 268–274.
4. Пасіка В. Р. Застосування механізмів зі змінною довжиною кривошипа у поліграфічному машинобудуванні. Наукові записки. *Загальне та поліграфічне машинобудування*. 2012. № 4 (41). С. 177–178.
5. Литвин О. В., Вдовиченко М. В. Вдосконалення мальтійських механізмів для машин поліграфічного виробництва. *Матеріали XXVII Міжнарод. наук.-практ. конф. з пробл. вид.-поліграф. галузі*, 30 лист. 2018 р. Київ : УкрНДІСВД, 2018. С. 53–56.
6. Petrescu F. I. T., Abu-Lebdeh T. M., Apicella A. (2018). Presentation of a Mechanism with a Maltese Cross (Geneva Driver). *American Journal of Engineering and Applied Sciences*. 891-900. DOI: 10.3844/ajeassp.2018.891.900.
7. Dynamics of shell conveyer with Maltese cross Jiri Balla, Van Yen Duong, Zbynek Krist. *International Journal of Mechanics*. 7(2):81-89. April 2013.
8. *Hexagon Mechanical Engineering Software*. URL: http://www.hexagon.de/index_e.htm.

References

1. Pasika, V. R. (2011). *Teoretychni osnovy syntezy kombinovanykh mekhanizmiv zi zminnoiu dovzhynoiu vkhidnoi lanky na bazi vykhidnykh vazhilykh i maltiyskykh mekhanizmiv* [Theoretical bases of synthesis of combined mechanisms with variable length of input link on the basis of output leverage and Malta mechanisms] (Doctor's thesis). Lviv Polytechnic National University, Lviv [in Ukrainian].
2. Tokarchuk, S. V., Havva, O. M. (2007). Syntez ploskykh maltiyskykh mekhanizmiv z vodylom zminnoi dovzhyny v pryvodakh pakuvalnykh mashyn. [Synthesis of flat Maltese mechanisms with variable length vehicle in packing machine drives]. *Kharchova promyslovist – Food Industry*, 5, 83-86 [in Ukrainian].
3. Poliudov, O. M., Kandiak, N. M. (2010). Enerhosylovi parametry kombinovanoho maltiiskoho mekhanizmu [Energy-power parameters of the combined Malta mechanism]. *Naukovyi visnyk Natsionalnoho lisotekhnichnoho universytetu Ukrainy – Scientific bulletin National Academy of Sciences of Ukraine*, 20.1, 268 – 274.
4. Pasika, V. R. (2012). Zastosuvannia mekhanizmiv zi zminnoiu dovzhynoiu kryvoshypa u polihrafichnomu mashynobuduvanni [Application of mechanisms with variable crank length in printing machine building]. *Naukovi zapysky. Zahalne ta polihrafichne mashynobuduvannia – Proceedings. General and printing mechanical engineering*, 4 (41), 177–178.
5. Lytvyn, O. V., Vdovychenko, M. V. (2018). Vdoskonalennia maltiyskykh mekhanizmiv dlia mashyn polihrafichnoho vyrobnytstva [Improvement of Maltese structures for the printing industry]. *XXVII Mizhnarodna nauково-praktychna konferentsiia z problem vydavnycho-polihrafichnoi haluzi [XXVII International scientific and practical conference on problems of publishing and printing industry]* (Kyiv, November 30, 2018). Kyiv: UkrNDISVD [in Ukrainian].
6. Petrescu, F. I. T., Abu-Lebdeh, T. M., Apicella, A. (2018). Presentation of a Mechanism with a Maltese Cross (Geneva Driver). *American Journal of Engineering and Applied Sciences*, 891-900. DOI: 10.3844/ajeassp.2018.891.900.
7. Dynamics of shell conveyer with Maltese cross Jiri Balla, Van Yen Duong, Zbynek Krist (April 2013). *International Journal of Mechanics*, 7(2):81-89.
8. *Hexagon Mechanical Engineering Software*. Retrieved from http://www.hexagon.de/index_e.htm.

Oleksandr Lytvyn, Andrii Havrushkevych, Aleksyk Daniil

MODELING AND RESEARCH OF DYNAMIC PARAMETERS OF MALTHIAN MECHANISMS OF TECHNOLOGICAL MACHINES

Urgency of the research. Modern printing machines and technological equipment of mechanical engineering are widely used mechanisms of periodic rotation, including Malta, for automation of various technological processes. The performance and quality of processes are influenced by the features of the dynamic characteristics of these mechanisms, so the topic of the study is applicable and relevant. The mathematical model and the results of the study of the dynamic and power parameters of the Malta mechanisms of technological machines are considered.

Target setting. Increasing the speed of the turning mechanism limits the significant increase in the dynamic loads in its links. This leads to an increase in the maximum torque value on the drive shaft on the drive shaft in the first half of the turn. In the process of designing machines, the developer has to balance the performance and reliability of technical systems. This problem cannot be solved without the use of mathematical modeling methods.

Actual scientific researches and issues analysis. Scientific publications of domestic and foreign authors and methods of automated design of the above mechanisms were considered.

Uninvestigated parts of general matters defining. The methods of investigation of the mechanisms of rotation are considered: information, analytical, modeling.

Analytical dependencies were obtained to determine the transfer functions of the Maltese mechanisms with circular grooves of the cross. The rational design of the mechanism and its parameters is selected. Algorithms and programs for modeling on MatLAB environment have been developed.

The research objective. As a result of mathematical modeling of the process of rotation, the graphs of change of moments of forces of elasticity at rotation of the Maltese mechanism with straight grooves and grooves in the form of a circle arc are obtained, which will allow to make changes to the geometrical parameters of the links of these mechanisms.

The statement of basic materials. The methods of investigation of the mechanisms of turn are considered: information, analytical, modeling.

Analytical dependencies were obtained to determine the transfer functions of the Maltese mechanisms with circular grooves of the cross. The rational design of the mechanism and its parameters is selected. Algorithms and programs for modeling on MatLAB environment have been developed.

Conclusions. As a result of mathematical modeling of the process of rotation, the graphs of change of moments of forces of elasticity at rotation of the Maltese mechanism with straight grooves and grooves in the form of a circle arc are obtained, which will allow to make changes to the geometrical parameters of the links of these mechanisms.

Keywords: mathematical model; kinematic characteristics; the process of turning; load; dynamic loads; mechanisms of periodic rotation; reliability; durability.

Fig.: 8. References: 15.

Литвин Олександр Валеріанович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри конструювання машин, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (просп. Перемоги, 37, корп. 1, м. Київ, 03056, Україна).

Lytvyn Oleksandr – PhD in Technical Science, Associate Professor, Associate Professor of Machine Building Technology and Wood Processing Department, National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute» (37 Peremohy Av., 03056 Kyiv, Ukraine).

E-mail: litvinkpi@gmail.com

SCOPUS Author ID: 7005803557

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0137-9177>

Гаврушкевич Андрій Юрійович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри конструювання машин, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (просп. Перемоги, 37, корп. 1, м. Київ, 03056, Україна).

Havrushkevych Andrii – PhD in Technical Science, Associate Professor, Associate Professor of Machine Building Technology and Wood Processing Department, National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute» (37 Peremohy Av., 03056 Kyiv, Ukraine).

E-mail: gavrushkevich78@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9275-0711>

Алексик Данііл Ігорович – студент кафедри конструювання машин, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (просп. Перемоги, 37, корп. 1, м. Київ, 03056, Україна).

Aleksyk Daniil – student of Machine Building Technology and Wood Processing Department, National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute» (37 Peremohy Av., 03056 Kyiv, Ukraine).

E-mail: dalexik@gmail.com

УДК 621.785.5

DOI: 10.25140/2411-5363-2020-2(20)-62-73

*Таїсія Акритова, Михайло Андрущенко, Олексій Капустян,
Руслан Куликовський, Михайло Осіпов***ТЕХНОЛОГІЯ ЗМІЦНЕННЯ ШТАМПІВ ПРЕСФОРМ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ
ВОГНЕТРИВКИХ І БУДІВЕЛЬНИХ ВИРОБІВ ШЛЯХОМ ЦЕМЕНТАЦІЇ**

Актуальність теми дослідження. Великою мірою якість і собівартість силікатної цегли та вогнетривких виробів залежить від довговічності й надійності штампів пресформ. Тому вибір оптимальних матеріалів для виготовлення штампів, способів їх зміцнення, а в результаті і збільшення терміну є актуальним завданням.

Постановка проблеми. Нині строк служби штампів пресформ для пресування силікатної цегли та вогнетривких виробів становить від декількох годин до 15 діб. Отже, важливим є розробка, дослідження та обґрунтування основних критеріїв вибору матеріалів штампів, способів та технологій їх зміцнення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проведено порівняльний аналіз можливих сучасних варіантів виготовлення штампів із різних сталей та їх термічної і хіміко-термічної обробки.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. На сьогодні недостатньо інформації про здатність до самозміцнення в процесі зношування і зносостійкість поверхні тертя цементованих штампів із низьколегованих сталей ферито-перлітного класу в різних структурних станах при різному вмісту вуглецю.

Постановка завдання. Метою роботи було вибір матеріалів для виготовлення нових штампів, структури робочої поверхні та кромки штампів, технологій їх хіміко-термічної обробки залежно від умов роботи.

Виклад основного матеріалу. Досліджено умови роботи штампів пресформ, механізм і характер їх зношування. Розглянуто два принципово різних підходи до процесів зміцнення штампів пресформ із низьколегованих сталей типу 20Х. Перший – це загальноприйнята технологія цементациї при порівняно невисоких температурах – 860...940 °С і гартування на переважно мартенситну структуру. Другий – це насичення поверхні деталі вуглецем при високих температурах – 1030...1080 °С і гартування на структуру з великою кількістю (80...95 %) високовуглецевого метастабільного аустеніту.

Висновки відповідно до статті. Найбільш прийнятними матеріалами для виготовлення штампів пресформ є сталі ферито-перлітного класу типу 20Х і зміцнення їх шляхом цементациї і гартування. Вибір одного із запропонованих варіантів цементациї залежить від того, яка із вимог до штампів є головною – опірність шаржуванню абразивом робочої поверхні чи опірність зношуванню робочої кромки.

Ключові слова: штамп; пресформа; будівельні вироби; вогнетривкі вироби; цементация.

Рис.: 7. Бібл.: 16.

Актуальність теми дослідження. Необхідність розвитку будівельної, металургійної, машинобудівної та інших галузей, обумовлює потребу збільшення випуску будівельних матеріалів (зокрема силікатної цегли) та вогнетривких виробів, підвищення якості цієї продукції, зниження її собівартості.

Основною вимогою до вогнетривких та силікатних виробів є точність геометричних розмірів, форми, відсутність тріщин і задирок. Якість виробів останнім часом підвищують шляхом збільшення зусиль пресування та міцності й мікротвердості абразивних зерен. Це призводить до значного підвищення інтенсивності зношування деталей пресової оснащення, особливо штампів. Тому вибір матеріалів для виготовлення штампів, структурного стану робочих поверхонь, способів зміцнення та управління структурою для підвищення зносостійкості та збільшення терміну експлуатації є актуальним завданням.

Постановка проблеми. Більшість вогнетривких виробів та силікатну цеглу виготовляють шляхом напівсухого пресування в пресформах на гідравлічних і механічних пресах. Строк служби штампів пресформ становить від декількох годин до 15 діб залежно від виду абразиву, його мікротвердості, зусиль пресування та інших параметрів умов зношування. Крім того, у багатьох випадках значною проблемою є шаржування робочої поверхні штампів. Низький термін експлуатації деталей зумовлено їх недостатнім опором зношуванню та експлуатаційної надійності, що призводить до зниження продуктивності обладнання, погіршує якість готових виробів та збільшує їхню вартість. Вибір матеріалів, структурного стану і способів зміцнення деталей насамперед обґрунтовується вимогами до їхніх характеристик загалом і робочих поверхонь зокрема. Отже, важливим є розробка та обґрунтування основних критеріїв вибору матеріалів штампів, способів та технологій їх зміцнення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Напівсухе пресування будівельних та вогнетривких виробів відбувається здебільшого в пресформах двох типів: одностороння для пресування, переважно силікатної цегли (рис. 1, а) і двостороння – вогнетривких виробів (рис. 1, б). Конструктивно більшість штампів являють собою пластини товщиною від 10 до 30 мм.

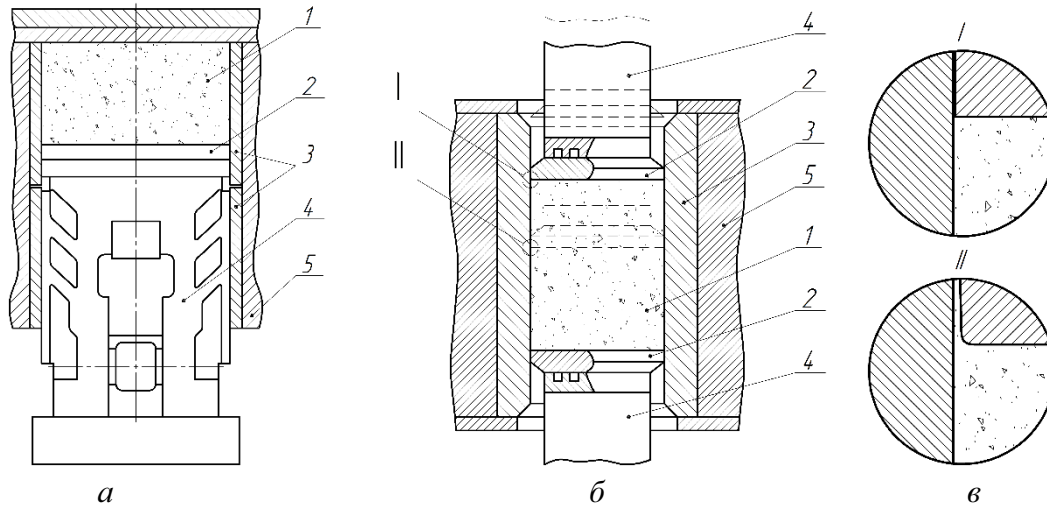


Рис. 1. Схема пресформ для одностороннього (а) [1] та двостороннього (б) [2] пресування, характер зносу робочої кромки штампу (в) на різних стадіях її взаємодії з облицювальною пластинною і абразивом:

1 – пресований виріб; 2 – штамп; 3 – облицювальна пластинна; 4 – штампотримач; 5 – корпус

Використання одного з найбільш ефективних напрямів підвищення зносостійкості матеріалу при роботі в умовах абразивного зношування – збільшення в матеріалі кількості фаз, які зміцнюють (карбідів та ін.), для умов експлуатації штампів пресформ не є прийнятні. Це пов'язано з тим, що за наявності в структурі крихких фазових складових не забезпечується достатній рівень в'язкості та пластичності, що призводить до сколювання фрагментів кромки у процесі роботи штампів.

Інший ефективний спосіб збільшення зносостійкості, при достатній експлуатаційній надійності, це застосування сталей із високим вмістом метастабільного аустеніту (до 90 %), здатного в процесі безударного абразивного зношування перетворюватися в мартенсит деформації. Це забезпечує значний рівень самозміцнення поверхні тертя (до 12,5 ГПа) і відповідно високу опірність поверхневого руйнуванню. Особливо це ефективно, коли зношування відбувається під дією абразиву порівняно невисокої твердості (кварцовий пісок, шамот, магнезит та ін.). Такий підхід задовольнив би вимоги, які сформовані умовами роботи кромки штампів, однак порівняно м'яка аустенітна основа не здатна достатньо ефективно чинити опір шаржуванню при пресуванні багатьох видів виробів.

Ще один спосіб – застосування інструментальних сталей типу X12 зі структурою, яка включає велику кількість метастабільного аустеніту в металевій матриці (до 75 %), а також до 15 % карбідів $(CrFe)_7C_3$ в загальній структурі. Сталі цього типу в такому структурному стані давно ефективно використовуються при виготовленні облицювальних пластин [2]. Однак неодноразові виробничі випробування, проведені авторами спільно зі спеціалістами підприємств, показали, що реалізація такого підходу для штампів, особливо невеликої товщини (10...20 мм), практично неможлива через підвищені вимоги до рівня їх в'язкопластичних властивостей у порівнянні з пластинами. Це зумовлено різними схемами роботи й умовами навантаження пластин і штампів пресформ.

Як один із варіантів вирішення проблеми може бути застосування сталей типу X13 феритного (08X13), ферито-мартенситного (12X13) або мартенситного класу (20X13). Однак ці сталі не цементуються за традиційною технологією і вимагають застосування

спеціальних карбюризаторів і технологій насичення вуглецем. Нині ці матеріали здебільшого застосовують для виготовлення мулітокорундових (високоглиноземистих) вогнетривів із порівняно високою мікротвердістю зерен абразивної маси (до 23 ГПа).

При виробництві будівельних та вогнетривких виробів методом напівсухого пресування з таких абразивних матеріалів, як шамот, динас, магнезит, штампи можливо виготовляти з низьколегованих сталей ферито-перлітного класу типу 20X, 18ХГТ з наступною хіміко-термічною обробкою.

На сьогодні відомо не менше 15...20 основних способів термічної та хіміко-термічної обробки сталей і сплавів [3; 4; 5], які, ймовірно, можна було б використовувати для зміцнення штампів пресформ з метою підвищення опору зношуванню робочої кромки й шаржуванню робочої поверхні. Але універсальних способів немає і кожний із них має як переваги, так і недоліки щодо інших.

Перспективним з погляду об'ємної міцності і пластичності може бути використання борованих деталей. Твердість борованого шару може досягати 20...22 ГПа [4], а за деякими даними [5] навіть 30 ГПа, що практично у 2...2,5 рази перевищує твердість поверхні тертя в сталях із великою кількістю метастабільного аустеніту, який у процесі зношування перетворюється в мартенсит деформації. Це досить високий показник з погляду відношення твердості абразиву H_A до твердості матеріалу H_M , що обумовлює високий рівень зносостійкості. Але глибина ефективної частини борованого шару дорівнює лише 30 мкм [4; 5], що в 10...30 разів менше величини допустимого зносу робочих кромок штампів. Тому для штампів пресформ використання боровання нині не можна вважати перспективним.

Із цих же причин мало ефективним було б використання азотування штампів [6].

У роботах [7; 8; 9] зазначено, що для зміцнення деталей та підвищення їхньої зносостійкості одним із поширених способів є насичення робочої поверхні вуглецем. При цьому глибина ефективного цементованого шару може перевищувати величину допустимого зносу робочої кромки штампів. Залежно від типу сталі, режимів цементації та гартування, структура і властивості цементованого шару можуть змінюватись у дуже широких межах [10].

Якість цементованого шару регламентується такими показниками: твердість поверхні й серцевини, товщина шару, характер розподілу концентрації вуглецю по глибині шару, мікроструктура цементованого шару. Тому для забезпечення оптимальних експлуатаційних властивостей штампів пресформ необхідне отримання оптимального поєднання перерахованих показників, що потребує подальших досліджень.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. На сьогодні недостатньо інформації про здатність до самозміцнення в процесі зношування та зносостійкість поверхні тертя цементованих штампів із низьколегованих сталей ферито-перлітного класу в різних структурних станах при різному вмісту вуглецю.

Постановка завдань. Метою роботи було формулювання вимог до основного металу нових штампів і до структури та властивостей цементованого шару матеріалу. Вибір матеріалів для виготовлення нових штампів, структури робочої поверхні та кромок штампів, технології їх хіміко-термічної обробки залежно від умов роботи.

Виклад основного матеріалу. У штампах пресформ для виготовлення вогнетривких та будівельних виробів можна виділити два основних елементи: робочу поверхню та робочу кромку. Робоча поверхня штампів являє собою грань, яка передає зусилля, що створює прес, на стовп абразивної маси; формує нижню та верхню сторони виробу; відносно облицювальних пластин, як правило, розташована перпендикулярно (рис. 2, а). Ця поверхня зазвичай є плоскою, інколи має більш складну конфігурацію.

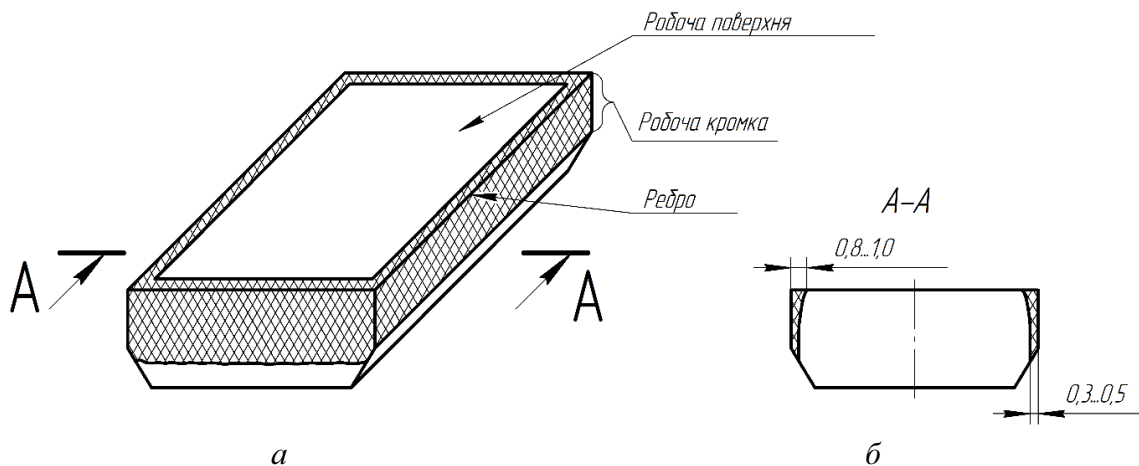


Рис. 2. Схема типового штамп пресформи для пресування вогнетривких або будівельних виробів (а) та характер зносу його робочих кромки (б)

Робоча поверхня і бокова сторона штамп, яка їй перпендикулярна, на перетині утворюють ребро, яке разом із боковою стороною за загальноприйнятою термінологією називають робочою кромкою (рис. 2, а).

Зношування робочої поверхні практично не відбувається, оскільки вздовж неї відсутнє переміщення абразивних частинок. Водночас коли твердість абразиву перевищує твердість металу, не менш складною проблемою, ніж зношування, є шаржування цієї поверхні штамп абразивними частинками маси, яка пресується, та їх налипання у вигляді кірки (рис. 3), що призводить до браку виробу. Так, наприклад, при виробництві мулітокорундових вогнетривів, для зачищення поверхні штамп необхідно переривати роботу пресу через кожні 6...10 ходів.



Рис. 3. Штамп для пресування шамотних виробів із шарженою поверхнею

Робочі кромки штамп в процесі пресування переміщуються вздовж облицювальних пластин пресформи і, при цьому, інтенсивно зношуються як унаслідок сухого тертя металу по металу на початковій стадії роботи пресформи, так і зазвичай у результаті дії абразивних частинок, які неминуче потрапляють у зазор між кромкою і пластиною (рис. 1, в) [1]. Зношування кромки по їх висоті нерівномірне (рис. 2, б). Допустима величина зносу залежно від вимог до якості виробів знаходиться в межах 0,3...1,0 мм [11].

Опірність зношуванню і шаржуванню залежить від чотирьох основних параметрів експлуатації деталей [1]:

- 1) мікротвердості зерен абразивної маси, з якої формується виріб;
- 2) форми й розмірів зерен;

- 3) температури поверхні;
- 4) тиску на поверхню, яка зношується.

Мікротвердість абразивних частинок залежно від виду маси, з якої пресуються виробу (кварцовий пісок, шамот, магнезит, електрокорунд, карборунд та ін.), знаходиться в межах 10...30 ГПа [12]. Форма зерен кварцового піску (рис. 4, а) близька до кулястої, тому ймовірність шаржування поверхні штампів при пресуванні силікатних виробів набагато нижча, ніж при її взаємодії із зернами шамоту, електрокорунду (рис. 4, б, в) та інших подібних абразивів, які використовуються при пресуванні вогнетривких виробів.

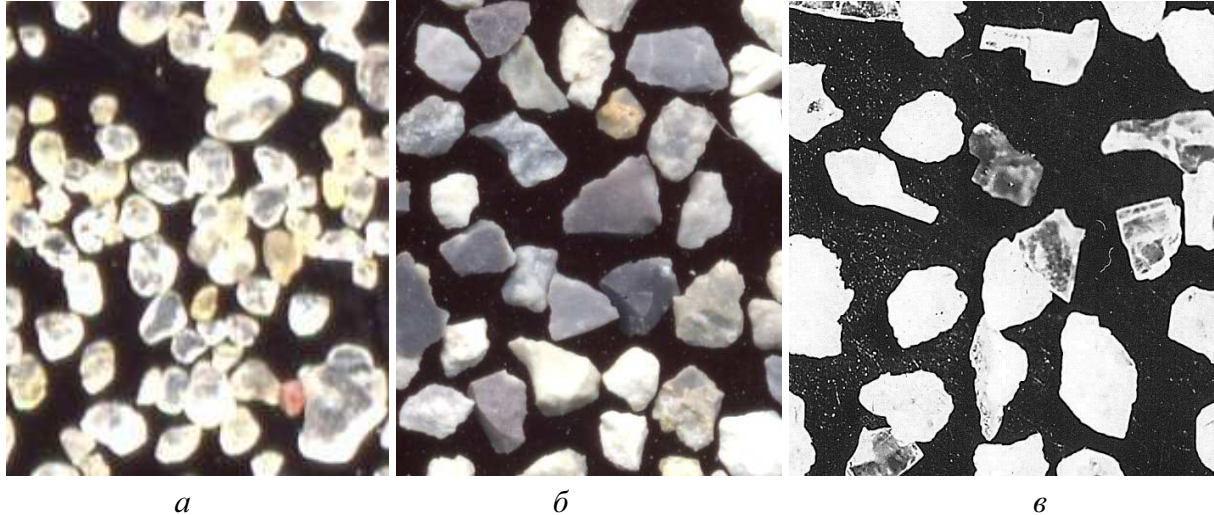


Рис. 4. Абразивні зерна, які входять до складу мас для пресування силікатної цегли і деяких видів вогнетривких виробів, $\times 6$:
а – кварцовий пісок; б – шамот; в – електрокорунд

Швидкість ковзання практично не впливає на інтенсивність зношування деталей пресової оснащення, якщо вона не призводить до помітного фрикційного нагріву поверхонь тертя (150...200° С). В умовах роботи пресформ такий рівень температури практично не можливий [1].

Пресування вогнетривких виробів здійснюється при середніх тисках від 150 до 600 МПа залежно від зусилля, яке розвиває прес, кількості та площі поперечного перетину виробів, які пресуються водночас. При виготовленні силікатної цегли цей показник режиму пресування в 2...3 рази нижче.

Який загальний тиск виникає при дії абразиву на робочу кромку в зазорі між боковою поверхнею штампів й облицювальною пластиною, а також в одиничному контакті її з абразивним зерном визначити складно. Однак, зважаючи на характер зношеної поверхні – канавки (подряпини) з навалами витисненого металу поряд з ними, можна вважати, що тиск є достатнім для виникнення напружень у місці контакту одиничного зерна з поверхнею і, як мінімум, вище межі плинності металу цементованого і загартованого шару сталі 20Х (твердість 55...63 HRC) [1].

Згідно з аналізом умов роботи штампів можна сформулювати в загальному вигляді основні вимоги, які ставляться до матеріалів, призначених для виготовлення нових штампів:

- повинна забезпечуватись достатньо висока зносостійкість робочої кромки й опір шаржуванню абразивом робочої поверхні штампів;
- треба забезпечити підвищений рівень в'язкості та пластичності матеріалу штампів у порівнянні з облицювальними пластинами пресформ;
- повинен забезпечуватись достатній рівень опірності крихкому руйнуванню та пластичній деформації (змінанню) робочої кромки при її взаємодії з облицювальною пластиною пресформи.

Випробування на опір абразивному зношуванню проводили на лабораторному стенді [13], розробленому в Національному університеті «Запорізька політехніка», який дозволяє фізично моделювати умови зношування деталей пресової оснащення. Зношування проводили з використанням шамоту. Досліджувалися зразки зміцнені двома основними способами хіміко-термічної обробки.

Перший – це традиційний, широко відомий спосіб [8; 14; 15], за яким насичення вуглецем відбувається при температурах (860...920 °С) на глибину від 1,0 до 2,0 мм. Гартування проводилось з цементаційного нагріву від цих же самих температур. Концентрація вуглецю безпосередньо на поверхні може сягати 1,0 % (рис. 5, крива 1). По мірі віддалення від поверхні, його вміст плавно зменшується до вихідного рівня в серцевині деталі. На рис. 5 заштрихована область відповідає інтервалу величини допустимого зносу штампів (рис. 2, б).

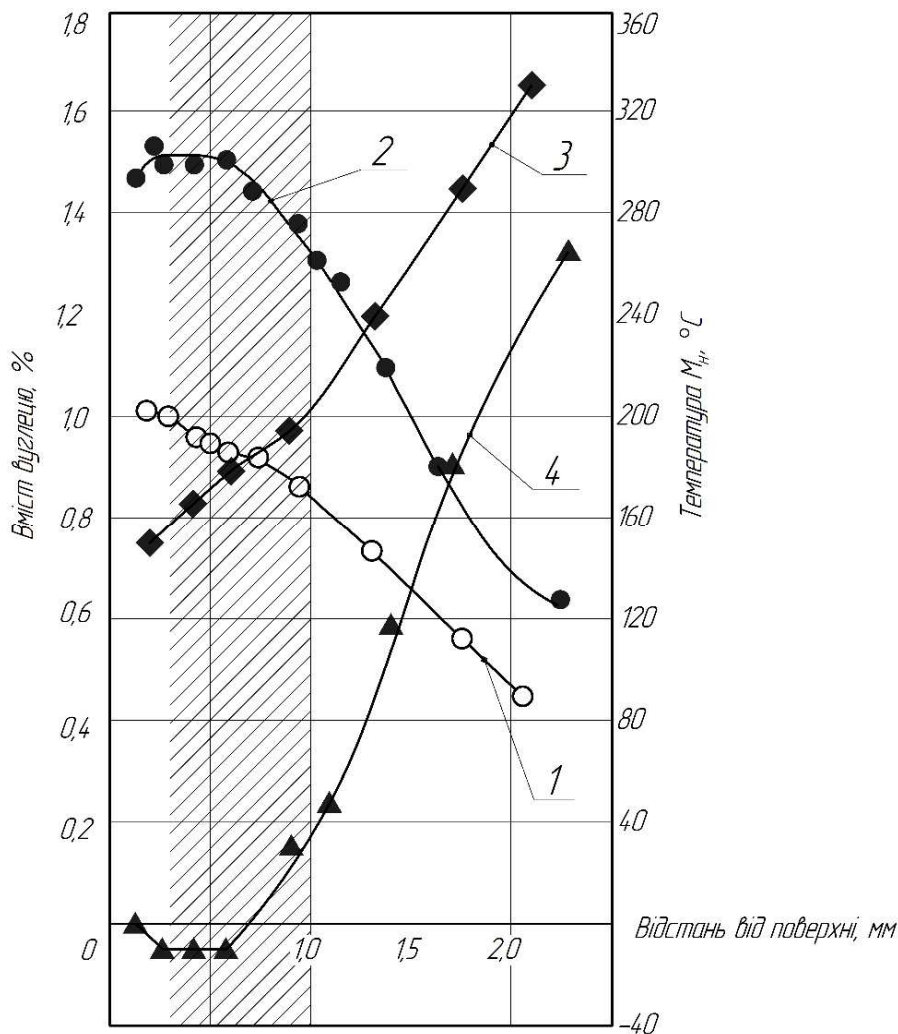


Рис. 5. Зміна концентрації вуглецю та температури початку мартенситного перетворення (M_n) за глибиною цементованого шару:

- 1 – зміна концентрації вуглецю після цементації при температурі 860...920 °С [2];
- 2 – зміна концентрації вуглецю після цементації при температурі 1030...1080 °С [2];
- 3 – зміна M_n після цементації при температурі $t_H = 860...940$ °С;
- 4 – зміна M_n після цементації при температурі 1030...1080 °С

Розрахункова температура початку мартенситного перетворення при охолодженні M_n для хімічного складу цементованого шару на глибині 0,2 мм становить 150 °С.

У міру віддалення від поверхні на глибині 2,0 мм M_n зростає до 320 °С. В інтервалі значень допустимого зносу (0,3...1,0 мм) M_n змінюється від 150 до 200 °С. А це означає,

що при гартуванні від температур цементації в шарі переважатиме структура, що включає до 15...20 % цементиту, який перебуває в переважно мартенситній основі (рис. 6, а). Загальна твердість поверхні становить 55...63 HRC. Наявність цементиту в структурі може бути не тільки некорисною, а й мати негативний вплив на зносостійкість. Це пов'язано, по-перше, з тим, що твердість цементиту практично не вища за твердість високовуглецевого мартенситу. По-друге, кристалічна решітка цементиту некогерентно сполучена з решіткою мартенситу. Тому мартенсит не може служити надійною металевою матрицею, яка утримує цементит у структурі при зношуванні. Ці карбіди можуть викришуватись, залишаючи в мартенситній основі мікрозаглиблення, тим самим зменшуючи її опір зношуванню абразивом.

Другий варіант хіміко-термічної обробки розроблений у Національному університеті «Запорізька політехніка» [2]. За цим способом цементація проводиться при високих температурах – 1030...1080 °С з гартуванням безпосередньо від цих температур. Насичення вуглецем поблизу поверхні досягає 1,45 % (рис. 5, крива 2) і плавно зменшується до 1,3 % на відстані від поверхні рівній гранично допустимому зносу. Це досить високий рівень вмісту вуглецю з точки зору здатності поверхні тертя до самозміцнення в процесі зношування сталей із метастабільним аустенітом. Раніше нашими дослідженнями спеціально виплавлених модельних сталей системи Fe-C-Cr було встановлено, що при однакових рівнях кількості метастабільного аустеніту в структурі при збільшенні вмісту вуглецю з 0,5 до 1,5 % мікротвердість поверхні тертя зростає з 9 ГПа до 12 ГПа, а зносостійкість в 5 разів [16].

У цьому випадку розрахункова температура початку мартенситного перетворення M_p для хімічного складу на початку цементованого шару близька до 0° С. Тому в структурі на початку шару кількість високовуглецевого метастабільного аустеніту складає 80...90 % (рис. 6, б) і близько 50 % на глибині насиченого шару, яка дорівнює величині гранично допустимого зносу кромки штамп.

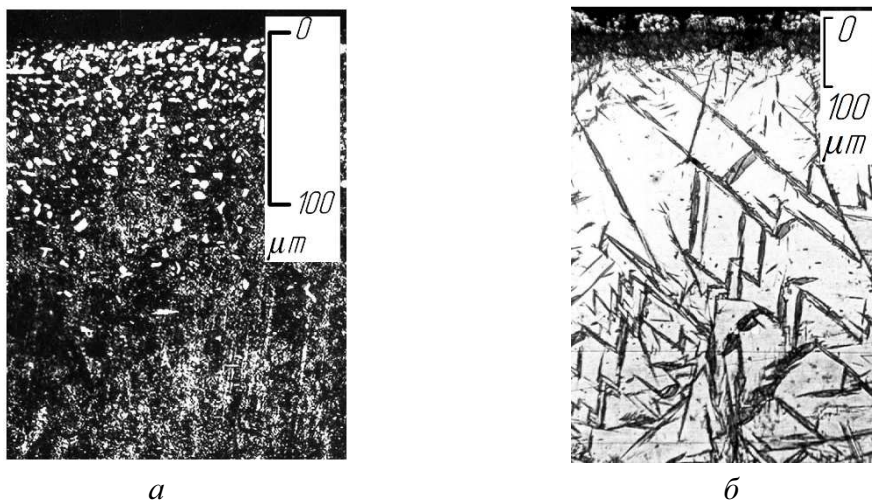


Рис. 6. Структура поверхневого шару сталі 20Х при температурах цементації 860...920 °С (а) та 1030...1080 °С (б) [2]

Механізм зношування оцінювали за характером продуктів поверхневого руйнування.

Для відокремлення з відпрацьованого абразиву металевих продуктів зношування використовувалось спеціальне пристосування (рис. 7, а). Принцип дії такий: неочищений абразив із продуктами зношування з верхнього бункера 4, у результаті дії вібратора 5, тонким шаром подається на похилу скляну пластину 2, під якою розташований постійний магніт 3. Перекочуючись по пластині, немагнітні зерна абразиву потрапляють у нижній бункер 1, а металеві продукти зношування залишаються на склі. Процес повторюється три-чотири рази, поки на склі не залишається жодної неметалевої частки.

Було встановлено, що серед продуктів зношування переважають лускоподібні частинки. Про це свідчать продукти зношування у вигляді мікролусок, які характерні для поверхневого втомного руйнування. Механізм зношування в таких випадках носить малоцикловий полідеформаційний характер.

Серед продуктів зношування є також дугоподібні або спіралеподібні мікростружки (рис. 7, б). Це вказує на те, що одночасно з малоцикловим полідеформаційним руйнуванням поверхні тертя протікає одноактне мікрорізання – процес значно інтенсивний, ніж втомне руйнування. Це також свідчить про те, що напруження в місці контакту абразивного зерна зі зношуваною поверхнею можуть перевищувати межу міцності металу.

При зношуванні річковим кварцовим піском, який добувають в р. Дніпро поблизу м. Запоріжжя, мікростружки практично не виявлено.

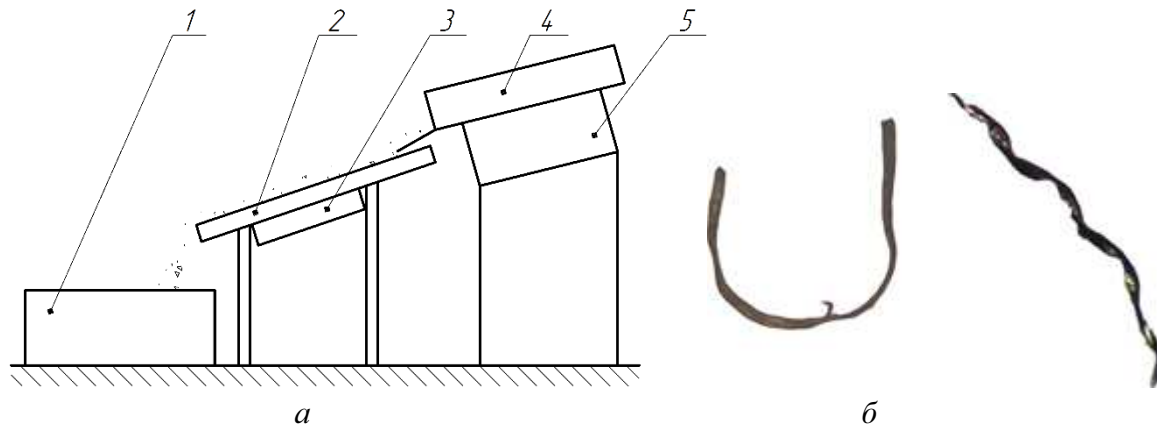


Рис. 7. Схема пристосування для відокремлення продуктів зношування з відпрацьованого абразиву (а) і характерний вид продуктів зношування (б), які утворюються в результаті одноактних процесів мікрорізання

У тих випадках, коли основною вимогою є опірність шаржуванню робочої поверхні, хіміко-термічну обробку штампів варто проводити за першим способом. Якщо ж штампи застосовуються для пресування маси, яка не схильна до шаржування поверхні, то їх хіміко-термічну обробку необхідно виконувати за другим варіантом. Дослідження, проведенні в лабораторних умовах, а також виробничі випробування штампів при виготовленні силікатної цегли та вогнетривких виробів показали, що при обробці зразків і деталей за другим варіантом, в порівнянні з першим способом, зносостійкість робочих кромок удвічі вища, при більш високій стійкості до сколювання фрагментів кромки у процесі роботи. Але навіть при повній реалізації можливостей цементованих сталей, термін служби штампів усе ж недостатній. Залишається проблема сколювання робочих кромки пластин штампів. Тому для подальших досліджень залишається актуальною задача розробки і вдосконалення технології відновлення їхніх робочих кромки наплавленням.

Висновки відповідно до статті. Штампи пресформ для виготовлення вогнетривких виробів і будівельної силікатної цегли повинні відповідати наступним вимогам: їхня робоча поверхня повинна мати достатньо високий опір шаржуванню абразивною масою, а робоча кромка – якомога більш високу зносостійкість при достатній експлуатаційній надійності.

Використання для виготовлення штампів високовуглецевих інструментальних сталей типу Х12 дуже ускладнено через недостатню експлуатаційну надійність, особливо при незначній їх товщині.

Нині найбільш прийнятними матеріалами для виготовлення штампів є сталі феритоперлітного класу типу 20Х та їх зміцнення шляхом цементації та гартування за двома основними варіантами:

1) цементація за порівняно невисокими температурами 860...940 °С і гартування від цих же самих температур на переважно мартенситну структуру цементованого шару твердістю 55...63 HRC;

2) насичення вуглецем при нетрадиційно високих температурах в інтервалі 1030...1080 °С і гартування від цих же температур на структуру цементованого шару з переважно метастабільним аустенітом та твердістю поверхні 36...42 HRC.

Якщо переважною експлуатаційною вимогою до штампів є опір їхньої робочої поверхні шаржуванню, то хіміко-термічну обробку необхідно проводити за першим варіантом. Якщо шаржування не є критичною проблемою, то обробку треба проводити за другим способом. При цьому, в порівнянні з першим способом, зносостійкість робочих кромок удвічі вища.

Список використаних джерел

1. Андрущенко М. І., Осіпов М. Ю., Капустян О. Є., Савонов Ю. М., Акритова Т. О., Кузьма С. О. Відновлення та зміцнення штампотримачів прес-форм для виготовлення силікатної цегли. *Актуальні наукові дослідження в сучасному світі* : матеріали XXXV Міжнародної наукової конференції, лютий 2018 р. Переяслав-Хмельницький, 2018. № 2(36), ч. 6. С. 151–157.
2. Зносостійкість сплавів, відновлення та зміцнення деталей машин : навч. посіб. / за ред. В. С. Попова. Запоріжжя : Мотор Січ, 2006. 420 с.
3. Чейлях А. П., Чейлях Я. А., Самогугина Ю. С. Перспективные упрочняющие технологии обработки материалов : учеб. пособие. Мариуполь : ООО «ППНС», 2016. 378 с.
4. Костик К. О. Зміцнення прес-форм лиття під тиском по нанотехнології. *Машинобудування*. 2013. № 12. С. 113–118.
5. Гармаева И. А. Фазовый состав и кинетика формирования диффузионных слоев при борировании сталей : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : 05.02.01. Барнаул, 2008. 16 с.
6. Витязь П. А., Белый А. В., Кукареко В. А., Шаркеев Ю. П. Сопротивление контактному и усталостному разрушению модифицированных ионами азота хромистых сталей. *Физическая мезомеханика*. 2004. Ч. 2. С. 149–152.
7. Жуков А. А., Навоев А. П., Фокин Б. В. Энергосберегающая двухступенчатая цементация. *Вестник рыбинской государственной авиационной технологической академии им. П. А. Соловьева*. 2018. № 2 (45). С. 160–166.
8. Жуков А. А., Навоев А. П. Применение цементации в области температур полиморфного превращения для энергосберегающего поверхностного упрочнения при восстановлении деталей машин. *Машиностроение: инновационные аспекты развития: Ремонт машин и оборудования*. 2018. № 1. С. 106–109.
9. Чейлях А. П., Рябикина М. А., Мак-Мак Н. Е. Связь износостойкости, шероховатости поверхности и параметров закалки цементованных конструкционных сталей. *Вісник приазовського державного технічного університету*. 2017. № 34. С. 30–39.
10. Чейлях А. П., Рябикина М. А., Караваева Н. Е. Влияние закалки на структуру, состав метастабильного остаточного аустенита и абразивную износостойкость цементованных конструкционных сталей. *Вісник приазовського державного технічного університету*. 2012. Вып. 25. С. 95–101.
11. Куликовський Р. А. Восстановление наплавкой штампов пресс-форм. *Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні*. 2012. № 2. С. 67–70.
12. Акрытова Т. А., Капустян О. Е., Брыков М. Н., Андрущенко М. И., Осіпов М. Ю., Мягкий И. В. Исследование влияния свойств абразивных материалов на способность к самоупрочнению и интенсивность изнашивания сталей в различном структурном состоянии. *Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем* : матеріали ІХ Міжнародної науково-практичної конференції, 14-16 травня 2019 р. Чернігів, 2019. Т. 2. С. 86-88.
13. Андрущенко М. І., Куликовський Р. А., Акритова Т. О., Капустян О. Є., Брыков М. М., Осіпов М. Ю. Дослідження та розробка стандартних і спеціальних випробувань матеріалів на опір безударному абразивному зношуванню. *Перспективні технології та прилади* : міжвузівський збірник. Луцьк : Луцький НТУ, червень 2019. С. 12–23.
14. Материаловедение и технологии металлов : учебник для студ. вузов / Г. П. Фетисов, М. Г. Карпман, В. М. Матюкин и др. Москва : Высш. шк., 2000. 638 с.
15. Термическая обработка в машиностроении : справочник / за ред. Ю. М. Лахтина, А. Г. Рахштадта. Москва : Машиностроение, 1980. 783 с.

16. Андрущенко М. И., Куликовский Р. А., Осипов М. Ю., Холод А. В., Капустян А. Е. Способность к самоупрочнению поверхности трения в процессе абразивного изнашивания и износостойкость сталей в зависимости от содержания углерода и хрома. *Новые материалы и технологии в металлургии и машиностроении*. 2014. № 1. С. 92–99.

References

1. Andrushchenko, M. I., Osipov, M. Yu., Kapustian, O. Ye., Savonov, Yu. M., Akrytova, T. O., Kuzma, S. O. (2018). *Vidnovlennia ta zmitsnennia shtampotrymachiv pres-form dlia vyhotovlennia sylikatnoi tsehly [Recovery and strengthening of stampers of press forms for manufacture of silicate brick], materialy XXXV Mizhnarodnoi naukovoï konferentsii [Materials of the XXXV International Science Conference]* (Pereiaslav-Khmelnitskyi, February, 2018). Pereiaslav-Khmelnitskyi [in Ukrainian].
2. Popov, V. S. (Ed.). (2006). *Znosostiikist splaviv, vidnovlennia ta zmitsnennia detalei mashyn [Wear resistance of alloys, restoration and hardening of machine parts]*. Zaporizhzhia: Motor Sich [in Ukrainian].
3. Cheiliakh, A. P., Cheiliakh, Ya. A., Samotuhyna, Yu. S. (2016). *Perspektivnye uprochniushchie tekhnologii obrabotki materialov [Promising hardening technologies of material handling]*. Maryupol: PPNS [in Russian].
4. Kostyk, K. O. (2013). *Zmitsnennia pres-form lyttia pid tyskom po nanotekhnologii [Molds hardening for injection molding by nanotechnology]*. *Mashynobuduvannia – Mechanical engineering*, 12, 113–118 [in Ukrainian].
5. Harnaeva, I. A. (2008). *Fazovyy sostav i kinetika formirovaniia diffuzionnykh sloev pri borirovaniï stalej [Phase Composition and formation kinetics of diffusion layers at borating of steel]*. (PhD thesis). Altajskij gosudarstvennyj tehničeskij universitet im. I. I. Polzunova, Barnaul [in Russian].
6. Vitjaz', P. A., Belyj, A. V., Kukareko, V. A., Sharkeev, Ju. P. (2004). *Soprotivlenie kontaktnomu i ustalostnomu razrusheniju modifitsirovannykh ionami azota hromistykh stalej [Resistance to contact and fatigue failure of chromium steels modified with nitrogen ions]*. *Fizicheskaja mezomehanika – Physical Mesomechanics*, 2, 149–152 [in Russian].
7. Zhukov, A. A., Navoev, A. P., Fokin, B. V. (2018). *Energosberegaiushchaia dvukhstupenchataia tsementatsiia [Energy-saving two-stage cementation]*. *Vestnik rybinskoj gosudarstvennoj aviacionnoj tehnologičeskoi akademii im. P. A. Soloveva – Herald of Rybinsk state aviation technological academie them. P. A. Soloviev*, 2 (45), 160–166 [in Russian].
8. Zhukov, A. A., Navoev, A. P. (2018). *Primenenie tsementatsii v oblasti temperatur polimorfnoho prevrashheniia dlia energosberegaiushchego poverhnostnogo uprochneniia pri vosstanovlenii detalei mashin [The use of cementation in the temperature range of polymorphic transformation for energy-saving surface hardening at restoring machine parts]*. *Mashinostroenie: innovacionnye aspekty razvitija: Remont mashin i oborudovaniia – Engineering: innovative aspects of development: Repair of machinery and equipment*, 1, 106–109 [in Russian].
9. Cheiliakh, A. P., Riabikina, M. A., Mak-Mak, N. E. (2017). *Sviaz iznosostoikosti, sherohovatosti poverhnosti i parametrov zakalki tsementovannykh konstrukcionnykh stalej [Communication of wear resistance, surface roughness and quenching parameters of cemented structural steels]*. *Visnyk pryazovskoho derzhavnoho tekhnichnoho universytetu – Herald of Priazov State Technical University*, 34, 30–39 [in Russian].
10. Cheiliakh, A. P., Riabikina, M. A., Karavaeva, N. E. (2012). *Vliianie zakalki na strukturu, sostav metastabilnogo ostatochnogo austenita i abrazivnuiu iznosostojkost tsementovannykh konstrukcionnykh stalej [The effect of quenching on the structure, composition of metastable residual austenite and abrasion resistance of cemented structural steels]*. *Visnyk pryazovskoho derzhavnoho tekhnichnoho universytetu – Herald of Priazov State Technical University*, 25, 95–101 [in Russian].
11. Kulykovskiy, R. A. (2012). *Vosstanovlenie naplavkoi shtampov press-form [restoration of stamps press-form by surfacing]*. *Novi materialy i tekhnologii v metalurhii ta mashynobuduvanni – New materials and technologies in metallurgy and mechanical engineering*, 2, 67–70 [in Russian].
12. Akrytova, T. A., Kapustian, O. Ye., Brykov, M. N., Andrushchenko, M. I., Osipov, M. Yu., Mjagkij I. V. (2019). *Issledovanie vliianiia svoistv abrazivnykh materialov na sposobnost k samouprochneniiu i intensivnost iznashivaniia stalej v razlichnom strukturnom sostoianii [Investigation of properties influence of abrasive materials on self-hardening ability and intensity wear of steel in various structural state]*. *Materialy IX Mizhnarodnoi naukovo-praktyčnoï konferentsii – Materials of the IX International scientific-practical conference* (Chernihiv, May 14-16, 2019) (pp. 86-88) Chernihiv [in Russian].

13. Andrushchenko, M. I., Kulykovskiy, R. A., Akrytova, T. O., Kapustian, O. Ye., Brykov, M. M., Osipov, M. Yu. (2019). Doslidzhennia ta rozrobka standartnykh i spetsialnykh vyprobuvan materialiv na opir bezudarnomu abrazivnomu znoshuvanniu [Investigation and development of standard and special test of materials resistance to shockless abrasive wear]. *Perspektyvni tekhnologii ta prylady – Advanced Technologies and Devices*, 14, 12–23 [in Ukrainian].
14. Fetisov, G. P., Karpman, M. G. ... Matjukin, V. M. (2000). *Materialovedenie i tehnologii metallov [Materials science and technology of metals]*. Moscow: Mashinostroenie [in Russian].
15. Lahtina, Ju. M., Rahshtadta, A. G. (Ed.). (1980). *Termicheskaja obrabotka v mashinostroenii [Heat treatment in mechanical engineering]*. Moscow: Vysshiaia shkola [in Russian].
16. Andrushchenko, M. I., Kulikovskij, R. A., Osipov, M. Yu., Holod, A. V., Kapustian, O. Ye. (2014). Sposobnost k samouprochneniiu poverhnosti treniia v processe abrazivnogo iznashivaniia i iznosostoičnost stali v zavisimosti ot sodержaniia ugleroda i khroma [The ability to self-strengthening of friction surfaces in the abrasive wear process and wear resistance of steels depending on the carbon and chromium content]. *Novye materialy i tehnologii v metallurgii i mashinostroenii – New materials and technologies in metallurgy and mechanical engineering*, 1, 92–99 [in Russian].

UDC 621.785.5

*Taisiia Akrytova, Mykhaylo Andrushchenko, Oleksii Kapustian,
Ruslan Kulykovskiy, Mykhaylo Osipov*

HARDENING TECHNOLOGY OF STAMPS MOLDS FOR THE MANUFACTURE OF REFRACTORY AND BUILDING PRODUCTS BY CEMENTATION

Urgency of the research. To a large extent, the quality and cost of silicate bricks and refractory products depend on the durability and reliability of the mold dies. Therefore, the choice of optimal materials for the manufacture of dies, methods of hardening and increase service life is an urgent task.

Target setting. Currently, the life of mold dies for pressing silicate brick and refractory products ranges from several hours to 15 days. Therefore, it is important to develop, study and substantiate the main criteria for selecting stamp materials, methods and technologies for their strengthening.

Actual scientific researches and issues analysis. A comparative analysis of possible modern options for the manufacture of dies from different steels, their thermal and chemical-thermal treatment.

Uninvestigated parts of general matters defining. At present, there is insufficient information about the ability to self-harden during friction and wear resistance of the friction surface of cemented dies made of low-alloy steels of ferrite-pearlite class in various structural states with different carbon contents.

The research objective. The aim of the work was the selection of materials for the manufacture of new dies, the structure of the working surface and the edges of the dies, the technology of their chemical-thermal treatment, depending on the working conditions.

The statement of basic materials. The working conditions of the mold dies, the mechanism and the nature of their wear are investigated. Two fundamentally different approaches to the hardening processes of mold dies from low alloy steels of type 20X are considered. The first is the generally accepted technology of cementation at relatively low temperatures - 860...940° C and hardening on a predominantly martensitic structure. The second is the saturation of the surface of the part with carbon at high temperatures - 1030...1080° C and hardening on the structure with a large amount (80...95 %) of high-carbon metastable austenite.

Conclusions. Currently, the most suitable materials for the manufacture of mold dies are steel ferrite-pearlite class type 20X and their hardening by cementation and hardening. The choice of one of the proposed cementation options depends on which of the requirements for dies is the main one - the stability of the abrasive to grind the work surface or the resistance to wear of the working edge.

Keywords: stamp; pres form; construction products; refractory products; cementation.

Fig.: 7. References: 16.

Акритова Таїсія Олександрівна – аспірант, кафедра обладнання та технології зварювального виробництва, Національний університет «Запорізька політехніка» (вул. Жуковського, 64, м. Запоріжжя, 69063, Україна).

Akrytova Taisiia – PhD student, Department of Welding Technology and Equipment, Zaporizhzhia Polytechnic National University (64 Zhukovsky Str., 69063 Zaporizhzhia, Ukraine).

E-mail: akritova7@ukr.net

Андрущенко Михайло Іванович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри обладнання та технології зварювального виробництва, Національний університет «Запорізька політехніка» (вул. Жуковського, 64, м. Запоріжжя, 69063, Україна).

Andrushchenko Mykhaylo – PhD in Technical science, Associate Professor, Associate Professor of Welding Technology and Equipment Department, Zaporizhzhia Polytechnic National University (64 Zhukovsky Str., 69063 Zaporizhzhia, Ukraine).

E-mail: andrushmi@gmail.com

SCOPUS Author ID: 6506764056

ResearcherID: S-7068-2018

Капустян Олексій Євгенович – кандидат технічних наук, доцент кафедри обладнання та технології зварювального виробництва, Національний університет «Запорізька політехніка» (вул. Жуковського, 64, м. Запоріжжя, 69063, Україна).

Kapustian Oleksii – PhD in Technical Science, Associate Professor of Welding Technology and Equipment Department, Zaporizhzhia Polytechnic National University (64 Zhukovsky Str., 69063 Zaporizhzhia, Ukraine).

E-mail: aek@zntu.edu.ua

SCOPUS Author ID: 57189211531

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8979-8076>

ResearcherID: AAE-9514-2019

Куликовський Руслан Анатолійович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри обладнання та технології зварювального виробництва, Національний університет «Запорізька політехніка» (вул. Жуковського, 64, м. Запоріжжя, 69063, Україна).

Kulykovskiy Ruslan – PhD in Technical Science, Associate Professor, Associate Professor of Welding Technology and Equipment Department, Zaporizhzhia Polytechnic National University (64 Zhukovsky Str., 69063 Zaporizhzhia, Ukraine).

E-mail: r.kulikovski@ukr.net

SCOPUS Author ID: 55071069100

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8781-2113>

ResearcherID: V-2212-2018

Осіпов Михайло Юрійович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри обладнання та технології зварювального виробництва, Національний університет «Запорізька політехніка» (вул. Жуковського, 64, м. Запоріжжя, 69063, Україна).

Osipov Mykhaylo – PhD in Technical Science, Associate Professor, Associate Professor of Welding Technology and Equipment Department, Zaporizhzhia Polytechnic National University (64 Zhukovsky Str., 69063 Zaporizhzhia, Ukraine).

E-mail: mosipov61@ukr.net

SCOPUS Author ID: 7005485836

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7903-9463>

ResearcherID: AAF-4993-2019

УДК 621.791.3

DOI: 10.25140/2411-5363-2020-2(20)-74-88

*Олександр Корнієнко, Сергій Олексієнко, Світлана Ющенко, Михайло Руденко***РОЗВИТОК ДЖЕРЕЛ ЕЛЕКТРИЧНОГО НАГРІВУ ДЛЯ ПАЯННЯ**

Актуальність теми дослідження. Однією з найбільш поширених технологій з'єднання матеріалів є паяння. Сучасні досягнення в галузі паяння різноманітних матеріалів складно переоцінити. Цей спосіб з'єднання знайшов широке використання у багатьох галузях промисловості та продовжує активно розвиватися. Однак для більш повного розуміння ступеня вагомості цієї технології в науково-технічному прогресі необхідно володіти знаннями про її історичний розвиток.

Постановка проблеми. У цьому контексті етапи розвитку технологій паяння та особливостей їх застосування є недостатньо проаналізованими.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Протягом історичного періоду розвитку процесів паяння знання про сутність техніки паяння були відомі лише практикам, і тільки в останнє півстоліття паяння інтенсивно вивчається науковцями.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Аналіз історичного розвитку, сучасного стану і прогнозування напрямів розвитку паяння досі виконується недостатньо ефективно.

Постановка завдання. Метою роботи є розширення знань та уявлень про етапи історичного розвитку способів паяння з електричними джерелами нагріву як найбільш перспективних на сьогодні.

Виклад основного матеріалу. Електрична енергія, яка є найбільш поширеним джерелом енергії, почала використовуватися в паянні ще у ХІХ столітті й залишається затребуваною в наш час, відкриваючи нові можливості технологій паяння.

Висновки відповідно до статті. Визначено основні історичні етапи розвитку паяння. Показано можливості практичних застосувань технологій паяння.

Ключові слова: паяння; технологія; техніка; матеріал; джерело нагріву; електричний струм; припій; флюс.

Рис.: 3. Бібл.: 58.

Актуальність теми дослідження. У теперішній час паяння є високорозвиненою технологією виготовлення виробів різного призначення з різноманітних металів і сплавів. Воно знаходить використання в різних галузях для з'єднання як найдрібніших деталей, наприклад електронних приладів, так і вузлів великогабаритної техніки в ракетобудуванні, енергетиці та інших галузях.

В останні десятиріччя інтенсивно розвивалися наукові засади паяння, значно розширився арсенал джерел нагріву. Вміст припоїв розробляється з урахуванням багатокомпонентних діаграм стану сплавів. Сучасні досягнення та можливості паяння освітлюються в численних публікаціях у періодичних виданнях, а також у монографіях, довідниках [1]. Однак, щоб більш повно й багатосторонньо розкрити значення техніки та історії суспільства, необхідно проаналізувати витoki технології паяння та її історичний розвиток [2].

Постановка проблеми. До теперішнього часу недостатньо висвітленими є етапи розвитку технологій паяння та особливостей їх застосування для виготовлення складних металевих виробів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У створення нових матеріалів, обладнання та технологій паяння значний внесок зробили вчені провідних наукових шкіл, що утворилися в науково-дослідних інститутах, навчальних закладах, галузевих лабораторіях різних країн світу. В Україні матеріали та техніку паяння розробляли та продовжують розробляти в Інституті електрозварювання ім. Є. О. Патона НАН України, Інституті проблем матеріалознавства ім. І. М. Францевича НАН України, Національному університеті кораблебудування ім. адмірала С. О. Макарова, Чернігівському національному технологічному університеті та деяких інших навчальних закладах, науково-дослідних інститутах та лабораторіях.

У більшості публікацій з історії металообробки описана технологія виготовлення відомих за архівними матеріалами паяних виробів. При цьому деякі автори [3–5] спиралися на результати металографічних досліджень. Протягом історичного періоду розвитку процесів паяння знання про сутність техніки паяння були відомі лише практикам, і тільки в останнє півстоліття паяння інтенсивно вивчається науковцями.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Незважаючи на те, що технічні можливості паяння значно розширилися і в багатьох випадках це єдина можлива технологія з'єднання нових матеріалів, аналіз історії та сучасного стану і прогнозування напрямів розвитку досі виконується недостатньо ефективно.

Постановка завдання. Метою роботи є розширення знань та уявлень про історичний розвиток технологій паяння з електричними джерелами нагріву як найбільш перспективних.

Виклад основного матеріалу. Електрична енергія, яка є найбільш поширеним джерелом енергії, широко використовується для паяння металів. У технологічних цілях вона почала використовуватися з часу винаходу перших накопичувачів і пристосувань для одержання електричного струму.

В історії техніки початок XIX ст. знаменувався створенням джерел постійного струму та відкриттям фізичних і хімічних явищ у галузі електрики. Майже одночасно в різних країнах почався пошук способів використання електричної енергії для вирішення виробничих проблем, насамперед технологічних, спрямованих на покращення способів обробки металів.

В. В. Петров, який відкрив явище дугового розряду (1802), відзначив можливість використання тепла дуги для плавлення металів. Тепловий вплив струму, що протікає по платиновому дроту, у 1881 р. спостерігав Л. Тенер, а в 1807 р. Г. Деві сконструював перші електропечі опору з прямим і непрямим нагріванням. Кількість теплоти Q , що виділяється в провіднику з опором R , за час t при протіканні струму I визначив у 1841 р. Дж. П. Джоуль і підтверджено у 1842 р. точними дослідженнями Е. Х. Ленца: $Q = \alpha I^2 R t$. У 1831 р. М. Фарадей відкрив явище електромагнітної індукції, а вихрові струми в металічних масах почав вивчати Л. Фуко. Аналітичним розрахунком цього явища займалися В. Фелісі (1853), Г. Герц (1880), Е. Хевісайд (1884) та інші фізики. Вперше спосіб індукційного нагрівання бруска заліза на Единбурзькій виставці у 1891 р. продемонстрував С. Томпсон [6].

Одночасно з експериментально-теоретичними дослідженнями цих явищ робилися спроби використання теплової дії струму для різноманітних технологічних процесів, зокрема і для технології плавлення та з'єднання металів. У 1877-1884 роках Е. Томпсон розробив стикове контактне зварювання, використавши явище нагрівання опором, а у 1881 р. М. М. Бенардос відкрив перший спосіб дугового зварювання плавленням [7].

Наприкінці XIX – початку XX ст. у різних країнах Європи й у США були винайдені оптимальні конструкції металургійних печей. У Росії також було розроблено декілька різних конструкцій оригінальних печей В. П. Іжевським [6; 8]. Завдяки цим винаходам стало можливим використання електрики не тільки для зварювання, але і для споріднених технологій, зокрема і для паяння. Електричні джерела нагріву вигідно відрізнялися від інших відомих на той час джерел тепла можливістю швидко й точно регулювати температуру та швидкість нагріву, паяти тугоплавкими припоями в будь-якому газовому середовищі або у вакуумі.

З останньої чверті XIX ст. почалася розробка обладнання і нових технологій паяння номенклатури матеріалів і виробів, яка постійно збільшувалася. З цього часу можна почати відлік другого періоду в історії паяння, який характеризується значним збільшенням способів з'єднання, підвищенням продуктивності процесів і якості виробів. До середини XX ст. технології паяння, засновані на використанні електричних джерел тепла, посіли чільне місце, витиснувши раніше відомі технології паяння з багатьох галузей промисловості, і стали ефективно використовуватися при вирішенні проблем науково-технічної революції, яка почалася.

Одним із перших було розроблене пічне паяння. У 1912 р. М. Н. Бекетов запаяв у печі в середовищі водню молібденові диски зі сталевими стержнями [9]. Перші роки паяння в газових середовищах, з флюсом і припоями, зокрема й тугоплавкими, виконувалися в

печах для закалювання, відпалювання, відпускання і нагрівання для кування, до цього часу в промисловості різних країн працювали дугові, індукційні печі і печі з нагрівом електроопором [6]. До кінця 1920-х років спеціально для паяння створені більш довершені печі. З-поміж перших були електропечі опором із нейтральним або активним газовим середовищем, пристосованими для збирання і транспортування. За принципом нагрівання виробів електропечі опором можна поділити на дві групи: печі з конвективною теплопередачею і печі з інфрачервоним нагріванням (передачею тепла нагріванням). В установках для індукційного паяння як джерела живлення використовують генератори підвищеної (500...10000 Гц) і високої (вище 500 000 Гц) частоти [1]. Найбільш оптимальним варіантом нагріву є нагрівання безпосередньо виробу. Знайшли також використання індукційні муфельні печі промислової частоти з машинними генераторами, в яких тепло передається від стінок. У 1939 р. на заводі «Світлана» (м. Ленінград) розроблена установка для індукційного вакуумного паяння корпусів свічок запалювання двигунів внутрішнього згорання.

У другій половині ХХ ст. у судо-, ракето- і авіабудуванні починають широко використовуватися титанові й алюмінієві сплави, в атомній енергетиці, криогенній техніці, електроніці й інших галузях, що розвиваються, – цирконієві, вольфрамові, нікелеві й інші сплави, високоміцні сталі. При виробництві та ремонті цих виробів у багатьох випадках паяння виявляється найбільш оптимальним і часто незамінним технологічним процесом. І для того щоб забезпечити потрібні експлуатаційні якості, протягом багатьох років ведеться пошук нових припоїв і технологій нагріву. При цьому властивості сплавів, що з'єднуються, і припоїв зумовлюють точне додержання режиму нагріву й управління хіміко-металургійними реакціями. Газополум'яні джерела нагріву цим умовам не відповідали. Тому основна увага з кінця 1940-х років була приділена розвитку нових технологій, заснованих на електронагріванні, при розміщенні виробів у печах і камерах, на відкритому повітрі й із локальним захистом, з використанням флюсів, спеціальних покриттів та ін.

Протягом наступних десятиріч розроблені печі різних конструкцій – багатокамерні, шахтні, двохковпакові та ін. [1]. Значно розширилися можливості паяння завдяки створенню печей із глибоким вакуумним регулюванням і печей із пристроями для стиснення деталей, що з'єднуються. Розробленням спеціальних печей для паяння займалися ВНДІСВЧ, ВНДІЕТО, ІЕЗ ім. Є. О. Патона, МАТІ ім. К. Е. Цюлковського та інші організації. Паяння в електропечах дозволяє використовувати флюси практично будь-якого складу, виконувати паяння у широкому температурному інтервалі при одночасному нагріванні всього виробу; крім металів, у печах можна одержувати надійні з'єднання металів із керамікою та керметами [1]. У 1960-х роках розроблена технологія паяння в печах металокерамічних вакуумно-щільних виробів [10]. Технологія паяння у вакуумних печах розроблена у 1970-х роках при виготовленні приладів для з'єднання корундової кераміки із залізо-нікелевими сплавами [10], при виробництві авіаційних конструкцій із титанових сплавів [11] і деталей газотурбінних двигунів із жароміцних сплавів [12]. З метою покращення якості паяння процес проводять у парах активних металів і захисно-відновлювальному середовищі в контейнерах, що поміщають у піч [13].

Прикладом ефективного використання паяння в звичайних печах для термічної обробки слугує обладнання та технологія виготовлення авіаційних і судових газотурбінних двигунів, створені спеціалістами НДІД і ФНПЦ ММПП «Салют» (м. Москва). Щоб збільшити експлуатаційні параметри двигунів, зокрема робочі температури гарячого тракту, знадобилося використати нові дисперсійно-зміцнювані жароміцні сплави типу ЖС, які належать до тих, що не зварюються і важко паяються. Паяння вузлів сопел і камер згорання, лопаток турбін і компресорів, а також інших деталей композиційними припоями запропонували ви-

конувати в контейнерах в активному газовому середовищі з суміші аргону і продуктів розкладу галогенідів. Така технологія дозволила не тільки виготовити великогабаритні вузли, але і зменшити витрати на підготовку до паяння і наступну термічну обробку [14].

Електропечі опору виявилися ефективними для реалізації процесу безфлюсового паяння в парах активних металів, причому в газових атмосферах меншої чистоти і в більш низькому вакуумі в порівнянні з іншими. В. Ф. Хоруновим, Б. М. Перевезенцевим та іншими досліджені фізико-хімічні процеси й розроблена технологія паяння припоями, що містять компоненти, які легко випаровуються, яка полягає у введенні в камеру печі парів цих елементів і доведена можливість легування з парової фази. Причому дослідження проводили при нагріванні в аргоні, азоті, вуглекислому газі й замкненому повітряному середовищі (рис. 1) [15].

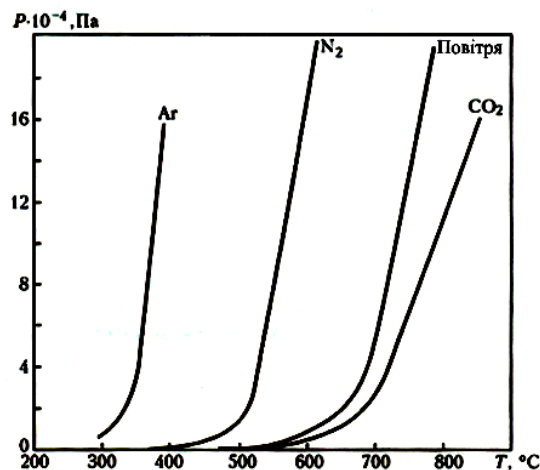


Рис. 1. Залежність початку випаровування цинку і створення активної парової атмосфери від температури, складу і тиску середовища

Джерело: [15].

З початку ХХ ст. позапічне паяння електроопором почало використовуватися в електротехнічній промисловості і приладобудуванні. Довгий час для з'єднання дротів, пластин, каркасів та інших вузлів паяння здійснювали на зварювальних стикових і точкових машинах, що дозволяли з високою точністю витримувати час і температуру нагрівання. При великій теплоємності деталей, що з'єднуються, можна багаторазово повторювати подачу імпульсів струму. Уже до 1920 р. були розроблені три схеми нагрівання: при безпосередньому проходженні струму через паяні деталі; при пропусканні струму через одну деталь із нагріванням другої шляхом теплопередачі; при розігріванні струмом спеціального нагрівача, за рахунок теплопередачі, від якого нагріваються паяні деталі [1; 9].

У Тольяттінському політехнічному інституті (С. В. Лашко та ін.) у 1960-х роках виконані дослідження зі створення технологій, що виключали такі способи видалення оксидних плівок, як використання вакуумування, активних газових середовищ, механічного або ультразвукового впливу, флюсування. Установлена можливість активування поверхонь, що паяються, шляхом локального розплавлення металів і сплавів при температурі, нижчій за їх автономне плавлення – контактно-реактивне паяння [16]. Цей процес використаний при безфлюсовому паянні алюмінієвих сплавів з деякими металами, що мають з алюмінієм хорошу хімічну спорідненість [17], а також при паянні корундової кераміки з ніобієвим сплавом за допомогою прошарків мідної і титанової фольги [18]. У МАТІ ім. К. Е. Ціолковського (Ю. С. Долгов, А. Ф. Нестеров і ін.) контактно-реактивне паяння з незначним тиском між деталями використане для виготовлення вузлів авіаційних двигунів із жароміцних нікелевих сплавів типу ЖС.

Особливо точно регулювання параметрів режиму нагрівання і металургії процесів досягнуте при контактному-реактивному паянні, зокрема при виробництві приладів з деталями з молібдену, вольфраму й міді, покритими золотом або сріблом (В. Ф. Хорунов, Ю. Б. Малевський, В. С. Несміх) [19; 20].

Подальшого розвитку металургія контактному-реактивного паяння набула при паянні тонкостінних та складних за конфігурацією виробів з алюмінію та його сплавів за рахунок використання клейких проміжних прошарків. Цей спосіб є високотемпературним паянням у вакуумній печі з використанням радіаційного нагріву. Як припой застосовували рідкий прошарок на основі силікату натрію, соляної кислоти та магнію, що вносяться безпосередньо в контакт деталей при складанні виробів [21-23].

У багатьох випадках при виборі технології паяння та обладнання вирішальне значення мають певні конкретні вимоги експлуатаційних якостей у поєднанні з економічністю. Так, наприклад, у ВНДІ інструментів (м. Москва) значної економії швидкоріжучих і конструкційних сталей вдалося досягнути завдяки електроконтактному нагріванню. Розроблено 12 модифікацій спеціалізованих електроконтактних установок, використання яких у 15...20 разів економить електроенергію і в 3...4 рази площу під обладнання порівняно з установками ТВ 4, дозволяє використовувати припої на основі Fe-Cu-Ni, замість припоїв на срібній основі [24]. Ефективний спосіб електроконтактного нагрівання при односторонньому двохточковому підводі струму розроблений у Грузинському політехнічному інституті [25].

Довгі роки в електронній промисловості, як і в ювелірній, основні припої складали на базі срібла. У зв'язку зі зростаючим обсягом виробництва приладів та інших виробів з електронними елементами виникла проблема економії дорогоцінних металів при паянні, і водночас підвищення надійності з'єднань. У багатьох організаціях для з'єднання деталей з міді й латуні розроблені припої систем Cu-P-Sn, Cu-Zn-P-Ni; для паяння нержавіючих сталей, міді і сталі – Cu-Zn-Sn, Cu=Zn-Mn. Широке використання знайшло електроконтактне безфлюсове паяння [26].

У 1960-х роках в ІЕЗ ім. Є. О. Патона розроблені установки для дифузійного паяння у вакуумі з індукційними й радіаційними нагрівачами [27]. У 1970-х роках американськими фірмами «Дженерал дайнемікс» і «Боїнг ейрплейн» випущені установки, в яких вироби нагріваються безпосередньо струмом, що протікає. У цих та інших установках здійснюється стискання деталей, що паяються [28]. У 1980-х роках введені в експлуатацію високовакуумні установки для дифузійного паяння в суднобудівній промисловості, розроблені в Миколаївському суднобудівному інституті (В. Ф. Квасницький і ін.) [29] і у спеціалізованих НДІ.

Нині індукційне паяння, незважаючи на складність обладнання і необхідність виготовлення спеціалізованих індукторів, посідає одне з чільних місць за обсягами використання та можливістю виготовлення складних конструкцій. Перші спеціалізовані установки та технологія швидкісного паяння при нагріванні струмами високої частоти розроблені В. П. Вологдіним і М. Г. Лозинським у другій половині 1930-х років. Індукційне паяння продовжує удосконалюватися в 1940–1950-х роках у НДІТМе, ВВІА ім. М. Є. Жуковського та інших організаціях (М. В. Поплавко, С. М. Лоцманов, В. П. Фролов і ін.) [30]. Такі переваги індукційного паяння, як швидке нагрівання виробів, висока продуктивність і можливість механізації та автоматизації, притягнули увагу багатьох спеціалістів у галузях промисловості, що розвиваються. До дослідження процесу індукційного нагрівання та удосконалення технології і обладнання підключилися ІЕЗ ім. Є. О. Патона, галузеві НДІ Мінсудпрому, Мінсередмашу і ін. Встановлено, що індукційне паяння забезпечує високу якість з'єднань із припоями, в яких срібло замінене менш вартісними компонентами [31], рівномірне розігрівання і швидке проникання при-

пою в тонкостінні вироби складної форми [32], одержання композитів у вигляді закладного елемента з композиційного припою [33]. Індукційне нагрівання знайшло використання для розплавлення значної кількості флюсу та припою для технологій з'єднання в розплавах цих матеріалів [34], зокрема і для паяння хвилею припою [35].

Індукційний струм може слугувати не тільки для нагрівання припоїв, флюсів і кромок, але і в деяких установках використовується сила взаємодії з власним магнітним полем для переміщення припою [35]. Так, його успішно використовують для прискорення флюсування [36].

На початку 1970-х років інтенсифікувалася робота над паянням із прикладенням сти-скаючих навантажень. Так, у ІЕЗ ім. Є. О. Патона була розроблена технологія зварювання-паяння на базі височастотного нагрівання. Зокрема, обладнання для височастотного паяння з використанням тиску таких великогабаритних виробів, як ротори турбін (В. К. Лебедев, Л. Г. Пузрін, Г. О. Бойко) [35]; труби (В. К. Лебедев, В. Д. Табелєв, О. С. Письменний) [37]. При достатньому пластичному деформуванні в зоні стику вдається досягнути рівномірного з основним металом з'єднання [38-41].

Розглянуті вище способи нагрівання при паянні розроблялися майже одночасно з такими ж способами нагрівання при зварюванні й термічній обробці. У 1920-х роках дуговий розряд став найбільш поширеним джерелом нагрівання при зварюванні, але використовувався для паяння досить обмежено. Причиною є висока концентрація теплової енергії в зоні активних плям, у результаті чого висока вірогідність підплавлення кромок виробів, а при зменшенні сили струму з метою зменшення теплового вкладу – горить нестійко. Однак у багатьох випадках дугове паяння знаходить використання саме завдяки відносно високій концентрації теплового вкладу. У 1920–1940-х роках для паяння, крім дуги побічної дії між двома електродами, використовували атомно-водневий процес.

До дугового нагрівання при паянні періодично поверталися в тих випадках, коли використовували припої з тугоплавкими компонентами і передбачалося локальне нагрівання. Так, наприкінці 1990-х років у ІЕЗ ім. Є. О. Патона і НВО «Машпроект» (В. Ф. Хорунов, С. В. Максимова тощо) розроблена технологія ремонтного паяння лопаток газотурбінних двигунів із високолегованих нікелевих сплавів із використанням дугового нагрівання вольфрамовим електродом в аргоні і композиційних нікелевих припоїв із цирконієм і гафнієм [42].

У 1964 р. в ІЕЗ ім. Є. О. Патона створено мікроплазмове зварювання, зокрема, уперше у світі – зварювання різнополярними імпульсами (Б. Є. Патон, В. С. Гвоздецький та ін.) [43]. Такий процес, що характеризується локальним нагріванням, одночасно зі зварюванням знайшов використання для паяння тонкостінних алюмінієвих сильфонів, ювелірних виробів, деталей електронних приладів. Перевагою використання апарату для мікроплазмової обробки є хороша видимість зони паяння та мінімальне вигорання і випаровування припоїв в інертних газах.

Треба відзначити, що термічний цикл у точці біля шовної зони, що нагрівається до температури плавлення припою (близько 100 °С), при мікроплазмовому процесі вигідно відрізняється від циклу нагрівання при аргонодуговому процесі (рис. 2). Такі особливості мікроплазмового процесу, як швидке нарощування температури (*I*) і значне зменшення перебування при максимальній температурі (*II*) дозволяють використовувати для паяння припої і флюси з компонентами, що легко випаровуються, зменшити зону термічного впливу. Ще однією перевагою є можливість подавання через зовнішнє сопло в зону плавлення припою хімічно активного (для припою) газу.

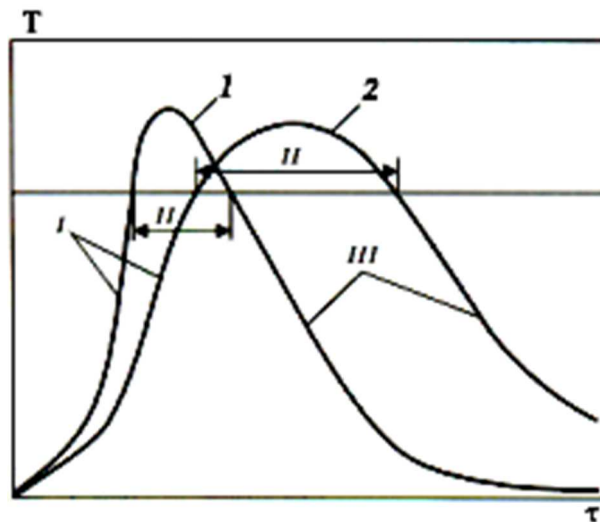


Рис. 2. Термічні цикли мікроплазмового (1) і аргонодугового (2) зварювання (паяння)

У 1970-х роках у МВТУ ім. М. Е. Баумана одержує розвиток процес зварювання і паяння неплавким порожнистим електродом у вакуумі (з натіканням аргону через порожнину вольфрамового електрода) [44]. Дугове паяння у вакуумі забезпечує високу якість з'єднання різних металів, зокрема і при відновленні форми й розмірів лопаток газових турбін [45]. Оригінальна установка й технологія дугового зварювання-паяння розроблена в Сибірському металургійному інституті ім. С. Орджонікідзе [46].

Інший вид електричного розряду – тліючий розряд – почав використовуватися для паяння з 1960-х років [46]. Він має певні переваги порівняно з іншими електричними джерелами нагріву. Значні обсяги досліджень технологічних особливостей цього процесу виконані в Київському політехнічному інституті (Д. І. Котельников), Миколаївському суднобудівному інституті (В. С. Ванін), Пермському НІТІ (В. Ф. Зіновієв та ін.) та інших установах [47-49]. Тліючий розряд забезпечує рівномірне нагрівання всього виробу або його ділянки, може існувати в будь-якому середовищі (наприклад, у відновлювальному), виконується без флюсів у замкненій камері, висока якість з'єднання забезпечується без спеціального зачищення поверхні [49]. Низькотемпературний тліючий розряд існує в середовищі нейтральних і активних газів при тисках 0,1...15 кПа. Паяння виконується з довгою витримкою деталей під тиском.

У наш час активно продовжують проводитися дослідження зварювання та паяння матеріалів у плазмі тліючого розряду науковцями Чернігівського національного технологічного університету (Г. П. Болотов, М. Г. Болотов) [50; 51].

Протягом багатьох десятиріч найголовнішою проблемою теплотехніки було створення теплообмінного устаткування. З 1960-х років особлива увага приділяється технології виготовлення пластинчасто-ребристих конструкцій не тільки в енергетиці, але й в авіабудуванні і ракетно-космічній техніці. В ІЕЗ ім. Є. О. Патона розроблений технологічний процес, при якому нагрівання виробу до температури розплавлення припою здійснюється у вакуумній печі паром гофрованих пластин, ізольованих від виробу. Як нагрівачі були також запропоновані графітові пластини, які поряд із високою теплопровідністю і високим електричним опором майже не деформуються при температурах паяння. Ці пластини стискають виріб у процесі нагрівання. Додатково виріб може нагріватися тліючим розрядом [52; 53]. Такі комбіновані установки дозволяють використовувати паяння теплообмінних і решітчастих конструкцій із різних матеріалів (рис. 3).

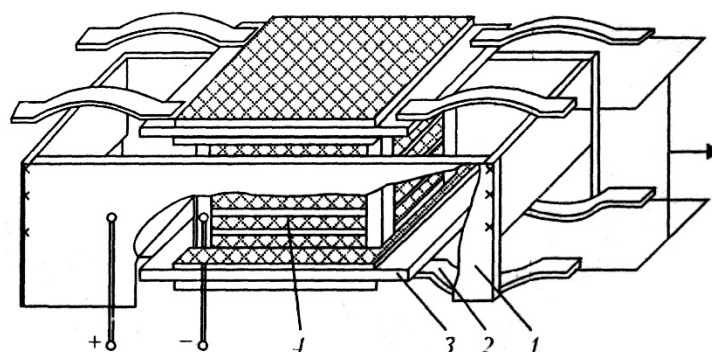


Рис. 3. Схема нагріву багатошарових конструкцій з пропусканням струму через графітові пластини з використанням тліючого розряду:

- 1 – рамка, що підключається до позитивного полюса другого джерела живлення для створення тліючого розряду; 2 – струмопідвід до графітової пластини та першого джерела живлення; 3 – графітова пластина з електроізоляційними шарами; 4 – виріб, що паяється*

Оригінальний спосіб виготовлення напівпровідникових приладів був розроблений у ІЕЗ ім. С. О. Патона (О. А. Россошинський, В. А. Лебіга, В. М. Кісліцин і ін.), заснований на нагріванні місця паяння джоулевым теплом, причому як нагрівний елемент використовується напівпровідникова структура, через яку пропускають електричний струм в прямому напрямку відносно *p-n*-переходу [54].

Крім згаданих технологій паяння, заснованих на тепловій дії електрики, відомі й інші види паяння (хвилею припою, автовакуумне, у розплавленому флюсі, електропаяльниками), в яких використовується теплова енергія, що виділяється при проходженні струму [34; 55–58].

Висновки відповідно до статті. Електричні джерела нагріву для паяння почали використовуватися наприкінці ІХ століття, що спричинило суттєвий прогрес у галузі обробки та з'єднання матеріалів.

В історії розвитку паяння можна виділити декілька етапів: експериментально-теоретичні дослідження електричних явищ (дугового розряду, електромагнітної індукції, вихрових струмів); використання електричного струму для паяння; розробка обладнання та нових технологій паяння, розширення номенклатури матеріалів, що з'єднуються; пошук нових припоїв, флюсів та технологій паяння внаслідок стрімкого розвитку різноманітних галузей техніки; розширення можливостей паяння завдяки створенню печей із вакуумним регулюванням та пристроїв для стиснення деталей; розвиток безфлюсового контактно-реактивного паяння; розробка дифузійного паяння у вакуумі з індукційними та радіаційними джерелами нагріву; розробка мікроплазмового, аргонодугового паяння та паяння у плазмі тліючого розряду.

Пройшовши довгий шлях становлення та розвитку, процес паяння продовжує розвиватися і надалі, залишаючись і в ХХІ столітті затребуваною технологією в різноманітних галузях промисловості.

Список використаних джерел

1. Справочник по пайке / под ред. С. Н. Лоцманова, И. Е. Петрунина, В. П. Фролова. Москва : Машиностроение, 1975. 407 с.
2. Техника в ее историческом развитии / под ред. С. В. Шухардина, Н. К. Ламана, А. С. Федорова. Москва : Наука, 1979. 413 с.
3. Колчин Б. А. Проблемы изучения технологии древнейших производств. *Очерки технологии древнейших производств*. Москва : Наука, 1975. С. 5-13.
4. Рыбаков Б. А. Ремесло Древней Руси. Москва, Ленинград : Изд-во АН СССР, 1948. 780 с.
5. Археология и естественные науки : сборник. Москва : Наука, 1967. 650 с.
6. Шевцов М. С., Бородачев А. С. Развитие электротермической техники. Москва : Энергоатомиздат, 1983. 208 с.

7. Хренов К. К., Корниенко А. Н. Сварка металлов в дореволюционной России. *Сварка в СССР*. Москва : Наука, 1982. С. 19-34.
8. Жадкевич А. М., Ижевский В. П. У истоков электрометаллургии. *Современная электрометаллургия*. 2004. №4. С. 50-54.
9. Лашко Н. Ф., Лашко-Авакян С. В. Пайка металлов. Москва: Машгиз, 1959. 442 с.
10. Метелкин И. И., Шмелев А. Е. О пайке керамики активными металлами. *Физика и химия обраб. материалов*. 1972. №4. С. 123-128.
11. Пайка изделий из сплава ВТ9 / Козлов В. В., Горчаков Р. К., Груздев Б. Л., Киселев О. С. *Автоматическая сварка*. 1978. №7. С. 53-55.
12. Технологические особенности пайки жаропрочных никелевых сплавов / Долгов Ю. С. и др. *Автоматическая сварка*. 1986. №12. С. 44-47.
13. Перевезенцев Б. Н., Краснопевцев А. Ю., Рябов В. Н. Изменение состава газовой среды при пайке в присутствии паров цинка. *Автоматическая сварка*. 1985. №11. С. 73-74.
14. Ключников И. П., Гейкин В. А., Крюков М. А. Создание неразъемных паяных соединений в авиационном двигателестроении. *Пайка-2000: материалы междунар. науч.-техн. конф., Тольятти, 2000*. С. 103-104.
15. Перевезенцев Б. Н., Тюнин Ю. Н., Краснопеев А.Ю. Применение паров активных металлов при высокотемпературной пайке сталей. *Пайка в машиностроении*. Омск: Омский политехн. ин-т, 1980. С. 193-197.
16. Лашко С. В., Уголовникова Г. Я., Лашко Н. Ф. Контактное твердожидкое активирование поверхности алюминиевых сплавов при бесфлюсовой пайке на воздухе. *Автоматическая сварка*. 1975. №7. С. 27-30.
17. Лашко С. В., Уголовникова Г. Н., Лашко Н. Ф. Контактно-реактивное активирование алюминиевых сплавов при высокотемпературной пайке в безокислительной среде. *Автоматическая сварка*. 1975. №8. С. 27-30.
18. Костина Л. А., Частиков С. М., Юдин В. М. Пайка ниобиевого сплава с корундовой керамикой. *Сварочное производство*. 1976. №10. С. 43-44.
19. Влияние на процесс сварки-пайки некоторых технологических параметров / Хорунов В. Ф., Малевский Ю. Б., Несмих В. С., Синица Н. Н. *Автоматическая сварка*. 1968. № 11. С. 22-25.
20. Олексієнко С. В., Савченко О. М., Ющенко С. М. Флюсове видалення оксидних плівок при паянні алюмінію та сплавів на його основі (літературний огляд). *Вісник Чернігівського державного технологічного університету : збірник*. Чернігів : ЧДТУ, 2013. № 1. С.119-124.
21. Спосіб реактивно-флюсового паяння алюмінію / Олексієнко С. В., Куликовський Р. А., Мартиненко В. О., Ющенко С. М. *Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні*. Запоріжжя : ЗНТУ, 2013. № 2. С.84-87.
22. Oleksienko S. V., Novomlynets O. O., Yushchenko S. M. Diffusion bonding technique concerning production of microchannel heat exchangers. *2016 IEEE 36th International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO) : Conference proceedings, April 19-21, 2016*. Kyiv : NYUU "Kyiv Polytechnic Institute", 2016. P.57-60.
23. Контактно-реактивная пайка меди с тугоплавкими металлами / Несмих В. С., Малевский Ю. Б., Губенко Б. Г., Хорунов В. Ф. *Автоматическая сварка*. 1970. №8. С. 59-61.
24. Иванов И. Н. Кузнецова Г. П. Современные припои и оборудование в инструментальном производстве. *Пайка-2000: материалы междунар. науч.-техн. конф., Тольятти, 2000*. С. 74-75.
25. Якобашвили С. Б., Могильнер И. Ю. Пайка элктроспротивлением медных выводов с элементами ферхалевых нагревателей. *Автоматическая сварка*. 1980. № 12. С. 57-59.
26. Кривошей А. В., Бельцев А. Н. Пайка и сварка в производстве радиоэлектронной аппаратуры. Москва : Энергия, 1974. 240 с.
27. Сварочное оборудование : Каталог-справочник. Ч. 2. Киев : Наук. думка, 1968. 350 с.
28. Петручук Л. Н., Каракозов Э. С., Григорьевский В. И. Нагревательное устройство для сварки давлением, пайки и термообработки многослойных панелей. *Автоматическая сварка*. 1976. № 12. С. 50-51.
29. Кафедре сварочного производства УГМТУ – 40 лет / Романовский Г. Ф. , Квасницкий В. Ф., Сафонов А. И. и др. *Зб. Наук. праць Укр. держ. морс. техн. ун-ту*. 1999. №6. С. 3-19.
30. Развитие пайки в 20-м веке / Фролов В. П., Маркова И. Ю., Ершов В. К. и др. *Пайка. Современные технологии, материалы, конструкции*. Москва: ЦРДЗ, 2001. С. 5-11.

31. Пайка низкоуглеродистой стали медно-фосфорным припоем / Табелев В. Д., Карета Н. Л., Россошинский А. А. и др. *Автоматическая сварка*. 1986. № 2. С. 73-74.
32. Пирожков Н. Г. Индукционная пайка корпусов реле. *Автоматическая сварка*. 1989. № 4. С. 73.
33. Лебедев В. К., Письменный А. С., Мартынова Т. И. Опыт использования композиционного припоя для сварки-пайки давлением. *Автоматическая сварка*. 1992. № 9/10. С. 42-43.
34. Пащенко М. А., Фрумин Е. И., Базильский С. В. Индукционная пайка шарошек геологических долот в расплаве флюса. *Автоматическая сварка*. 1987. № 5. С. 71-72.
35. Автоматизация пайки печатных плат / Буслович С. Л., И. А. Коциньш И. А., Калкут Л. Е., Гельфгат Ю. М. Москва : Энергия, 1976. 216 с.
36. Сторчай Е. И. Кинетика и механизм процесса флюсования при пайке алюминия и его сплавов в расплавах хлориднофторидных солей. *Автоматическая сварка*. 1975. № 1. С. 36-39.
37. Протоколы технических совещаний / *Архив ИЭС им. Е.О. Патона*. Описание 1, № 2438, л. 233.
38. Протоколы технических совещаний / *Архив ИЭС им. Е.О. Патона*. Описание 1, № 2440, л. 21.
39. Лебедев В. К., Табелев В. Д., Письменный А. С. Стыковая пайка под давлением стальных трубопроводов. *Автоматическая сварка*. 1983. № 9. С. 25-27.
40. Письменный А. С., Шинлов М. Е., Сафронов Е. А. Некоторые особенности индукционной стыковой сваркопайки труб, эмалированных изнутри. *Автоматическая сварка*. 1998. № 10. С. 32-37.
41. Письменный А. С. Новое в применении индукционного нагрева в сварке и родственных технологиях. *Автоматическая сварка*. 1998. № 11. С. 54-60.
42. Высокотемпературная пайка жаропрочных никелевых сплавов с использованием дугового нагрева / Хорунов В. Ф., Максимов С. В., Зволинский И. В., Самохин М. С. *Збірник наукових праць Українського державного морського технічного університету*. 1999. № 6. С. 114-116.
43. Микроплазменная сварка / Патон Б. Е., Гвоздецкий В. С., Дудко Д. А. и др. Киев : Наукова думка. 1979. 248 с.
44. Возбуждение дугового разряда с полым катодом и способы управления разрядом / Попов Ю. В., Ямпольский В. М., Магнитов В. С. и др. *Известия вузов машиностроения*. 1972. № 10. С. 188-190.
45. Ямпольский В. М., Неровный В. М. Упрочнение и восстановление рабочих лопаток газотурбинных двигателей пайкой в вакууме. *Труды МВТУ*. 1981. № 363. С. 72-78.
46. Терентьев В. А., Шапенков В. Г., Зубков Н. С. Совершенствование технологии дуговой сваркопайки. *Автоматическая сварка*. 1990. № 7. С. 58-62.
47. Ванин В. С. Сварка и пайка металлов в тлеющем разряде. *Автоматическая сварка*. 1962. № 4. С. 23-25.
48. Котельников Д. И. Технологические возможности и проблемы пайки в плазме тлеющего разряда изделий единичного и массового производства. *Сборник «Новые достижения в области пайки»*. Киев : ИЭС им. Е.О. Патона, 1981. С. 103-107.
49. Пайка в тлеющем разряде разнородных материалов и твердых сплавов / Зиновьева В. Ф., Гальцева С. М., Емельянов С. В., Галев В. А. *Автоматическая сварка*. 1990. № 11. С. 71-73.
50. Болотов Г. П., Рыжов Р. М., Болотов М. Г. Очистка тлеющим разрядом металлических поверхностей перед диффузионной сваркой и пайкой в вакууме. *Вісник НТУУ «КПІ». Серія машинобудування*. 2009. № 57. С. 124-127.
51. Bolotov G. P., Bolotov M. G., Nahorna I. V. Hollow Cathode Glow Discharge as a Heating Source in Welding and Brazing. *2017 IEEE First Ukraine Conference on ELECTRICAL AND COMPUTER ENGINEERING (UKRCON)*, May 29 – June 2, 2017. Kharkiv, 2017. P. 1197-1203.
52. Кужель А. В., Хорунов В. Ф., Малевский Ю. Б. Технология пайки слоистых конструкций. *Информ. письмо ИЭС им. Е. О. Патона*. 1979. № 9. С. 2.
53. Опытнo-промышленная установка для пайки пластинчато-ребристых теплообменников / Кужель А. В., Хорунов В. Ф., Малевский Ю. Б., Некрасов А. И. и др. *Информ. письмо ИЭС им. Е.О. Патона*. 1979. № 28 (1182). С. 3.
54. Кислицын В. М. Пайка полупроводниковых приборов с нагревом электросопротивлением. Современные методы пайки. Киев : ИЭС им. Е.О. Патона, 1982. С. 109-112.
55. Хрякин В. Е., Лакедеманский А. В. Справочник паяльщика. Москва : Машиностроение, 1974. 327 с.

56. Кучук-Яценко В. С., Швець В. И., Гордань Г. Я. Формирование переходных зон в соединении нержавеющей стали X18H9T со сплавом АД1 при пайке припоем П 425. *Новые достижения в области пайки*. Киев : ИЭС им. Е. О. Патона, 1992. С. 100-103.

57. Пузрин Л. Г., Бойко Г. А., Атрошенко М. Г. Автовакуумная высокотемпературная пайка. Киев : Об-во «Знание», 1975. 18 с.

58. Радзиевский В. Н., Ткаченко Г. Г. Высокотемпературная вакуумная пайка в компрессоростроении. Киев : Екотехнологія, 2009. 397 с.

References

1. Lotcmanov, S. N., Petrunin, I. E., Frolov, V. P. (Eds.). (1975). *Spravochnik po pайке [Reference book of brazing]*. Moscow: Mashinostroeniie [in Russian].
2. Shukhardin, S. V., Laman, N. K., Fedorov, A. S. (Eds.). (1979). *Tekhnika v ee istoricheskom razvitiі [Engineering in its historical development]*. Moscow: Nauka [in Russian].
3. Kolchin, B. A. (1975). Problemy izucheniia tekhnologii drevneishih proizvodstv [Problems of study of ancient production technology]. *Ocherki tekhnologii drevneishikh proizvodstv – Sketches of ancient production technology*. Moscow: Nauka [in Russian].
4. Rybakov, B. A. (1948). *Remeslo Drevnei Rusi [Trade of Ancient Russia]*. Moscow, Leningrad: Izdatelstvo AS USSR [in Russian].
5. *Arheologіia i estestvennye nauki [Archeology and natural sciences]*. (1977). Moscow: Nauka [in Russian].
6. Shevtsov, M. S., Borodachev, A.S. (1983). *Razvitie elektromehaniсheckoі tekhniki [Development of electrothermic engineering]*. Moscow: Energoatomizdat [in Russian].
7. Khrenov, K. K., Kornienko A. N. (1982). Svarka metallov v dorevolutyonnoі Rossii [Welding of metals in pre-revolutionary Russia]. *Svarka v SSSR – Welding in the USSR*. Moscow: Nauka [in Russian].
8. Zhadkevich, A. M., Izhevskiy, V. P. (2004). U istokov elektrometallurgii [In the roots of electrical metallurgy]. *Sovremennaia metallurgіia – Modern electrical metallurgy*, 4, 50-54 [in Russian].
9. Lashko, N. F., Lashko-Avakyanyan, S. V. (1959). *Paika metallov [Brazing of metals]*. Moscow: Mashgiz [in Russian].
10. Metelkin, I. I., Shmelev, A. E. O paіke keramiki aktivnymi metallami [About brazing of ceramics by active metals]. *Fizika i khіmia obrabatyvaemykh materialov – Physics and chemistry of treated materials*, 4, 123-128 [in Russian].
11. Kozlov, V. V., Gorchakov, R. K., Gruzdev, B. L., Kiselev, O. S. (1978). Paika izdelii iz splava VT9 [Brazing of products of titanium alloy VT9]. *Avtomatiсheskaia svarka – Automatic welding*, 7, 53-55 [in Russian].
12. Dolgov, Yu. S., Nesterov, A. F., Tkachenko, A. G. (1986). Tekhnologicheskie osobennosti paiki zharoprochnykh nіkelevykh splavov [Technological features of brazing of heat-resistant nickel alloys]. *Avtomatiсheskaia svarka – Automatic welding*, 12, 44-47 [in Russian].
13. Perevezentsev, B. N., Krasnopevtsev, A. Yu., Ryabov, V. N. (1985). Izmenenie sostava gazovoi sredy pri paіke v prisutstvii parov tsynka [Change of composition of gaseous medium during brazing in presence of zinc vapors]. *Avtomatiсheskaia svarka – Automatic welding*, 11, 73-74 [in Russian].
14. Kliuchnikov, I. P., Geykin, V. A., Kriukov M. A. (2000). *Sozdanie narazjemnykh payanykh soedinenii v aviatsionnom dvigatelestroenii [Creation of permanent brazed joints in aviatіonal motor engineering]*. Materialy mezhdunarodnoі nauchno-tehnіcheskoі konferentsii “Paika-2000” [Materials of international scientific-technical conference “Brazing-2000”] (Toljati, 2000). Toljati [in Russian].
15. Perevezentsev, B. N., Tunin, Iu. N., Krasnopee, A. Iu. (1980). Primenenie parov aktivnykh metallov pri vysokotemperaturnoі paіke stalei [Application of active metals vapors during brazing]. *Paika v mashinostroenii – Brazing in mechanical engineering* (pp. 193-197) [in Russian].
16. Lashko, S. V., Ugolovnikova, G. Ya., Lashko, N. F. (1975). Kontaktnoe tverdozhidkoe aktivirovanіe poverhnosti aluminіevykh splavov pri bezflusovoi paіke na vozdukhіe [Contact solid-liquid activation of the surface of alluminium alloys during fluxless brazing on the air]. *Avtomatiсheskaia svarka – Automatic welding*, 7, 27-30 [in Russian].
17. Lashko, S. V., Ugolovnikova, G. Ya., Lashko, N. F. (1975). Kontaktno-reaktivnoe aktivirovanіe aluminіevykh splavov pri vysokotemperaturnoі paіke v bezokislitelnoі srede [Contact reactive activation of alluminium alloys during brazing in oxidative less medium]. *Avtomatiсheskaia svarka – Automatic welding*, 8, 27-30 [in Russian].

18. Kostina, L. A., Chastikov, S. M., Yudin, V. M. (1976). Paika niobievogo splava s korundovoi keramikoi [Brazing of niobium alloy with corundum ceramics]. *Svarochnoe proizvodstvo – Welding production*, 10, 43-44 [in Russian].
19. Horunov, V. F., Malevskiy Yu. B., Nesmih, V. S., Sinitza, N. N. (1968). Vliyanie na protsess svarki-paiki nekotorykh tehnologicheskikh parametrov [Influence some technological parameters on the welding-brazing process]. *Avtomaticheskaia svarka – Automatic welding*, 11, 22-25 [in Russian].
20. Oleksienko, S., Savchenko, O., Yushchenko, S. (2013). Flusove vydalennia oksydnyh plivok pry paianni aliuminiuu ta splaviv na yoho osnovi (literaturnyi ohliad) [Flux moving of oxide films at brazing of aluminium and its alloys]. *Visnyk Chernihivskoho derzhavnogo tehnolohichnoho universytetu – Journal of Chernihiv State Technological University*, 1, 119-124 [in Ukrainian].
21. Oleksienko, S., Kulikovskiy, R., Martynenko, V., Yushchenko, S. (2013). Sposib reaktivno-flusovoho paiannia aliuminiuu [Reactive-flux brazing of aluminium]. *Novi materialy i tehnologii v metalurgii ta mashinobuduvanni – New materials and technologies in mechanical engineering*, 2, 84-87 [in Ukrainian].
22. Oleksienko, S. V., Novomlynets, O. O., & Yushchenko, S. M. (2016). Diffusion bonding technique concerning production of microchannel heat exchangers, 2016 *IEEE 36th International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO)*. Kyiv, Ukraine: NYUU “Kyiv Polytechnic Institute” [in Ukrainian].
23. Nesmih, V. S., Malevskiy, B. G., Gubenko, B. G., Horunov, V. F. Kontaktno-reaktivnaya paika medi s tugoplavkimi metallami [Contact reactive brazing]. *Avtomaticheskaia svarka – Automatic welding*, 8, 59-61 [in Russian].
24. Ivanov, I. N., Kuznetsova, G. P. *Sovremennye pripoi i oborudovanie v instrumentalnom proizvodstve [Modern solders and equipment in instrumental production]*. Materialy mezhdunarodnoi nauchno-tehnicheskoi konferentsii “Paika-2000” [Materials of international scientific-technical conference “Brazing-2000”] (Toljati, 2000). Toljati [in Russian].
25. Iakobashvili, S. B., Mogilner, I. Iu. (1980). Paika elektrosoprotivleniem mednyh vyvodov s elementami ferhalevyh nagrevatelei [Resistance brazing of copper outlets with elements of ferchal heaters]. *Avtomaticheskaia svarka – Automatic welding*, 12, 57-59 [in Russian].
26. Krivoshei, A. V., Beltsev, A. N. (1974). *Paika i svarka v proizvodstve radioelektrinoi apparatury [Brazing and welding in the production of radio-electronic apparatus]*. Moscow: Energiia [in Russian].
27. *Svarochnoe oborudovanie: katalog-spravochnik [Welding equipment: catalogue-reference book]*. Part 2. (1968). Kyiv: Naukova dumka [in Ukrainian].
28. Petrushuk, L. N., Karakozov, E. S., Grigorevskii, V. I. (1976). Nagrevatelnoe ustroistvo dlia svarki davleniem, paiki i termoobrabotki mnogosloinyh panelei [Heating device for pressure weldin, brazing and thermal treatment of multi-layer panels]. *Avtomaticheskaia svarka – Automatic welding*, 12, 50-51 [in Russian].
29. Romanovsii, G. F., Kvasnitskii, V. F., Safonov, A. I. et al. (1999). Kafedre svarochnogo proizvodstva UGMTU – 40 let [Department of welding production of UGMTU – 40 years]. *Zbirnyk naukovykh prats Ukrainskoho derzhavnogo morskoho tekhnichnoho universytetu – Collection of works of Ukrainian State Marine Technical University*, 6, 3-19 [in Russian].
30. Frolov, V. P., Markova, I. Iu., Eroshev, V. K. (2001). Razvitie paiki v 20-m veke [Development of brazing in 20th century]. *Sovremennye tekhnologii, materialy i konstruksii – Modern technologies, materials and structures*, 5-11 [in Russian].
31. Tabelev, V. D., Kareta, N. L., Rossoshinskii, A. A. et al. (1986). Paika nizkouglerodistoi stali medno-fosfornym pripoem [Brazing of low-carbon steel by copper-phosphorus solder]. *Avtomaticheskaia svarka – Automatic welding*, 2, 73-74 [in Russian].
32. Pirozhkov, N. G. (1989). Induktsionnaia paika korpusov rele [Induction brazing of relay body]. *Avtomaticheskaia svarka – Automatic welding*, 4, 73 [in Russian].
33. Lebedev, V. K., Pismennyi, A. S., Martynova, T. I. (1992). Opyt ispolzovaniia kompozitsionnogo pripoia dlia svarki-paiki davleniiem [Experience of usage of composition solder for pressure welding-brazing]. *Avtomaticheskaia svarka – Automatic welding*, 9/10, 42-43 [in Russian].
34. Pashchenko, M. A., Frumin, E. I., Bazilskii, S. V. (1987). Induktsionnaia paika sharoshek geologicheskikh dolot v rasplave flusa [Induction brazing of rolling geological chisels in flux melt]. *Avtomaticheskaia svarka – Automatic welding*, 5, 71-72 [in Russian].

35. Buslovich, S. L., Kotcinsh, I. A., Kalkut, L. E., Gelfgat, Iu. M. (1976). *Avtomatizatsiia paiki pechatnykh plat [Automation of brazing of printed-circuit board]*. Moscow: Energiia [in Russian].
36. Storchai, E. I. Kinetika i mekhanizm protsessy flusovaniia pri paike aluminia i ego splavov v rasplavakh khloridnoftoridnykh solei [Kinetics and mechanism of fluxing during brazing of aluminium and its alloys in melts of chloride-fluoride salts]. (1975). *Avtomaticheskaiia svarka – Automatic welding*, 1, 36-39 [in Russian].
37. Protokoly tekhnicheskikh soveshchnii [Protocols of technical deliberations]. *Arkhiv IES imeni E. O. Patona – Archives of the Paton Welding Institute*
38. Protokoly tekhnicheskikh soveshchnii [Protocols of technical deliberations]. *Arkhiv IES imeni E. O. Patona – Archives of the Paton Welding Institute*
39. Lebedev, V. K., Tabelev, V. D. Pismennyi, A. S. (1983). Stykovaia svarka pod davleniem stalnykh tuboprovodov [Butt pressure welding of steel pipes]. *Avtomaticheskaiia svarka – Automatic welding*, 9, 25-27 [in Russian].
40. Pismennyi, A. S., Shinlov, M. E., Safronov, E. A. Nekotorye osobennosti induktsionnoi stykvoi svarko-paiki trub, emalirovannykh iznutri [Some features of induction butt welding-brazing of pipes enameled inside]. *Avtomaticheskaiia svarka – Automatic welding*, 10, 32-37 [in Russian].
41. Pismennyi, A. S. (1998). Novoe v primenenii induktsionnogo nagreva v svarke i rodstvennykh tekhnologiiakh [New in application of induction heating in welding and related technologies]. *Avtomaticheskaiia svarka – Automatic welding*, 11, 54-60 [in Russian].
42. Horunov, V. F., Maksimov, S. V., Zvolinskii, I. V., Samohin, M. S. (1999). Vysokotemperaturnaia paika zharoprochnykh nikelovykh splavov s ispolzovaniem dugovogo nagreva [High-temperature brazing of heat-resistant nickel alloys with usage of arc heating]. *Zbirnyk naukovykh prats Ukrainskoho derzhavnogo morskoho tekhnichnogo universytetu – Collection of works of Ukrainian State Marine Technical University*, 6, 114-116 [in Russian].
43. Paton, B. E., Gvozdetskii, V. S., Dudko, D. A. et al. (1979). *Mikroplazmennaiia svarka [Microplasmic welding]*. Kyiv: Naukova dumka [in Russian].
44. Popov, Iu. V., Iampolskii, V. M., Magnitov, V. S. et al. (1972). Vozbuzhdenie dugovogo razriada s polym katodom i sposoby upravleniia razriadom [Excitation of arc discharge with hollow cathode and methods of discharge control]. *Izvestia vuzov mashinostroeniia – Proceedings of mechanical engineering universities*, 10, 188-190 [in Russian].
45. Iampolskii, V. M., Nerovnyi, V. M. (1981). Uprochnenie i vosstanovlenie rabochih lopatok gazoturbinykh dvigatelei paikoi v vakuume [Hardening and renewal of turbine engines blades by brazing in vacuum]. *Trudy MVTU – Works of MVTU*, 363, 72-78 [in Russian].
46. Terentiev, V. A., Shapenkov, V. G., Zubkov, N. S. (1990). Sovershenstvovanie tekhnologii dugovoi svarkopaiki [Perfection of technology of welding-brazing]. *Avtomaticheskaiia svarka – Automatic welding*, 7, 58-62 [in Russian].
47. Vanin, V. S. (1962). Svarka i paika metallov v tleiushchem razriade [Welding and brazing metals by glow discharge]. *Avtomaticheskaiia svarka – Automatic welding*, 4, 23-25 [in Russian].
48. Kotelnikov, D. I. (1981). Tekhnologicheskie vozmozhnosti i problemy paiki v plazme tleiushchego razriada izdelii edinichnogo i massovogo proizvodstva [Technological facilities and problems of brazing in glow discharge plasma of products for single-part and mass production]. *Sbornik "Novye dostizhenia v oblasti paiki" – Collection "New achievements in brazing"* [in Russian].
49. Zinovieva, V. F., Galtceva, S. M., Emelianov, S. V., Galev, V. A. (1990). Paika v tleiushchem razriade raznorodnykh materialov i tverdyykh splavov [Brazing in glow discharge of heterogeneous materials and hard alloys]. *Avtomaticheskaiia svarka – Automatic welding*, 11, 71-73 [in Russian].
50. Bolotov, G. P., Ryzhov, R. M., Bolotov, M. G. (2009). Ochistka tleiushchim razriadom metallicheskih poverhnostei pered diffuzionnoi svarkoi i paikoi v vakuume [Cleaning of metallic surfaces by glow discharge before diffusion welding and brazing]. *Visnyk NTUU "KPI" – Bulletin NTUU "KPI"*, 57, 124-127 [in Ukrainian].
51. Bolotov, G. P., Bolotov, M. G., Nahorna, I. V. Hollow Cathode Glow Discharge as a Heating Source in Welding and Brazing, *2017 IEEE First Ukraine Conference on ELECTRICAL AND COMPUTER ENGINEERING (UKRCON)*, May 29 – June 2, 2017. Kharkiv, Ukraine [in Ukrainian].
52. Kuzhel, A. V., Horunov, V. F., Malevskii, Iu. B. (1979). Tehnologiiia paiki sloistykh konstruktssii [Brazing technology of laminated structures]. *Informatcionnoe pismo IES imeni E. O. Patona – Information bulletin of the Paton Welding Institute*, 9, 2 [in Russian].

53. Kuzhel, A. V., Horunov, V. F., Malevskii, Iu. B., Nekrasov, A. I. et al. (1979). Opytno-promyshlennaia ustanovka dlia paiki plastinchato-rebristyh teploobmennikov [Trial and commercial plant for brazing of lamellate ribbed heat exchangers]. *Informatcionnoe pismo IES imeni E. O. Patona – Information bulletin of the Paton Welding Institute*, 28, 3 [in Russian].

54. Kislitcin, V. M. (1982). Paika poluprovodnikovyh priborov s nagrevom elektrosoprotivleniem [Brazing of semi-conductive devices with resistance heating]. *Sovremennye metody paiki – Modern brazing methods*, 109-112 [in Russian].

55. Khriakin, V. E., Lakedemanskii, A. V. (1974). *Spravochnik paialshchika [Plumber reference-book]*. Moscow: Mashinostroenie [in Russian].

56. Kuchuk-Iatcenko, V. S., Shvets, V. I., Gordan, G. Ia. Formirovanie perehodnyh zon v soedinenii nerzhaveiushchei stali H18N9T so splavom AD1 pri paike pripoem P425 [Forming of transition zones in joint of stainless steel X10CrNiTi18-9 with alloy A199.3 under brazing by solder P425]. *Novye dostizhenia v oblasti paiki – New achievements in brazing*, 100-103 [in Russian].

57. Puzrin, L. G., Boiko, G. A., Atroshenko, M. G. Avtovakumnaya vysokotemperaturnaia paika [Autovacuum hightemperature brazing]. Kiev: Znanie [in Russian].

58. Radzievskii, V. N., Tkachenko, G. G. *Vysokotemperaturnaia paika v kompressorostroenii [Hightemperature brazing in compressor engineering]*. Kiev: Ekotekhnologia [in Russian].

UDC 621.791.3

Oleksandr Korniienko, Serhii Oleksiienko, Svitlana Yushchenko, Mykhailo Rudenko

DEVELOPMENT OF ELECTRIC HEATING SOURCES FOR BRAZING

Urgency of the research. Brazing is one of the most widespread technologies of joining materials. It is difficult to overestimate modern achievements in brazing. This method of joining got justly wide application in many branches of industry and it is keeping on active development nowadays. However, for more completed understanding of this technology in concernment in scientific-technical progress it is necessary to know about its historical development.

Target setting. In this context, stages of development of brazing technology and features of their application are not enough analyzed.

Actual scientific researches and issues analysis. Knowledge of brazing technique during historical period of brazing process development has just been pertained to practical men. Only in the last half a century brazing is been studying by scientists.

Uninvestigated parts of general matters defining. Analysis of historical development, modern state and prediction of development directions is been still carried out insufficiently effective.

The research objective. The aim of the research is enlargement of knowledge and conceptions about historical development stages of brazing with electrical heat sources as the most promising ones nowadays.

The statement of basic materials. Electrical energy, which is the most prevalent heat source, had been become to use in XIX century and still very popular nowadays, opening new opportunities in brazing technologies.

Conclusions. The main stages of historical development of brazing have been defined. The possibilities of practical uses of brazing technologies have been shown.

Keywords: brazing; technology; technique; material; heat source; electric current; braze; flux.

Fig.: 3. References: 58.

Корнієнко Олександр Миколайович – кандидат технічних наук, доктор історичних наук, провідний науковий співробітник відділу плазмово-шлакової металургії, Інститут електрозварювання ім. Є. О. Патона НАН України (вул. К. Малевича, 11, Київ-150, 03680, Україна).

Korniienko Oleksandr – PhD in Technical Sciences, Doctor in Historical Sciences, Leading Researcher of the Department of Plasmic-Slag Metallurgy, The E.O. Paton electric welding institute of the National Academy of Science of Ukraine (11 Malevicha Str., 03680 Kyiv-150, Ukraine).

E-mail: korney@paton.kiev.ua

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5784-0930>

Олексієнко Сергій Владиславович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри зварювального виробництва та автоматизованого проектування будівельних конструкцій, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

Oleksiienko Serhii – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of Department of Welding and Automated Engineering Design of Building Constructions, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: sv.oleks@ukr.net

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5475-4439>

ResearcherID: F-8197-2014

Scopus Author ID: 57190370561

Юшенко Світлана Михайлівна – кандидат технічних наук, доцент кафедри зварювального виробництва та автоматизованого проектування будівельних конструкцій, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

Yushchenko Svitlana – PhD in Technical Sciences, Associate Professor of Department of Welding and Automated Engineering Design of Building Constructions, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: rasssveta@ukr.net

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0863-9020>

ResearcherID: F-7741-2014

Scopus Author ID: 57190373626

Руденко Михайло Миколайович – старший викладач кафедри зварювального виробництва та автоматизованого проектування будівельних конструкцій, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

Rudenko Mykhailo – Senior Lecturer of Department of Welding and Automated Engineering Design of Building Constructions, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: rudenko_bear@ukr.net

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9542-47792>

ResearcherID: G-6235-2014

Scopus Author ID: 57190378153

Ростислав Крейда, Сергій Сапон, Георгій Канашевич

АНАЛІЗ СПОСОБІВ ОБРОБКИ НЕПОВНИХ ЗОВНІШНІХ СФЕРИЧНИХ ПОВЕРХОНЬ ЛЕЗОВИМ ІНСТРУМЕНТОМ

Актуальність теми дослідження. Вимоги до точності обробки неповних сферичних поверхонь лезовим інструментом постійно зростають. Тому пошук шляхів підвищення точності обробки неповних зовнішніх сферичних поверхонь є актуальною науковою та практичною задачею.

Постановка проблеми. Вибір технологічних методів забезпечення точності форми, розмірів та якості поверхневого шару деталей зі сферичними поверхнями є одним із найважливіших факторів, що впливають на їхню собівартість. Вирішення задачі забезпечення високої якості деталей при їхній мінімальній собівартості дозволить вітчизняним підприємствам випускати конкурентно здатну продукцію на світовому ринку.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Нині відомі різноманітні способи обробки сферичних поверхонь лезовим інструментом, які широко описані та проаналізовані в науково-технічній літературі. Проте сучасний розвиток верстатобудування, виробництва металообробного інструменту та способів лезової обробки поверхонь вказують на необхідність подальшого аналізу цих способів, визначення переваг та недоліків кожного способу.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Ще до недавнього вважалося, що обробка прецизійних сферичних поверхонь потребує застосування спеціального обладнання, інструменту або пристосування. Однак сьогодні ситуація кардинально змінилася, і тому на сучасних машинобудівних підприємствах такі поверхні обробляються на токарних верстатах з ЧПУ. Відповідно є актуальним комплексне порівняння способів обробки сферичних поверхонь за їхньою якістю, продуктивністю та універсальністю.

Метою статті є порівняльний аналіз сучасних способів лезової обробки неповних зовнішніх сферичних поверхонь деталей машин з позиції їхньої якості, точності форми, продуктивності та універсальності для формування критеріїв ефективності при розробці технології обробки на верстатах з ЧПУ.

Виклад основного матеріалу. У роботі проаналізовано способи обробки сферичних поверхонь фасонними різцями, копіюванням профілю, на верстатах з ЧПУ, огинанням та обкатним фрезеруванням. Для кожного способу наведена схема обробки з описом процесу та виділені переваги й недоліки. Встановлено граничну шорсткість поверхні, обробленої кожним зі способів та проведено порівняння продуктивності на прикладі неповної сферичної деталі гіроскопу. Систематизовано способи обробки за їх універсальністю.

Висновки відповідно до статті. Проведено комплексне порівняння способів обробки сферичних поверхонь з позиції їхньої якості, точності форми, продуктивності, універсальності. Визначені критерії вибору оптимального способу обробки дають змогу надалі їх використовувати при розробці інноваційних технологічних процесів обробки деталей та при плануванні виробництва.

Ключові слова: сферична поверхня; способи обробки; лезова обробка, машинобудування.

Рис.: 8. Табл.: 3. Бібл.: 22.

Актуальність теми дослідження. У сучасному машинобудуванні та приладобудуванні деталі з неповними сферичними поверхнями трапляються дедалі частіше (рис. 1), а вимоги до них зростають [19]. Водночас поява на ринку комерційно доступних високопрецизійних токарних верстатів із ЧПУ та універсального інструменту зі змінними прецизійними радіусними пластинами для обробки складнопрофільних поверхонь тіл обертання створила передумови для забезпечення необхідної якості деталей зі сферичними поверхнями без застосування спеціальних способів обробки. Проте комплексна задача підвищення точності форми та продуктивності обробки неповних зовнішніх сферичних поверхонь є актуальною науковим та практичним завданням і залишиться таким у майбутньому.

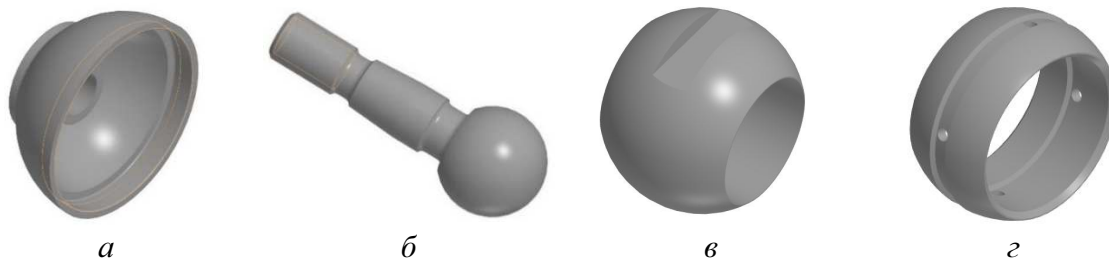


Рис. 1. Деталі машин зі сферичними поверхнями:

а – деталь ротора поплавкового гіроскопа; б – шарова опора автомобіля;
в – клапан сферичного крана; з – внутрішнє кільце сферичного підшипника ковзання

Постановка проблеми. Вибір технологічних методів забезпечення точності форми, розмірів та якості поверхневого шару деталей зі сферичними поверхнями є одним із найважливіших факторів, що впливають на їхню собівартість. Вирішення задачі забезпечення високої якості деталей при їх мінімальній собівартості дозволить вітчизняним підприємствам випускати конкурентоздатну продукцію на світовому ринку.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблема забезпечення якості, продуктивності та мінімальної собівартості при обробці неповних сферичних поверхонь свого часу була успішно вирішена, про що свідчать роботи [2-4; 6]. Значна кількість патентів за схемами обробки та методам виготовлення в цьому питанні, додатково підкреслює важливість цієї задачі [8-14]. Проте сучасний розвиток верстатобудування та виробництва різальних інструментів дає можливість подивитися на проблему забезпечення якості сферичних поверхонь з іншого боку.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Задача порівняння способів обробки є досить не простою, оскільки забезпечити однакові умови порівняння фактично неможливо. Саме тому більшість дослідників проводять його, не враховуючи великої кількості факторів [3; 6] або взагалі гіпотетично [2]. Порівняльний аналіз способів обробки сферичних поверхонь, який враховує основні складові ефективності лезової обробки, дасть можливість технологам оперувати конкретними показниками у процесі планування виробництва.

Метою статті є аналіз технологічних можливостей та систематизація відомих способів лезової обробки неповних сферичних поверхонь деталей машин з позиції їхньої якості, точності форми, продуктивності та універсальності для формування критеріїв ефективності при розробці технології обробки на верстатах з ЧПУ.

Виклад основного матеріалу. За способом формоутворення способи обробки зовнішніх сферичних поверхонь можна поділити на три групи:

- 1) формоутворення шляхом копіювання профілю фасонного інструменту (обробка фасонними різцями на токарних верстатах);
- 2) формоутворення за рахунок криволінійного руху інструменту (суміщенням двох подач на токарних верстатах, огинанням заготовки інструментом на сферотокарних верстатах);
- 3) формоутворення шляхом обкатки поверхні заготовки інструментом, різальна кромка якого рухається по колу з віссю, що проходить через вісь обертання заготовки (обробка обкатним фрезеруванням на токарних або фрезерних верстатах із використанням спеціального інструменту і оснащення).

Розглянемо кожен спосіб обробки за схемою його реалізації.

Обробка фасонними різцями (рис. 2). Суть методу полягає в наступному. Інструмент, здійснюючи поперечну подачу врізання, копіює форму свого профілю на поверхню деталі. Врізання відразу всією шириною різця накладає на цей метод обмеження у вигляді максимального діаметра обробки заготовки, який, як правило, не перевищує 20 мм [7]. Це пов'язано зі значними силами різання, які викликають вібрації. Якщо ж вимоги до деталі не високі або заготовка з м'якого матеріалу, то діаметр сферичної поверхні, отриманої таким методом, може бути значно більшим.

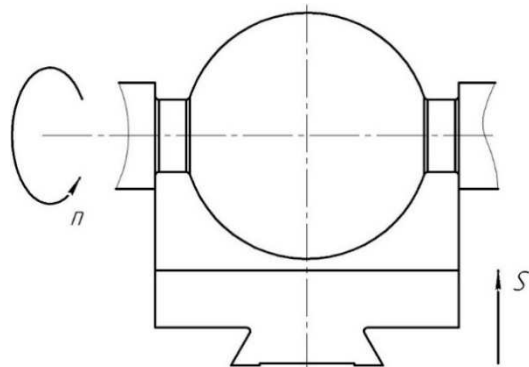


Рис. 2. Схема обробки фасонним різцем

Шорсткість поверхні отриманої точінням фасонними різцями не перевищує Ra 2,0 мкм [15]. Точність форми сферичної поверхні, обробленої таким способом, не може бути менше за 30 мкм, що зумовлено вібраціями та пружним відтисканням ланок технологічної системи внаслідок великої ширини обробки [3].

Переваги способу обробки фасонним різцем полягають у можливості застосування універсального обладнання та продуктивності способу.

Недоліки:

- якість обробленої деталі великою мірою залежить від точності інструмента й шорсткості його робочих поверхонь;

- необхідність застосування спеціального різального інструменту;

- нерівномірний знос різальної кромки інструменту, який позначається на точності деталі;

- залежність ширини різця від діаметра сфери.

Обробка по шаблону (рис. 3). Суть способу полягає в наданні інструменту руху по траєкторії у вигляді дуги кола шляхом суміщення поперечної і позовдужної подачі на токарному верстаті. Параметри якості деталі значною мірою залежать від того, як реалізований цей спосіб.

1. Копіюванням профілю. Обробка проводиться на копіювальних верстатах або на універсальних токарних оснащених спеціальними пристосуваннями. Суть способу полягає в наступному. По спеціально виготовленій деталі (шаблону) ковзає слідкуючий палець або ролик, який є частиною копіювального пристосування, що переміщує різальний інструмент безпосередньо або через який-небудь підсилюючий пристрій. Найбільш поширеними способами слідкування за контуром шаблону є ручний, механічний, гідравлічний і електромагнітний.

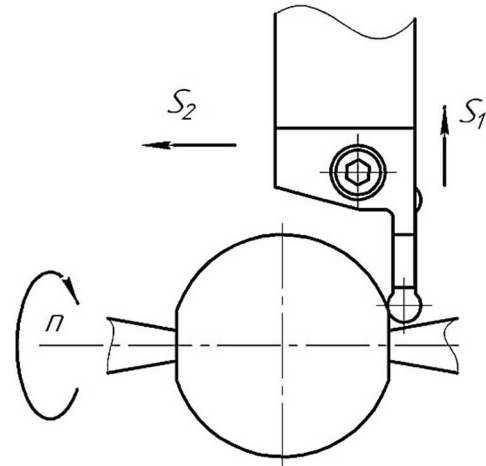


Рис. 3. Схема обробки за шаблоном

Переваги способу в універсальності та високій продуктивності.

Недоліки:

- необхідність виготовлення спеціального шаблону, точність якого має значно перевищувати точність деталі, що обробляється;

- необхідність застосування спеціального копіювального пристрою;

- велика кількість рухомих елементів у кінематичній схемі копіювального пристосування, що негативно відображається на точності деталі.

2. На верстатах з ЧПУ. При обробці на верстатах з ЧПУ інструмент рухається по траєкторії, яка задається управляючою програмою. Остання в цьому випадку виступає шаблоном у неявному виді.

Переваги: висока продуктивність, точність обробки, універсальність, гнучкість способу, відсутність потреби спеціального інструменту чи оснащення.

Єдиним недоліком способу є порівняно висока вартість обладнання (верстата), однак дедалі цей недолік все менш відчутний.

Цей спосіб має широке застосування на вітчизняних машинобудівних підприємствах. Зокрема на ДП НВК «Фотоприлад», (м. Черкаси) таким способом обробляють неповні внутрішні та зовнішні сферичні поверхні при виготовленні деталей систем навігації та керування. При цьому досягнє відхилення від форми сфери становить 5 мкм із шорсткістю Ra 0,25 мкм.

Обробка огинанням профілю (рис. 4). За допомогою спеціальних поворотних пристроїв, які передбачені конструкцією верстата (сферотокарний) або встановлені на верстат, різець здійснює обертання навколо центра сфери, який розташований на осі обертання заготовки. Оброблювана поверхня утворюється в результаті суміщення двох обертань, що є передумовою утворення високої точності форми сферичної поверхні деталі. По такій схемі працюють і найбільш точні сферошліфувальні верстати.

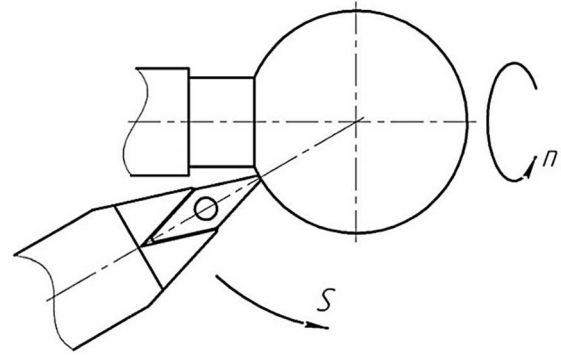


Рис. 4. Схема обробки огинанням профілю

Переваги способу: висока точність обробки та постійність кутів різання.

Недоліки полягають у складності налагодження та потребі використання спеціального оснащення чи обладнання.

Обробка огинанням профілю, як і обробка по шаблону, за своєю суттю, нічим не відрізняються від звичайного процесу точіння. Ці способи дають можливість використовувати стандартний різальний інструмент із змінними пластинками для високопродуктивної обробки (алмаз, ельбор тощо). Економічно досяжна шорсткість поверхонь оброблених такими способами знаходиться на межі Ra 0,2 мкм [7]. У роботі [3] зазначено, що похибка форми сферичної поверхні, отриманої таким способом, не може бути меншою ніж 40 мкм. На нашу думку, така інформація потребує уточнення.

Обробка обкатним фрезеруванням (рис. 5). При цьому способі обробки головний рух різання здійснює спеціальний різальний інструмент. Заготовка обертається з частотою меншою частоти обертання інструменту, таким чином здійснюючи рух кругової подачі. Сферична поверхня заготовки утворюється обкатуванням кола, яке створюють різальні кромки інструменту, центр обертання яких збігається з віссю обертання заготовки.

Переваги:

- висока точність форми сферичної поверхні, яка досягається кінематикою обробки;
- висока продуктивність фінішної обробки, яка досягається застосуванням багатолезового інструмента;
- знос різальних кромки інструмента фактично не впливає на точність форми деталі, що обробляється.

Недоліки:

- потребує використання спеціального різального інструменту;
- залежність діаметра інструменту від діаметра оброблюваної сферичної поверхні;
- нерівномірність шорсткості сферичної поверхні внаслідок різної швидкості різання на різних ділянках оброблюваної деталі;
- складність налагодження.

Досить складний та нерівномірний процес зрізання припуску, а також часткова обробка поверхні процесом, спорідненим до вигладжування, призводить до розбіжності показників шорсткості на сферичній поверхні деталі до 25 %, а сама висота мікронерівності

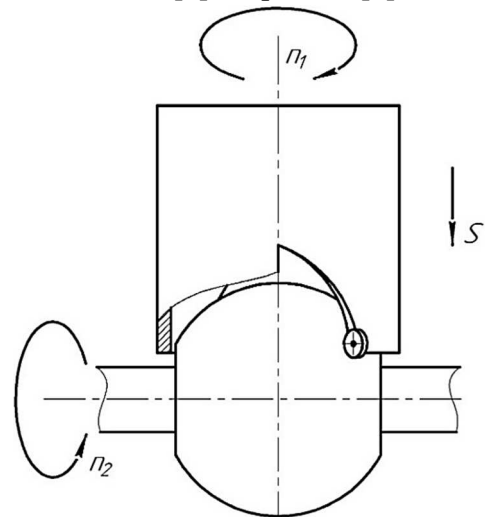


Рис. 5. Схема обробки обкатним фрезеруванням

рідко досягається менше Ra 1,0 мкм. Відхилення від форми сфери залежить лише від відстані між осями заготовки та інструменту і досягається до 5 мкм навіть при обробці на верстатах звичайної точності [1]. За іншими даними [22] шорсткість Ra поверхні, обробленої таким способом, знаходиться в межах від 0,4...1,2 мкм, а відхилення геометричної форми не більше 50 мкм.

Аналізуючи кожен, вище перерахований, спосіб лезової обробки неповних зовнішніх сферичних поверхонь, можна зробити висновок, що процес утворення сфери є досить складним і здебільшого потребує застосування спеціального чи інструменту, чи оснащення, чи обладнання. Спосіб обробки вибирається технологом індивідуально в кожному окремому випадку і залежить від технологічних можливостей підприємства, якості сферичної поверхні, яку потрібно виготовити, та серійності виробництва. Найбільшу складність забезпечення якості поверхні являють собою деталі із прецизійними сферичними поверхнями. Такі деталі переважно піддають чорновій та напівчистовій обробці на універсальних токарних верстатах. Фінішну обробку проводять за методом огинання або обкатним фрезеруванням. Однак застосування спеціального різального інструменту, оснащення чи обладнання, які потребують введення додаткових операцій призводить до удорожчання вартості деталі. У цьому випадку треба звернути увагу на спосіб обробки за шаблоном на токарних верстатах із ЧПУ. Сучасні багатофункціональні верстати з ЧПУ характеризуються високою жорсткістю та вібростійкістю, точністю позиціонування. Дискретність рухів робочих органів верстата більше не є ключовим фактором, який впливає на точність форми поверхні при обробці сфер. Загалом можна стверджувати, що обробка на верстатах із ЧПУ в сучасних умовах машинобудування більше не є спеціальним способом обробки й оправдовує себе навіть у дрібносерійному виробництві.

У загальному випадку можна виділити наступні шляхи підвищення обробки неповних сферичних поверхонь лезовим інструментом, які показані на рис. 6.

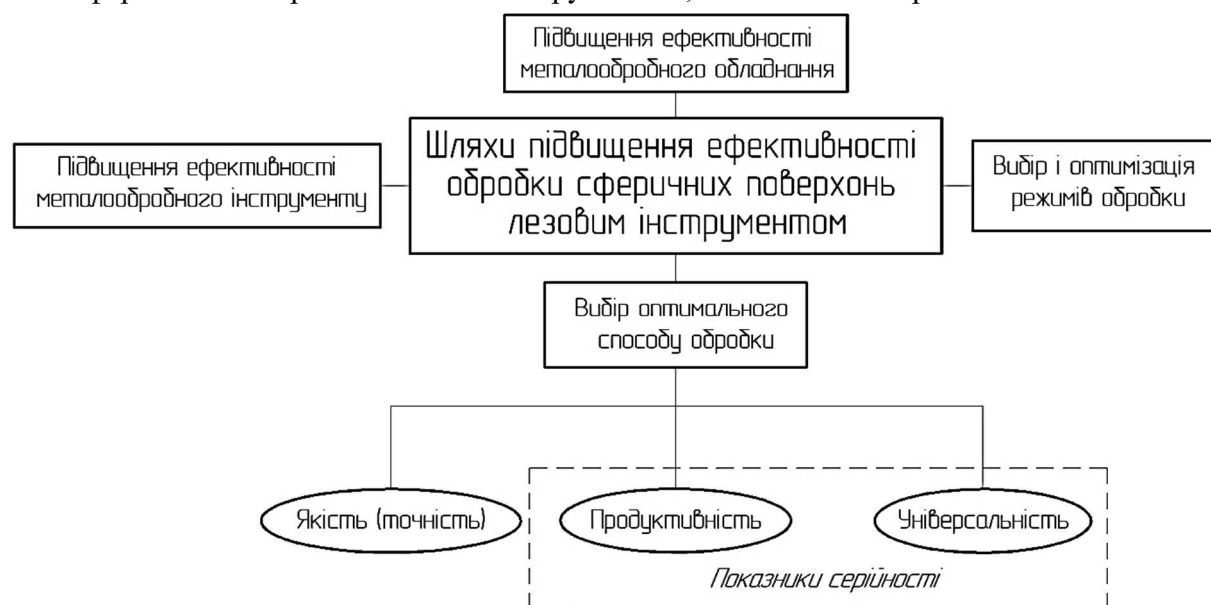


Рис. 6. Шляхи підвищення ефективності обробки сферичних поверхонь лезовим інструментом

Залежно від серійності виробництва кожен спосіб обробки неповних сферичних поверхонь може бути застосований у тому чи іншому випадку. Одним із найбільш важливих показників ефективності способу обробки є його продуктивність. На нашу думку, порівняльний аналіз продуктивності способів обробки, проведений в роботі [5], є не об'єктивний, оскільки не зрозуміло, чим оперувались автори при виборі режимів різання.

Ми пропонуємо як обмеження прийняти максимально допустимі режими різання для інструментального матеріалу, які візьмемо з каталогів інструменту компанії TaeguTec [16-18]. Додатково введемо обмеження за шорсткістю та точності обробленої поверхні, яку приймемо рівною максимально досяжній при обробці фасонними різцями, як найменш точного способу, тобто Ra 2,0 мкм та IT9. Звідси розрахуємо теоретичне значення подачі для інших способів обробки, яке виразимо з формули Чебишева:

$$S = \sqrt{8 \cdot r \cdot R_z}, \quad (1)$$

де R_z – висота нерівності профілю по десяти точках, мкм;
 S – подача, мм/об (при точінні) та мм/зуб (при фрезеруванні);
 r – радіус при вершині пластини, мм.

Як приклад проведемо порівняння продуктивності способів обробки деталей із сферичними поверхнями при обробці деталі «Поплавок» із матеріалу Д16Т (рис. 7). Припуск на обробку приймемо рівним 2 мм. Дані з каталогів інструменту введемо в табл. 1.

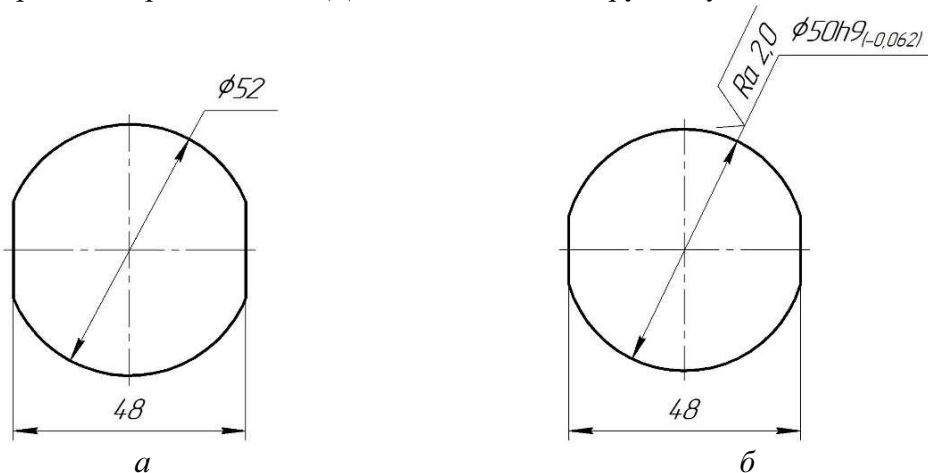


Рис. 7. Ескіз заготовки а) та деталі б) «Поплавок»

Таблиця 1

Рекомендовані режими різання

Спосіб обробки	Вигляд пластинки	Назва пластинки	Матеріал пластинки	Режими різання		
				V, м/хв	S, мм/об(зуб)	t, мм
За шаблоном		TDA 4.00-2.00	K10	40-350	0,20-0,43	0,0-2,0
Огинанням профілю		VCGT 110304 FL	K10	40-350	0,05-0,25	0,5-3,0
Обкатним фрезеруванням		RYHX 0803-AL	K10	40-350	0,8-0,1	1,0-3,5

Загалом продуктивність обробки можна знайти за формулою:

$$\Pi = \frac{V_{\Pi}}{T_0}, \quad (2)$$

де V_{Π} – об'єм припуску.

Знайдемо V_{Π} розрахувавши МЦХ заготовки та деталі:

$$V_{\Pi} = V_3 - V_d = 7693.31 \text{ мм}^3, \quad (3)$$

Розрахункові значення режимів різання та основного часу показані в табл. 2.

Таблиця 2

Розрахунок основного часу обробки деталі

№ з/п	Спосіб обробки	Режими різання			Основний час T _o , хв	Продуктивність П, мм ³ /хв
		V, м/хв	S, мм/об(зуб)	n, хв ⁻¹		
1	Фасонними різцями	100	0,02	637*	0.157	49002
2	За шаблоном	100	0,36	2274-637**	0.216	35617
3	Огинанням профілю	100	0,11	2274-637**	0.716	10745
4	Обкатним фрезеруванням	100	0,5	650***	0,245****	31401

* при розрахунку було прийнято діаметр обробки 50 мм;

** обробка на верстатах з ЧПУ з функцією контролю швидкості різання на поверхні;

*** розрахунок проведено за формулами, наведеними в роботі [5];

**** при розрахунку основного часу кількість зубів фрези прийнято 2.

У сучасних економічних умовах машинобудівним підприємствам доводиться стикатися з частими змінами номенклатури деталей та виробів, що потребують виготовлення. За таких обставин ми пропонуємо користуватись критерієм універсальності при плануванні виробництва (табл. 3).

Таблиця 3

Критерії універсальності способів обробки

Фактор	Спосіб обробки			
	фасонними різцями	за шаблоном	огинанням профілю	обкатним фрезеруванням
Тип обладнання	Універсальне	Універсальне	Спеціальне	Універсальне
Тип інструменту	Спеціальний	Універсальний	Універсальний	Спеціальний
Універсальність способу	Універсальний спосіб, який потребує спеціального інструменту	Універсальний спосіб	Спеціальний спосіб	Універсальний спосіб, який потребує спеціального інструменту
Коефіцієнт універсальності	0,5	1	0	0,5

Порівняння методів обробки з критерієм собівартості має другорядний характер, оскільки за інших рівних умов усе зводиться до витрат на інструмент. Очевидно, що спеціальний інструмент значно дорожчий універсального, однак це компенсується іншими факторами, наприклад продуктивністю. Аналіз фінансово-економічної діяльності машинобудівних підприємств показав, що в загальному випадку витрати на інструмент становлять близько 5 % від загальної вартості виробу [20; 21].

Параметри універсальності, розраховану продуктивність способів лезової обробки неповних сферичних поверхонь, а також шорсткість поверхні та точність форми, яка отримується розглянутими способами, представимо у вигляді діаграми на рис. 8. Оскільки розглянуті параметри мають різного порядку величини приймемо діапазон значень за 100 %. Усі значення будуть знаходитись від 0 до 1, де 1 – кращий показник. Таким чином, спосіб обробки, який має найбільшу за площею фігуру, буде мати перевагу над іншими способами.

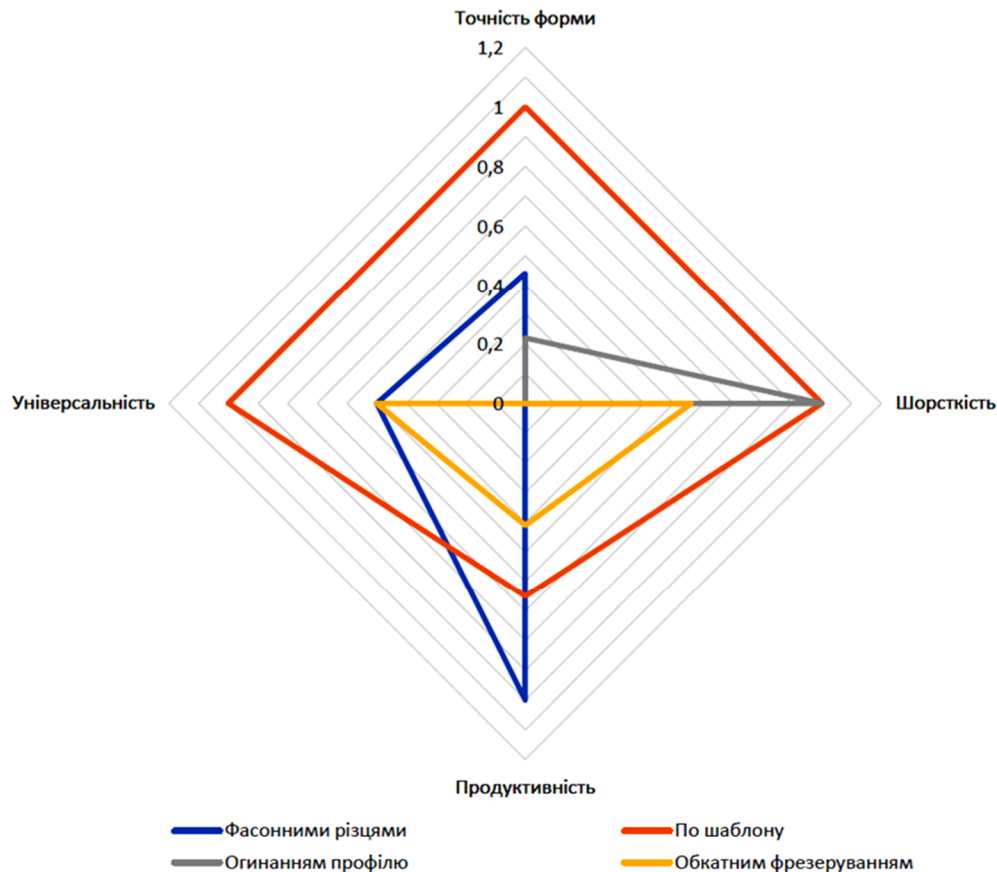


Рис. 8. Порівняльна діаграма способів лезової обробки неповних сферичних поверхонь

Висновки відповідно до статті.

1. Проведено комплексне порівняння способів обробки неповних сферичних поверхонь з позиції їхньої якості, точності форми, продуктивності та універсальності. Визначені критерії вибору оптимального способу обробки дають змогу надалі їх використовувати при розробці технологічних процесів обробки деталей та плануванні виробництва.

2. Визначено шляхи підвищення ефективності обробки неповних сферичних поверхонь лезовим інструментом.

3. Проведено аналіз способів обробки неповних сферичних поверхонь лезовим інструментом зі встановленням переваг і недоліків та гранично досяжної шорсткості та точності форми кожного способу. Проведено приклад порівняння продуктивності відомих способів обробки зі способом, за яким у промислових умовах було виготовлено деталь «Поплавок» для гіроскопа.

Список використаних джерел

1. Коротких М. Т., Кряжев Д. Ю. Повышение эффективности обработки сферических поверхностей обкаточным фрезерованием. *Металлообработка*. 2001. № 4 (4). С. 10–12.

2. Жеребятъев Д. Н. Повышение эффективности размерной обработки сферических поверхностей деталей машин технологическими методами : дис. ... канд. техн. наук: 05.02.08 / Омский государственный технический университет. Омск, 2002. 179 с.

3. Кряжев Д. Ю. Повышение эффективности обработки прецизионных сферических поверхностей фрезерованием : дис. ... канд. техн. наук: 05.03.01 / Санкт-Петербургский государственный технический университет. Санкт-Петербург, 2001. 208 с.

4. Хмельницкий Р. С. Технология скоростной обработки неполных сферических поверхностей деталей машин вращающимся лезвийным инструментом : автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.02.07 / Белорусский национальный технический университет. Минск, 2018. 27 с.

5. Хмельницкий Р. С. Исследование процесса обработки сферических поверхностей способом охватывающего фрезерования. *Вестник Полоцкого государственного университета*. 2007. № 8. С. 53–58.
6. Попок Н. Н., Терентьев В. А., Хмельницкий Р. С., Сидикович А. В. Анализ способов обработки сферических поверхностей деталей. *Вестник Полоцкого государственного университета*. 2006. № 12. С. 42–45.
7. Дальский А. М., Косилова А. Г., Мещеряков Р. К., Сулов А. Г. Справочник технолога-машиностроителя : в 2 т. Т. 1. 5-е изд., исправл. Москва : Машиностроение-1, 2003. 912 с.
8. Патент RU 2405666 C1, МПК В24В 11/00, В24В 5/16. Способ механической обработки сферических поверхностей / В. В. Платонов, А. Г. Эпов, Л. В. Латыш, М. А. Волков, Ф. П. Быченкова. Заявка № 2009115406/02 от 22.04.2009; опубл. 10.12.2010, Бюл. № 34. 6 с.
9. Патент RU 2393047 C2, МПК В22С 9/00. Способ изготовления сферической заготовки пробки шарового крана / В. П. Анисимов, А. А. Цыбулаев. Заявка № 2008135944/02 от 08.09.2008; опубл. 27.06.2010, Бюл. № 18. 8 с.
10. Патент RU 2184013 C2, МПК В23В 5/40. Способ формообразования сферических поверхностей / А. В. Сутормин. Заявка № 2000113864/02 от 01.06.2000; опубл. 27.06.2002. 7 с.
11. Патент RU 182576 U1, МПК В23В 5/40. Станок для обработки наружной сферической поверхности / А.О.М. Ахмедов. Заявка № 2016148140 от 07.12.2016; опубл. 23.08.2018, Бюл. № 24. 6 с.
12. Патент RU 2210485 C1, МПК В24В 39/00. Способ обработки наружных сферических поверхностей многошариковым инструментом / С. Н. Семенюк. Заявка № 2002100575/02 от 08.01.2002; опубл. 20.08.2003. 6 с.
13. Патент RU 2286535 C1, МПК G01С 25/00, В23Р 15/00. Способ изготовления ротора шарового гироскопа / Б. Е. Ландау, А. Я. Буцык, С. Н. Бедаев, А. П. Буравлев, А. Г. Щербак. Заявка № 2005107600/02 от 10.03.2005; опубл. 27.10.2006, Бюл. № 30. 12 с.
14. Патент RU 2087763 C1, МПК F16С 23/04, F16С 33/14. Шарнирный подшипник скольжения и способ его изготовления / А. В. Королев, В. П. Курбатов, В. Ю. Дорофеев. Заявка № 94009119/28 от 17.03.1994; опубл. 20.08.1997. 5 с.
15. Грановский Г. И., Панченко К. П. Фасонные резцы. Москва : Машиностроение, 1975. 309 с.
16. Токарная обработка. URL: <http://taegutec.com.ua/wp-content/uploads/2020/04/A-tokarnaya-obrabotka.pdf>.
17. Отрезка и обработка канавок. URL: <http://taegutec.com.ua/wp-content/uploads/2020/04/B-otrezka-i-obrabotka-kanavok.pdf>.
18. Фрезерный инструмент. URL: <http://taegutec.com.ua/wp-content/uploads/2020/04/E-frezernyj-instrument.pdf>.
19. Крейда Р. М., Мацепа С. М., Гордієнко В. І., Голуб М. В. Особливості виготовлення ротора для поплавкового гіроскопа в умовах виробництва. *Вісник Черкаського державного технологічного університету*. 2020. № 2. С. 143–149.
20. Новиков Ф. В., Жовтобрюх В. А., Новиков Г. В. Основы повышения качества и производительности механической обработки : монография. Днепр : ЛИРА, 2017. 452 с.
21. Новиков Ф. В., Жовтобрюх В. А., Новиков Г. В. Оптимальные решения в металлообработке : монография. Днепр : ЛИРА, 2017. 476 с.
22. Попок Н. Н., Хмельницкий Р. С., Анисимов В. С. Технологическое обеспечение обработки неполных сферических поверхностей деталей машин. *Вестник Полоцкого государственного университета*. 2018. № 3. С. 54–60.

References

1. Korotkikh, M. T., Kriazhev, D. Iu. (2001). Povyshenie effektivnosti obrabotki sfericheskikh poverkhnostei obkatochnym frezerovaniem [Improving the efficiency of processing spherical surfaces by rolling milling]. *MetallООbrabotka. – Metalworking*, 4(4), 10-12 [in Russian].
2. Zherebiatov, D. N. (2002). Povyshenie effektivnosti razmernoi obrabotki sfericheskikh poverkhnostei detalei mashin tekhnologicheskimi metodami [Improving the efficiency of dimensional processing of spherical surfaces of machine parts by technological methods]. (PhD thesis). Omsk State Technical University. Omsk [in Russian].
3. Kriazhev, D. Iu. (2001). Povyshenie effektivnosti obrabotki precizionnykh sfericheskikh poverkhnostei frezerovaniem [Improving the processing efficiency of precision spherical surfaces by milling]. (PhD thesis). St. Petersburg State Technical University. St. Petersburg [in Russian].

4. Khmelnic'kii, R. S. (2018). *Tekhnologiya skorostnoi obrabotki nepolnykh sfericheskikh poverkhnostei detalei mashin vrashchayushchimsia lezviinym instrumentom [Technology for high-speed processing of incomplete spherical surfaces of machine parts with a rotating blade tool]*. (PhD thesis). Belarusian National Technical University. Minsk [in Russian].
5. Khmelnic'kii, R. S. (2007). Issledovanie protsessa obrabotki sfericheskikh poverkhnostei sposobom okhvatyvaiushchego frezerovaniia [Investigation of the processing of spherical surfaces by the method of covering milling]. *Vestnik Polotckogo gosudarstvennogo universiteta. – Bulletin of Polotsk State University*, 8, 53–58 [in Russian].
6. Popok, N. N., Terentev, V. A., Khmelnic'kii, R. S., Sidikevich, A. V. (2006). Analiz sposobov obrabotki sfericheskikh poverkhnostei detalei [Analysis of methods for processing spherical surfaces of parts]. *Vestnik Polotckogo gosudarstvennogo universiteta – Bulletin of Polotsk State University*, 12, 42–45 [in Russian].
7. Dials'kii, A. M., Kosilova, A. G., Meshcheriakov, R. K., Suslov, A. G. (2003). *Spravochnik tekhnologa-mashinostroitel'ia [Handbook of a mechanical engineer]* (Vol. 1, 5th ed.) Moscow: Mashinostroenie-1 [in Russian].
8. Platonov, V. V., Epov, A. G., Latysh, L. V., Volkov, M. A., Bychenkova, F. P. (2010). *Sposob mekhanicheskoi obrabotki sfericheskikh poverkhnostei [The method of machining spherical surfaces]*. Patent RU 2405666 C1 [in Russian].
9. Anisimov, V. P., Tcybulaev, A. A. (2010). *Sposob izgotovleniia sfericheskoi zagotovki probki sharovogo krana [A method of manufacturing a spherical blank cork ball valve]*. Patent RU 2393047 C2 [in Russian].
10. Sutormin, A. V. (2002). *Sposob formoobrazovaniia sfericheskikh poverkhnostei [The method of forming spherical surfaces]*. Patent RU 2184013 C2 [in Russian].
11. Akhmedov, A. O. M. (2018). *Stanok dlia obrabotki naruzhnoi sfericheskoi poverkhnosti [External Spherical Surface Processing Machine]*. Patent RU 182576 U1 [in Russian].
12. Semeniuk, S. N. (2003). *Sposob obrabotki naruzhnykh sfericheskikh poverkhnostei mnogosharikovym instrumentom [The method of processing external spherical surfaces with a multi-ball tool]*. Patent RU 2210485 C1 [in Russian].
13. Landau, B. E., Butcyk, A. Ia., Bediaev, S. N., Buravlev, A. P., Shcherbak, A. G. (2006). *Sposob izgotovleniia rotora sharovogo giroskopa [A method of manufacturing a rotor of a ball gyroscope]*. Patent RU 2286535 C1 [in Russian].
14. Korolev, A. V., Kurbatov, V. P., Dorofeev, V. Iu. (1997). *Sharnirnyi podshipnik skolzheniia i sposob ego izgotovleniia [Spherical plain bearing and method of its manufacture]*. Patent RU 2087763 C1 [in Russian].
15. Granovskii, G. I., Panchenko, K. P. (1975). *Fasonnye reztsy [Shaped Cutters]*. Moscow: Mashinostroenie [in Russian].
16. *Tokarnaia obrabotka [Turning]*. (n.d.). Retrieved from <http://taegutec.com.ua/wp-content/uploads/2020/04/A-tokarnaya-obrabotka.pdf>
17. *Otrezka i obrabotka kanavok [Parting and grooving]*. (n.d.). Retrieved from <http://taegutec.com.ua/wp-content/uploads/2020/04/B-otrezka-i-obrabotka-kanavok.pdf>.
18. *Frezernyi instrument [Milling tools]*. (n.d.). Retrieved from <http://taegutec.com.ua/wp-content/uploads/2020/04/E-frezernyj-instrument.pdf>.
19. Kreida, R. M., Matsepa, S. M., Hordienko, V. I., Holub, M. V. (2020). Osoblyvosti vyhotovlenniia rotora dlia poplavkovoho hiroskopa v umovakh vyrobnytstva [Peculiarities of manufacture of a rotor for float gyroscope in the production conditions]. *Visnyk Cherkaskoho derzhavnogo tekhnolohichnogo universytetu – Bulletin of Cherkasy State Technological University*, 2, 143-149 [in Ukrainian].
20. Novikov, F. V., Zhovtobriukh, V. A., Novikov, G. V. (2017). *Osnovy povysheniia kachestva i proizvoditelnosti mekhanicheskoi obrabotki [Fundamentals of improving the quality and productivity of machining]*. Dnipro: LIRA [in Russian].
21. Novikov, F. V., Zhovtobriukh, V. A., Novikov, G. V. (2017). *Optimalnye resheniia v metalloobrabotke [Optimal metalworking solutions]*. Dnipro: LIRA [in Russian].
22. Popok, N. N., Khmelnic'kii, R. S., Anisimov, V. S. (2018). Tekhnologicheskoye obespecheniye obrabotki nepolnykh sfericheskikh poverkhnostey detaley mashin [Technological support for processing incomplete spherical surfaces of machine parts]. *Vestnik Polotckogo gosudarstvennogo universiteta – Bulletin of Polotsk State University*, 3, 54–60 [in Russian].

Rostyslav Kreida, Serhii Sapon, Heorhii Kanashkevych

ANALYSIS OF METHODS FOR PROCESSING PARTIAL EXTERIOR SPHERICAL SURFACES WITH A BLADE TOOLS

Urgency of the research. Accuracy requirements for machining of incomplete spherical surfaces with a blade tool are constantly growing. Therefore, the search for ways to improve the accuracy of processing incomplete external spherical surfaces is an urgent scientific and practical task.

Target setting. The choice of technological methods to ensure the accuracy of the shape, size and quality of the surface layer of parts with spherical surfaces is one of the most important factors affecting their cost. The solution to the problem of ensuring the high quality of parts with their minimum cost will allow domestic enterprises to produce competitive products on the world market.

Actual scientific researches and issues analysis. Currently, various methods of processing spherical surfaces with a blade tool are known, which are widely described and analyzed in the scientific and technical literature. However, the modern development of machine tools, the production of metal-cutting tools and methods of blade processing of surfaces indicate the need for further analysis of these methods, determining the advantages and disadvantages of each method.

Uninvestigated parts of general matters defining. Until recently, it was believed that the processing of precision spherical surfaces requires the use of special equipment, tools or devices. However, today the situation has changed dramatically and therefore at modern machine-building enterprises such surfaces are processed on CNC lathes. Accordingly, a comprehensive comparison of methods for processing spherical surfaces in terms of quality, productivity, versatility is relevant.

The research objective is a comparative analysis of modern methods of blade processing of incomplete external spherical surfaces of machine parts from the standpoint of their quality, shape accuracy, productivity and versatility to formulate performance criteria when developing processing technology on CNC machines.

The statement of basic materials. In the work, methods for processing spherical surfaces with shaped cutters, copying a profile, on CNC machines, rounding and round milling are analyzed. For each method, a processing scheme is described with a description of the process and the advantages and disadvantages are highlighted. The ultimate roughness of the surface processed by each of the methods is established and productivity is compared by the example of an incomplete spherical part of a gyroscope. Processing methods for their versatility were systematized.

Conclusions. A comprehensive comparison of the methods of processing spherical surfaces from the standpoint of their quality, accuracy of shape, performance, versatility is carried out. Criteria for choosing the optimal processing method are determined. This allows their further use in the development of innovative technological processes for processing parts and in production planning.

Keywords: spherical surface; processing methods; blade processing, mechanical engineering.

Fig.: 8. **Tables:** 3. **References:** 22.

Крейда Ростислав Миколайович – асистент кафедри технологій та обладнання машинобудівних виробництв, Черкаський державний технологічний університет (б-р Шевченка, 460, м. Черкаси, 18000, Україна).

Kreida Rostyslav – Assistant lecturer of Department of Technology and Equipment Engineering, Cherkasy State Technological University (460 Shevchenka Boul., 18000 Cherkasy, Ukraine).

E-mail: r.kreida@chdtu.edu.ua

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4105-7794>

Сапон Сергій Петрович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри технологій машинобудування і деревообробки, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна)

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

E-mail: s.sapon@gmail.com

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

ResearcherID: G-7764-2014

SCOPUS Author ID: 56736964700

Канашевич Георгій Вікторович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри та обладнання машинобудівних виробництв, Черкаський державний технологічний університет (б-р Шевченка, 460, м. Черкаси, 18000, Україна).

Kanashkevych Heorhii – Doctor in Technical Sciences, Professor, Head of Department of Technology and Equipment Engineering, Cherkasy State Technological University (460 Shevchenka Boul., 18000 Cherkasy, Ukraine).

E-mail: kanashkevych@ukr.net

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6708-040X>

УДК 621.914.1

DOI: 10.25140/2411-5363-2020-2(20)-100-108

Володимир Кальченко, Віталій Кальченко, Ярослав Кужельний, Володимир Винник

**ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ФРЕЗЕРУВАННЯ
ОПОРНИХ ШИЙОК ТА КУЛАЧКІВ РОЗПОДІЛЬЧОГО ВАЛА
НА МОДЕРНІЗОВАНОМУ ВЕРСТАТІ ВЗ 208 Ф4**

Актуальність теми дослідження. Для того щоб сучасні вітчизняні автомобілебудівні та машинобудівні виробництва мали конкурентні переваги, необхідно розробляти нові способи фрезерування відповідальних поверхонь розподільчого вала.

Постановка проблеми. Для отримання заданих техніко-економічних показників під час фрезерування розподільчого вала, необхідно удосконалювати вже наявні або розробляти нові ефективні способи механічної обробки.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Існує спосіб чистового фрезерування кулачків розподільчих валів зі схрещеними осями інструмента та деталі. При цьому чорнове та чистове фрезерування відбуваються за один установ. Також описано тривимірне геометричне моделювання процесів зняття припуску та формоутворення кулачків розподільчих валів. Крім цього, є спосіб фрезерування циліндричних поверхонь зі схрещеними осями деталі та інструмента. Особливість цього способу полягає в чорновій обробці торцем та периферією зуба фрези та чистовій обробці тільки периферією інструмента.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Відсутність експериментального дослідження процесу фрезерування опорних шийок та кулачків розподільчого вала орієнтованим інструментом.

Постановка завдання. Експериментально дослідити процес фрезерування опорних шийок та кулачків розподільчого вала орієнтованим інструментом.

Виклад основного матеріалу. Наведено процес експериментального дослідження фрезерування опорних шийок та кулачків розподільчого вала на модернізованому верстаті ВЗ 208 Ф4.

Висновки відповідно до статті. Експериментально визначено потужність холостого ходу, активну потужність під час фрезерування опорних шийок та кулачків розподільчого вала залежно від величини припуску та кута орієнтації інструмента. Наведено розподіл температури під час процесу обробки. Шорсткість обробленої поверхні деталі знаходиться в межах $Ra = 0,32 - 0,63$ мкм.

Ключові слова: експериментальне дослідження; фрезерування; розподільчий вал; орієнтований інструмент; дискова фреза.

Рис.: 12. Бібл.: 11.

Актуальність теми дослідження. Щоб мати конкурентні переваги, сучасним вітчизняним автомобілебудівним та машинобудівним виробництвам необхідно розробляти нові способи фрезерування опорних шийок та кулачків розподільчого вала. Відповідно, це підвищить продуктивність процесу обробки зі збереженням необхідної точності та якості деталі.

Постановка проблеми. Стан відповідальних поверхонь розподільчого вала впливає на працездатність, довговічність та безвідмовність різноманітних механізмів (наприклад, газорозподільчий механізм двигуна внутрішнього згорання). Для забезпечення необхідних вимог до якості та точності цих поверхонь деталі, потрібно покращувати вже створені або розробляти нові ефективні способи фрезерування.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідження процесу фрезерування циліндричних поверхонь наведені в роботах [1; 2; 3; 4].

Роботи [5; 6; 7] присвячені дослідженню механічної обробки зі схрещеними осями циліндричної деталі та інструмента.

У роботі [8] наведено спосіб чистового фрезерування кулачків розподільчих валів за один установ зі схрещеними осями інструмента та деталі, описано тривимірне геометричне моделювання процесів зняття припуску та формоутворення відповідних поверхонь деталі.

У роботі [9] розглянуто спосіб фрезерування кулачків орієнтованим інструментом. Особливість даного способу полягає в тому, що чорнове та чистове фрезерування відбуваються за один установ. Також було наведено модульне тривимірне геометричне моделювання процесів зняття припуску з кулачків розподільчих валів та їх формоутворення.

У роботі [10] описано спосіб фрезерування циліндричних поверхонь зі схрещеними осями вала та інструмента, при якому чорнова обробка відбувається торцевою частиною та периферією зуба фрези, а чистова обробка тільки периферійною частиною.

У роботі [11] наведені шліфувальні верстати для обробки розподільчих валів.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Відсутність експериментального дослідження процесу фрезерування опорних шийок та кулачків розподільчого вала орієнтованим інструментом.

Мета статті. Метою статті є експериментальне дослідження процесу фрезерування опорних шийок та кулачків розподільчого вала на модернізованому верстаті ВЗ 208 Ф4.

Виклад основного матеріалу. Фрезерування опорних шийок та кулачків розподільчого вала проводили на модернізованому верстаті ВЗ 208 Ф4 (рис. 1). Застосовувалась дискова трьохстороння фреза 160×18×32 (рис. 2). Матеріал інструмента Р6М5.



a



б

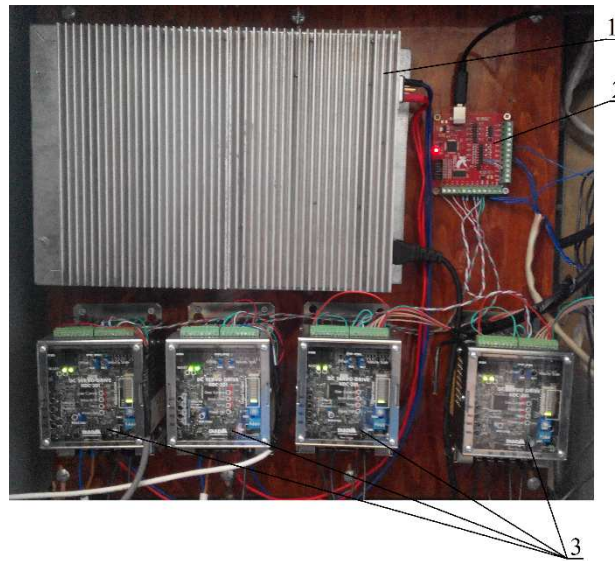
Рис. 1. Загальний вигляд модернізованого верстата ВЗ 208 Ф4:

а – вид з переду; б – вид з боку



Рис. 2. Загальний вигляд фрези

Модернізація верстата полягала в установці електронної системи керування (рис. 3).



а



б

*Рис. 3. Електронна система керування:
а – основні елементи системи керування; б – інкодер;
1 – блок живлення; 2 – контролер; 3 – драйвер*

Проводився процес фрезерування (рис. 4) опорних шийок та кулачків розподільчого вала (рис. 5), матеріал деталі – Сталь 18ХГТ. Обробка проводилась торцем та периферією фрези.



Рис. 4. Процес фрезерування розподільчого вала



Рис. 5. Оброблювальна деталь

Під час обробки була визначена потужність холостого ходу (рис. 6) та активна потужність (рис. 7, 8). Фрезерування здійснювалось із різним припуском: 0,1; 0,2 та 0,3 мм та з кутами орієнтації інструмента 0° та 5° .

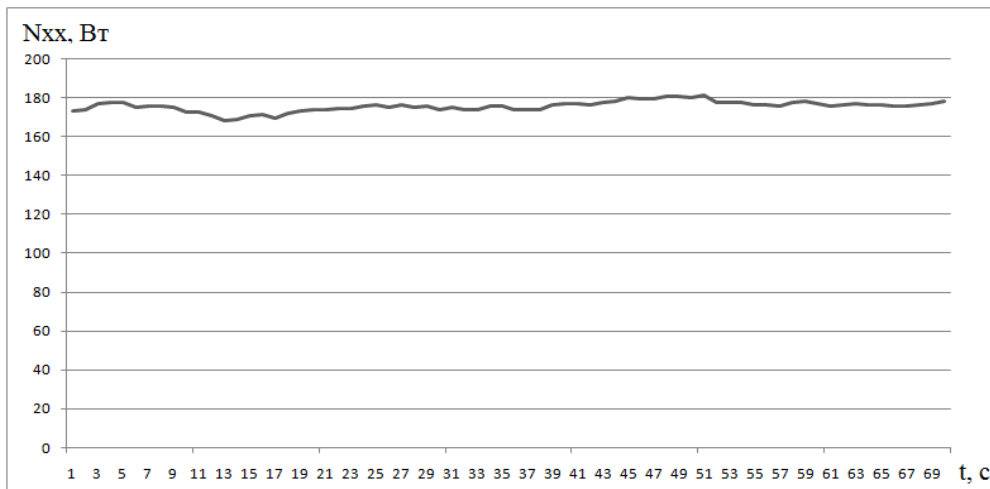
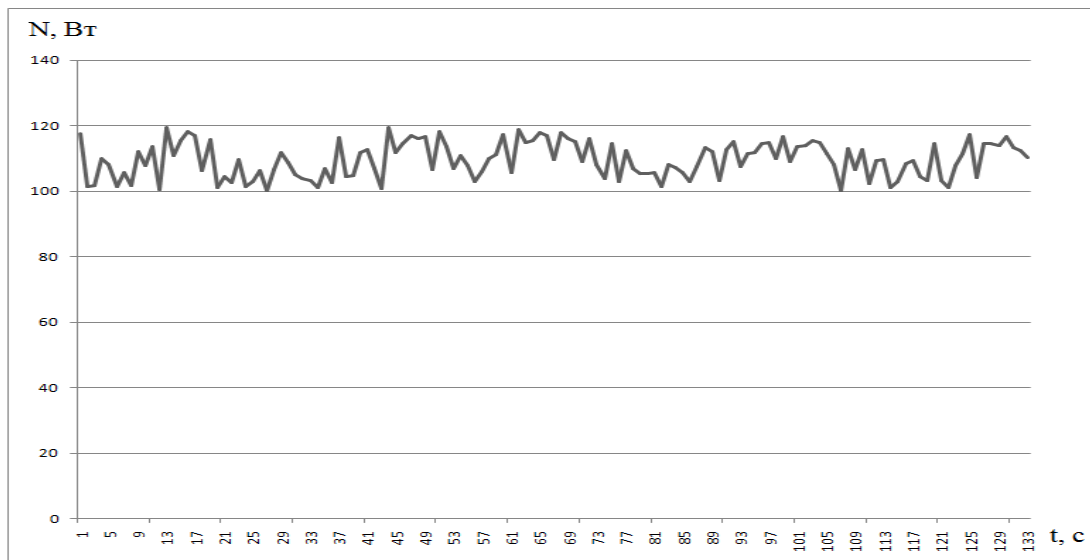
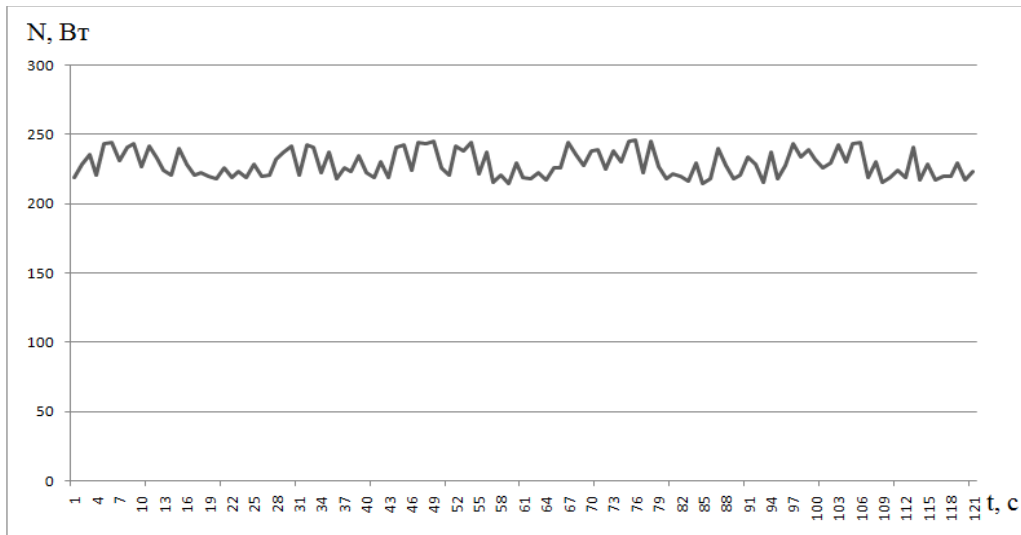


Рис. 6. Потужність холостого ходу

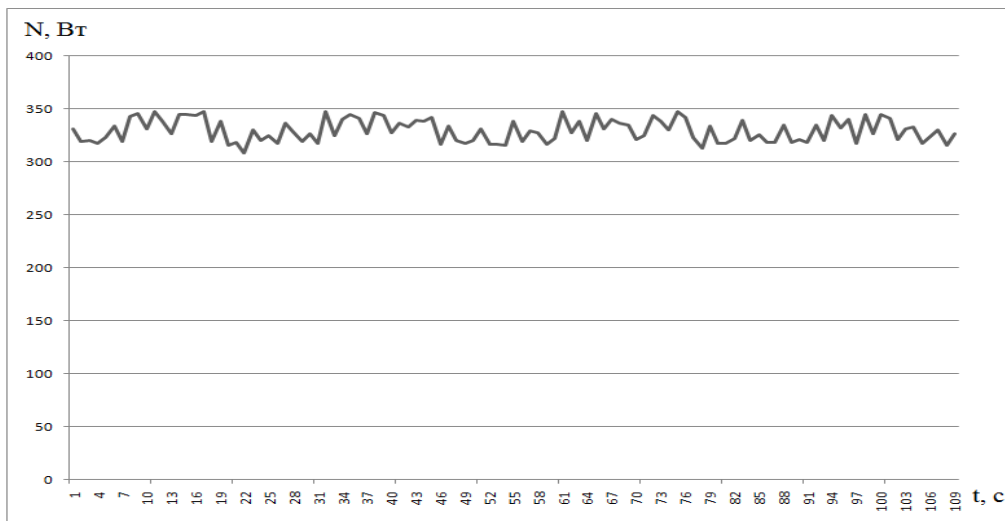


а

Рис. 7. Активна потужність під час фрезерування з припуском на обробку 0,1 мм (а) 0,2 мм (б) та 0,3 мм (в), кут орієнтації інструмента 0°

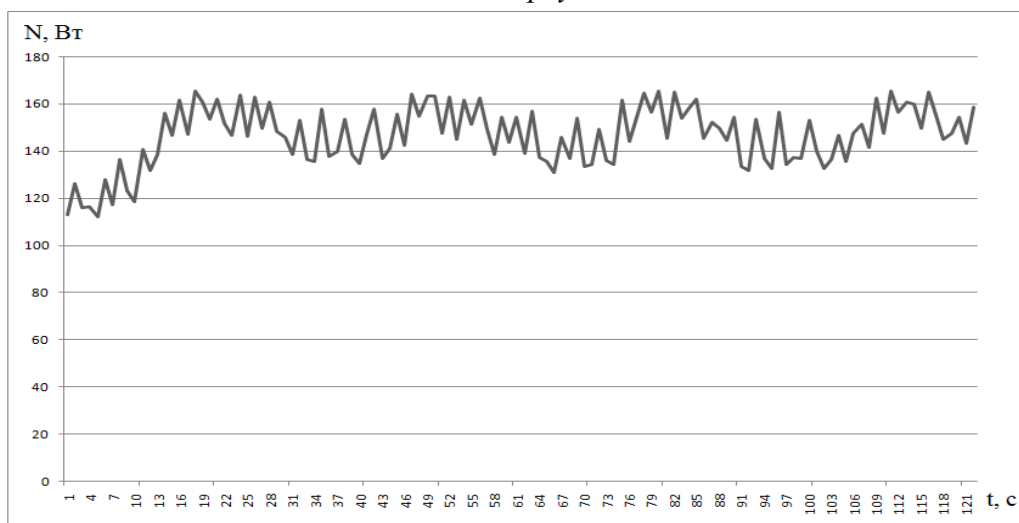


б



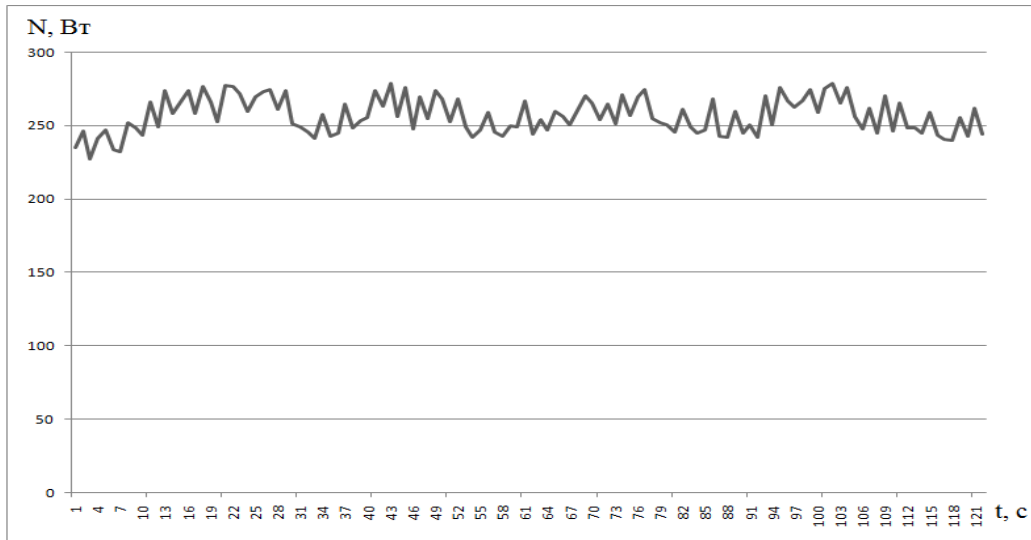
в

Рис. 7, аркуш 2

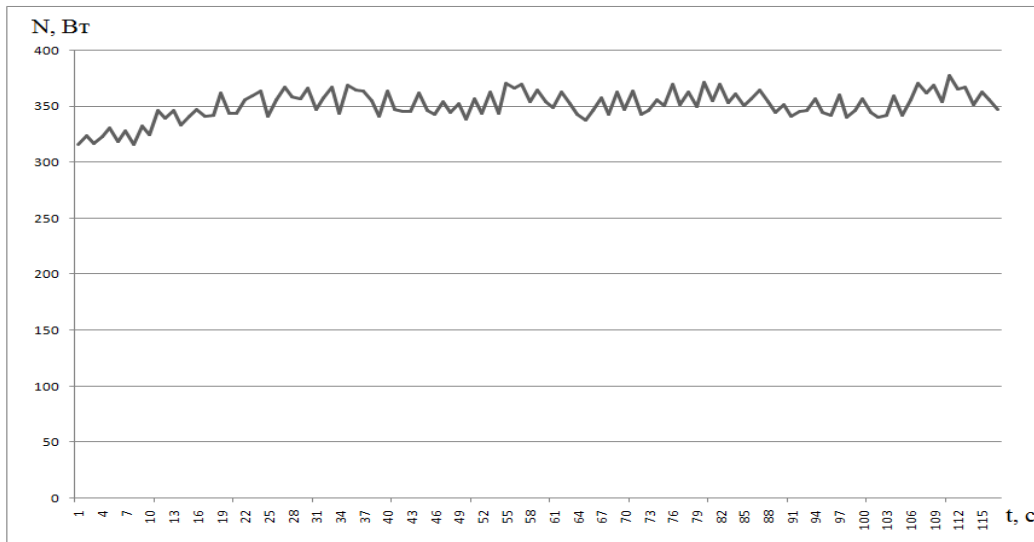


а

Рис. 8. Активна потужність під час фрезерування з припуском на обробку 0,1 мм (а) 0,2 мм (б) та 0,3 мм (в), кут орієнтації інструмента 5°



б



в

Рис. 8, аркуш 2

Для вимірювання потужності під час обробки застосовувався аналізатор потужності С.А 8220 (рис. 9), а для визначення розподілу температури використовувався тепловізор моделі ULIRVISION TI-384 (рис. 10).



Рис. 9. Аналізатор потужності С.А 8220



Рис. 10. Тепловізор моделі ULIRVISION TI-384

На рис. 11 наведено розподіл температури під час фрезерування розподільчого вала.

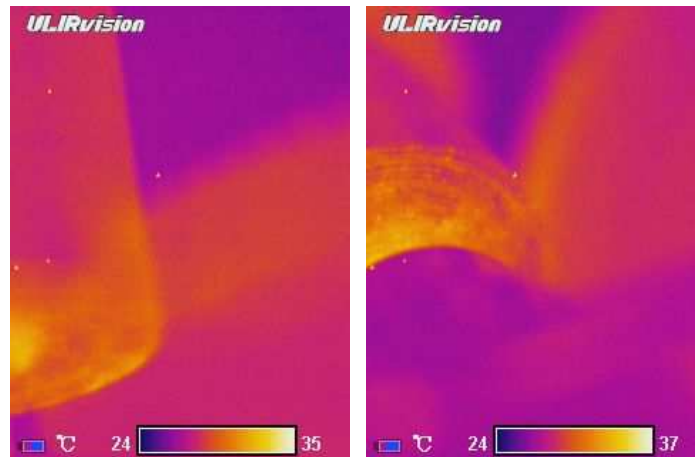


Рис. 11. Розподіл температури під час фрезерування розподільчого вала

Використовуючи портативний профілометр Pocket Surf, було визначено шорсткість Ra поверхні розподільчого вала. Згідно з результатами вимірювання (рис. 12), величина шорсткості обробленої поверхні розподільчого вала знаходиться в межах $Ra = 0,32 - 0,63$ мкм.



Рис. 12. Вимірювання шорсткості обробленої поверхні деталі

Висновки відповідно до статті. Експериментально досліджено процес фрезерування опорних шийок та кулачків розподільчого вала на модернізованому верстаті ВЗ 208 Ф4. При цьому способу фрезерування чорнова обробка здійснюється торцем інструмента, а чистова – периферією.

Було виміряно потужність холостого ходу, активну потужність під час фрезерування з різними припусками на обробку (0,1; 0,2 та 0,3 мм) та з різними кутами орієнтації інструмента (0° та 5°). Наведено розподіл температури під час процесу фрезерування.

Величина шорсткості обробленої поверхні розподільчого вала згідно із результатами вимірювання знаходиться в межах $Ra = 0,32 - 0,63$ мкм.

Розбіжність результатів, які отримали при експериментальному та теоретичному дослідженні процесу фрезерування опорних шийок та кулачків розподільчого вала орієнтованим інструментом, знаходиться в межах 9 %.

Список використаних джерел

1. Полетаев В. А., Волков Д. И. Особенности стружкообразования при фрезеровании и фрезоточении тел вращения. *Инженерный журнал*. 2001. № 7. С. 18–21.
2. Полетаев В. А. Конструктивные особенности приводов подач станков для кругового фрезерования. *Инженерный журнал*. 2001. № 8. С. 63–64.
3. Грязев М. В., Степаненко А. В. Перспективные технологии обработки поверхностей вращения фрезерованием. *Известия ТулГУ. Серия Технические науки*. 2010. 2, ч. 1. С. 130–136.
4. Грязев М. В., Степаненко А. В. Фрезерование наружных цилиндрических поверхностей торцевой фрезой. *Известия ТулГУ. Серия Технические науки*. 2010. 2, ч. 1. С. 140–148.
5. Kalchenko V. V., Yeroshenko A. M., Boyko S. V., Sira N. M. Determination of cutting forces in grinding with crossed axes of tool and workpiece. *Acta Mechanica et Automatica*. 2017. Vol. 11, No. 1(39) P. 58–63. DOI: 10.1515/ama-2017-0009.

6. Сіра Н. М. Модульне 3D-моделювання інструментів, процесів зняття припуску та формоутворення під час шліфуванні зі схрещеними осями циліндричного вала й абразивного круга. *Технічні науки та технології*. 2016. № 3 (5). С. 67–75.

7. Development of a model of tool surface dressing when grinding with crossed wheel and cylindrical part axes / Kalchenko V. et al. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2020. Vol. 3, No. 1 (105). P. 23–29.

8. Следнікова О. С., Винник В. О., Скляр В. М., Аксьонова О. О. Модульне 3D моделювання інструментів, процесу зняття припуску та формоутворення при фрезеруванні кулачків зі схрещеними осями інструмента та деталі. *Технічні науки та технології*. 2019. № 1 (15). С. 53–62.

9. Следнікова О. С., Винник В. О., Скляр В. М., Аксьонова О. О. Модульне тривимірне моделювання процесів зняття припуску та формоутворення при фрезеруванні кулачків орієнтованим інструментом. *Технічні науки та технології*. 2019. № 2 (16). С. 34–43.

10. Кальченко В. В., Сіра Н. М., Кальченко Д. В., Аксьонова О. О. Дослідження процесу фрезерування циліндричних поверхонь зі схрещеними осями інструмента та вала. *Технічні науки та технології*. 2018. № 4 (14). С. 18–27.

11. Шлифование распределительных валов кругами из кубического нитрида бора. *Перспектив фирмы «Junker maschinen» на станки «JUCAM 1000», «JUCAM 3000», «JUCAM 5000», «JUCAM 6000»*. Erwin Junker. Maschinen fabric GmbH, Junkerstraße 2. 77787 Nordrath. Germany, 2006. 8 с. URL: www.junker-group.com.

References

1. Poletaev, V. A., Volkov, D. I. (2001). Osobennosti struzhkoobrazovaniia pri frezerovanii i frezotochenii tel vrascheniia [Features of chip formation during milling and milling rotation bodies]. *Inzhenernyi zhurnal – Engineering magazine*, 7, 18–21 [in Russian].

2. Poletaev, V. A. (2001). Konstruktivnyie osobennosti privodov podach stankov dlya krugovogo frezerovaniya [Design features of feed drives for circular milling machines]. *Inzhenernyi zhurnal – Engineering magazine*, 8, 63–64 [in Russian].

3. Gryazev, M. V., Stepanenko, A. V. (2010). Perspektivnye tehnologii obrabotki poverkhnostei vrascheniia frezerovaniem [Promising technologies for surface treatment of milling]. *Izvestiya TulGU. Seriya Tehnicheskie nauki – News of TulSU. Series Engineering*, 2 (1), 130–136 [in Russian].

4. Gryazev, M. V., Stepanenko, A. V. (2010). Frezerovanie naruzhnyih tsilindricheskikh poverkhnostey tortsovoy frezoy [Milling of external cylindrical surfaces with face milling cutter]. *Izvestiia TulGU. Seriya Tehnicheskie nauki – News of TulSU. Series Engineering*, 2 (1), 140–148 [in Russian].

5. Kalchenko, V. V., Yeroshenko, A. M., & Boyko, S. V. (2017). Determination of cutting forces in grinding with crossed axes of tool and workpiece. *Acta Mechanica et Automatica*, 11 (1 (39)), 58–63 [in English].

6. Sira, N. M. (2016). Modulne 3D-modeliuvannia instrumentiv, protsesiv zniattia pryusku ta formoutvorennia pid chas shlifuvanni zi skhreshchenymy osiamy tsylindrychnoho vala y abrazyvnoho kruha [Modular 3D-modeling of tools, processes of stock removal and shaping in grinding with crossed axes of cylindrical shaft and abrasive wheel] *Tekhnichni nauky ta tekhnolohii – Technical sciences and technologies*, 3 (5), 67–75 [in Ukrainian].

7. V. Kalchenko, V. Kalchenko, O. Kalchenko, N. Sira, D. Kalchenko, V. Morochko, V. Vynnyk. (2020). Development of a model of tool surface dressing when grinding with crossed wheel and cylindrical part axes. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (1 (105)), 23–29 [in English].

8. Sliednikova, O. S., Vynnyk, V. O. & Sklyar V. M. (2019). Modulne 3D-modeliuvannia instrumentiv, protsesu zniattia pryusku ta formoutvorennia pry frezeruvanni kulachkiv zi skhreshchenymy osiamy instrumenta ta detali [Modular 3D modeling of tools, process of adaptation removal and forming at milling the cams with crossing tools and details]. *Tekhnichni nauky ta tekhnolohii – Technical sciences and technologies*, 1 (15), 53-62 [in Ukrainian].

9. Sliednikova, O.S., Vynnyk, V.O. & Sklyar V.M. (2019). Modulne tryvymirne modeliuvannia protsesiv zniattia pryusku ta formoutvorennia pry frezeruvanni kulachkiv oriyentovanyim instrumentom [Modular three-dimensional modeling of the process of removal of the allowance and formation during the milling of cams oriented tool] *Tekhnichni nauky ta tekhnolohii – Technical sciences and technologies*, 2 (16), 34-43 [in Ukrainian].

10. Kalchenko, V. V., Sira N. M. & Kalchenko, D. V. (2018). Doslidzhennia protsesu frezeruvannia tsylindrychnykh poverkhon zi skhreshchenymy osiamy instrumenta ta vala [Investigation of the milling cylindrical surfaces process with tool and shaft crossed axes]. *Tekhnichni nauky ta tekhnolohii – Technical sciences and technologies*, 4 (14), 18–17 [in Ukrainian].

11. Shlifovanie raspredelitelnykh valov krugami iz kubicheskogo nitrida bora [Grinding camshafts with cubic boron nitride circles] (2006). *Prospekt firmy «Junker maschinen» na stanki «JUCAM 1000», «JUCAM 3000», «JUCAM 5000», «JUCAM 6000» – Prospectus of the company «Junker maschinen» on machine tools «JUCAM 1000», «JUCAM 3000», «JUCAM 5000», «JUCAM 6000».* Erwin Junker. Maschinen fabric GmbH, Junkerstraße 2. 77787 Nordrash. Germany [in Russian]. URL: www.junker-group.com.

UDC 621.914.1

Volodymyr Kalchenko, Vitalii Kalchenko, Yaroslav Kuzhelnyi, Volodymyr Vynnyk

EXPERIMENTAL RESEARCH OF THE PROCESS OF MILLING THE SUPPORT NECKS AND CAMS OF THE CAMSHAFT ON AN UPGRADED MACHINE VZ 208 F4

Urgency of the research. In order for modern domestic automobile and machine-building productions to have competitive advantages, it is necessary to develop new methods of milling the responsible surfaces of the camshaft.

Target setting. To obtain the specified technical and economic indicators during the milling of the camshaft, it is necessary to improve existing or develop new effective methods of machining.

Actual scientific researches and issues analysis. There is a method of finishing milling the cams of the camshafts with crossed tool axes and parts. In this case, roughing and finishing milling take place in one run. Three-dimensional geometric modeling of the processes of allowance removal and shaping the cams of camshafts is also described. In addition, there is a method of milling cylindrical surfaces with crossed axes of the part and the tool. The peculiarity of this method is the roughing of the end and periphery of the tooth of the cutter and finishing only the periphery of the tool.

Uninvestigated parts of general matters defining. Lack of experimental research of the process of milling the support necks and cams of the camshaft with an oriented tool.

The research objective. Experimentally investigate the process of milling the support necks and cams of the camshaft with an oriented tool.

The statement of basic materials. The process of experimental research of milling the support necks and cams of the camshaft on a modernized machine VZ 208 F4 initiated.

Conclusions. The power of idling, active power during milling of support necks and cams of a camshaft depending on the size of an allowance and an angle of orientation of the tool are experimentally defined. The temperature distribution during the processing is given. The roughness of the processed surface of the part is in the range of $Ra = 0,32 - 0,63 \mu m$.

Keywords: experimental research; milling; camshaft; oriented tool; disc cutter.

Fig.: 12. References: 11.

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

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

E-mail: vvkalchenko74@gmail.com

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

ResearcherID: G-6752-2014

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

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

E-mail: kalchenkovi@ukr.net

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

ResearcherID: G-9477-2014

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

Kuzhelnyi Yaroslav – PhD in Technical Sciences, teacher of the Department of Road Transport Industry and Mechanical Engineering, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

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

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

ResearcherID: J-1127-2016

Винник Володимир Олександрович – аспірант, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035 Україна).

Vynnyk Volodymyr – PhD student, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: vovavynnyk7@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4179-5765>

ResearcherID: F-8938-2016

РОЗДІЛ II. ІНФОРМАЦІЙНО-КОМП'ЮТЕРНІ ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 004.056

DOI: 10.25140/2411-5363-2020-2(20)-109-115

Марина Синенко, Юлія Ткач

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ МЕТОДІВ АКТИВНОГО ЗАХИСТУ ІНФОРМАЦІЇ

Актуальність теми дослідження. Бурхливий розвиток ІТ-технологій та інтенсивна інформатизація всіх сфер суспільства веде до появи нових інформаційних загроз, тому інформаційна безпека є однією з найбільш важливих завдань ІТ-індустрії. Важливим елементом у процесі розроблення нових методів захисту інформації є їх апробація за допомогою математичних моделей.

Постановка проблеми. Перспективним напрямом у сфері захисту інформації є розробка активних методів забезпечення захисту, серед яких можна виділити, наприклад, упереджуючий удар, контратаку, дезінформування. Побудова математичних моделей таких методів є важливим етапом на шляху вироблення концепції активного захисту.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У сучасних дослідженнях значне місце посідають математичні моделі інформаційної безпеки, зокрема, з використанням марківських процесів, які дозволяють розв'язати широкий спектр прикладних задач, а саме, виявлення кібератак, виявлення вторгнення в комп'ютерні системи. За допомогою математичних моделей розв'язують задачі оптимізації та підвищення надійності захисту інформаційних систем.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Нині в роботах вітчизняних та закордонних учених недостатньо уваги приділяється розробці математичних моделей методів активного захисту інформації, що не дозволяє повною мірою продемонструвати ефективність цих методів.

Постановка завдання. Мета статті полягає в розробці та аналізі математичної моделі методів активного захисту інформаційних систем.

Виклад основного матеріалу. З використанням ймовірнісного формалізму «розорення гравців» побудована та досліджена математична модель для методу активного захисту інформації. На основі побудованої моделі розроблені рекомендації щодо значення параметрів моделі для забезпечення надійності захисту.

Висновки відповідно до статті. У роботі досліджена математична модель методів активного захисту інформації з використанням формалізму «розорення гравців», знайдені оцінки для параметрів системи захисту, які забезпечують певну його надійність.

Ключові слова: ймовірність; математична модель; методи активного захисту інформації.

Рис.: 3. Табл.: 1. Бібл.: 9.

Актуальність теми дослідження. Бурхливий розвиток ІТ-технологій та інтенсивна інформатизація усіх сфер суспільства веде до появи нових інформаційних загроз, тому нині інформаційна безпека є однією з найбільш важливих задач ІТ-індустрії. Створення надійних систем захисту інформації експериментальним шляхом здебільшого вимагає значних матеріальних та часових затрат, тому важливим елементом розробки методів захисту інформаційних систем є їх апробація з використанням математичного моделювання. Оскільки інформаційні загрози мають переважно ймовірнісний характер, то при моделюванні засобів захисту інформаційних систем (ІС) доцільно використовувати математичний апарат теорії ймовірності, зокрема, випадкових процесів.

Постановка проблеми. На сьогодні загальноприйняті підходи захисту інформаційних систем (ЗІС) ставлять за мету нейтралізацію або мінімізацію наслідків інформаційних вторгнень (атак). Такі методи прийнято називати пасивними методами захисту. Однак перспективним напрямом у сфері захисту інформації є розробка активних методів забезпечення ЗІ, серед яких можна виділити, наприклад, упереджуючий удар, контратаку, дезінформування. Розробка математичних моделей активних методів захисту інформації є важливим етапом на шляху вироблення певної концепції таких підходів.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. У сучасних дослідженнях значне місце посідають математичні моделі інформаційної безпеки з використанням марківських процесів, оскільки спектр прикладних задач, які можна розв'язати в такий спосіб, досить широкий. Так, у роботах [1-3] вивчається виявлення кібератак, у роботах [4; 5] досліджується виявлення вторгнення в комп'ютерні системи. У роботах, присвячених криптозахисту, ви-

користовують моделі з прихованим марківським процесом [6]. За допомогою математичних моделей розв'язують задачі оптимізації та підвищення надійності захисту інформаційних систем [7]. Питання активного захисту інформації розглядалися у роботах [8; 9].

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Нині в роботах вітчизняних та зарубіжних вчених недостатньо уваги приділяється розробці математичних моделей методів активного захисту інформації, що не дозволяє повною мірою продемонструвати ефективність цих методів.

Мета статті. Мета статті полягає в розробці та аналізі математичної моделі методів активного захисту інформаційних систем.

Виклад основного матеріалу. Нехай задачі активного захисту інформаційних систем вирішуються програмно-апаратними засобами, які будемо називати серверами активного захисту (САЗ). Будемо вважати, що разом із засобами пасивного захисту такі сервери можуть виконувати такі функції: ідентифікація атакуючої системи з використанням засобів комп'ютерної розвідки, вибір видів та засобів реалізації інформаційних атак, розкриття засобів захисту суперника.

Розглянемо математичну модель протидії серверів активного захисту сторін A та B , використовуючи формалізм «задачі про розорення гравців» [9].

Будемо припускати, що до початку протидії сторона A мала в наявності n , а сторона B відповідно m захисних ресурсів (САЗ). Результатом кожної атаки, які будемо вважати незалежними, є захват одного із САЗ суперника, причому захоплений сервер також може бути використаний для нанесення збитків його попередньому власнику. Атаки можуть продовжуватись до повної втрати САЗ однією зі сторін протиборства.

Позначимо p та q ймовірності успішних атак сторін A та B відповідно. Нехай щодо p і q виконуються такі умови:

$$0 < p < 1; 0 < q < 1; p + q = 1.$$

Виконання строгих нерівностей для p і q означає припущення про відсутність нічиїх при атаках на ІС.

Для аналізу ефективності застосування засобів активного захисту при заданих значеннях параметрів p, q, m, n обчислимо ймовірність поразки, наприклад, сторони A . Під поразкою будемо розуміти, що сторона втрачає всі наявні в неї САЗ.

Позначимо ймовірності поразки сторін A та B відповідно P_n, Q_m . (Тут індекси n та m вказують на наявність у сторін САЗ, що діють у їхніх інтересах перед початком протидії.) Нехай перед початком деякої атаки сторона A мала в наявності r серверів активного захисту, діючих у її інтересах, тоді отримати поразку сторона A може двома способами: або наступна атака буде успішною, а всі інші сторона A програє, або вона програє як наступну атаку, так і все протистояння. Тоді, використовуючи формулу повної ймовірності, маємо:

$$P_r = pP_{r+1} + qP_{r-1} \Leftrightarrow pP_{r+1} - P_r + qP_{r-1} = 0. \quad (1)$$

Рівняння (1) є лінійним однорідним різницевою рівнянням другого порядку. Щоб знайти загальний розв'язок (1), запишемо його характеристичне рівняння:

$$p\lambda^2 - \lambda + q = 0, \quad (2)$$

корені якого $\lambda_1 = 1$; $\lambda_2 = q/p$. У припущенні, що $p \neq q$, загальний розв'язок різницевого рівняння (1) має вигляд:

$$P_r = C_1 + C_2 \left(\frac{q}{p}\right)^r. \quad (3)$$

Для визначення констант C_1, C_2 розглянемо граничні умови: $P_0 = 1, P_{n+m} = 0$, які є цілком природними, оскільки відсутність ресурсів для захисту у сторони A означає її цілковиту поразку (достовірна подія), аналогічно, якщо сторона A зосередить у собі всі засоби захисту, то це унеможливить її поразку (неможлива подія). Таким чином, маємо:

$$\begin{cases} P_0 = C_1 + C_2 = 1; \\ P_{n+m} = C_1 + \left(\frac{q}{p}\right)^{n+m} = 0. \end{cases} \quad (4)$$

Звідки отримуємо

$$C_1 = -\frac{\left(\frac{q}{p}\right)^{n+m}}{1 - \left(\frac{q}{p}\right)^{n+m}}; \quad C_2 = \frac{1}{1 - \left(\frac{q}{p}\right)^{n+m}},$$

і, відповідно,

$$P_r = \frac{\left(\frac{q}{p}\right)^{n+m} - \left(\frac{q}{p}\right)^r}{\left(\frac{q}{p}\right)^{n+m} - 1}. \quad (5)$$

Тоді

$$P_n = \frac{1 - \left(\frac{p}{q}\right)^m}{1 - \left(\frac{p}{q}\right)^{n+m}}; \quad (6)$$

$$Q_m = 1 - P_n = \frac{1 - \left(\frac{q}{p}\right)^n}{1 - \left(\frac{q}{p}\right)^{n+m}}. \quad (7)$$

У випадку, коли $p = q = 0,5$, загальний розв'язок рівняння (1) записується у вигляді:

$$P_r = C_1 + C_2 r. \quad (8)$$

З урахуванням початкових умов маємо: $P_r = 1 - \frac{r}{n+m}$, і, відповідно,

$$P_n = 1 - \frac{n}{n+m} = \frac{m}{n+m}. \quad (9)$$

Проаналізуємо отримані вирази для ймовірностей поразки сторін. Слід зазначити, що при $p = q = 0,5$ перевага тієї чи іншої сторони при активному захисті ІС повністю визначається перевагами в технічному оснащенні.

Для надійності роботи систем захисту інформації важливо підібрати параметри системи таким чином, щоб ймовірність поразки не перевищувала деякого наперед заданого значення α . Наприклад, при $p = q$, щоб виконувалась нерівність $P_n \leq \alpha$, число САЗ повинно задовольняти нерівність:

$$n \geq \left[\frac{(1 - \alpha)m}{\alpha} \right] + 1,$$

($[x]$ означає цілу частину числа).

Нехай $p \neq q$. Графіки залежності ймовірності P_n від величини $u = \frac{p}{q}$, $u \neq 1$ при різних, але фіксованих m та n наведені на рис. 1. Перший графік відповідає випадку $n = 4; m = n$, другий – $n = 4; m = 2n$.

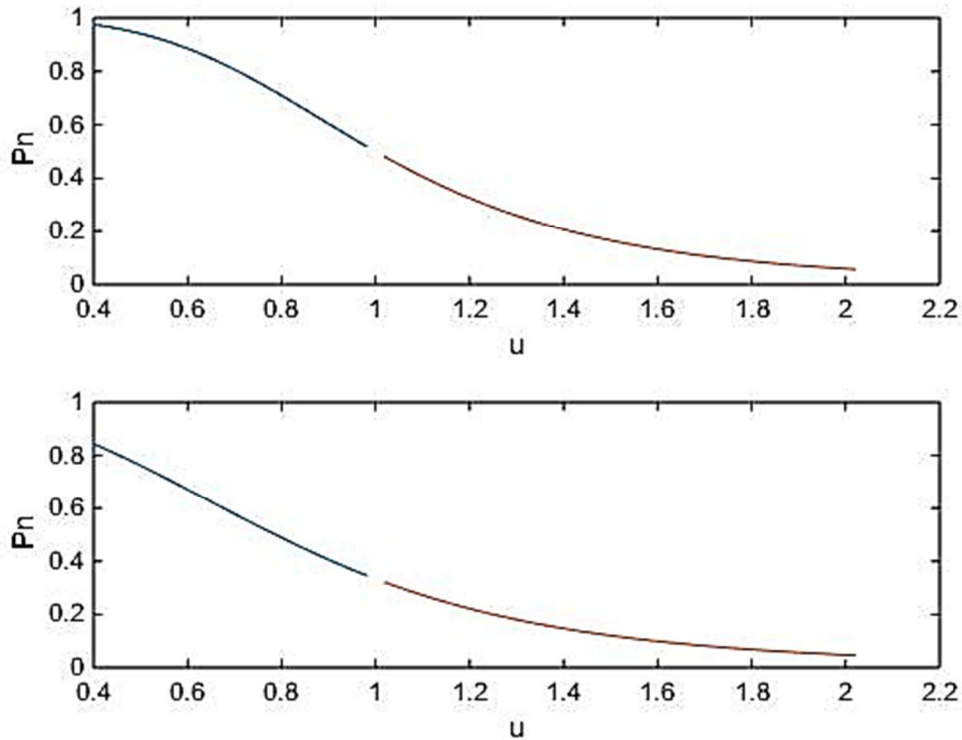


Рис. 1. Графік залежності ймовірності поразки P_n від величини $u = p/q, n = t = 4, n = 4; t = 2n$

Розглянемо детальніше випадок $p > q$. Зазначимо, що $P_n \sim \left(\frac{q}{p}\right)^n$, якщо $t \sim \infty$. Це означає, що при $p > q$ сторона A може отримати перемогу, навіть якщо кількість САЗ противника значно перевищує ресурси сторони A , $t \gg n$. (Графіки залежностей P_n від величини $u = \frac{p}{q}$ при $p > q$ і $t > n$ наведених на рис. 2).

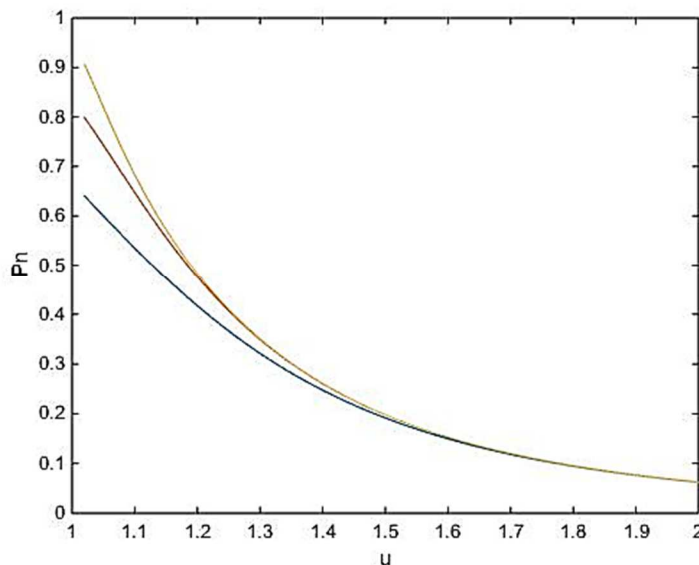


Рис. 2. Графік залежності ймовірності поразки P_n від величини $u = \frac{p}{q}, p > q, n = 4, \frac{m}{n} = k$ для $k = 2; 5; 20$

Нехай $\frac{m}{n} = k, k > 1$, що означає перевагу в технічній оснащеності сторони B порівняно з A у k разів. Визначимо, за яких p у такій ситуації буде виконуватись нерівність $P_n \leq \alpha$.

$$P_n = \frac{1 - \left(\frac{p}{q}\right)^m}{1 - \left(\frac{p}{q}\right)^{n+m}} = \frac{1 - \left(\frac{p}{q}\right)^{kn}}{1 - \left(\frac{p}{q}\right)^{(k+1)n}$$

Позначивши $x = \left(\frac{p}{q}\right)^n$, маємо:

$$P_n \leq \alpha \Leftrightarrow \frac{1 - x^k}{1 - x^{k+1}} \leq \alpha \Leftrightarrow \frac{\alpha x^{k+1} - x^k + 1 - \alpha}{1 - x^{k+1}} \leq 0. \tag{10}$$

Оскільки у даних припущеннях $1 - x^{k+1} < 0$, то нерівність (10) рівносильна нерівності:

$$\alpha x^{k+1} - x^k + 1 - \alpha \geq 0 \Leftrightarrow x^k(\alpha x - 1) \geq \alpha - 1. \tag{11}$$

Права частина нерівності (11) від'ємна, тому (11) гарантовано буде виконуватись за умови $\alpha x - 1 \geq 0$. З останньої нерівності маємо:

$$\frac{p}{q} \geq \sqrt[n]{\alpha^{-1}} \Leftrightarrow p \geq \frac{1}{1 + \sqrt[n]{\alpha}}$$

Отже, треба відзначити, що при великих значеннях p перевага в технічній оснащеності сторони B нівелюється. Деякі значення ймовірності p при заданих значеннях n і α наведені в таблиці.

Таблиця 1

Значення ймовірності p залежно від α та n .

	$n = 4$					$n = 8$				
α	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
p	0,640	0,599	0,57	0,557	0,543	0,572	0,550	0,538	0,529	0,522

Якщо $p < q$ (рис. 3), то ймовірність поразки сторони A можна намагатись зменшити за рахунок збільшення n , але в цьому випадку можливості A обмежені, оскільки при $n \sim \infty$,

$$P_n \sim 1 - \left(\frac{p}{q}\right)^m.$$

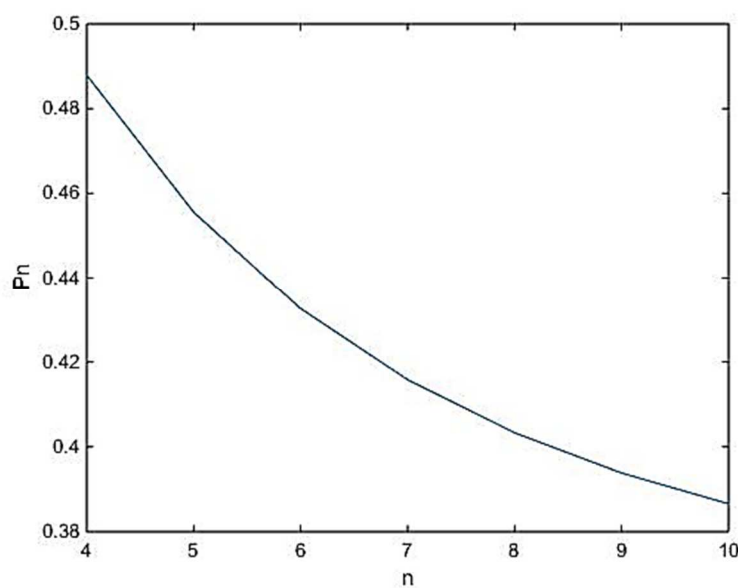


Рис. 3. Графік залежності ймовірності P_n від n , у випадку $p < q$

Висновки відповідно до статті. У роботі досліджена математична модель методів активного захисту інформації з використанням формалізму «розорення гравців», знайдені оцінки для параметрів системи захисту, які забезпечують певну його надійність. Отримані наступні результати: якщо ймовірності успішної атаки кожної з протидіючих сторін рівні ($p = q = 0,5$), то переваги сторін повністю визначаються їх технічною оснащеністю; якщо $p > q$, то сторона A може отримати перемогу, навіть у випадку, коли протидіюча сторона значно переважає у технічному оснащенні; якщо $p < q$, то сторона A може збільшити ймовірність перемоги за рахунок технічного оснащення, але в цьому випадку її можливості суттєво обмежені. Розглянута математична модель допускає подальший розвиток, якщо припустити, що одна із протидіючих сторін може «навчатися» у процесі протидії і, відповідно, збільшувати ймовірність успіху.

Список використаних джерел

1. Ye N. et al. Robustness of the Markov-Chain Model for Cyber-Attack Detection. *IEEE Transactions on Reliability*. 2004. Vol. 53:1. P. 116-123.
2. Fava D. et al. Projecting Cyberattacks through Variable-Length Markov Models. *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*. 2008. Vol. 3:3. P. 359-369.
3. Pietre-Cambacedes L., Bouissou M. Beyond Attack Trees: Dynamic Security Modeling with Boolean Logic Driven Markov Processes (BDMP). *Proceedings of the 2010 European Dependable Computing Conference*, IEEE Computer Society, 2010. P. 199-208.
4. Kovalev S. M., Sukhanov A. V. Anomaly detection based on Markov chain model with production rules. *Software and Systems*. 2014. Vol. 107:3. P. 40–43.
5. Austin T. H. et al. Exploring Hidden Markov Models for Virus Analysis: a Semantic Approach. *Proceedings of the 2013 46th Hawaii International Conference on System Sciences*, IEEE Computer Society. 2013. P. 5039-5048.
6. Математические модели распространения вирусов в компьютерных сетях различной структуры / Далингер Я. М. и др. *Информатика и системы управления*. 2011. № 4. С. 3–11.
7. Щеглов К. А., Щеглов А. Ю. Марковские модели угрозы безопасности информационной системы. *Известия высших учебных заведений. Приборостроение*. 2015. № 58:12. С. 957–965.
8. Тутубалин П. И., Моисеев В. С. Вероятностные модели обеспечения информационной безопасности автоматизированных систем обработки информации и управления : монография. Казань : Изд. РИЦ «Школа», 2008. 144 с.
9. Гнеденко Б. В. Курс теории вероятностей. Москва : Наука. 1988. 488 с.

References

1. Ye, N. et al. (2004). Robustness of the Markov-Chain Model for Cyber-Attack Detection. *IEEE Transactions on Reliability*, 53:1, 116-123.
2. Fava, D. et al. (2008). Projecting Cyberattacks through Variable-Length Markov Models. *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*, 3:3, 359-369.
3. Pietre-Cambacedes L., Bouissou M. (2010). Beyond Attack Trees: Dynamic Security Modeling with Boolean Logic Driven Markov Processes (BDMP). *Proceedings of the 2010 European Dependable Computing Conference*, IEEE Computer Society, P. 199-208.
4. Kovalev, S. M., Sukhanov, A. V. (2014). Anomaly detection based on Markov chain model with production rules", *Software and Systems*, 107:3, 40–43.
5. Austin, T. H. et al. (2013). Exploring Hidden Markov Models for Virus Analysis: a Semantic Approach. *Proceedings of the 2013 46th Hawaii International Conference on System Sciences*. IEEE Computer Society (pp. 5039-5048).
6. Dalinger, Ya. M. et al. (2011). Matematicheskie modeli rasprostraneniia virusov v kompiuternykh setiakh razlichnoi struktury [The mathematical models of the spreading of viruses in computer networks with the diferent structures]. *Informatika i sistemy upravleniya – Information Science and Control Systems*, 4, 3-11 [in Russian].
7. Shcheglov, K. A., Shcheglov, A. Yu. (2015). Markovskie modeli uhrozy bezopasnosti informatsionnoi sistemy [Markov models for informational system security threat]. *Izvestiia Vysshnykh Uchebnykh Zavedeniy. Priborostroenie – News of higher educational institutions. Instrumentation*, 58:12, 957-965.

8. Tutubalin, P. I., Moiseev, V. S. (2008). *Veroiatnostnye modeli obespecheniia informatsionnoi bezopasnosti avtomatizirovannykh sistem obrabotki informatsii i upravleniia [Probabilistic Models for Ensuring Information Security of Automated Information Processing and Control Systems]*. Kazan: Publishing House RITS «Schol» [in Russian].

9. Gnedenko, B. V. (1988). *Kurs teoryi veroiatnostei [Probability Theory]*. Moscow: Science [in Russian].

UDC 004.056

Maryna Synenko, Yuliia Tkach

MATHEMATICAL MODEL OF ACTIVE INFORMATION PROTECTION METHODS

Urgency of the research. Rapid development of IT-technologies and intensive informing of all spheres of society leads to emergence of new information threats, which is why information security is one of the most important tasks of the IT-industry. An important element in the process of developing new methods of information security is their testing through mathematical modeling.

Target setting A promising area in the field of information security is the development of active security methods, which include, for example, pre-emptive strike, counterattack, misinformation. The construction of mathematical models of such methods is an important step in the development of the concept of active protection.

Actual scientific researches and issues analysis. In modern studies, mathematical models of information security take a significant role, in particular, using Markov processes, which allow to solve a wide range of applied problems, namely, detection of cyberattacks, detection of invasion of computer systems. Mathematical models solve the problems of optimizing and improving the security of information systems.

Uninvestigated parts of general matters defining. Currently, in the works of domestic and foreign scientists, insufficient attention is paid to the development of mathematical models of active information protection methods, which does not allow to fully demonstrate these methods effectiveness.

The research objective. The purpose of the article is to develop and analyze a mathematical model of active methods of information systems protection.

The statement of basic materials. Using the probable formalism of "player ruin", a mathematical model for the method of active protection of information was constructed and investigated. Based on the model built, recommendations for the value of model parameters were developed to provide security protection.

Conclusions. The mathematical model of the active methods of information protection using the "player ruin" formalism is investigated, the estimates for the parameters of the security system providing its certain reliability are found.

Keywords: probability; mathematical model; methods of active protection of information.

Fig.: 3. Table: 1. References: 9.

Синенко Марина Анатоліївна – кандидат фізико-математичних наук, доцент, доцент кафедри кібербезпеки та математичного моделювання, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

Synenko Maryna – PhD of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Cybernetic Protection and Mathematical Modeling, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: mara.a.snnk@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8961-533X>

Scopus ID: 6504542623

Ткач Юлія Миколаївна – доктор педагогічних наук, доцент, завідувач, професор кафедри кібербезпеки та математичного моделювання, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

Tkach Yulia – Doctor of Pedagogical Sciences, Associate Professor, Head, Professor, Department of Cybersecurity and Mathematical Modeling, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: tkachym79@gmail.com

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8565-0525>

УДК 004.932

DOI: 10.25140/2411-5363-2020-2(20)-116-125

Інна Стеценко, Олександр Стельмах

**ТЕХНОЛОГІЯ ВИЗНАЧЕННЯ ІНТЕНСИВНОСТІ ДОРОЖНЬОГО РУХУ
ЗА ДАНИМИ ВІДЕОРЯДУ**

Актуальність теми дослідження. Затори на дорогах є величезною проблемою для всіх учасників дорожнього руху і причиною їх є зростаюча інтенсивність руху та незадовільна якість систем управління транспортним рухом. Системи, що управляють транспортними потоками та приймають рішення про зміну параметрів управління, мають отримувати достовірні та актуальні дані про інтенсивність трафіку. Тому одним із найважливіших завдань є збір та обробка даних про показники руху транспортних засобів.

Постановка проблеми. Усереднені за добу (чи навіть за рік) значення інтенсивності руху транспортних засобів можуть забезпечити якісні оцінки параметрів управління для усереднених значень, але не для фактичних, особливо в умовах великих коливань інтенсивності трафіку протягом доби. Для ефективного управління транспортними потоками важливо мати достатньо точну інформацію про стан дорожнього руху (його інтенсивність та завантаженість) на момент прийняття рішення. У цьому дослідженні поставлено завдання розробити технологію визначення інтенсивності дорожнього руху за послідовними значеннями показника завантаженості, що знаходяться в результаті обробки зображень відеоряду смуги дорожнього руху.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Були розглянуті наукові публікації, в яких висвітлюються наявні методи визначення інтенсивності дорожнього руху, та зроблено висновок, що ці методи не є достатньо точними для використання їх у сучасних умовах і тому суттєво обмежують розвиток інформаційних систем управління транспортним рухом.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Аналіз відеоряду зображень не використовувався раніше для автоматизованого визначення інтенсивності дорожнього руху.

Постановка завдання. Метою цього дослідження є підвищення точності визначення інтенсивності транспортного руху на основі аналізу даних відеопотоку в режимі реального часу за рахунок автоматизованої обробки даних відеоряду, отриманих з камери відеоспостереження смуги дорожнього руху.

Виклад основного матеріалу. Представлений метод визначення показника завантаженості TLCR за даними, отриманими в результаті обробки кадру відеоряду з використанням нейромережі U-Net. Послідовність упорядкованих у часі значень показника завантаженості перетворюється в послідовність показників інтенсивності транспортного руху на основі формули, яка отримана в результаті дослідження. Наведено експериментальне дослідження, яке доводить високу точність визначення показників дорожнього руху. Послідовність обробки та перетворень даних складають нову технологію визначення інтенсивності дорожнього руху.

Висновки відповідно до статті. У цьому дослідженні розроблена технологія визначення інтенсивності дорожнього руху за даними відеоряду, що надходять із відеокамери спостереження, що забезпечує набагато вищу точність оцінки інтенсивності руху транспортних засобів на ділянці дорожнього руху, ніж існуючі.

Ключові слова: аналіз зображень; інтенсивність транспортного руху; показник завантаженості транспортного руху; TLCR.

Рис.: 6. Бібл.: 15.

Актуальність теми дослідження. Затори на дорогах є величезною проблемою для всіх учасників дорожнього руху і причиною їх є зростаюча інтенсивність руху, низька пропускна спроможність транспортних шляхів та, водночас, незадовільна якість систем управління транспортним рухом. Інтенсивність руху є найважливішим фактором, що впливає на безпеку дорожнього руху. Його значення використовується при плануванні і проведенні дорожньо-будівельних робіт на автомобільних дорогах, розробці планів і заходів із розвитку дорожньої мережі, визначенні обсягу інвестицій у дорожню галузь [1]. Системи, що управляють транспортними потоками та приймають рішення про зміну параметрів управління, мають отримувати достовірні та актуальні дані про інтенсивність трафіку. Тому одним із найважливіших завдань є збір даних, оскільки від правильності визначення показників дорожнього руху залежить якість роботи системи загалом.

Постановка проблеми. Посібник з проектування доріг вказує на 10 %-ий темп зростання інтенсивності руху для всіх національних автомобільних доріг щорічно [2]. Відповідність цього значення фактичному значенню темпу зростання може бути оцінена лише за умови, що аналіз темпу зростання виконується на основі фактичних даних про трафік, оскільки зростання інтенсивності трафіку не є рівномірним на різних ділянках транспортного руху. Тому вимога своєчасних даних про трафік та їх належний аналіз для досягнення достовірних характеристик руху транспортного потоку є необхідною. Усереднені

за добу (чи навіть за рік) значення інтенсивності руху транспортних засобів можуть забезпечити якісні оцінки параметрів управління для усереднених значень, але не для фактичних, особливо в умовах великих коливань інтенсивності трафіку протягом доби. Для ефективного управління транспортними потоками важливо мати достатньо точну інформацію про стан дорожнього руху (його інтенсивність та завантаженість) на момент прийняття рішення. Сучасний технічний прогрес у галузі комп'ютерного зору та розгалужена мережа камер відеоспостереження, які вже здійснюють зйомку дорожнього руху у великих містах, створюють умови для вирішення проблеми неточних даних про інтенсивність дорожнього руху. У цьому дослідженні поставлено завдання розробити технологію визначення інтенсивності дорожнього руху за послідовними значеннями показника завантаженості, що знаходяться в результаті обробки зображень відеоряду смуги дорожнього руху.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Існують різні методи визначення інтенсивності руху на автомобільних дорогах. До них належать контактні-механічні, магнітно-індуктивні, візуальні, комбіновані методи та ін. В Україні для визначення інтенсивності транспортного потоку використовується візуальний облік [3]. Після визначення годинної інтенсивності руху, за допомогою поправкових коефіцієнтів визначають середньорічну добову інтенсивність руху.

Для того щоб ефективно управляти ситуацією на дорозі, системам управління необхідно отримувати актуальні дані за невеликі проміжки часу. Такий показник, як середньорічна добова інтенсивність руху, не дає можливості оцінити ситуацію на дорозі в конкретний момент часу, тому що розподіл кількості транспортних засобів на ділянці транспортного руху не є рівномірним протягом доби.

У роботі [4] автори для визначення інтенсивності використовують дані GPS. Інформація надходить у режимі реального часу та представлена як послідовність пар значень фізичної координати та порядкового номера транспортного засобу. Для більш точного визначення запропоновано спосіб побудови актуальних оцінок транспортних потоків за даними з GPS, що складається з двох етапів: проектування даних на граф вулично-дорожньої мережі з урахуванням обмежень, що накладаються поступальним та маршрутним рухом транспортного засобу, та розрахунок швидкості потоку, середнього часу проходження транспортного засобу через сегмент мережі (величина, зворотна до швидкості потоку), щільності потоку та величини потоку по отриманих оцінках розташування. Недоліком такого методу є неточність визначення координат через похибки навігаційних систем. У результаті отримані дані можуть не збігатися з розташуванням транспортного засобу в реальності та призвести до неправильного визначення інтенсивності загалом.

У роботі [5] для обліку транспортних засобів запропоновано повноцінний прилад «Відеодетектор ІНФОПРО». Прилад фіксує різноманітні характеристики дорожнього руху, серед яких середня швидкість руху автомобілів, інтенсивність руху, інтервал між автомобілями. На рис. 1 наведено приклад роботи системи, наданий офіційним сайтом виробника приладу. Заявлена можливість збору інформації одночасно з 8 поліс дороги. У комплекті із самим приладом йде програмне забезпечення з графічним інтерфейсом, а також пульт для налаштування віртуальних сенсорів. Програмне забезпечення дозволяє будувати графіки та звіти за зібраними даними. Алгоритми визначення та статистичні дані точності алгоритму розробник не надає. Недоліком системи є висока вартість та необхідність встановлення приладу в місцях дослідження на спеціально відведену висоту, замість використання камер.

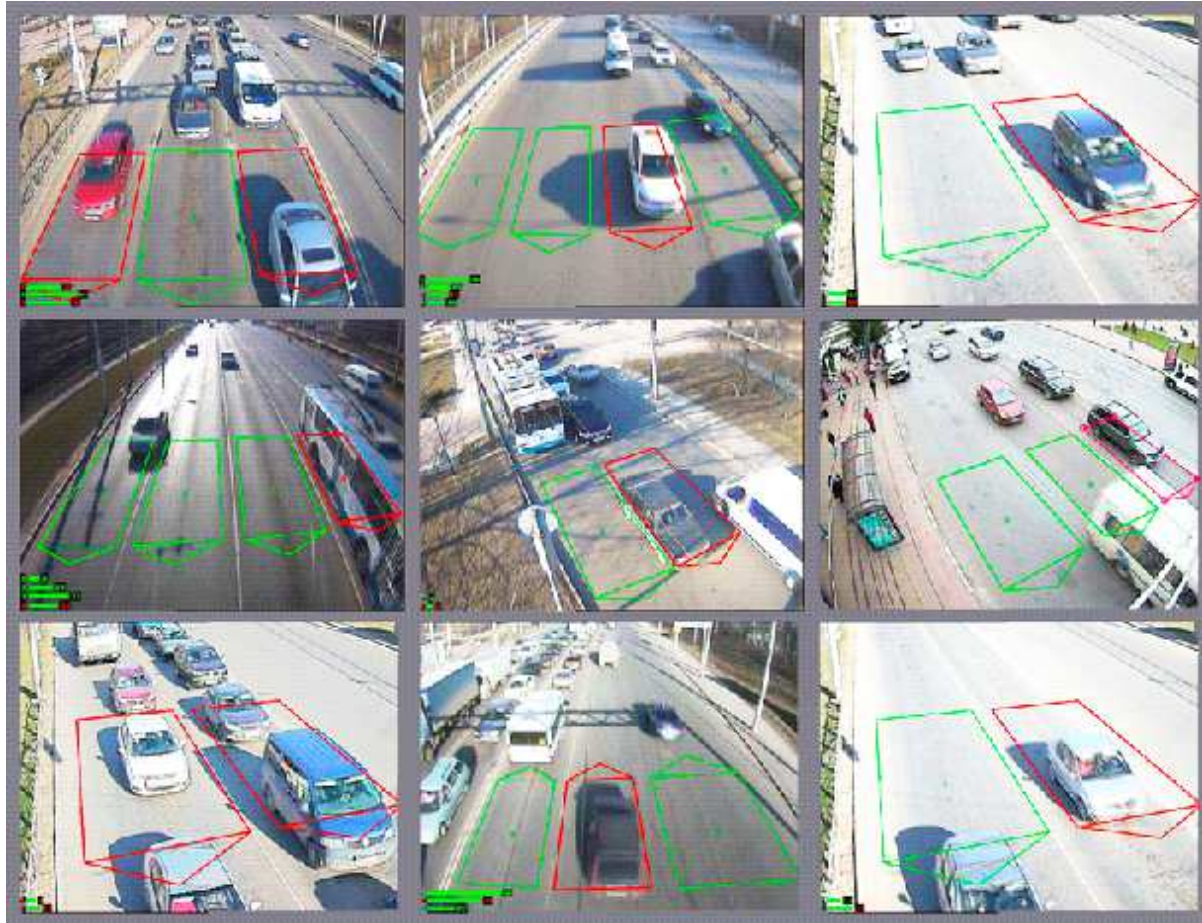


Рис. 1. Приклад роботи системи «ІНФОПРО»

Джерело: [11].

У роботі [6] автори пропонують використовувати візуальний облік, а вже потім, спираючись на фактичні значення інтенсивності, застосовувати математичну модель у вигляді функціональної залежності, що враховує місяць, день тижня, час доби, а також святковий день чи ні. Для оцінки адекватності запропонованого методу автори використали F-критерій Фішера. Недоліком є необхідність повторного проведення візуального обліку через невеликий проміжок часу, тому що кількість транспортних засобів на дорогах постійно зростає і дані, які отримані раніше, вже будуть не актуальними. Також не враховуються екстрені ситуації, наприклад, аварія чи несправність світлофору.

У роботі [7] для визначення автомобілів за отриманими зображеннями із супутника спостереження Землі «Radarsat-2» використовують зворотний розбір – фізичне явище, при якому світло від спалаху відштовхується назад в об'єктив, викликаючи яскраві плями між спалахом та основним предметом [8]. Автори стверджують, що такий метод дозволяє правильно виявляти до 90 % транспортних засобів, що дає можливість використовувати його для моніторингу трафіку. Такий спосіб має суттєвий недолік, а саме, транспортний засіб, розміри якого менші, ніж розширення зображення, важко виявляти.

У роботі [9] використовують зображення з відеокамер для визначення кількості та швидкості транспортних засобів. Об'єкти, що розпізнані за допомогою сегментації зображення класифікуються в такі групи: мотоцикл, легковий автомобіль, вантажний автомобіль, великоваговий транспортний засіб (heavy vehicle) та невідома група. Сегментовані зображення порівнюються, враховуючи положення автомобілів, кожний збіг визначає один транспортний засіб. Сегментація зображень виконується за допомогою методу, заснованому на нейронній архітектурі [10].

Отже, наявні методи визначення інтенсивності транспортного руху не є достатньо точними для використання їх у сучасних умовах і суттєво обмежують розвиток інформаційних систем управління транспортним рухом.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Аналіз відеоряду зображень не використовувався раніше для автоматизованого визначення інтенсивності дорожнього руху. Для його використання потрібно вирішити проблему вибору області смуги руху, розробити алгоритми визначення інтенсивності та показника завантаженості із сегментованих кадрів, які були отримані за допомогою нейромережі U-Net.

Постановка завдання. Метою цього дослідження є підвищення точності визначення інтенсивності транспортного руху на основі аналізу даних відеопотоку в режимі реального часу за рахунок автоматизованої обробки даних відеоряду, отриманих із камери відеоспостереження смуги дорожнього руху визначає поточне значення інтенсивності руху транспортних засобів на цій смузі. Основу нової технології становлять алгоритм обробки зображень з метою виявлення наявності транспортних засобів у визначеній ділянці дорожнього руху, метод визначення показника завантаженості смуги дорожнього руху TLCR та метод визначення інтенсивності за послідовними значеннями показника завантаженості смуги дорожнього руху.

Виклад основного матеріалу. Для реалізації технології визначення інтенсивності використовувались такі пристрої: камера відеоспостереження, комп'ютер.

Процес визначення інтенсивності транспортного руху за відеорядом складається з таких етапів:

- 1) збір даних із камери відеоспостереження;
- 2) перетворення відео в послідовний набір зображень;
- 3) сегментація зображень для виділення транспортних засобів;
- 4) розподіл транспортних засобів по смугах дорожнього руху;
- 5) визначення показника завантаженості TLCR для окремої смуги руху на кожному зображенні;
- 6) визначення інтенсивності з показників завантаженості;
- 7) визначення загального показника завантаженості;
- 8) запис показників у базу даних;

Програмне забезпечення складається з таких модулів:

- 1) модуль збору даних;
- 2) модуль обробки зображень (сегментація);
- 3) модуль визначення показника завантаженості;
- 4) модуль визначення інтенсивності;

При розробці програмного забезпечення використовувались такі інструменти: мова програмування python, база даних sqlite, та бібліотеки tensorflow, opencv, numpy, pyside.

Для дослідження збір даних із відеокамер було проведено за допомогою сайту videoprofki.ua. Для обробки зображень реалізовано нейромережу U-Net. Нейромережа вирішує задачу сегментації, що дозволяє виділити пікселі, які мають спільні візуальні характеристики [12]. Зазвичай такі нейромережі використовують для обробки біомедичних зображень, оскільки для навчання не потрібна велика кількість даних [13]. Результат обробки зображення смуги дорожнього руху нейромережею показано на рис. 2.

Для визначення інтенсивності транспортного руху необхідно спочатку знайти коефіцієнт завантаженості смуги транспортного руху (TLCR), що визначається за формулою (1) [12]:

$$TLCR = \frac{\sum_{i \in A} V_i}{|A|}, \quad (1)$$

де i – індекс пікселя області A ; $|A|$ – кількість пікселів області A ; V_i – значення i -ого пікселя.

При визначенні показника завантаженості важливо правильно виділити область, що відповідає смузі руху. Автомобілі, що проїжджають по сусіднім смугам дорожнього руху, залежно від геометричних властивостей та ракурсу камери можуть бути зараховані як автомобілі, що рухаються по досліджуваній області. Ракурс камери не завжди дозволяє використовувати прямокутник як область A , що відповідає частині смуги руху з формули (1). Було вирішено вдосконалити алгоритм, використовуючи будь-який чотирикутник замість прямокутника. Приклад зображено на рис. 3.

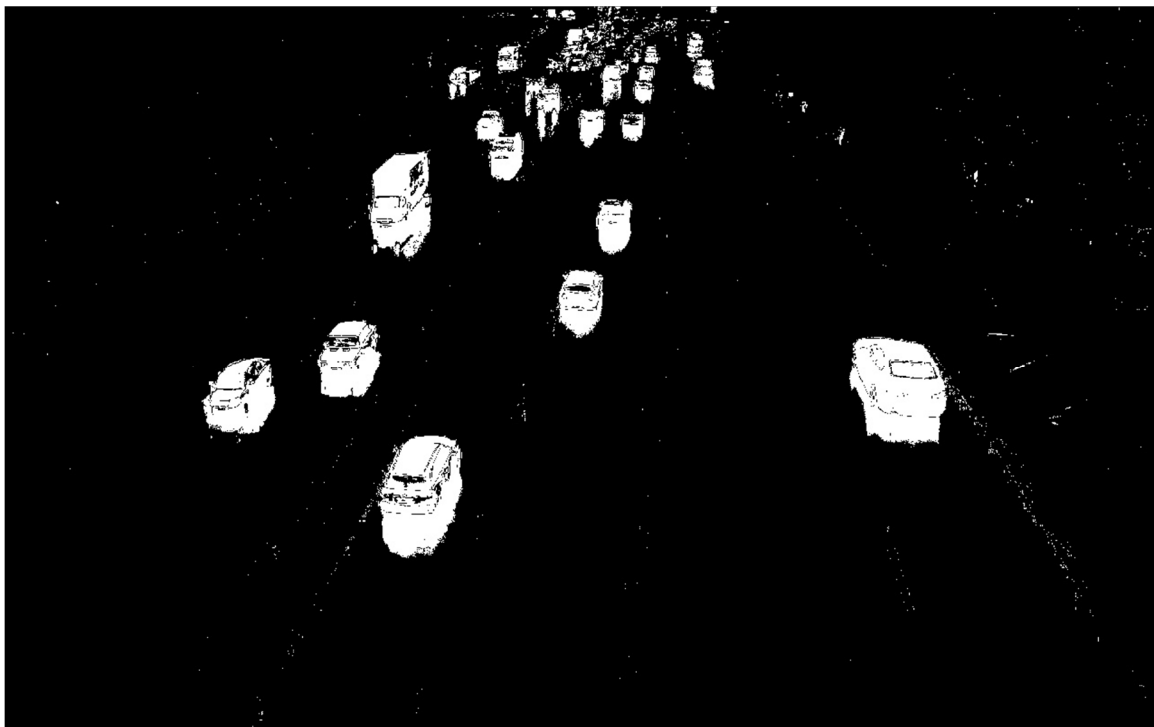


Рис. 2. Результат обробки зображення смуги дорожнього руху мережі U-NET



Рис. 3. Область, виділена для визначення показника завантаженості смуги дорожнього руху

Для визначення кількості та суми значень пікселів у виділеній області смуги руху, використовується такий алгоритм:

– На першому кроці створюється зображення такого ж розміру, як і оригінальне, та розміщуємо на ньому фігуру, що відповідає досліджуваній області смуги дорожнього руху.

– На другому кроці наближено визначається прямокутник I навколо фігури за допомогою функції `boundingRect` бібліотеки `opencv` [14] та з використанням нейромережі вирізається з обробленого зображення другий прямокутник 2 .

– На наступному кроці застосовується операція кон'юнкція для прямокутників 1 та 2 , результатом якої є прямокутник 3 (рис. 4).

– Кількість пікселів в обраній області визначається на четвертому кроці кількістю ненульових пікселів у прямокутнику 1 .

– На останньому кроці знаходиться сума значень пікселів у прямокутнику 3 за допомогою функції `sumElems`.



Рис. 4. Результат операції логічного «І»

При оцінці безпеки дорожнього руху та в системах управління транспортним рухом часто використовують максимальне (пікове) або середньорічне значення інтенсивності. При цьому значення інтенсивності руху та показника завантаженості TLCR нерівномірне протягом доби, що й показано на рис. 5. Дослідження проводилось в місті Києві на перехресті вулиць Юрія Ілленка та Олени Теліги.

Для визначення інтенсивності використовуються коливання значень показника завантаженості TLCR. Транспортний засіб зараховується, якщо значення TLCR, що визначене з поточного кадру більше, ніж порогове значення, а також значення TLCR з попереднього кадру менше, ніж порогове. Для правильного визначення інтенсивності важливо щоб в досліджуваній області було не більше одного транспортного засобу. В іншому разі коливання значень TLCR при щільному потоці автомобілів не буде зафіксовано. Також важливо, щоб досліджувана область не була занадто мала, тому що асиметричність частин транспортного засобу може привести до хибних коливань показника завантаженості. Інтенсивність транспортного руху визначається за формулою:

$$I(A) = \sum_{i=2}^n \begin{cases} 1, & \text{if } a_i > k, a_{i-1} \leq k \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

де a – масив значень коефіцієнта завантаженості смуги руху (TLCR), поділених на максимально можливе значення 255, k – порогове значення.

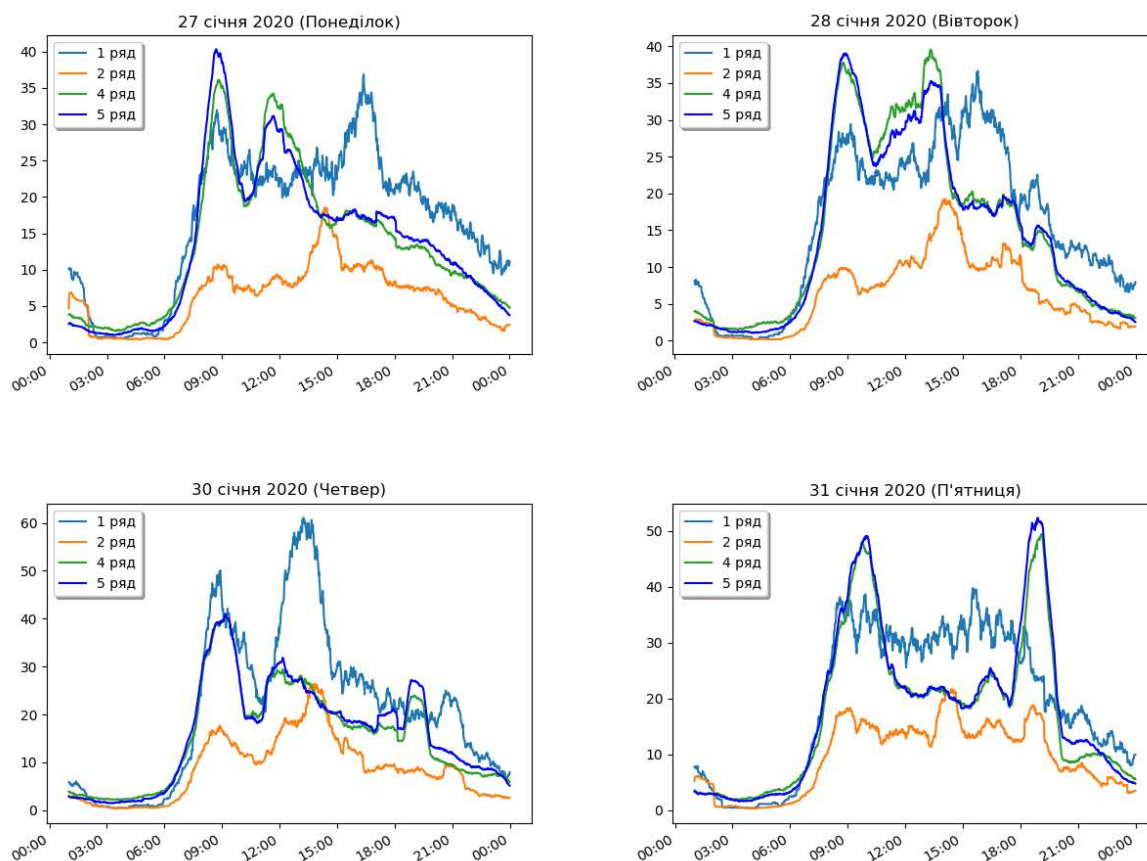


Рис. 5. Динаміка змінювання показника завантаженості транспортної ділянки TLCR

Для визначення порогового значення використовується середньоквадратична похибка, розрахована на даних перевіркової послідовності, яка відома також як критерій регулярності [15]:

$$K = \frac{\sum_i (y_i^{real} - y_i^{model})^2}{\sum_i (y_i^{real})^2} \quad (3)$$

де y_i^{real} – фактичне значення інтенсивності; y_i^{model} – обчислюване значення інтенсивності.

Визначення найкращого порогового значення складається з таких етапів:

1. Проведення візуального обліку та визначення фактичної інтенсивності транспортного руху за 2 години. Кожне значення – це інтенсивність за 1 хвилину.
2. Поділ даних на дві частини: частину А (навчальна послідовність даних) та частину В (перевірочна послідовність даних).
3. Визначення найкращих значень k (порогове значення) за допомогою критерію, визначеному на навчальній послідовності даних в обраному інтервалі за формулою (3). При цьому обрано інтервал від 0,05 до 0,5 з кроком 0,005.
4. Визначення найкращого значення k за допомогою критерію, визначеного на перевіркової послідовності даних.

Для експериментальних даних отримано найкраще порогове значення $k = 0,155$, відповідні значення критерію на навчальній та перевіркової послідовностях даних дорівнюють 0,001375 та 0,000064, що свідчить про достатньо високу точність моделі. На рис. 6 наведено графічне порівняння фактичної (спостережуваної в реальних умовах) та обчисленої інтенсивності транспортного руху (з використанням запропонованої технології).

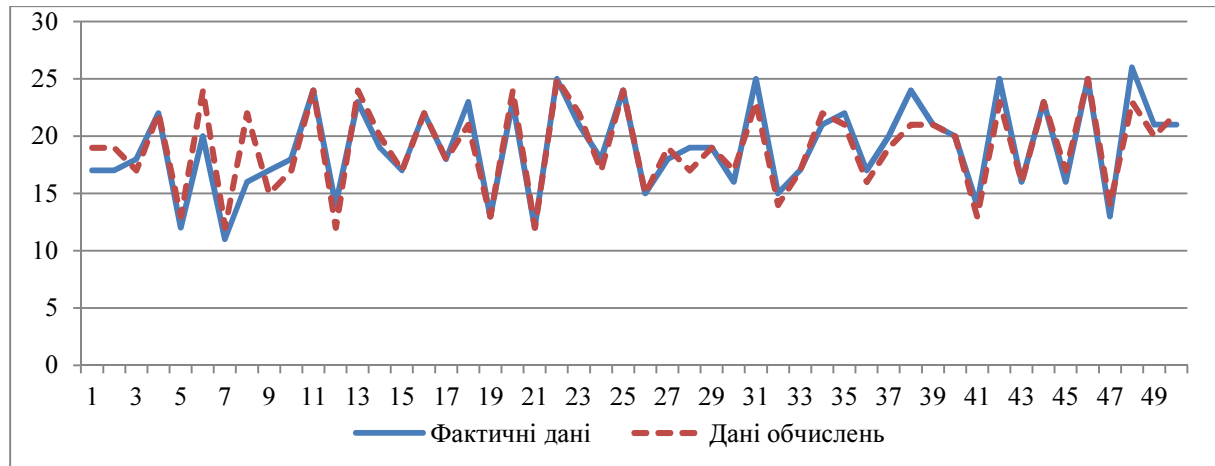


Рис. 6. Порівняння фактичних значень інтенсивності та обчислених із використанням запропонованої технології обробки даних відеоряду значень

Висновок відповідно до статті. У цьому дослідженні розроблена технологія визначення інтенсивності дорожнього руху за даними відеоряду, що надходять із відеокамери спостереження. Удосконалений алгоритм визначення показника завантаженості транспортної ділянки TLCR надає можливість враховувати тільки автомобілі, які рухаються по досліджуваній смузі. Розроблений метод визначення інтенсивності дорожнього руху на основі послідовних значень показника завантаженості. Послідовність обробки та перетворень даних складають нову технологію визначення інтенсивності дорожнього руху, що забезпечує набагато більш високу точність оцінки інтенсивності руху транспортних засобів на ділянці дорожнього руху, ніж існуючі. Використання точних даних про інтенсивність руху є важливим фактором, який підвищує якість прийняття рішень та точність оптимізації параметрів управління в автоматизованих системах управління дорожнім рухом. У подальших дослідженнях необхідна розробка програмного модуля, який автоматизує збір статистичних даних, отриманих із кількох відеокамер спостереження, та реалізує алгоритм прогнозування показника завантаженості з урахуванням усього набору даних.

Список використаних джерел

1. Gani M. H. N., Khalifa O. O., Gunawan T. S., Shamsan E. Traffic intensity monitoring using multiple object detection with traffic surveillance cameras. *2017 IEEE 4th International Conference on Smart Instrumentation, Measurement and Application (ICSIMA)*. 2017, Putrajaya, Malaysia. P. 1-5.
2. Hoque Md. Sh., Ullah M. A., Nikraz H. Investigation of traffic flow characteristics of Dhaka-Syijiet highway (N-2) of Bangladesh. *International journal of civil engineering and technology (IJCT)*. 2013. Vol. 4. Issue 4. P. 55-65.
3. ДСТУ ISO 8824:2019. Автомобільні дороги. Визначення інтенсивності руху та складу транспортного потоку. [Чинний від 2019-02-27]. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2019. 33 с.
4. Agafonov A., Myasnikov V. Traffic flow forecasting algorithm based on combination of adaptive elementary predictors. *Analysis of Images, Social Networks and Texts: AIST 2015* / eds. Khachay M. Yu., Konstantinova N., Panchenko A., Ignatov D., Labunets V. G. Cham : Springer, 2015. P. 163-174.
5. Логинова О. А., Гатиятов Р. Р. Обзор существующих методов и технических средств учета интенсивности движения транспортного потока. *Техника и технология транспорта*. 2019. № 11. С. 1-5.
6. Печатнова Е. В. Математическое моделирование колебаний суточной интенсивности движения. *Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета*. 2017. № 4-5 (56-57). С. 145-151.
7. Zhang B., Wang C., Zhang H., Wu F., Tang Y. Detectability Analysis of Road Vehicles in Radarsat-2 Fully Polarimetric SAR Images for Traffic Monitoring. *Sensors. Basel, Switzerland*, 2017. Vol. 17. Issue 2 (298). P. 1-13.
8. Robinson E. M. *Crime Scene Photography*. Academic Press, 2016. 800 p.

9. Fernandez-Caballero A., Gogomez F.J., Logpez-Logpez J. Road-traffic monitoring by knowledge-driven static and dynamic image analysis. *Expert Systems with Applications*. 2008. Vol. 35. Issue 3. P. 701–719.
10. Fernandez-Caballero A., Mira J., Fernandez M. A., Lopez M. T. Segmentation from motion of non-rigid objects by neuronal lateral interaction. *Pattern Recognition Letters*. 2001. Vol. 22. Issue 14. P. 1517–1524.
11. Видеодетектирование. URL: <http://asudd.pro/products/monitor>.
12. Stetsenko I. V., Stelmakh O. P. Traffic Lane Congestion Ratio Evaluation by Video Data. *Advances in Intelligent Systems and Computing*. Springer, Cham, 2020. Vol. 1019. P. 172-181.
13. Ronneberger O., Fischer P., Brox T. U-net: Convolutional networks for biomedical image segmentation. *Lecture Notes in Computer Science*. Springer, 2015. Vol. 9351. P. 234–241.
14. OpenCV 2.4.13.7 Documentation. Structural Analysis and Shape Descriptors. URL: https://docs.opencv.org/2.4/modules/imgproc/doc/structural_analysis_and_shape_descriptors.html.
15. Стеценко І. В. Моделювання систем : навч. посіб. Черкаси : ЧДТУ, 2010. 399 с.

References

1. Gani, M. H. H., Khalifa, O. O., Gunawan, T. S., Shamsan, E. (2017). *Traffic intensity monitoring using multiple object detection with traffic surveillance cameras. 2017 IEEE 4th International Conference on Smart Instrumentation, Measurement and Application (ICSIMA)*. Putrajaya, Malaysia.
2. Hoque, Md. Sh., Ullah, M. A., Nikraz, H. (2013). Investigation of traffic flow characteristics of Dhaka-Syijiet highway (N-2) of Bangladesh. *International journal of civil engineering and technology (IJCET)*, 4 (4), 55-65.
3. DSTU ISO 8824:2019. *Avtomobilni dorogy. Vyznachennya intensyvnosti ruhu ta skladu transportnogo potoku [Highways. Determination of traffic intensity and composition of traffic flow]*. (Feb. 27, 2019).
4. Agafonov, A., Myasnikov, V. (2015). Traffic flow forecasting algorithm based on combination of adaptive elementary predictors. In *M. Yu. Khachay, N. Konstantinova, A. Panchenko, D. Ignatov, V. G. Labunets (Eds.), Analysis of Images, Social Networks and Texts: AIST 2015* (pp. 163-174). Cham, Switzerland: Springer.
5. Logynova, O. A., Gatiyatov, R. R. (2019). Obzor suschestvuyuschih metodov i tehnicheskikh sredstv uchota intensivnosti dvizheniya transportnogo potoka [Review of existing methods and technical means for measuring traffic flow]. *Tehnika i tehnologii transporta – Technique and technology of transport*, 11, 1-5 [in Russian].
6. Pechatnova, Y. V. (2017). Matematicheskoye modelirovaniye kolebaniy sutochnoy intensivnosti dvizheniya. *Vestnik Sibirskogo avtomobilno-dorozhnogo unoversiteta – The Russian Automobile and Highway Industry Journal*, 4-5 (56-57), 145-151 [in Russian].
7. Zhang, B., Wang, C., Zhang, H., Wu, F., Tang, Y. (2017). Detectability Analysis of Road Vehicles in Radarsat-2 Fully Polarimetric SAR Images for Traffic Monitoring. *Sensors*, 17 (2), 298.
8. Robinson, E. M. (2016). *Crime Scene Photography*. Academic Press: Elsevier.
9. Fernandez-Caballero, A., Gogomez, F. J., Logpez-Logpez, J. (2008). Road-traffic monitoring by knowledge-driven static and dynamic image analysis. *Expert Systems with Applications*, 35 (3), 701–719.
10. Fernandez-Caballero, A., Mira, J., Fernandez, M. A., Lopez, M. T. (2001). Segmentation from motion of non-rigid objects by neuronal lateral interaction. *Pattern Recognition Letters*, 22(14), 1517–1524.
11. Videodetektirovaniye [Video Object Detection]. Retrieved from <http://asudd.pro/products/monitor/>.
12. Stetsenko, I. V., Stelmakh, O. (2020). Traffic Lane Congestion Ratio Evaluation by Video Data. In *A. Palagin, A. Anisimov, A. Morozov, S. Shkarlet (Eds.), Mathematical Modeling and Simulation of Systems. MODS 2019. Advances in Intelligent Systems and Computing*, 1019. Springer, Cham.
13. Ronneberger, O., Fischer, P., Brox, T. (2015). U-Net: Convolutional Networks for Biomedical Image Segmentation. In *N. Navab, J. Hornegger, W. Wells, A. Frangi (Eds.), Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention – MICCAI 2015. MICCAI 2015. Lecture Notes in Computer Science*, 9351. Springer, Cham.
14. OpenCV 2.4.13.7 Documentation. Structural Analysis and Shape Descriptors. Retrieved from https://docs.opencv.org/2.4/modules/imgproc/doc/structural_analysis_and_shape_descriptors.html.
15. Stetsenko, I. V. (2010). *Modelyuvannya system [Systems simulation]*. Cherkassy: CDTU [in Ukraine].

Inna Stetsenko, Oleksandr Stelmakh

TECHNOLOGY OF TRAFFIC INTENSITY EVALUATION ACCORDING TO THE VIDEO DATA

Urgency of the research. Traffic jams are a major problem for all road users and increasing traffic intensity is the main reason for that along with unsatisfying quality of traffic control system. Systems that control transportation flow and make decisions about changing control parameters should receive reliable and actual traffic intensity data. Due to that fact, one of the most important tasks is collection and processing traffic data.

Target setting. Averaged over the day (or even the year) value of the traffic intensity can provide high-quality estimates of the control parameters for averaged values, however not for actual values, especially when large fluctuations in traffic intensity during the day are occur. For effective traffic management, it is important to have sufficiently accurate information about the state of the road (its intensity and congestion) at the time of the decision. In this scientific research, the task is to develop a technology for the traffic intensity evaluation on the basis of successive values of the congestion ratio resulting from image processing of a video image of a traffic lane.

Actual scientific researches and issues analysis. Scientific publications were reviewed, which highlight the existing methods for traffic intensity evaluation, and it was concluded that the existing methods are not accurate enough to use it in modern conditions and therefore significantly limit the development of traffic management information systems.

Uninvestigated parts of general matters defining. Video data analysis has not been used previously for the automated evaluation of traffic intensity.

The research objective. The purpose of this study is to increase the accuracy of determining traffic intensity on the basis of real-time analysis of video stream data by automatically processing video data obtained from a video surveillance camera of a traffic lane.

The statement of basic material. The method for determining the TCR congestion index from the data, obtained as a result of processing a frame of a video sequence using the U-Net neural network, is presented. The sequence of time-ordered values of the congestion indicator turns into a sequence of traffic intensity indicators on the basis of the formula obtained as a result of the research. Experimental research that proves the high accuracy of traffic indicators evaluation is represented. The sequence of data processing and transformations constitutes a new technology determining traffic intensity.

Conclusions. In this research, the technology of traffic intensity evaluation according to the video data getting from a surveillance camera, which provides a much higher accuracy in evaluating the traffic intensity in a road area than existing ones, is developed.

Keywords. Image analysis; traffic intensity; traffic lane congestion ratio; TCR.

Fig.: 6. References: 15.

Стеценко Інна Вячеславівна – доктор технічних наук, професор кафедри автоматизованих систем обробки інформації та управління, НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського» (просп. Перемоги, 37, Київ, 03056, Україна).

Stetsenko Inna – Doctor of Technical Science, Professor of Computer-Aided Management and Data Processing Systems Department, NTUU «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute» (37 Peremohy Av., 03056 Kyiv, Ukraine).

E-mail: stiv.inna@gmail.com

SCOPUS Author ID: 55368781500

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4601-0058>

ResearcherID: C-1512-2019

Стельмах Олександр Петрович – аспірант кафедри автоматизованих систем обробки інформації та управління, НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського» (просп. Перемоги, 37, Київ, 03056, Україна).

Stelmakh Oleksandr – Postgraduate of Computer-Aided Management and Data Processing Systems Department, NTUU «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute» (37 Peremohy Av., 03056 Kyiv, Ukraine).

E-mail: stelmahwork@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3147-579X>

УДК 004.8: 004.89: 519.7

DOI: 10.25140/2411-5363-2020-2(20)-126-138

Ігор Повхан

**МЕТОД ПОБУДОВИ АЛГОРИТМІЧНОГО ДЕРЕВА ДРУГОГО ТИПУ
НА ОСНОВІ АПРОКСИМАЦІЇ НАВЧАЛЬНОЇ ВИБІРКИ
НАБОРОМ АЛГОРИТМІВ КЛАСИФІКАЦІЇ**

Актуальність теми дослідження. Сучасні інформаційні технології, засновані на математичних моделях розпізнавання образів у вигляді ЛДК (логічних дерев класифікації), широко використовуються в соціально-економічних, екологічних та інших системах первинного аналізу та обробки великих масивів інформації, зрозуміло, що це пояснюється тим фактом, що такий підхід дозволяє усунути набір існуючих недоліки добре відомих класичних методів та досягти принципово новий результат. Робота присвячена тематиці моделей ЛДК, пропонує ефективний метод побудови моделей алгоритмічних дерев класифікації (АДК), які складаються з незалежних та автономних алгоритмів класифікації і будуть являти собою в певній мірі новий алгоритм розпізнавання (зрозуміло, що синтезований з відомих алгоритмів та методів).

Постановка проблеми. На сьогоднішній час відомі різні підходи та методи побудови моделей ЛДК (відомо більше ніж 3600 алгоритмів розпізнавання заснованих на різноманітних концепціях, які мають певні обмеження при їх використанні – точність, швидкодія, пам'ять, універсальність, надійність, тощо), проте всі вони, як правило, зводяться до побудови одного дерева класифікації за даними початкової навчальної вибірки. Зрозуміло, що доцільно не розробляти новий алгоритм, а запропонувати деяку концепцію раціонального використання вже накопиченого потенціалу алгоритмів та методів класифікації у вигляді моделей АДК, і саме тому дана робота має намір хоча би частково подолати ці обмеження та присвячена розробці методу побудови моделей алгоритмічних дерев класифікації.

Аналіз останніх літературних даних. Були розглянуті останні публікації у відкритому доступі, які присвячені проблематиці підходів, методів та алгоритмів логічних дерев класифікації (концепції дерев рішень) у задачах розпізнавання образів.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Можливість ефективною та економною роботою запропонованого методу побудови алгоритмічного дерева класифікації на основі масивів навчальних вибірок великого об'єму.

Постановка завдання. Розробка простого та якісного методу побудови моделей АДК для великих масивів початкових вибірок шляхом синтезу мінімальних форм дерев класифікації та розпізнавання, які забезпечують ефективну апроксимацію навчальної інформації набором автономних та незалежних алгоритмів класифікації.

Виклад основного матеріалу. Виявлення простого та ефективного механізму за допомогою якого можна було би будувати алгоритмічне дерево класифікації (модель АДК) за фіксованою початковою інформацією у вигляді початкової навчальної вибірки (НВ). Дане алгоритмічне дерево класифікації буде безпомилково розпізнавати всю навчальну вибірку за якою побудоване дерево класифікації мати мінімальну структуру (структурну складність) та складатися з автономних алгоритмів класифікації в якості вершин конструкції (атрибутів дерева).

Висновки відповідно до статті. Запропонований метод побудови моделей АДК другого типу дозволяє працювати з навчальними вибірками великого об'єму та забезпечує високу швидкість та економність апаратних ресурсів в процесі генерації кінцевої схеми класифікації, будувати дерева класифікації з наперед заданою точністю.

Ключові слова: задачі розпізнавання, дерева класифікації, алгоритмічне дерево, схема розпізнавання, дискретний об'єкт, узагальнена ознака.

Рис.: 2. Табл.: 2. Бібл.: 16.

Актуальність теми дослідження. Інформаційні технології, які засновані на математичних моделях розпізнавання образів у вигляді ЛДК (моделей логічних дерев класифікації), широко використовуються в соціально-економічних, екологічних та інших системах обробки інформації. Це пояснюється тим фактом, що такий підхід дозволяє усунути набір недоліки класичних методів та досягти принципово новий результат, ефективно та раціонально використовуючи потужності обчислювальних систем [1; 2]. Причому на сьогоднішній день відомо більше трьох тисяч алгоритмів розпізнавання (заснованих на різноманітних підходах та концепціях), які мають певні обмеження при їх використанні (точність, швидкодія, пам'ять, універсальність, надійність, тощо), крім того кожний з алгоритмів обмежений певною специфікою задач застосування, а це безумовно є найслабкішим місцем не тільки даних алгоритмів, але й систем розпізнавання, які базуються на відповідних концепціях [3]. Так об'єктом даного дослідження є логічні дерева класифікації (дерева рішень). Відомо, що представлення навчальних вибірок (дискретної інформації) великого об'єму у вигляді структур логічних дерев має свої суттєві переваги в плані економічного опису даних та ефективних механізмів роботи з ними [4]. Тобто покриття навчальної вибірки набором елементарних ознак у випадку ЛДК, або покриття навчальної вибірки фіксованим набором автономних алгоритмів розпізнавання та класифікації у випадку АДК (алгоритмічних дерев класифікації), породжує фіксовану деревоподібну структуру

даних, яка в якійсь мірі забезпечує навіть стиск та перетворення початкових даних НВ (навчальної вибірки) – а отже дозволяє суттєву оптимізацію та економію апаратних ресурсів інформаційної системи [5]. Відмітимо, що галузь застосування концепції ЛДК в даний час надзвичайно об'ємна, а множина задач та проблем, які розв'язуються даним апаратом може бути зведена до таких трьох базових сегментів – задачі опису структур даних, задачі розпізнавання та класифікації, задачі регресії [6].

Так, здатність ЛДК виконувати одномірне розгалуження для аналізу впливу (важливості, якості) окремих змінних дає можливість працювати зі змінними різних типів у вигляді предикатів (у випадку АДК – відповідними автономними алгоритмами класифікації та розпізнавання) [7]. В даному випадку структура логічного дерева представлена у вигляді гілок та вузлів, причому на гілках дерева розташовуються деякі мітки (атрибути, значення) від яких залежить цільова функція (у випадку ЛДК – функція розпізнавання), а в вузлах (вершинах) знаходяться значення функції розпізнавання (ФР) або розширені атрибути переходів. Відмітимо, що при побудові ЛДК центральними питаннями залишаються питання вибору критерія атрибуту (вершини ЛДК), за якою відбудеться розбиття початкової НВ, критерію зупинки навчання (побудови структури ЛДК) та критерію відкидання гілок логічного дерева (піддерев ЛДК). Саме на цьому етапі виникає принципове питання теорії ЛДК – питання можливої побудови всіх варіантів логічних дерев, які відповідають початковій НВ та відбору мінімального за глибиною (кількістю ярусів) логічного дерева. Тут слід відмітити, що дана задача є *NP* – повною (це було зафіксовано ще Л. Хайфілем та Р. Рівесом), а отже не має простих та ефективних методів розв'язку.

Постановка проблеми. Нехай на початку задачі задана деяка НВ стандартного вигляду:

$$(x_1, f_R(x_1)), \dots, (x_M, f_R(x_M)). \quad (1)$$

Зауважимо, що тут $x_i \in G$ (G – деяка множина початкових сигналів), а відповідно $f_R(x_i) \in \{0, 1, 2, \dots, k-1\}$, ($i = 1, 2, \dots, M$), причому M – загальна кількість навчальних пар (об'єктів відомої класифікації) початкової НВ в задачі.

Відповідно $f_R(x_i) = l$, ($0 \leq l \leq k-1$) означає, що об'єкт $x_i \in H_l$, $H_l \subset G$. Причому тут f_R – деяка скінчено значна функція (функція розпізнавання – ФР), яка задає початкове розбиття R множини G , яке складається з підмножин (образів, класів) $H_0, H_1, H_2, \dots, H_{k-1}$ (заданої НВ).

Отже, можна зафіксувати, що початкова НВ – це сукупність (точніше послідовність) деяких наборів (об'єктів відомої класифікації), причому кожний набір – це сукупність значень деяких ознак та значення деякої функції (ФР) на цьому наборі. Іншими словами, можна підсувати, що сукупність значень ознак – це деяке зображення (дискретний об'єкт), а значення функції (ФР) відносить це зображення до відповідного образу [8-10].

Отже, зважаючи на вищезазначене, на цьому етапі дослідження буде стояти задача побудови конструкції L деякого ЛДК, структурні параметри p якого були б оптимальними щодо початкових даних НВ.

Відмітимо, що головна ідея методу поетапної селекції елементарних ознак (або набору алгоритмів) полягає в тому, щоби максимізувати величину якості ознаки (алгоритму) $W_M(f)$ [11; 12]. Останнє означає, що в алгоритмах логічного дерева має бути знайдена для навчальної вибірки типу (1) така узагальнена ознака f , для якої величина $W_M(f)$ є, по можливості, найбільшою [13].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Це дослідження продовжує цикл робіт, які присвячені проблемі деревоподібних схем розпізнавання (класифікації) дискретних об'єктів [2-7]. У них порушуються питання побудови, використання та оптимізації логічних дерев. Так, з [2] відомо, що результуюче правило класифікації (схема), яке побудоване довільним методом або алгоритмом розгалуженого вибору ознак, має деревоподібну логічну структуру. Логічне дерево складається з вершин (ознак), які групуються за ярусами і які отримані на певному кроці (етапі) побудови дерева розпізнавання [14]. Ва-

жливою задачею, яка виникає з [15], є синтез дерев розпізнавання, які будуть представлятися фактично деревом (графом) алгоритмів. На відміну від наявних методів, головною особливістю деревоподібних систем розпізнавання є те, що важливість окремих ознак (групи ознак чи алгоритмів) визначається відносно функції, яка задає розбиття об'єктів на класи [5]. Так, у роботі [13] порушуються принципові питання стосовно генерації дерев рішень для випадку малоінформативних ознак. Здатність ЛДК виконувати одномірне розгалуження для аналізу впливу (важливості, якості) окремих змінних дає можливість працювати зі змінними різних типів у вигляді предикатів (у випадку АДК – відповідними автономними алгоритмами класифікації та розпізнавання). Така концепція логічних дерев активно використовується в інтелектуальному аналізі даних, де кінцева мета полягає в синтезі моделі, яка прогнозує значення цільової змінної на основі набору початкових даних на вході системи [10].

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Пошук можливостей ефективної та економної роботи запропонованого методу побудови алгоритмічного дерева класифікації на основі масивів навчальних вибірок великого об'єму.

Мета роботи. Метою цієї роботи є вивчення особливостей генерації правил (схем, моделей) класифікації в задачах розпізнавання на основі алгоритмічних дерев (моделей АДК другого типу), розробка загальної схеми методу побудови АДК для навчальних вибірок великого об'єму. Результатом роботи є простий метод синтезу моделей АДК для задач класифікації дискретних об'єктів.

Виклад основного матеріалу. Припустимо, на початку задана деяка НВ загального типу (1) – у вигляді послідовності навчальних пар $(x_i, f_R(x_i))$, потужністю – M , розмірністю ознакового простору – n та фіксований набір різнотипних алгоритмів класифікації $(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_m)$. Зауважимо, що робота побудованих моделей дерев класифікації перевіряється на масиві даних ТВ, потужністю – T (класова належність яких також відома).

Зауважимо, що тут дані початкової НВ задають деяке розбиття R на класи (H_1, H_2, \dots, H_k) , а відповідні алгоритми α_i можуть бути не пов'язані єдиною концепцією розпізнавання, а реалізовувати різноманітні методи та алгоритми класифікації (наприклад, це можуть бути звичайні геометричні алгоритми – принцип роботи яких полягає в апроксимації навчальної вибірки відповідними геометричними об'єктами, алгоритми обчислення оцінок, потенціальних функції тощо).

Треба зазначити, що результатом роботи кожного із зафіксованих (відібраних із бібліотеки алгоритмів деякої інформаційної системи) автономних алгоритмів класифікації та розпізнавання α_i , на відповідному кроці генерації АДК, є одна або декілька узагальнених ознак (УО) – f_j (певних правил класифікації), які й описують (апроксимують) визначену частину початкової навчальної вибірки. Так, для випадку відомих геометричних алгоритмів розпізнавання – відповідними результуючими узагальненими ознаками будуть геометричні об'єкти, які покривають НВ в ознаковому просторі задачі розмірності – n .

Зрозуміло, що в реальних прикладах можливі випадки, коли відповідний алгоритм класифікації α_i не може побудувати узагальнену ознаку f_j у зв'язку зі складним розташуванням класів H_k в ознаковому просторі задачі, або певними концептуальними та реалізаційними обмеженнями самого алгоритму класифікації. Тоді, за аналогією, можливий випадок, коли побудовані алгоритмом класифікації α_i узагальнені ознаки f_j неповністю апроксимують початкову НВ або така ситуація передбачена самою схемою алгоритму генерації АДК (наприклад, наявність початкового обмеження у схемі алгоритму дерева – про генерацію не більше ніж одна узагальнена ознака f_j на кожному етапі побудови моделі АДК).

Зауважимо, об'єкти початкової НВ, які не підпадають під побудовану схему апроксимації вибірки послідовністю узагальнених ознак f_j , відносяться до відмов (помилки) класифікації першого типу – En_{tr} і аналогічно для даних ТВ неправильно класифіковані дискретні об'єкти – також відносять до помилок першого типу – Et_{tr} .

Отже, зважаючи на все вищевказане, можна зробити припущення, що структура АДК (типу II) буде мати загальну конструкцію вигляду, як на рис. 1, де кожний ярус такого логічного дерева визначає етап побудови АДК у вигляді апроксимації поточним алгоритмом класифікації a_i певної частини НВ та завдяки такому підходу дозволяє регулювати фінальну складність (точність) отриманої моделі дерева класифікації.

Також зазначимо, що на кожному кроці генерації моделі АДК (рис. 1) подається свій алгоритм a_i класифікації та своя відповідна НВ (або підмножина початкової НВ), причому початкова НВ в повному складі подається лише на першому кроці, далі з наступними етапами побудови дерева класифікації потужність масиву даних НВ буде падати за рахунок набору побудованих УО f_j , які будуть відрізати (описувати) певну частину даних початкової НВ. Також важливо зауважити, що в залежності від структури схеми побудови АДК та особливостей поточного алгоритму a_i на кожному кроці можливо генерувати більше однієї УО f_j .

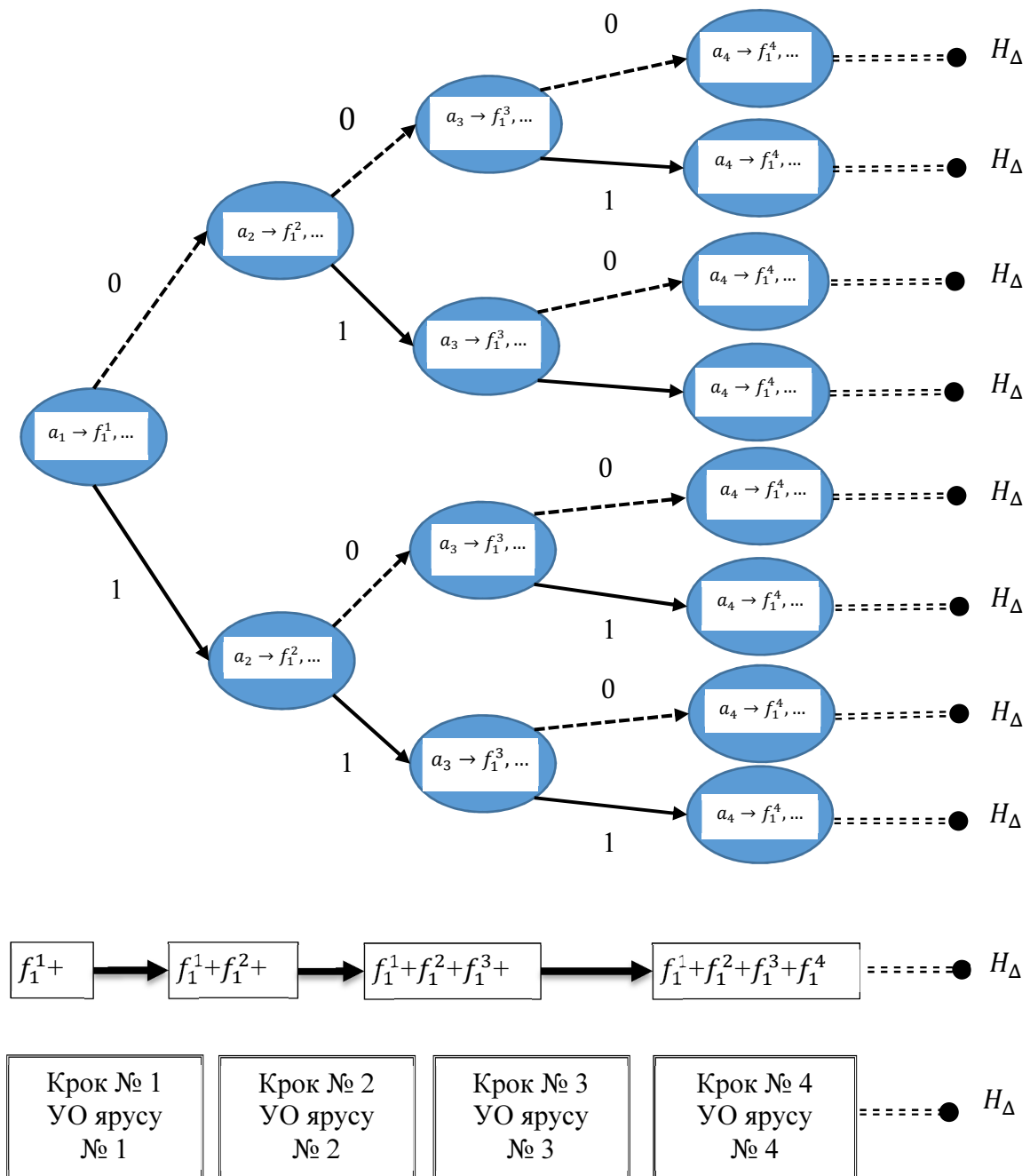


Рис. 1. Загальна схема структури АДК типу II

На наступному етапі дослідження для методу АДК введемо два базові критерії побудови моделі дерева класифікації – критерій зупинки процедури розгалуження K_{stop} (він фактично регулює складність та точність отриманої моделі АДК) та критерії відбору розгалуження $W(a)$ (вибору алгоритму класифікації на поточному кроці) для дерева класифікації що будується.

Отже, зважаючи на вищезазначене, доцільно ввести критерій зупинки K_{stop} процесу розгалуження типу (*boolean*) процедури побудови АДК, який полягає в перевірці потужності $P_{pt}(NB)$ навчальної вибірки такого вигляду:

$$K_{stop} = \begin{cases} 0, & \text{if } P_{pt}(NB) = 0 \\ 1, & \text{if } P_{pt}(NB) > 0 \end{cases} \quad (2)$$

Зауважимо, що процедура побудови дерева класифікації продовжується доти, поки $K_{stop} = 1$, а протилежна ситуації – коли $K_{stop} = 0$ сигналізує про завершення етапу синтезу моделі АДК та необхідності переходу до кроку тестової перевірки за даними ТВ та оцінки якості отриманої моделі дерева класифікації.

Зауважимо, що в методі АДК стає принциповим питання вибору критерію розгалуження (вибору поточного алгоритму класифікації a_i) у структурі моделі дерева класифікації, що будується. Зрозуміло, що за аналогією з методом апроксимації НВ набором ранжованих елементарних ознак як критерію розгалуження, можна запропонувати початкову оцінку ефективності набору алгоритмів $(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_5)$ в наступному вигляді:

$$W(a_i) = \frac{1}{P_{pt}(NB) * \sum_{j=1}^k (T_{y3} + S_{y3} + \frac{E_{y3}}{S_{y3}})} \quad (3)$$

У запропонованому функціоналі (3) введені величини мають таку інтерпретацію:

- 1) k – загальна кількість класів поточної задачі, які задані розбиттям R даних початкової НВ.
- 2) T_{y3} – характеризує загальний час (апаратний час), який витрачається на побудову поточної УО f_j ;
- 3) E_{y3} – інформаційна ємність (структурна складність) побудованої УО f_j на поточному кроці генерації моделі АДК;
- 4) S_{y3} – являє собою загальну кількість дискретних об'єктів x_i НВ, які узагальнює (описує) ця УО f_j ;
- 5) $P_{pt}(NB)$ – потужність (об'єм) початкової НВ (або її фіксованої частини для поточного кроку алгоритму побудови АДК).

Зауважимо тут, що в формулі (3) сумування ведеться по всіх класах, які задані масивом даних початкової НВ (хоча можуть бути й обмеження по додаванню, які обумовлені структурою (параметрами) самого алгоритму побудови дерева класифікації).

Важливим моментом у схемі побудови моделі АДК (рис. 1) є те, що на кожному кроці алгоритму дерева фактично будується своя фіксована (одна або декілька – залежно від структури самого алгоритму АДК) УО f_j , причому їх загальна кількість збільшується з кожним кроком алгоритму дерева класифікації, а саме АДК із набором алгоритмів класифікації $(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_m)$ породжує (реплікує) деревоподібну конструкцію – дерево узагальнених ознак (ДУО) з відповідними набором УО (f_1, f_2, \dots, f_z) .

Таким чином, зважаючи на все вищевказане, можна запропонувати одну з можливих алгоритмічних схем побудови АДК (типу II).

Схема побудови АДК (типу II).

Етап 1. Отже, на першому етапі побудови АДК відбирається на основі відповідного критерію ефективності (або в інтерактивному режимі, випадковим чином) набір автономних алгоритмів класифікації та розпізнавання $(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_m)$, ранжованих відповідним чином. Тут також відбираються як самі алгоритми класифікації, так і їх

загальна кількість у наборі (величина m) залежно від умов та аспектів прикладної задачі. Саме цей етап має принципову важливість, тому що безпосередньо впливає на фінальну складність отриманої моделі АДК.

Етап 2. На другому етапі побудови АДК будується повне регулярне логічне дерево, де на кожному з ярусів цієї структури розташовується відповідний алгоритм класифікації ранжованої послідовності $(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_m)$. У цьому логічному дереві кожна вершина має по два переходи на наступний ярус (два нащадки), які позначаються значенням з бінарної множини $\{0,1\}$. Оскільки маємо справу з регулярним логічним деревом, то на кожному з ярусів цієї структури розташовані мітки (змінні) одного типу (порядку), це стосується лише самих алгоритмів класифікації a_i , а не УО f_j , які вони генерують.

Так, на другому етапі генерації АДК (тип II) послідовно на вхід алгоритмам класифікації a_i подається масив даних НВ (відповідно до структури побудованого дерева класифікації (рис. 1) з метою отримати на виході набір відповідних УО f_j , причому їх загальна кількість у конструкції дерева та кількість для кожного алгоритму класифікації (кроку у схемі дерева, ярусу логічного дерева) залежить від початкових параметрів ініціалізації алгоритму побудови АДК (задаються в інтерактивному режимі або автоматично) та особливостей прикладної задачі, для якої будується модель АДК.

Після побудови набору всіх УО f_j для цієї прикладної задачі, вони розташовуються у відповідних вершинах отриманого дерева класифікації з метою завершення процедури його побудови. Принциповим моментом цього етапу є те, що набір побудованих УО має перекривати весь масив даних НВ для забезпечення стовідсоткового розпізнавання початкових даних. Причому тут можуть бути певні відхилення, якщо будується модель АДК з наперед заданою точністю та складністю (це обмеження умов задачі може бути реалізовано за рахунок зміни кількості та потужності УО f_j , які будуються на другому етапі). Зауважимо, що ця умова може бути також реалізована за рахунок обмеження кроків (кількості ярусів конструкції) в процедурі побудови моделі АДК, додатковими обмеженнями кількості алгоритмів класифікації, які використовуються в структурі дерева класифікації.

Етап 3. На третьому етапі схеми побудови АДК після побудови основної конструкції дерева класифікації можна переходити безпосередньо до режиму тестування отриманої моделі АДК. Причому для кожного тестового об'єкта, який подається на вхід дерева класифікації, обчислюються відповідні значення $\varphi(\alpha_j)$ (за допомогою набору побудованих раніше УО – для кожної вершини відповідного ярусу дерева) які забезпечують (визначають) відповідний маршрут у структурі побудованого АДК другого типу. Так УО кожної з вершин АДК – у випадку можливої апроксимації об'єкта невідомої класифікації забезпечують інкрементують відповідний лічильник класу належності та залишають його без змін у випадку відмови (неможливості) класифікації. На виході структури АДК об'єкт невідомої класифікації належить до того класу, лічильник належності якого буде максимальним, у випадку їх нульової рівності маємо справу з відмовою класифікації.

Зауваження. Зі схеми побудови АДК другого типу, яка була представлена вище, можна бачити, що кількість УО (параметрична складність, потужність) які генеруються тим самим відібраним алгоритмом класифікації α_j на деякому ярусі дерева класифікації для кожного зі шляхів структури АДК може бути різною, причому слідуючи в цьому напрямку прийдемо до того, що конструкція моделі АДК не обов'язково має належати до класу регулярних структур (логічних дерев), тобто в кожному ярусі конструкції АДК що будується, разом з різною кількістю та типом (загальними параметрами) УО допускається наявність різних алгоритмів класифікації та розпізнавання α_j .

Етап експериментальної перевірки. Треба зазначити, що запропоновані схеми побудови АДК дозволяє регулювати складність моделі дерева класифікації, що будується, будувати моделі з наперед заданою точністю, а сама структура дерева класифікації складається з різнотипних автономних алгоритмів класифікації як будівельних модулів (компонентів). Причому задача відбору моделі дерева класифікації серед набору побудованих АДК для конкретної задачі визначається набором параметрів, які мають визначальну важливість відносно поточної прикладної задачі (набору даних НВ).

Зрозуміло, що для порівняння та відбору конкретної моделі АДК з фіксованого набору необхідно виділити найбільш важливі їхні параметри (розмірність ознакового простору, кількість вершин, переходів, алгоритмів тощо) та визначити їх похибку відносно масиву вхідних даних.

Принципово на цьому етапі дослідження розглянути критерії якості отриманих інформаційних моделей, які залежать від похибки моделі, потужності початкового масиву даних НВ, об'єму ТВ (кількість навчальних пар та розмірність ознакового простору задачі), кількості параметрів моделі тощо.

Зрозуміло, що критично важливими параметрами побудованої моделі АДК, які необхідно мінімізувати, є помилки моделі відповідно на масивах даних НВ, ТВ та для кожного з класів, які задані початковою умовою поточної прикладної задачі.

Зауважимо, що принциповим моментом залишається питання зменшення складності структури АДК (мається на увазі кількість ознак, алгоритмів у структурі АДК, загальна кількість вершин моделі АДК та загальна кількість переходів у структурі АДК), параметри загальних витрат пам'яті та процесорного часу інформаційної системи. Так, важливим показником якості побудованої моделі у вигляді дерева класифікації з врахуванням параметрів структури моделі АДК є загальний інтегральний показник якості в такій формі:

$$Q_{Main} = \frac{Fr_{All}}{V_{All} \cdot \sum_i p_i} \cdot e^{-\frac{Er_{All}}{M_{All}}} \quad (4)$$

Відмітимо, у в формулі (4) набір параметрів p_i являє собою найбільш важливі характеристики побудованого дерева класифікації, що оцінюється:

- 1) Er_{All} – загальна кількість помилок моделі АДК на масивах даних початкових тестової та навчальної вибірки;
- 2) M_{All} – загальна потужність (об'єм) масивів даних навчальної та тестової вибірки;
- 3) Fr_{All} – характеризує кількість вершин отриманої моделі АДК з результируючими значеннями f_R (ФР, тобто листів дерева класифікації);
- 4) V_{All} – представляє загальну кількість всіх типів вершин в структурі моделі АДК;
- 5) O_{UZ} – загальна кількість узагальнених ознак, що використовуються в моделі дерева класифікації;
- 6) P_{All} – загальна кількість переходів між вершинами в структурі побудованої моделі дерева класифікації;
- 7) N_{Alg} – загальна кількість різних автономних алгоритмів класифікації, що використовуються в моделі дерева класифікації.

Цей інтегральний показник якості моделі АДК буде приймати значення в межах нуля та одиниці. Чим менший він буде, тим гірша буде якість побудованого дерева класифікації, а чим більший буде показник, тим краще буде отримана модель.

Далі розглянемо наступний приклад побудови моделі АДК з відповідними початковими параметрами:

- 1) Фіксований набір різнотипних алгоритмів класифікації та розпізнавання $(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_5)$, $(m = 5)$.

- 2) У масиві початкової НВ задана інформації про розбиття R на класи, що не перетинаються – (H_1, H_2, \dots, H_4) , $(k = 4)$.

3) Початкова НВ вигляду (1) має потужність в 2000 початкових пар (об'єктів відомої класифікації), ($M = 2000$).

4) Кожний із дискретних об'єктів НВ x_i характеризується набором ознак, атрибутів – $(x_i^1, x_i^2, \dots, x_i^{20})$, ($n = 20$).

5) Для перевірки отриманої моделі АДК задана ТВ потужністю 500 елементів, ($T = 500$).

Представлена в цьому прикладі початкова НВ містить дані компонентного хімічного аналізу вмісту дизельного (вуглеводного) пального (задача оцінки якості пального) у спрощеному варіанті (кількість класів НВ задачі зменшена до чотирьох, розмірність ознакового простору з 38 до 20, а кількість алгоритмів класифікації також обмежена на початковому етапі шляхом відбору лише геометричних класифікаторів) заради демонстрації самої концепції алгоритмічного дерева.

На першому етапі процедури побудови дерева класифікації, оцінимо ефективність кожного з відібраних алгоритмів класифікації, на основі яких і буде побудована загальна схема класифікації (модель АДК), стосовно даних початкової навчальної вибірки (за кількістю узагальнених ознак, що генеруються поточним алгоритмом та відмовам класифікації).

Таблиця 1

Оцінка ефективності фіксованих алгоритмів класифікації дискретних об'єктів відносно початкової навчальної вибірки

<i>(Номер класу/ Тип алгоритму)</i>	<i>Алгоритм a_1</i>	<i>Алгоритм a_2</i>	<i>Алгоритм a_3</i>	<i>Алгоритм a_4</i>	<i>Алгоритм a_5</i>
<i>Клас H_1</i>	0/32	0/12	0/11	0/9	18/10
<i>Клас H_2</i>	0/16	12/17	1/16	14/6	12/8
<i>Клас H_3</i>	0/8	0/10	0/17	0/12	0/10
<i>Клас H_4</i>	0/11	15/3	9/16	16/6	14/11

У комірках наведеної табл. 1 представлена ефективність кожного з відібраних для задач алгоритмів класифікації відносно класів початкової навчальної вибірки, причому перше число відповідає за кількість об'єктів, яким відмовлено в класифікації відповідним алгоритмом (помилкам, відмовам класифікації), а друге – за кількість узагальнених ознак (для цього типу алгоритмів – геометричних об'єктів), якими апроксимований відповідний клас початкової вибірки. Залежно від початкового вибору алгоритму як вершина дерева класифікації (моделі АДК), процедура побудови результуючої схеми класифікації може завершитися з різною кількістю кроків. Одна з можливих побудованих схеми АДК представлена на (рис. 2).

Так, з табл. 1 можна бачити, що ефективність усіх алгоритмів, за винятком алгоритму a_5 (геометричному алгоритму гіперплощин) відносно класу H_1 становить 100 %, тому для його апроксимації можна застосувати довільний алгоритм (зрозуміло, за винятком a_5). На всіх наступних етапах побудови схеми розпізнавання (ярусах структури АДК) доцільно знову зафіксувати алгоритм a_1 (геометричний алгоритм гіперсфер), який виявився найбільш ефективним та економним проти всіх інших класів даних початкової вибірки. Зокрема, його особливістю є велика універсальність щодо можливості побудови узагальненої ознаки, навіть у тих випадках, коли інші геометричні алгоритми цього зробити не можуть і дають великий відсоток відмов (помилки) класифікації для об'єктів початкової вибірки (випадок складного, заплутаного розташування класів в ознаковому просторі задачі). Важливим моментом також є той факт, що кожна з узагальнених ознак, згенерованих алгоритмом класифікації a_1 , являє собою набір координат центру гіперсфери (в ознаковому просторі задачі) і її радіус та потребує мінімальний об'єм пам'яті інформаційної системи для свого зберігання та прості механізми роботи з набором таких УО.

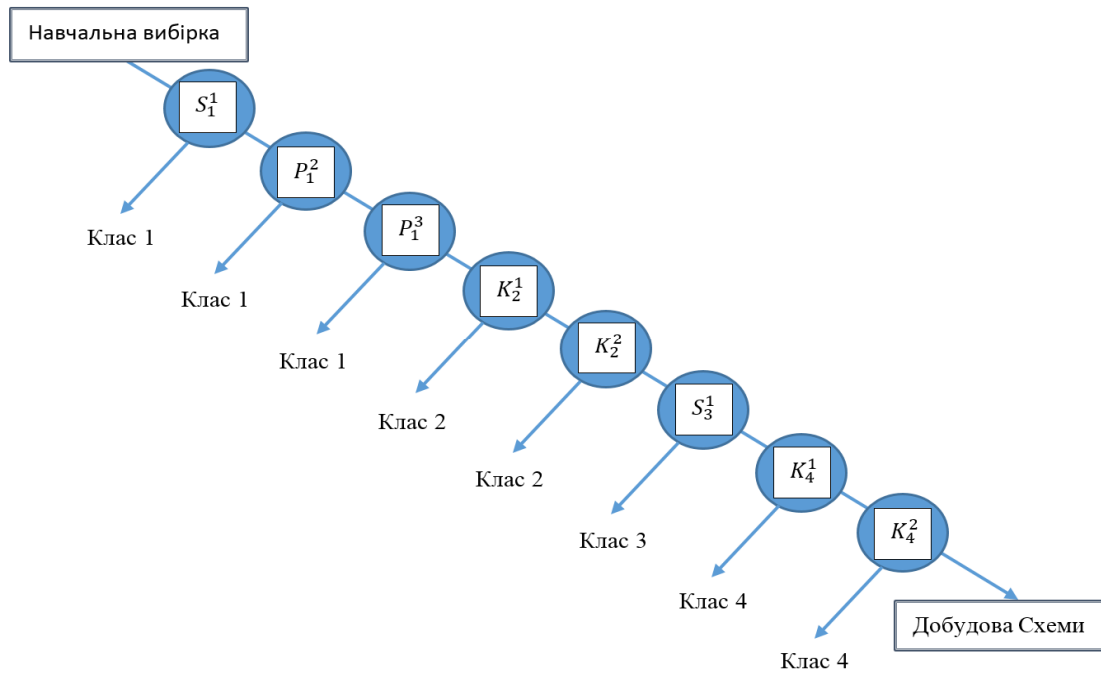


Рис. 2. Приклад сконструйованої моделі АДК

Треба зазначити, що модель дерева класифікації (рис. 2) побудована алгоритмами, ефективність яких оцінювалася щодо кількості узагальнених ознак (якими апроксимується початкова навчальна вибірка), причому для повної апроксимації масиву НВ даної задачі було достатньо лише трьох алгоритмів класифікації. Так, для апроксимації класу H_1 на (з першого по третій крок) було застосовано два алгоритми – спочатку алгоритм a_5 (геометричний алгоритм гіперплощин) побудував узагальнену ознаку S_1^1 , яка лише частково його описувала. На другому етапі застосований алгоритм a_4 (геометричний алгоритм гіперпаралелепіпедів) – ознаки P_1^2 та P_1^3 , які остаточно й завершили розпізнавання (апроксимацію) цього класу H_1 .

На наступних етапах побудови моделі АДК знову же застосований алгоритм класифікації a_1 (алгоритм гіперсфер) (ознаки $K_2^1, K_2^2, K_4^1, K_4^2$) та алгоритм a_5 (узагальнена ознака S_3^1).

Тут треба звернути увагу, що для побудови цієї схеми класифікації (рис. 2) застосовані три різні алгоритми розпізнавання (з п'ятих початково відібраних), які безпосередньо не впливають на роботу один одного, тобто на їхньому місці могли бути зовсім різні за принципом та ідеологією алгоритми класифікації, з яких можна сконструювати схему розпізнавання (модель АДК) довільної складності та ефективності. Важливим є лише ефективність кожного з них на фіксованій вибірці та інформаційна ємність узагальнених ознак, генерованих ними.

Підкреслимо, що метод алгоритмічного дерева оперує лише вже готовими (побудованими) узагальненими ознаками, і його може зовсім не цікавити, яким алгоритмом чи способом (правилом, методом) вони отримані. Причому у схемі АДК (рис. 2) показана покрокова схема генерації не одиничних, а цілих наборів УО K_i^j, S_i^j, P_i^j , де j – номер УО для відповідного класу апроксимації (номер етапу генерації АДК, відносно класу), а i – номер кроку процедури побудови дерева (класу який апроксимується).

Зрозуміло, що ця схема розпізнавання (модель АДК), сконструйована на основі методу дерева класифікації (ЛДК/АДК), та може бути представлена як певна алгоритмічна схема (оператор), яка побудована за деяким алгоритмом мінімізації або максимізації відповідного

функціонала, на основі якого оцінюється важливість ознаки, групи ознак або ефективність автономного алгоритму класифікації, однозначно пов'язаного з помилками класифікації (перетинається з методами логічних дерев класифікації).

Зауважимо, що метод алгоритмічного дерева на основі вхідних даних (даних навчаючої вибірки) та асортименту (набору) алгоритмів формування узагальнених ознак, які зберігаються в його бібліотеці, конструює (генерує) оптимальну за витратами пам'яті (складності) та ефективності розпізнавання (систему) певну схему (дерево класифікації). Під схемою в цьому випадку будемо розуміти набір числових параметрів для набору УО K_i^j, S_i^j, P_i^j , які найкращим чином апроксимують масив початкових даних. Зокрема, у нашому випадку аргументи сконструйованої схеми розпізнавання – ознаки класів (гіперсфери, гіперпаралелепіеди та інші) або міжкласові ознаки (гіперплощини). Параметри вказаних ознак та загальна структура АДК (схеми класифікації) зберігаються в пам'яті комп'ютера (інформаційної системи).

Кожна зі сконструйованих схем за методом алгоритмічного дерева буде являти собою загальну систему розпізнавання (модель АДК), яку можна застосовувати для практичної роботи (обробки великих масивів експериментальних даних у вигляді дискретних наборів). Зауважимо також, що отримана схема буде являти собою певною мірою новий алгоритм розпізнавання (зрозуміло, що синтезований із відомих алгоритмів та методів). Крім того, для роботи даних отриманої моделі АДК немає необхідності зберігати в пам'яті комп'ютера об'єкти вибірки, за якими була сконструйована, тобто великі інформаційні масиви, останнє, у свою чергу, веде до того, що процес побудови системи розпізнавання на основі методів дерева (ЛДК/АДК) значною мірою схожий із процесом стиснення (маються на увазі методи стиснення інформації із втратами) або кодуванням інформації (опис складних структур даних).

На наступному етапі дослідження проведемо оцінювання та порівняння побудованих моделей дерев класифікації (ЛДК та АДК) для представленої вище прикладної задачі класифікації. Так, фрагмент основних результатів, приведених вище експериментів (порівняльних тестів методів побудови моделей ЛДК на масиві даних цієї прикладної задачі), представлений у табл. 2, причому синтезовані моделі різнотипних дерев класифікації забезпечили необхідний рівень точності заданий умовою задачі, швидкодію та витрати робочої пам'яті інформаційної системи, але показували різну структурну складність побудовах дерев класифікації (моделей) та набору узагальнених ознак (у випадку моделі алгоритмічного дерева класифікації).

Таблиця 2

Порівняльна таблиця моделей / методів дерев класифікації

№	Метод синтезу структури логічного дерева	Інтегральний показник якості моделі Q_{Main}	Загальна кількість помилок моделі на НВ та ТВ Er_{All}
1	Метод повного ЛДК на основі селекції елементарних ознак	0,004789	2
2	Модель ЛДК з одноразовою оцінкою важливості ознак	0,002263	3
3	Обмежений метод побудови ЛДК	0,003181	2
4	Метод алгоритмічного дерева (типу I)	0,005234	0
5	Метод алгоритмічного дерева (типу II)	0,002941	0

Зауважимо, що запропонована в дослідженні оцінка якості моделі дерева класифікації (АДК) відображає базові параметри (характеристики) дерев класифікації та може бути застосована як критерій оптимальності в процедурі оцінювання довільної деревоподібної схеми розпізнавання, наприклад у випадку методів побудови та відбору випадкових ЛДК з роботи [16].

Так, запропонований у цьому дослідженні метод алгоритмічного дерева класифікації (методи АДК першого та другого типу) порівнювалися з методом повного ЛДК та обмеженого методу селекції елементарних ознак та показав загалом прийнятний результат.

Висновки відповідно до статті. Практична цінність отриманих результатів полягає в тому, що запропонований метод побудови моделей АДК (першого та другого типу) дає можливість будувати економні та ефективні моделі класифікації заданої точності (цей метод був реалізований у бібліотеці алгоритмів системі «ОРІОН ІІІ» для розв'язку різноманітних прикладних задач класифікації), які характеризуються великим ступенем універсальності відносно широкого кола прикладних задач. Зауважимо також, що практичні застосування підтвердили працездатність побудованих моделей дерев класифікації та розробленого програмного забезпечення. Як перспектива, подальші дослідження можуть бути спрямовані в бік подальшого розвитку методів АДК (введення нових типів дерев класифікації), оптимізації програмних реалізацій запропонованого методу АДК, а також його практичної апробації на множині реальних задач класифікації та розпізнавання.

Отже, зважаючи на все вищезазначене, можна зафіксувати такі пункти.

1) Використання концепції АДК при побудові моделей дерев класифікації дозволяє досягти хороших результатів щодо розширення кола прикладних задач застосування (вимога універсальності), можливості побудови моделей класифікації точність яких можна регулювати в процесі побудови (або будувати системи з наперед заданою точністю), можливості раціонального використання вже накопиченого потенціалу методів та алгоритмів розпізнавання.

2) Концепція АДК дозволяє будувати моделі дерев класифікації різних типів, причому всі вони базуються на простій ідеї апроксимації початкової вибірки набором автономних алгоритмів класифікації та представлення отриманої моделі у вигляді деякої деревоподібної схеми.

3) Важливим моментом є те, що отримана модель АДК з різних алгоритмів та методів класифікації своєю чергою буде являти собою новий алгоритм розпізнавання, тобто концепція АДК – це метод синтезу нових алгоритмів класифікації заданої точності проти НВ на основі набору вже відомих.

Список використаних джерел

1. Srikant R., Agrawal R. Mining generalized association rules. *Future Generation Computer Systems*. 1997, Vol. 13, №2. P. 161–180.
2. Василенко Ю. А., Василенко Е. Ю., Повхан І. Ф., Вашук Ф. Г. Концептуальна основа систем розпізнавання образів на основі метода розгалуженого вибору ознак. *European Journal of Enterprise Technologies*. 2004. № 7[1]. С. 13–15.
3. Василенко Ю. А., Повхан І. Ф., Вашук Ф. Г. Проблема оцінки складності логічних дерев розпізнавання та загальний метод їх оптимізації. *European Journal of Enterprise Technologies*. 2011. № 6/4(54). С. 24–28.
4. Василенко Ю. А., Повхан І. Ф., Вашук Ф. Г. Загальна оцінка мінімізації деревоподібних логічних структур. *European Journal of Enterprise Technologies*. 2012. № 1/4(55). С. 29-33.
5. Povhan I. General scheme for constructing the most complex logical tree of classification in pattern recognition discrete objects. *Електроніка та інформаційні технології*. Львів, 2019. Вип. 11. С. 112–117.
6. Василенко Ю. А., Василенко Е. Ю., Повхан І. Ф., Ковач М. Й., Нікарович О. Д. Мінімізація логічних деревоподібних структур в задачах розпізнавання образів. *European Journal of Enterprise Technologies*. 2004. № 3[9]. С. 12–16.
7. Лавер В. О., Повхан І. Ф. Алгоритми побудови логічних дерев класифікації в задачах розпізнавання образів. *Вчені записки Таврійського національного університету. Серія: технічні науки*. 2019. Т. 30(69), № 4. С.100-106.
8. Vtoghoff P. E. Incremental Induction of Decision Trees. *Machine Learning*. 2009. № 4. P. 161–186.

9. Повхан І. Ф. Проблема функціональної оцінки навчальної вибірки в задачах розпізнавання дискретних об'єктів. *Вчені записки Таврійського національного університету. Серія: технічні науки*. 2018. Т. 29(68). № 6. С. 217–222.
10. Whitley D. An overview of evolutionary algorithms: practical issues and common pitfalls. *Information and Software Technology*. 2001. Vol. 43. №14. P. 817–831.
11. Povhan I. Designing of recognition system of discrete objects. *2016 IEEE First International Conference on Data Stream Mining & Processing (DSMP)*. Lviv, 2016, P. 226–231.
12. Kotsiantis S. B. Supervised Machine Learning: A Review of Classification Techniques. *Informatica*. 2007. № 31. P. 249–268.
13. Суботин С. А. Построение деревьев решений для случая малоинформативных признаков. *Radio Electronics, Computer Science, Control*. 2019. № 1. P. 121–130.
14. Deng H., Runger G., Tuv E. Bias of importance measures for multi-valued attributes and solutions. *Proceedings of the 21st International Conference on Artificial Neural Networks (ICANN)*. 2011. P. 293–300.
15. Повхан І. Ф. Особливості синтезу узагальнених ознак при побудові систем розпізнавання за методом логічного дерева. *Інформаційні технології та комп'ютерне моделювання ІТКМ-2019*: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції. Івано-Франківськ, 2019. С. 169–174.
16. Повхан І. Ф. Особливості випадкових логічних дерев класифікації в задачах розпізнавання образів. *Вчені записки Таврійського національного університету. Серія: технічні науки*. 2019. Т. 30 (69), № 5. С. 152–161.

References

1. Srikant, R., Agrawal, R. (1997). Mining generalized association rules. *Future Generation Computer Systems*, 13 (2), 61–180.
2. Vasylenko, Yu. A., Vasylenko, E. Yu., Povkhan, I. F., Vashchuk, F. G. (2004). Kontseptualna osnova system rozpoznavannia obraziv na osnovi metoda rozghaluzhenoho vyboru oznak [Conceptual basis of pattern recognition systems based on the method of branched feature selection]. *European Journal of Enterprise Technologies*, 7[1], 13–15.
3. Vasylenko, Yu. A., Vashchuk, F. G., Povkhan, I. F. (2011). Problema otsinky skladnosti lohichnykh derev rozpoznavannia ta zahalniy metod yikh optymizatsii [The problem of estimating the complexity of the logic trees, recognition, and a general method of optimization]. *European Journal of Enterprise Technologies*, 6/4(54), 24–28.
4. Vasylenko, Yu. A., Povkhan, I. F., Vashchuk, F. G. (2012). Zahalna otsinka minimizatsii derevopodibnykh lohichnykh struktur [General estimation of tree logical structures minimization]. *European Journal of Enterprise Technologies*, 1/4 (55), 29–33.
5. Povkhan, I. (2019). General scheme for constructing the most complex logical tree of classification in pattern recognition of discrete objects. *Electronics and information technology*, 11, 112–117.
6. Vasylenko, Yu. A., Vasylenko, E. Yu., Povkhan, I. F., Kovach, M. Y., Nikarovich, O. D. (2004). Minimizatsiia lohichnykh derevopodibnykh struktur v zadachakh rozpoznavannia obraziv [Minimization of logic tree structures in pattern recognition problems]. *European Journal of Enterprise Technologies*, 3[9], 12–16.
7. Laver, V. O., Povkhan, I. F. (2019). Alhorytmy pobudovy lohichnykh derev klasyfikatsii v zadachakh rozpoznavannia obraziv [Algorithms for constructing logical classification trees in pattern recognition problems]. *Vcheni zapysky Tavriiskoho natsionalnoho universytetu. Serii: tekhnichni nauky – Scientific notes of Tauride national University. Series: technical Sciences*, 30(69) (4), 100–106.
8. Vtoghoff, P. E. (2009). Incremental Induction of Decision Trees. *Machine Learning*, 4, 61–186.
9. Povkhan, I. F. (2018). Problema funktsionalnoi otsinky navchalnoi vybirky v zadachakh rozpoznavannia dyskretnykh obiektiv [The problem of functional evaluation of the training sample in the problems of recognition of discrete objects]. *Vcheni zapysky Tavriiskoho natsionalnoho universytetu. Serii: tekhnichni nauky – Scientific notes of Taurida national University. Series: technical Sciences*, 29(68) (6), 217–222.
10. Whitley, D. (2001). An overview of evolutionary algorithms: practical issues and common pitfalls. *Information and Software Technology*, 43 (14), 817–831.
11. Povhan, I. (2016). Designing of recognition system of discrete objects, *IEEE First International Conference on Data Stream Mining & Processing (DSMP)* (pp. 226–231). Lviv.
12. Kotsiantis, S. B. (2007). Supervised Machine Learning: A Review of Classification Techniques. *Informatica*, 31, 249–268.

13. Subbotin, S. A. (2019). Postroenie derev reshenii dlia sluchaia maloinformativnykh priznakov [Construction of decision trees for the case of low-information features]. *Radio Electronics, Computer Science, Control*, 1, 121–130.

14. Deng, H., Runger, G., Tuv, E. (2011). Bias of importance measures for multi-valued attributes and solutions, *Proceedings of the 21st International Conference on Artificial Neural Networks (ICANN)* (pp. 293–300).

15. Povkhan, I. F. (2019). Osoblyvosti syntezu uzahalnenykh oznak pry pobudovi system rozpoznavannia za metodom lohichnoho dereva [Features of synthesis of generalized features in the construction of recognition systems using the logical tree method]. *Informatsiini tekhnologii ta kompiuterne modeliuvannia ITKM-2019 : materialy Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii – Materials of the international scientific and practical conference “Information technologies and computer modeling ITKM-2019”* (pp. 169–174). Ivano-Frankivsk.

16. Povkhan, I. F. (2019). Osoblyvosti vypadkovykh lohichnykh derev klasyfikatsii v zadachakh rozpoznavannia obraziv [Features random logic of the classification trees in the pattern recognition problems]. *Vcheni zapysky Tavriiskoho natsionalnoho universytetu. Seriiia : tekhnichni nauky – Scientific notes of the Tauride national University. Series: technical Sciences*, 30(69), 5, 152–161.

UDC 004.8:004.89:519.7

Igor Povkhan

A METHOD FOR CONSTRUCTING AN ALGORITHMIC TREE OF THE SECOND TYPE BASED ON THE APPROXIMATION OF THE TRAINING SAMPLE BY A SET OF CLASSIFICATION ALGORITHMS

Urgency of the research. Modern information technologies based on mathematical models of image recognition in the form of logical classification trees are widely used in socio-economic, environmental and other systems of primary analysis and processing of large amounts of information. It is clear that this is due to the fact that this approach allows you to eliminate a set of existing shortcomings of well-known classical methods and achieve a fundamentally new result. The work is devoted to the topic of classification trees models. It offers an effective method for constructing algorithmic models of classification trees, which consist of independent and autonomous classification algorithms and will represent to a certain extent a new recognition algorithm (it is clear that it is synthesized from known algorithms and methods).

Target setting. Currently, there are various approaches and methods for building classification trees models (we know about more than 3600 recognition algorithms based on various concepts that have certain limitations when using them – accuracy, speed, memory, versatility, reliability, etc.), but all of them, as a rule, are reduced to building a single classification tree based on the data of the original training sample. It is clear that it is advisable not to develop a new algorithm, but to offer a concept of rational use of the already accumulated potential of algorithms and classification methods in the form of classification trees models, and that is why this work intends to at least partially overcome these limitations and is devoted to developing a method for constructing algorithmic models of classification trees.

Actual scientific researches and issues analysis. The possibility of efficient and economical operation of the proposed method for constructing an algorithmic classification tree based on arrays of large-volume training samples.

The research objective. Development of a simple and high-quality method for constructing algorithmic models of classification trees for large arrays of initial samples by synthesizing minimal forms of classification and recognition trees that provide an effective approximation of educational information with a set of Autonomous and independent classification algorithms.

The statement of basic materials. Identification of a simple and effective mechanism that could be used to build an algorithmic classification tree (a model of an algorithmic classification tree) based on fixed initial information in the form of an initial training sample. This algorithmic classification tree will accurately recognize the entire training sample for which the classification tree is built. It will have a minimal structure (structural complexity) and consist of Autonomous classification algorithms as construction vertices (tree attributes).

Conclusions. The proposed method for constructing algorithmic models of classification trees of the second type allows to work with training samples of a large volume and provides high speed and economy of hardware resources in the process of generating the final classification scheme, to build classification trees with a predetermined accuracy.

Keywords: recognition tasks, classification trees, algorithmic tree, recognition scheme, discrete object, generalized model.

Fig.: 2. Table: 2. References: 16.

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

Povkhan Igor – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of Department of software, Uzhgorod national University (89B Zankovetskoj Str., 88000 Uzhgorod, Ukraine).

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

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

*Olena Kryvoruchko, Bohdan Bebeszko, Karyna Khorolska,
Alona Desiatko, Nataliia Kotenko*

ARTIFICIAL INTELLIGENCE FACE RECOGNITION FOR AUTHENTICATION

Urgency of the research. Technical progress leads to a tremendous increase in number of cybercrimes. Almost every person around the globe has a range of digital accounts containing sensitive private information which is in fact protected by simple password. Therefore, security systems have a great and important role to guard privacy. It is necessary to have a solid system which can distinguish between people and act differently based on their permissions. In difference between face recognition authentication and other identification solutions such as passwords, email verification or fingerprint identification - biometric facial recognition uses unique mathematical and dynamic patterns that make such system one of the safest and most effective.

Target setting. Face recognition authentication is about to be one of the most stable. There is a range of methods that are available for detecting and processing faces using different levels of complexities. Summing up - face recognition for authentication purposes can emphasize security. Convolutional neural networks (CNN) outperform any possible humans' recognition rate. However, such systems should be continuously manually improved. Another problem with such systems is that they require accurate data to be trained before they are actually being deployed. It is essential for such system to be fast enough to recognize people and that the training should be accomplished without much difficulty and also be fast.

Actual scientific research and issues analysis. Face recognition algorithms have been reviewed in a range of scientific papers such as Haar Cascades, Kalman Filter and applied in various spheres. Among research papers, there is a range of security systems that use face recognition technology. Facial recognition approach for security access and authentication presented by Jeffrey S. Coffin uses custom VLSI Hardware and Eigenspaces method. Systems provided by Shankar Kartik uses Eigenfaces method for face identification as well which in fact gives weak results with moderate accuracy.

Uninvestigated parts of general matters defining. The swiftness of the particular face recognition systems heavily depends on the changes in conditions of light, expression, camera density, and on partial blocking of the face. Several scientific works have already proposed range of approaches for face recognition under unpleasant conditions, but not much of them actually work.

The research objective. This article aims to describe Face Recognition authentication system experimental architecture inside informational system accessible via web interface. The Face Recognition authentication system consists of a camera node, a cloud server and input-output device for interacting with users by means of web interface.

With the advancement in web and cloud, this article represents development of the authentication system based on Face Recognition System. Using Google next-generation system, TensorFlow with a deep learning framework on board. TensorFlow is flexible, portable and open source project.

The statement of basic material. As it is known - the human brains vision seems to be very easy functioning. It does not take any difficulty to tell apart a dog and a cat, read a word or recognize a human face. But in difference from human - these tasks are really difficult problems for solving with a computer. Recognition process only seems easy because human brain is really good at perception and as a result in understanding images. During last years, machine learning has made great progress in solving these difficult problems. In particular, model called - deep convolutional neural network can result in reasonable performance on solving difficult visual recognition tasks which are matching or exceeding human performance in some aspects.

Conclusions. This paper introduced a new method of obtaining data for training security systems from social media and human interaction for future use in authentication process in various informational systems. There are several advantages of proposed system which can be described. First of all, one should mention that using of TensorFlow can be adaptive, powerful, and flexible. Moreover, training time is acceptable in comparison with other frameworks and much more faster if one uses distributed TensorFlow.

Keywords: artificial intelligence; face recognition; neural network; informational systems; authentication.

Fig.: 1. Table: 2. References: 22.

Urgency of the research. Technical progress leads to a tremendous increase in number of cybercrimes. Almost every person around the globe has a range of digital accounts containing sensitive private information with is in fact protected by simple password. Therefore, Security systems have a great and important role to guard privacy. It is necessary to have a solid system which can distinguish between people and act differently based on their permissions.

Target setting. Yet, face recognition authentication is about to be one of the most stable. There is a range of methods that are available for detecting and processing faces using different levels of complexities. Summing up - face recognition for authentication purposes can emphasize security. It has already been used in many applications like mobile device authentication. Anyways convolutional neural networks (CNN) outperform any possible humans' recognition rate. However, such systems should be continuously manually improved. Another problem with such systems is that they require accurate data to be trained before they are actually being deployed. It is essential that the system is fast enough to recognize people and that the training should be accomplished without much difficulty and also be fast.

With the advancement in web and cloud, this article represents development of the authentication system based on Face Recognition System. Using Google next-generation system, TensorFlow[1] with a deep learning framework on board. TensorFlow is flexible, portable and open source project.

Actual scientific research and issues analysis. Face recognition algorithms have been reviewed in a range of scientific papers such as Haar Cascades[2], Kalman Filter[3] and applied in various spheres [4; 5; 6]. Besides, OpenCV is a swift open source project which supports many methods to recognize faces. However, in this article, Dlib C++ library was used which supports machine learning algorithms and uses histogram-of-oriented-gradient approach. Face recognition is not only used by the camera node on the stage of face detection but also useful on the stage of input data pre-processing. In this article, a modern data collection method was described (collection from social media with help of Facebook API as well as with help of human to label the unknown people, that directly helps in the process of neural network incremental learning process for the model with new data). The interface was also designed for easy uses in a range of device types.

Modern authentication in field of cyber security has been an essential feature in all aspects of digital life and received a growing interest in recent years. Numerous security systems have been used in the market for many pre-potent enterprises such as ADT [7], Vivint [8] and Protect America. However, none of them use face-recognition approach in their solutions because of low confidence and special computational requirements. NetAtmo [9] has released a device that uses deep neural network to recognize the face, nevertheless their system is far from perfect. Moreover, they provide special smart camera that in fact doesn't satisfy requirement to be compatible with any laptop or smartphone for authentication purposes. In addition - it is slow, feedback is lagged, therefore notifications are constantly delayed, and it takes valuable time to learn face sets, or search for matches in database.

Among research papers, there is a range of security systems that use face recognition technology. Facial recognition approach for security access and authentication presented by Jeffrey S. Coffin [10] uses custom VLSI Hardware and Eigenspaces method. Systems provided by Shankar Kartik use Eigenfaces method for face identification [11] as well which in fact gives weak results with moderate accuracy.

Uninvestigated parts of general matters defining. The swiftness of the particular face recognition system heavily depends on the changes in conditions of light, expression, camera density, and on partial blocking of the face. Several scientific works have already proposed range of approaches for face recognition under unpleasant conditions, but not much of them actually work. Another technology called FaceNet uses deep convolutional neural network implementing Inception model[12] architecture from Google and moreover utilize the online triplet-mining approach to train instead of an intermediate bottleneck layer. FaceNet system achieved a new record accuracy of 99.63% on the Labeled Faces in the Wild (LFW) [13], dataset, which is commonly used for testing purposes. Nevertheless, not only databases size increases but also its computational cost and therefore recognition accuracy declines respectively. That is why incremental learning algorithm should be used, as soon as it is a learning algorithm which handles large-scale training data with respective efficiency and accuracy. A short definition of incremental learning is: learning process represented as a gradual process with new data. The idea behind this algorithm is the existence of special classifiers that are identified along with new classes to be learned [14]. And the key point is to begin learning process with as low as possible resolution images and then gradually increase to high resolution.

The research objective. This article describes Face Recognition authentication system experimental architecture inside informational system accessible via web interface. The Face Recognition authentication system consists of a camera node, a cloud server and input-output device for interacting with users by means of web interface.

The camera node is as it was previously mentioned - vital for system to exist. Nowadays, almost any device has own web-camera, which is typically placed in front of the users face. Whenever person needs to authenticate or re-authenticate, the camera node will capture a photo, and process it in advance. The camera nodes must be positioned in such way that it has a wide range of vicinity over the subject and therefore detect face approaching the camera from distance. The camera node first has to detect the human face, and then it directly sends data to the cloud for further processing. Cloud runs image processing remotely by using DLib library and TensorFlow installed. For small-sized authentication system even smallest VPS cloud server would be enough for processing data, but for training neural network more powerful cloud server will be required as soon as model learning process requires expensive computation.

Cloud computing is a great advancement of modern days. Cloud computing is a type of computing that relies on sharing computing resources rather than having local servers or personal devices to handle applications. Cloud computing provides a simple way to access servers, storages, databases and a broad set of application services for research over the internet. Represented system uses two cloud servers to support its functionality. First one is a weak low-powered server only for data processing tasks. Second is as powerful server handling all model training tasks. A face recognition algorithms using CNN requires a lot of computational power machine during functioning process. Cloud computing providers offer a reliable solution at a very low cost for such kind of CPU consumption. Following on the architecture, the first cloud server unit will receive data from the input nodes (most of cases represented by the laptop web camera) and save then push data forward to the second cloud server unit where it will train the data after defined collection period needed to form a suitable dataset. First cloud server unit also interacts with the administrator via web interface utilizing HTTP protocol. The first cloud server has a database with a record of all users being granted authentication permissions. The first cloud server has ability to communicate with the input units on the device using web-socket enabling real-time data processing. Therefore it is obvious that the first cloud server also has a web-based server crawling data from Facebook and saving all data to storage.

The first cloud server has ability to communicate with any smart device accepting direct TCP connection or at least supporting HTTP protocol. Frontend authentication algorithm is running in web and therefore is controlled by the first cloud server. The administrator area of the system allows the owner to control users and also to change their permission level. Based on the granted access level, different users will able to access different sections of any kind of system behind face recognition authentication. This article demonstrates the capabilities of the system using a miniature license management system. Whenever a person is detected via authentication system, data is sent to the first cloud server and it defines access level for this person. If it is a new person - the first cloud server sends an alert to the administrator with access violation notice. The administrator therefore can register the person in the system or take necessary actions in case of any security breach.

To increase stability one can use social network for training face recognition model and also for updating data on current, existing users in the system. This is definitely a new approach in collecting data. Social networks are the largest free, diversified, adaptive dataset with ability to track changes in real-time and online. By using the advantage of Facebooks' Graph API, one can easily detect a face with a tag name, define if this person was registered in the system, authenticate it or send administrator a notice of security violation with additional information about the suspect. Moreover, one can upload all picture with user's faces to the first cloud unit. And most importantly, the facebook developer app is simple and convenient to share between users. That means that one can benefit with additional data collecting faces of already registered users, they only need to log-in with their account and accept the app to collect pictures. The social network node has three collecting interfaces. First is a public application from Facebook developer website, second is from a web-based hosted on the first cloud server, the last one can be application on iOS or Android device. These are simplest way to collect face images with labeled faces of users who are given or not given access.

The statement of basic materials. As it is known - the human brain vision seem very easy functioning. It does not take any difficulty to tell apart a dog and a cat, read a word or recognize a human face. But in difference from human - these tasks are really difficult problems for solving with a computer. Recognition process only seems easy because human brain is really good at perceptions and as a result in understanding images. During last years, machine learning has made great progress in solving these difficult problems. In particular, the model called a deep convolutional neural network can result in reasonable performance on solving difficult visual recognition tasks which are matching or exceeding human performance in some aspects.

Currently, various image recognition methods and systems based on them are actively developing and therefore successfully solving such tasks as identifying fingerprints, corneas of the eye, analyzing aerospace images, monitoring information flows in a computer network, detecting forgeries, recognizing license plates, handwritten texts, scanned postal, latent, financial and accounting documents. These methods of pattern recognition made it possible to solve complex tasks. In this regard, it is necessary to consider the possibility of applying these methods for authentication purposes.

Researchers have demonstrated reliable methods of computer vision simulation by validating their works on ImageNet [15] - an academic benchmarking system for computer vision algorithms. Subsequent models improve each time to achieve a new bench result: QuocNet [16], AlexNet [17], Inception (GoogleNet), BN-Inception-v2 and Inception-v3 [18]. Inception-v3 was the latest trained model for the ImageNet Large Visual Recognition Challenge from Google. During this work face recognition module was implemented based on the method presented in FaceNet and the training Inception-v3 model in TensorFlow. Instead of using Inception (GoogleNet) model architecture, Inception-3 architecture to train a new model with improved accuracy was used.

Basing on the published architecture and therefore model from the OpenFace and Inception-v3 model a new model with a new database set was trained. Input data is collected by usage of a face detection method and after goes through the deep convolutional neural network to extract an embedding feature. Therefore one can use features for similarity detection and classification.

While processing an image using DLib [19] for face detection one should first define a square around the faces. Each face should then be passed separately into the neural network, which expects a fixed-sized input, currently 1024x1024 pixels, but even 96x96 pixels would be enough as mentioned in FaceNet [12], which is the best size giving the highest accuracy and low training time. But in case and purposes of face authentication one need more detailed analysis therefore accepted reshape of the face in the square was accepted as constant size of 1024x1024 pixels. A potential issue is that faces could be looking in different directions or have some distortions and one have to rotate the images. We use align faces method described in OpenFace by first finding the locations of the eyes and nose with Dlibs' landmark detector, and if the face is undetected or unaligned which will be eliminated before going to the neural network. Finally, an affine transformation is performed on the cropped image to make the eyes and nose appear at about the same place.

Artificial neural networks provide powerful flexible and versatile learning mechanisms, which is their main advantage over the other methods mentioned above. Training eliminates the need to choose key features, their significance and the relationship between features. But, nevertheless, the choice of the original input data significantly affects the quality of the solution. Neural networks have a good generalizing ability, that is, they can successfully spread the experience gained in the final training set to a variety of images.

Neural networks can be trained in a complex structure of images with less memory than is required for classification by structural methods. Training eliminates the need to choose key features and relationships between features. The parallelism of the work of neurons provides fast and high-quality pattern recognition.

Due to a good generalizing ability, artificial neural networks can successfully recognize images that are not shown in training, and also be resistant to noise in the input data.

Neural network is a complex of distributed and parallel computing systems capable of adaptive learning by analyzing the positive and negative effects and simulating simple biological processes occurring in the human brain. The transformative element in such networks is an artificial neuron. (fig. 1) [21].

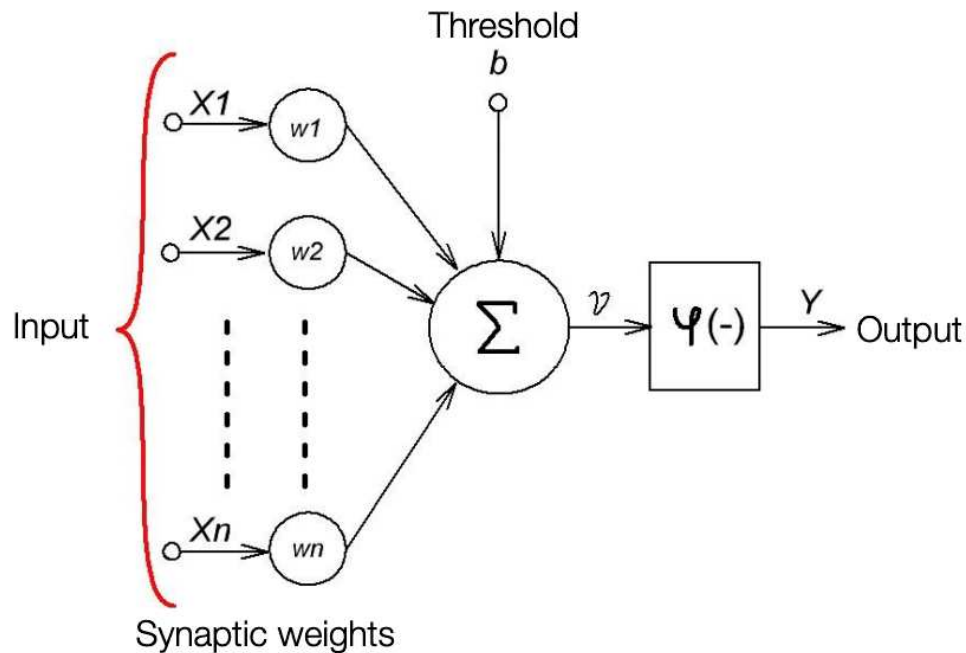


Fig. 1. Artificial neuron model

The functioning of the neuron is described by the following expressions:

$$v = \sum_{j=1}^n \omega_j x_j, \tag{1}$$

$$y = \varphi(v + b), \tag{2}$$

where x_j – input signals;

ω_j – synaptic weights;

$\varphi(v+b)$ is an activation function that limits the amplitude of the output signal of the neuron;

b is the threshold element;

v is a linear combination of input actions;

y is the output of the neuron;

n is the number of inputs.

Our model trained 3400 random people from the Instagram dataset, 523 people from Facebook and 108 students using the security system. As it was mentioned - in order to make the training process easier, we obtain the data from different social network accounts. Images of new users are obtained from photoshoot once the owner requests access for a particular user using the smartphone and new users after using the security system.

It is common that the training data gained from the social media is insufficient for the deep learning model to perform accurately. Therefore as soon as the user is trained with a minimal dataset from the social media, the representation of the user is further improved by fine-tuning the model as the user starts using the system. Sometimes the face recognition system fails to classify the person properly and will have a very low accuracy, in such case system asks help from the administrator. Administrator is sent a request to label the person via his account. After the administrator has labeled, the system will automatically update with the new data and send back to the camera unit to grant the access or other words - authorize user. The test purposed authentication interface is also built in a website with library and an app SDK which can be easily integrated as a login system.

Necessary to mention that the Triplet-loss method mentioned in FaceNet for incremental learning is used by the system. The system has two processing units. The first one is from the camera (in test case represented by the common laptop web-camera). By using application SDK or website JS library for authentication camera is able and will detect and recognize the human face with the current model and data stored in memory in the first cloud server. Giving the access is based on if the system is able to detect and recognize the face with set-up confidence. If the confidence is low or unable to recognize the face, server will respond with refuse in authentication and moreover will take a series of user's photo with different angles and expression to upload in the second cloud server for training purpose. After the training task will be finished in the second cloud server, the updated version of the new model will be pushed to the first cloud server.

First cloud server unit aimed to store the face data and send notifications to the owner asking for labelling the unidentified or unrecognized person. Moreover the Facebook web-based application was built in the first cloud server, which collects the data from social media. Nevertheless the second cloud server will handle the much exhausted computational training tasks instead of first unit. By using the distributed TensorFlow, the model was trained in multiple computing nodes to speed up the training time and also using the incremental learning technique in FaceNet to retrain the model with new data collected from social networks and the security systems after specified time uses.

The largest possible problem of deep neural network is viable data. As we mentioned previously, public data to use for training purposes are very small. To compare with Google datasets mentioned in FaceNet paper, they use hundreds of millions of images from Google and Youtube. On the purpose of researching or business, you have to whether pay for a satisfying face dataset or manually collecting the data that will take a while, and the data will also be mostly unlabeled and therefore also insufficient. However, as soon as social media becomes more popular around the world, we proposed a novel method to automatically collect the data from social media. In this paper, we only mentioned Facebook and its child company Instagram since they are the largest social networks today, but actually, one can use this method in other social media networks. By using the graph API for developers, one can extract the tagged face from the users by giving the authentication access. It was also built and published an application on Facebook which is very convenient for all users around the world who can log-in and share their face images.

Firstly, model that has been tested was Face Recognition System model which trained by Instagram dataset on Labeled Faces in the Wild (LFW) datasets and the classification accuracy is 0.9318 ± 0.0140 . The ROC of Face Recognition System model is shown in Figure 5 compared with Human and EigenFaces experiments. Unfortunately, the model was unable to reach the accuracy mentioned in the FaceNet paper since it was using much fewer input data to compare with billion photos from Google. Also different methods to preprocess the input data were tested. However, the accuracy is obviously impressed to compare with EigenFaces algorithm used in Jeffrey's and Shankar's security system. The state-of-art Inception-v3 model gave the outstanding result which closes the human gap.

Face authentication was also tested in a real environment by testing 50 people. The highest accuracy was 92.2%. Half of these people were presented as new customers trying to authenticate and as expected system notified for a label from the administrator. The datasets we used to train the neural network model is American, but 90% of test data is European. The result was lower accuracy to compare with LFW dataset and it sometimes failed to distinguish people. That makes collecting data from Social Network advantages because it is able to collect various, diverse people from around the world. The Face Recognition System authentication systems also confused between two people with similar faces, but more face images with different angles and expressions will solve the problem. The light condition is also important, the background should not be over illuminated.

The bottleneck values before training to distinguish different faces were stored. After collection of the data from 200 students and 500 users of Facebook, we knew model was trained with updated data using incremental learning. The result succeeded with improving AUC from 0.9823 to 0.9994. Also, system ability to recognize faces of Asians is increased because of social networks use and ability to updated the data with diverse images of people from different regions. It was not expected that the accuracy will dramatically increase because the collected data was insufficient and also bounded by the algorithm limitations. However, by using incremental learning approach, one can reach the accuracy mentioned in the FaceNet paper. Moreover one can additional improved the accuracy by using the Inception-v3 model. If one focus more on pre-processing the input data by aligning the data and using the TF-Slim libraries with the lightweight package for defining, training and evaluating models, one can even more improve the performance.

The entire system was developed and tested in a miniature informational license management system mimicking the actual one working on the production server. Authentication system was running on the laptop of the imaginary employee. It was constantly running faces detection, then asked server for verification. First and second cloud server are the stack cloud servers. Each of them includes 3 units: 1 controller unit and 2 compute units. Cloud server includes Ubuntu and CentOS operation environments and instances hosted by the QEMU hypervisor [20] on the compute units. The cloud server is able maximum to 8 VCPUs (time slot of the processor) with 32Gb Ram and 200Gb Root Disk. With highly computational power, the cloud server is suitable for neural network training and testing.

iOS app to alert to the owner/administrator via a smartphone was developed. Also was developed a web-based front end running from cloud server i, which is convenient to access anytime, anywhere from any device. Whenever someone tries to access authentication protected area of the licensing system, the new data will be updated in the app and on the website as well as therefore forwarded to the training server. Administrator will receive a notification with ability to label new user or decline / ban this user (face). Therefore administrator can label new users and the system will automatically retrain the classifier model with new users and give them access. As it was mentioned before one can collect the tagged faces with face locations and saved to cloud storage. Also one can assign permission level for different users which will protect privacy. For example, the user do not have access to control other user setting, and another user has no access to license creation tool.

Conclusion. This paper introduced a new method of obtaining data for training a security systems from social media and human interaction for future use in authentication process in various informational systems. There are several advantages of proposed system which can be described. First of all, one should mention that using of TensorFlow can be adaptive, powerful, and flexible. Moreover, training time is acceptable in comparison with other frameworks and much more faster if one uses distributed TensorFlow. The comparison results represented in Table 1.

Table 1

TensorFlow benchmarks

Library	Class	Time(ms)	Forward(ms)	Backward(ms)
Caffe	ConvLayer	1521	916	1088
Torch	cuda.Spatial	430	156	1089
TensorFlow	conv2d	349	167	241

There is a range of abundant interesting projects which are leading in Artificial Intelligent and Deep Learning developed in TensorFlow with huge support from Google. In addition, computation in parallel mode will dramatically drop the training time. By using the method mentioned in the FaceNet paper, one can benefit in reaching a swiftness and accuracy comparing with other algorithms as in Table 2.

Table 2

Face recognition for authentication performance

Human , cropped	0.998
FaceNet	0.9983 ± 0.005
EigenFace	0.6162 ± 0.0092
Developed model	0.9718 ± 0.0124

More important, the accuracy has been improved along with use of new data from social media and human interaction. Second, collecting data from social media was also a great move since social media is the largest public data source such as Facebook with around 1.7 billion active users. With the publication of Facebook, one can easily collect the necessary data. One can also collect data from other social networks such as Instagram and many more. One interesting direction for future work is to collect the data from the owner's laptop or other devices such as captured photos and videos and therefore use them to train the network automatically. Another direction for future work is to detect fake-face by using gait speed and eye tracking and depth analysis.

References

1. M. Abadi, A. Agarwal, P. Barham, E. Brevdo, Z. Chen, C. Citro, G. S. Corrado, A. Davis, J. Dean, M. Devin, et al. TensorFlow: Large-scale machine learning, 2016.
2. P. I. Wilson & J. Fernandez. Facial feature detection using haar classifiers, 2006.
3. R. J. Qian, M. I. Sezan, and K. E. Matthews. A robust real-time face tracking algorithm, 1998.
4. H. M. Do, C. Mouser, M. Liu, and W. Sheng. Humanrobot collaboration in a mobile visual sensor network, 2014.
5. W. Sheng, Y. Ou, D. Tran, E. Tadesse, M. Liu, and G. Yan. An integrated manual and autonomous driving framework based on driver drowsiness detection, 2013.
6. D. Tran, E. Tadesse, W. Sheng, Y. Sun, M. Liu, and S. Zhang. A driver assistance framework based on driver drowsiness detection, 2016.
7. Vivint Smart Home Security Systems. Smart home security solutions, 2016.
8. Protect America. Affordable home security systems for everyone, 2016.
9. K. Denmead. Netatmo is the weather station for the rest of us, 2013.
10. Jeffrey S Coffin and Darryl Ingram. Facial recognition system for security access and identification, 1999.
11. J. Shankar Kartik, K. Ram Kumar, and V.S. Srimadhavan. Security system with face recognition, sms alert and embedded network video monitoring terminal, 2013.
12. F. Schroff, D. Kalenichenko, and J. Philbin. FaceNet: A unified embedding for face recognition and clustering, 2015.
13. G. B. Huang, M. Ramesh, T. Berg, and E. Learned-Miller. Labeled faces in the wild: A database for studying face recognition in unconstrained environments, 2007.
14. J. Kuzborskij, F. Orabona, and B. Caputo. From n to n+ 1: Multiclass transfer incremental learning, 2013.
15. J. Deng, W. Dong, R. Socher, Li-Jia Li, K. Li, and L. FeiFei. ImageNet: A large-scale hierarchical image database. In Computer Vision and Pattern Recognition, 2009.
16. Q. V. Le. Building high-level features using large scale unsupervised learning, 2013.
17. A. Krizhevsky, I. Sutskever, and G. E. Hinton. ImageNet classification with deep convolutional neural networks, 2012.
18. C. Szegedy, V. Vanhoucke, S. Ioffe, J. Shlens, and Z. Wojna. Rethinking the inception architecture for computer vision, 2015.
19. D. E. King. Dlib-ml: A machine learning toolkit, 2009.
20. F. Bellard. Qemu-open source processor emulator, 2016.
21. Kryvoruchko O., Khorolska K., Chubaevskiy V., Usage of neural networks in image recognition. (2019). Зовнішня торгівля: економіка, фінанси, право, 3, 83–92. DOI: 10.31617/zt.knute.2019(104)07
22. Reddy, N., Kulkarni, S., & Hariharan, S. (n.d.). Facial Image Based Mood Recognition Using Committee Neural Networks. Intelligent Engineering Systems through Artificial Neural Networks Volume 18, 277–284. DOI: 10.1115/1.802823.paper35.

Олена Криворучко, Богдан Бебешко, Карина Хорольська,
Альона Десятко, Наталія Котенко

ВИКОРИСТАННЯ СИСТЕМИ РОЗПІЗНАВАННЯ ОБЛИЧЧЯ ДЛЯ АВТОРИЗАЦІЇ НА ОСНОВІ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

Актуальність теми дослідження. Технічний прогрес веде до величезного збільшення числа кіберзлочинів. Майже кожна людина у світі має цифрові облікові записи, які містять конфіденційну особисту інформацію, яка насправді захищена простим паролем. Тому системи безпеки відіграють велику й важливу роль у захисті конфіденційності. Необхідно мати надійну систему, яка може розрізнати людей і діяти по-різному в залежності від їх прав. На відміну від аутентифікації по розпізнаванню обличчя та інших рішень для ідентифікації, таких як паролі, перевірка електронної пошти або ідентифікація за відбитками пальців, біометричний розпізнавання осіб використовує унікальні математичні та динамічні шаблони, які роблять таку систему однією з найбільш безпечних та ефективних.

Постановка проблеми. Аутентифікація з розпізнавання обличчя скоро стане однією з найстабільніших. Є методи, доступні для виявлення та обробки обличчя з використанням різних рівнів складності. Підводячи підсумки, можна стверджувати, що розпізнавання обличчя з метою аутентифікації може посилити безпеку. Згорткові нейронні мережі (CNN) перевершують будь-який можливий рівень розпізнавання людини. Однак такі системи повинні постійно поліпшуватися вручну. Інша проблема, пов'язана з такими системами, полягає в тому, що для їх підготовки повинен бути точно підготовлена дані, перш ніж вони будуть розгорнуті. Дуже важливо, щоб система була досить швидко, щоб розпізнавати людей, і щоб навчання проходило без особливих труднощів, а також швидко.

Аналіз досліджень і публікацій. Алгоритми розпізнавання обличчя були розглянуті в ряді наукових робіт, таких як каскади Хаара, фільтр Калмана і застосовані в різних сферах. Серед дослідницьких робіт є ряд систем безпеки, які використовують технологію розпізнавання осіб. Підхід розпізнавання осіб для безпечного доступу і аутентифікації, представлений Джеффрі С. Коффіна, використовує користувальницький метод VLSI Hardware і метод Eigenspaces. Системи, надані Shankar Kartik, також використовують метод Eigenfaces для ідентифікації обличчя, який фактично дає слабкі результати з помірною точністю.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Швидкість окремих систем розпізнавання обличчя великою мірою залежить від змін умов освітлення, експресії, щільності камери й часткової блокування особи. Кілька наукових робіт вже запропонували певні підходи до розпізнавання обличчя в неприємних умовах, але насправді не багато з них працюють.

Метою статті є опис експериментальної архітектури системи аутентифікації системи розпізнавання обличчя всередині інформаційної системи, доступної через веб-інтерфейс. Система аутентифікації Face Recognition System складається з вузла камери, хмарного сервера і пристрої введення-виведення для взаємодії з користувачами за допомогою веб-інтерфейсу.

У зв'язку з розвитком Інтернету і хмарних обчислень ця стаття являє собою розробку системи аутентифікації на основі системи розпізнавання осіб. Використовуючи систему Google наступного покоління, TensorFlow з платформою глибокого навчання на борту. TensorFlow – це гнучкий, стверпний проєкт із відкритим вихідним кодом.

Виклад основного матеріалу. Як відомо, зір людського мозку здається дуже легко функціонуючим. Неважко розгледіти собаку й кішку, прочитати слово або дізнатися людське обличчя. Але на відміну від людини ці завдання дійсно складні для вирішення за допомогою комп'ютера. Процес розпізнавання здається простим, тому що людський мозок дійсно хороший у сприйнятті і, в результаті, в розумінні зображень. В останні роки машинне навчання домоглося великих успіхів у вирішенні цих складних завдань. Зокрема, модель, звана глибоко сверточное нейронною мережею, може привести до розумної продуктивності при вирішенні складних завдань візуального розпізнавання, які в деяких аспектах відповідають або перевершують можливості людини.

Висновки відповідно до статті. У цій статті представлено новий метод отримання даних для навчання систем безпеки з соціальних мереж і взаємодії з людиною для майбутнього використання в процесі аутентифікації в різних інформаційних системах. Існує кілька переваг пропонованої системи, які можна описати. Насамперед треба зазначити, що використання TensorFlow може бути адаптивним, потужним і гнучким. Більш того, час навчання прийнятно в порівнянні з іншими середовищами і набагато швидше, якщо використовувати розподілений TensorFlow.

Ключові слова: штучний інтелект; розпізнавання обличчя; нейронна мережа; інформаційні системи; аутентифікація.

Рис.: 1. Табл.: 2. Библ.: 22.

Kryvoruchko Olena – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Software Engineering and Information Systems, Kyiv National University of Trade and Economics (19 Kioto Str., 02156 Kyiv, Ukraine).

Криворучко Олена Володимирівна – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри інженерії програмного забезпечення та кібербезпеки, Київський національний торговельно-економічний університет (вул. Кіото 19, м. Київ, 02156, Україна).

E-mail: kryvoruchko_ev@knute.edu.ua

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7661-9227>

Bebeshko Bohdan – Senior Software Engineer, Softorino Ltd. (Marshall Islands, Ajeltake Road, Majuro, MH 9696, USA).

Бєбєшкє Бєгдєн Тєрєсєвєч – Senior Software Engineer, Softorino Ltd. (Marshall Islands, Ajeltake Road, Majuro, MH 9696, USA).

E-mail: thismushroom@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6599-0808>

Khorolska Karyna – assistant of the Department of Software Engineering and Information Systems, Kyiv National University of Trade and Economics (19 Kioto Str., 02156 Kyiv, Ukraine).

Хорольська Карина Вікторівна – асистент кафедри інженерії програмного забезпечення та кібербезпеки, Київський національний торговельно-економічний університет (вул. Кіото 19, м. Київ, 02156, Україна).

E-mail: k.khorolska@knute.edu.ua

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3270-4494>

Desiatko Alona – Senior Lecturer of the Department of Software Engineering and Information Systems, Kyiv National University of Trade and Economics (19 Kioto Str., 02156 Kyiv, Ukraine).

Десятко Альона Миколаївна – старший викладач кафедри інженерії програмного забезпечення та кібербезпеки, Київський національний торговельно-економічний університет (вул. Кіото 19, м. Київ, 02156, Україна).

E-mail: desyatko@knute.edu.ua

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2284-3218>

Kotenko Nataliia – PhD in Pedagogical Sciences, Senior Lecturer of the Department of Software Engineering and Information Systems, Kyiv National University of Trade and Economics (19 Kioto Str., 02156 Kyiv, Ukraine).

Котенко Наталія Олексіївна – кандидат педагогічних наук, старший викладач кафедри інженерії програмного забезпечення та кібербезпеки, Київський національний торговельно-економічний університет (вул. Кіото 19, м. Київ, 02156, Україна).

E-mail: kotenko@ukr.net

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2675-6514>

Олександр Дубягін, Володимир Гур'єв, Ірина Фірсова

КОМПЕНСУВАННЯ НАСЛІДКІВ МІЖРІВНЕВОГО ЗАМІЩЕННЯ: ПРОЦЕДУРА, ЕФЕКТИВНІСТЬ

Актуальність теми дослідження. Наслідки керуючого впливу на об'єкт, зміна структури якого представлена моделлю міжрівневого балансу, вдається сформулювати у вигляді втрат (поповнення) об'єкта щодо ознаки, вимірюваної у його одиниць у шкалі відношень. Тому актуальним є завдання створення процедури регулювання втратами (поповненням) об'єкта.

Постановка проблеми. Наявні методики оцінки наслідків не враховують фактору пересування одиниць об'єкта з одного рівня ознаки на інший, унаслідок чого структурний аналіз результатів впливу є неповним.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Теоретичними основами процедури компенсування, яка розглядається вперше, є поняття «міжрівневе заміщення», модель і система показників міжрівневого балансу.

Виділення не досліджених частин загальної проблеми. Модель і система показників міжрівневого компенсаційного балансу.

Постановка завдання. Визначити передумови застосування та критерій ефективності процедури, вибрати схему і створити відповідний механізм компенсування, сформулювати правила складання компенсаційного балансу й показники ефективності компенсування.

Виклад основного матеріалу. Неодноразово змінюючи рівневу структуру об'єкта, можна регулювати його втрати (поповнення): повністю позбавитися, пом'якшити або посилити. Наслідки впливу характеризуються абсолютним сальдо міжрівневого пересування одиниць об'єкта. Регулювати величину сальдо пропонується за рахунок скорочення компоненти, зумовленої неочікуваним пересуванням одиниць об'єкта, тобто через збільшення чи зменшення частки втрат або поповнення в їх сумі. Процедура компенсування втрат (поповнення) об'єкта супроводжується складанням компенсаційного балансу в агрегатній формі.

Висновки відповідно до статті. Процедура не враховує характеристики впливу, тому один і той же самий результат можна отримати за різну кількість компенсаційних циклів. Її зростання пов'язане зі збільшенням ресурсних витрат. Тому перспективною є оптимізація процедури через характеристики впливу.

Ключові слова: керуючий вплив; коефіцієнт ефективності; компенсаційний баланс; міжрівневе заміщення; структурований об'єкт.

Табл.: 1. Рис. 2. Бібл.: 10.

Актуальність теми дослідження. Наслідки керуючого впливу на структурований об'єкт, зміна рівневої структури якого представлена моделлю міжрівневого балансу, вдається сформулювати у вигляді втрат (поповнення) об'єкта щодо ознаки, вимірюваної у його одиниць у шкалі відношень. У зв'язку з цим актуальним є завдання створення процедури регулювання втратами (поповненням) об'єкта й оцінка її ефективності. Якщо об'єкт є складовою інформаційної системи, то подібна процедура корисна для керування такими характеристиками системи, як швидкодія, продуктивність, витрати енергії, труда, фінансів тощо.

Постановка проблеми. Кількісна оцінка наслідків керуючого впливу на структурований об'єкт, яка здійснюється на основі моделі міжрівневого балансу, є корисною для визначення характеристик ефективності впливу при створенні процедури регулювання втратами (поповненням) об'єкта. Говорячи про останні як про наслідки впливу, важливо уявляти механізм регулювання втрат і поповнення об'єкта, одиниці якого зазнають міжрівневе пересування через цей вплив. Для цього пропонується застосувати процедуру «компенсування наслідків міжрівневого заміщення» зі складанням компенсаційного міжрівневого балансу. Форма останнього має бути агрегатною. За результатами процедури здійснюється оцінювання ефективності компенсування. Умови (обмеження), за яких здійснюється процедура, такі: метою зовнішнього впливу є певна зміна структури об'єкта; вплив є неодноразовим, завдяки чому досягається бажаний ефект щодо цієї зміни; предметом оцінювання є рівнева структура об'єкта та руху його одиниць, без урахування характеристик впливу. Реалізація процедури компенсування має практичне значення там, де вивчаються та оцінюються наслідки керуючого впливу на об'єкт з однорідною структурою, представленою ознакою, вимірюваною у його одиниць у шкалі відношень.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Заявлена процедура компенсування розглядається вперше. Теоретичними основами для неї є модель міжрівневого балансу, синтезована з метою зв'язати зміну структури об'єкта зі структурою руху його одиниць, поняття «міжрівневе заміщення», уведене для оцінки наслідків керуючого впливу на структурований об'єкт в якості канонічної форми балансу, а також система показників міжрівневого балансу, створена для всебічної характеристики структурних зрушень об'єкта [10]. Поширеними для оцінки останніх у статистиці є коефіцієнти структури [2]. Аналогом моделі міжрівневого балансу є модель міжгалузевого балансу, запропонована В. В. Леонтьєвим [1; 4; 8].

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Це – модель і система показників міжрівневого компенсаційного балансу, представлені в агрегатній формі.

Постановка завдання (мета статті). Визначити передумови застосування та критерій ефективності процедури, вибрати схему і створити відповідний механізм компенсування, сформулювати правила складання компенсаційного балансу й показники ефективності компенсування.

Виклад основного матеріалу. Неодноразово змінюючи рівневу структуру об'єкта завдяки керуючому впливу на останній, можна регулювати його втрати (поповнення): повністю позбавитися від них, пом'якшити або посилити їх. Числовою характеристикою наслідків керуючого впливу є абсолютне сальдо міжрівневого пересування одиниць об'єкта [10].

Зрозуміло, що в результаті керуючого впливу на об'єкт одиниці останнього зазнають і регресивне, і прогресивне пересування, а тому у формуванні загального сальдо «беруть участь» і втрати, і поповнення об'єкта, обумовлені відповідним пересуванням. А тому, збільшуючи чи зменшуючи частку втрат або поповнення в їх сумі, можна регулювати величину загального сальдо в той чи інший бік. У будь-якому випадку, незалежно від спрямованості керуючого впливу, зробити це можна за рахунок скорочення компоненти, зумовленої не очікуваним пересуванням одиниць об'єкта. Дамо цій процедурі назву «компенсування рівневих втрат (рівневого поповнення) об'єкта».

Грунтуючись на методах теорії управління [3; 7], спочатку зупинимось на передумовах процедури, а потім оцінимо її ефективність.

Очевидно, що не очікуваним може бути як регресивне, так і прогресивне пересування одиниць об'єкта, тобто їх рух, що класифікується за критерієм «напрямок пересування». Нагадаємо, що перше з них завдає об'єкту втрати, а друге призводить до його поповнення щодо ознаки, вимірюваної у цих одиниць. Результатом процедури компенсування має бути повне або часткове позбавлення від не очікуваних втрат (поповнення) об'єкта. А тому досягти такого результату можна, додатково піддаючи одиниці об'єкта альтернативному за напрямом пересуванню: регресивне пересування компенсуючи прогресивним, а прогресивне – регресивним. Тобто ця процедура має бути альтернативною щодо зміни напрямку пересування одиниць об'єкта, які беруть у неї участь (перша передумова).

Якщо одиниці об'єкта пересуваються тільки в одному напрямі, то частковому або повному компенсуванню підлягає агреговане сальдо пересування за напрямом: у випадку компенсування втрат – сальдо регресивного пересування ($\Delta L_{в./н.}$); у випадку компенсування поповнення – сальдо прогресивного пересування ($\Delta L_{н./в.}$). Наявність одночасно регресивно- та прогресивно-рухомих одиниць призводить до неоднозначного результату: об'єкт зазнає або втрати, або поповнення, крім випадку їх рівноваги, і тоді разом із повним або частковим компенсуванням втрат (поповнення) збільшується (зменшується) загальне сальдо об'єкта ΔL . Причому змінити величину останнього в той чи інший бік можна як за рахунок регресивно-рухомих одиниць, так і за рахунок прогресивно-рухомих одиниць об'єкта, в залежності від міри їх сприйнятливості до впливу. Тобто ця процедура може бути варіативною щодо зміни ступеня внеску одиниць об'єкта з тим чи іншим напрямом пересування в результат компенсування (друга передумова).

І нарешті, процедура компенсування втрат (поповнення) об'єкта може забезпечити необхідний результат як за одного додаткового впливу на його одиниці, так і за декілька таких впливів, після кожного з яких необхідно зробити балансовий аналіз і за результатами перевірки виконання умов обраного критерію ефективності компенсування або призупинити процедуру, або продовжити її. Тобто процедура компенсування має бути циклічною (третя передумова).

Тепер обґрунтуємо критерій ефективності компенсування. Стає очевидним, що основу критерію ефективності складатиме величина після-компенсаційного загального сальдо об'єкта $\Delta L^{[q]}$, фактичне значення якої в результаті керуючого компенсаційного впливу на об'єкт має бути не менше заданого значення $\Delta L_{з.}$ величини загального сальдо об'єкта, такого, що $\Delta L_{з.} > \Delta L$, якщо компенсуванню підлягають втрати об'єкта (рис. 1, а), і має бути не більше, ніж задане це значення, таке, що $\Delta L_{з.} < \Delta L$, якщо компенсуванню підлягає поповнення об'єкта (рис. 1, б), за будь-якого знаку величини ΔL . Область припустимих значень $\Delta L^{[q]}$ на рис. 1 затемнена.

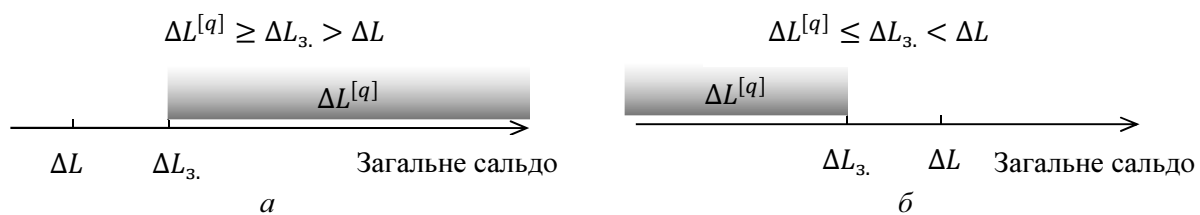


Рис. 1. Співвідношення між до-компенсаційним (ΔL), після-компенсаційним ($\Delta L^{[q]}$) та припустимим ($\Delta L_{з.}$) значеннями загального сальдо об'єкта, коли компенсуванню підлягають втрати (а) та поповнення (б) цього об'єкта

Отже, критерій ефективності компенсування втрат (перший вираз тут і надалі) і поповнення (другий вираз тут і надалі) об'єкта можна сформулювати у вигляді подвійної нерівності:

$$\Delta L^{[q]} \geq \Delta L_{з.} > \Delta L; \quad (1)$$

$$\Delta L^{[q]} \leq \Delta L_{з.} < \Delta L, - \quad (2)$$

яка відповідно до третьої передумови процедури компенсування має перевірятися наприкінці кожного компенсаційного циклу (блок-схема на рис. 2, де q – номер циклу: $q = 1, 2, \dots, Q$).

Беручи до уваги сформульовані передумови та критерій ефективності, розглянемо в деталях механізм процедури компенсування, створивши відповідний алгоритм і застосовуючи відповідні методи та правила алгоритмізації [5; 6; 9]. Для цього нам знадобляться складові міжрівневого балансу, складеного в три етапи: 1) одразу після керуючого впливу на об'єкт (докомпенсаційний баланс); 2) за проміжними результатами процедури компенсування (компенсаційний баланс); 3) за остаточними результатами процедури компенсування (післякомпенсаційний баланс).

Кожен етап завершується формуванням за єдиним зразком однойменної балансово-розрахункової таблиці (матриці). Причому, компенсаційна та після-компенсаційна матриці формуються в кожному компенсаційному циклі, а узагальнений результат компенсування за Q циклів можна представити узагальненою компенсаційною матрицею. Складові балансу, розміщені в комірках будь-якої матриці, й опосередковані ними абсолютні балансові показники сальдо міжрівневого пересування визначаються за правилами, сформульованими в роботі [10]. Елементи кожної компенсаційної та після-компенсаційної q -матриці й відповідні показники руху будемо позначати як і раніше, доповнюючи номером циклу, розміщеним відносно символу даної величини праворуч зверху, відповідно

в круглих і в квадратних дужках: $\dots^{(q)}$ і $\dots^{[q]}$. Щодо узагальненого компенсаційного балансу, символіку представлено аналогічно, тільки з номером останнього компенсаційного циклу, виділеним фігурними дужками: $\dots^{\{Q\}}$.

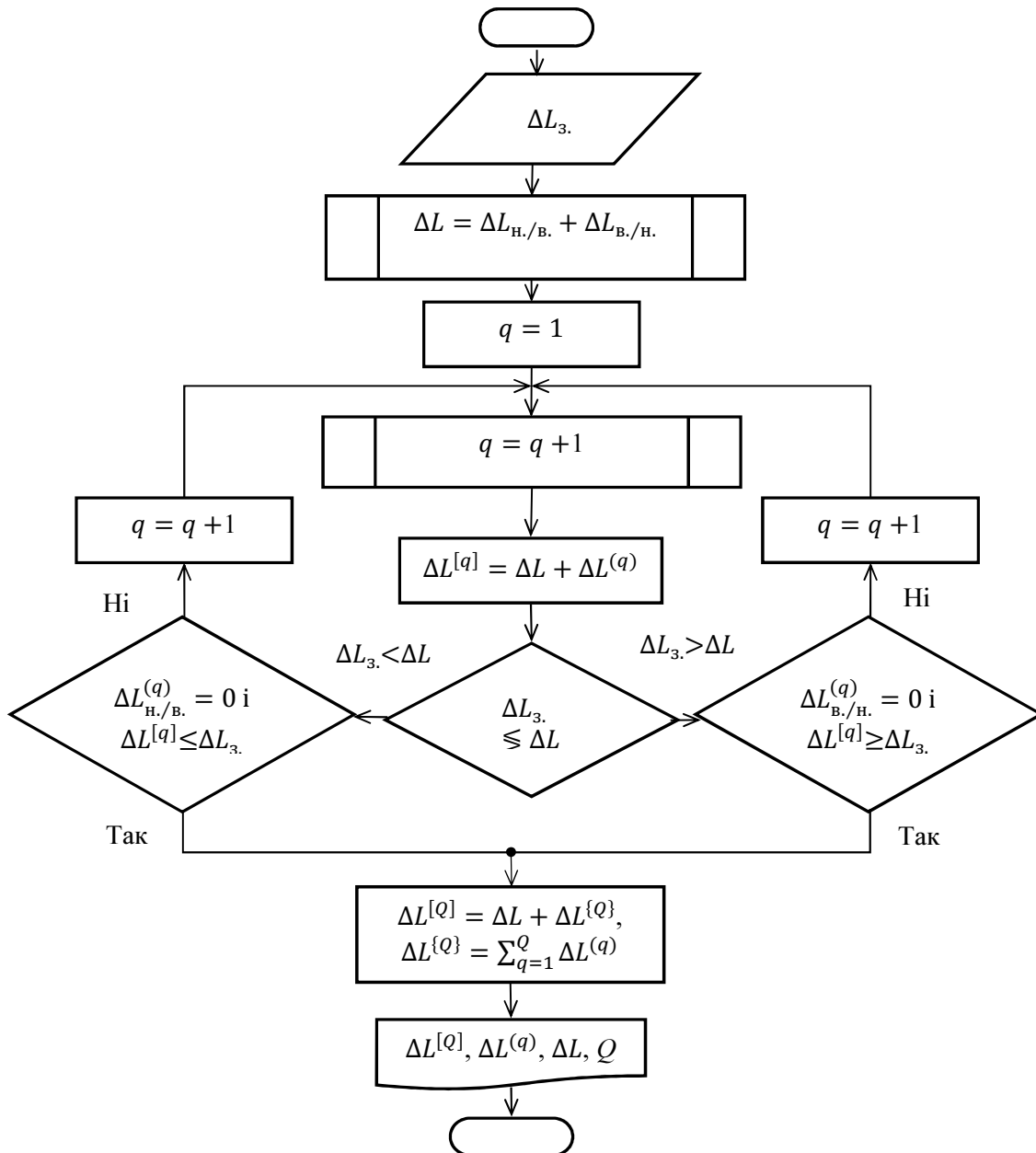


Рис. 2. Блок-схема циклічного алгоритму компенсування втрат (поповнення) об'єкта

З погляду на сказане можна запропонувати два способи компенсування втрат (поповнення) об'єкта. Кожен з них передбачає декілька схем реалізації процедури компенсування, які мають свої переваги та недоліки. Важко створити універсальний алгоритм вибору оптимальної схеми. Це може бути або одна з них, або певна їх комбінація, реалізована за один або за декілька компенсаційних циклів. Усе залежить від реальних умов міжрівневого руху та його результатів.

Перший спосіб передбачає заміну всіх або певної частини одиниць об'єкта, які мають одні характеристики руху та вибувають зі складу цього об'єкта, на одиниці іншого об'єкта з іншими характеристиками руху та в тій же самій кількості. Цей спосіб ускладнений тим, що звичайно об'єкт спостереження має сталий склад, а заміна його одиниць

обмежена багатьма факторами різного походження (фізичного, адміністративного, фінансового й ін.). Другий спосіб передбачає повторний керуючий вплив на об'єкт в цілому або на певні його одиниці. Цей спосіб є поширеним, тому що об'єкт зі сталим складом можна неодноразово піддавати керуючому впливу задля «чистоти» процедури, а також тому, що він не критичний до обмежуючих факторів.

Одиниці об'єкта, які підлягають заміні або повторному впливу, являють собою: 1) всі одиниці об'єкта або ті з них, що зазнають лише не очікуване пересування; 2) ті одиниці, в яких не очікуване пересування виражено більшою мірою; 3) ті одиниці, в яких очікуване пересування виражено меншою мірою; 4) нерухомі одиниці.

Якщо застосувати першу схему, то існує ймовірність повного компенсування не очікуваних змін, а якщо застосувати другу-четверту схеми останні компенсуються частково. Крім того, четверта схема є резервом очікуваних змін рівневої структури об'єкта. Нижче розглядається лише другий спосіб і перша схема компенсування, коли повторному впливу піддаються лише ті одиниці об'єкта, які зазнають не очікуване пересування в результаті попереднього впливу на них. Такий вибір є логічним у контексті сформульованої мети та дозволяє повною мірою позбутися втрат або поповнення об'єкта, завданих керуючим впливом саме його одиницям.

Правила компенсаційного та після-компенсаційного балансу, призначені для реалізації першої схеми, сформулюємо в окремій таблиці так, щоб був зрозумілим механізм формування рівневої структури об'єкта: у взаємозв'язку з рівневою структурою руху його одиниць, на кожному етапі процедури компенсування, відповідно до співвідношення балансу. Щодо останнього, покладене в його основу загальне сальдо об'єкта є визначальним для оцінки наслідків керуючого впливу й ефективності процедури компенсування і складається з величин сальдо пересування за напрямом (див. в правому стовпці таблиці; спосіб їх обчислення представлений в графі «до-компенсаційний баланс» й є аналогічним в решті випадків), регресивного («в./н.») і прогресивного («н./в.»). Зазначені показники сальдо розміщені в таблиці разом зі складовими балансу, через які вони визначаються [10].

Закономірний зв'язок трьох етапів, виражений через значення до-компенсаційного, компенсаційного та після-компенсаційного загального сальдо, представляє теорема «про компенсування наслідків міжрівневого заміщення». Сформульована в трьох частинах, теорема дає уявлення про механізм компенсування втрат (поповнення) об'єкта (перша і друга частини) і про результат компенсування (третя частина). Через великий обсяг доказ теорема в статті не наводиться.

Таблиця

Порядок визначення загального сальдо об'єкта в процедурі компенсування

		Баланс	Сальдо міжрівневого пересування
назва	правила	рівневі складові	
1	2	3	4
До-компенсаційний	x	Регресивне пересування: $L_{Він.}$ – у стані об'єкта «до» (вибуття) $L_{Пв. j}$ – у стані об'єкта «після» (прибуття)	$\Delta L_{в./н.} = L_{Пв.} - L_{Вн.}$, де $L_{Пв.} = \sum_{j=1}^{k-1} L_{Пв. j}$, $L_{Вн.} = \sum_{i=2}^k L_{Він.}$
	x	Прогресивне пересування: $L_{Вів.}$ – у стані об'єкта «до» (вибуття) $L_{Пн. j}$ – у стані об'єкта «після» (прибуття)	$\Delta L_{н./в.} = L_{Пн.} - L_{Вв.}$, де $L_{Пн.} = \sum_{j=2}^k L_{Пн. j}$, $L_{Вв.} = \sum_{i=1}^{k-1} L_{Вів.}$
		Загальне сальдо об'єкта (сукупного пересування)	$\Delta L = \Delta L_{в./н.} + \Delta L_{н./в.}$

Закінчення табл.

1	2	3	4	
Компенсаційний	Перше	$\begin{cases} L_{p0}^{(1)} = L_{Пв.p}, q = 1, p = \overline{1, k-1} \\ L_{p0}^{(q)} = L_{Пв.p}^{(q-1)}, q = \overline{2, Q}, p = \overline{1, k-1} \end{cases}$	Регресивного: $\Delta L_{Б./Н.}^{(Q)} \equiv 0 \quad (3)$	
		$\begin{cases} L_{p0}^{(1)} = L_{Пн.p}, q = 1, p = \overline{2, k} \\ L_{p0}^{(q)} = L_{Пн.p}^{(q-1)}, q = \overline{2, Q}, p = \overline{2, k} \end{cases}$	Прогресивного: $\Delta L_{Н./Б.}^{(Q)} \equiv 0 \quad (4)$	
	Друге	$L_{Він.}^{(Q)} = L_{Пв.j}^{(Q)} = 0 \xleftarrow{\forall N^q=1, N} l_{N^q1}^{(Q)} \geq l_{N^q0}^{(Q)}$	$\Delta L_{Н./Б.}^{(Q)} \equiv 0 \quad (4)$	
		$L_{Вів.}^{(Q)} = L_{Пн.j}^{(Q)} = 0 \xleftarrow{\forall N^q=1, N} l_{N^q1}^{(Q)} \leq l_{N^q0}^{(Q)}$		
	Загальне сальдо об'єкта (сукупного пересування)			$\Delta L^{(Q)} \equiv \Delta L_{Н./Б.}^{(Q)}$ або $\Delta L^{(Q)} \equiv \Delta L_{Б./Н.}^{(Q)}$
	Третє	$\begin{cases} L_{p0}^{\{Q\}} = L_{p0}^{(1)} \\ L_{p1}^{\{Q\}} = \sum_{q=1}^Q [L_{3p}^{(q)} + L_{Пн.p}^{(q)}] \end{cases}$	Регресивного: $\Delta L_{Б./Н.}^{\{Q\}} \equiv 0 \quad (5)$	
$\begin{cases} L_{p0}^{\{Q\}} = L_{p0}^{(1)} \\ L_{p1}^{\{Q\}} = \sum_{q=1}^Q [L_{3p}^{(q)} + l_{Пв.p}^{(q)}] \end{cases}$		Прогресивного: $\Delta L_{Н./Б.}^{\{Q\}} \equiv 0 \quad (6)$		
Загальне сальдо об'єкта (сукупного пересування)			$\Delta L^{\{Q\}} \equiv \Delta L_{Н./Б.}^{\{Q\}}$ або $\Delta L^{\{Q\}} \equiv \Delta L_{Б./Н.}^{\{Q\}}$	
Після-компенсаційний	Перше	$\begin{cases} L_{p0}^{[q]} = L_{p0} \\ L_{p0}^{[q]} = L_{3p} + L_{3p}^{(1)} + \dots + L_{3p}^{(q)} + L_{Пн.p} + L_{Пн.p}^{(1)} + \dots + L_{Пн.p}^{(q)} \end{cases}$	Регресивного: $L_{Б./Н.}^{[q]} = L_{Пв.}^{[q]} - L_{Вн.}^{[q]}$	
		$\begin{cases} L_{p0}^{[q]} = L_{p0} \\ L_{p0}^{[q]} = L_{3p} + L_{3p}^{(1)} + \dots + L_{3p}^{(q)} + L_{Пн.p} + L_{Пн.p}^{(1)} + \dots + L_{Пн.p}^{(q)} \end{cases}$	Прогресивного: $L_{Н./Б.}^{[q]} = L_{Пн.}^{[q]} - L_{Вв.}^{[q]}$	
	Друге	$L_{Він.}^{[Q]} = L_{Пв.j}^{[Q]} = 0 \xleftarrow{\forall N^q=1, N, q=1, Q} l_{N^q1}^{(q)} \geq l_{N^q0}^{(q)} \quad (7)$	$L_{Н./Б.}^{[q]} = L_{Пн.}^{[q]} - L_{Вв.}^{[q]}$	
		$L_{Вів.}^{[Q]} = L_{Пн.j}^{[Q]} = 0 \xleftarrow{\forall N^q=1, N, q=1, Q} l_{N^q1}^{(q)} \leq l_{N^q0}^{(q)} \quad (8)$		
Загальне сальдо об'єкта (сукупного пересування)			$\Delta L^{[q]} = L_{Б./Н.}^{[q]} + L_{Н./Б.}^{[q]}$	
Теорема «по компенсуванню наслідків міжрівневого заміщення». Якщо за умов (1)-(8) процедури компенсування не очікуваних змін ознаки, виконаної за Q компенсаційні цикли, мало місце відповідно повне або часткове компенсування втрат (поповнення) об'єкта, обумовлених регресивним (прогресивним) пересуванням його одиниць, завданім зовнішнім керуючим впливом на цей об'єкт, а по результатах процедури був складений після-компенсаційний баланс, то є справедливими наступні твердження:			1) $\Delta L^{[q]} = \Delta L + \Delta L^{(1)} + \Delta L^{(2)} + \dots + \Delta L^{(q)}$; 2) $\Delta L^{[Q]} = \Delta L + \Delta L^{\{Q\}}$, де $\Delta L^{\{Q\}} = \sum_{q=1}^Q \Delta L^{(q)}$; 3) $\Delta L_{Б./Н.}^{[q]} > \Delta L_{Н./Б.}^{[q]} \Rightarrow \Delta L^{[q]} < 0$; $\Delta L_{Б./Н.}^{[q]} < \Delta L_{Н./Б.}^{[q]} \Rightarrow \Delta L^{[q]} > 0$.	

Компенсаційний баланс є визначальним для трансформування рівневої структури об'єкта з до-компенсаційної в після-компенсаційну, а кожен його компенсаційний цикл має бути представлений окремою компенсаційною матрицею. Для цього в її I-у квадранті треба розмістити нові значення $n_{ij}^{(q)}$ чисельності міжрівневих пересувань, завданих повторним керуючим впливом на одиниці об'єкта. Аналогічно, через новостворені вихідні

дані $\{n_{ij}^{[Q]}\}$ і $\{n_{ij}^{[q]}\}$, будуються балансово-розрахункові матриці, що відповідно представляють узагальнений компенсаційний баланс, складений за Q компенсаційних циклів, і після-компенсаційний баланс, складений за кожен компенсаційний цикл.

В основу кількісної оцінки ефективності процедури компенсування втрат (поповнення) об'єкта покладено визначення в кожному компенсаційному циклі однойменного коефіцієнта $K_{\frac{К.В.}{К.Н.}}^{[q]}$ ($K_{\frac{К.Н.}{К.В.}}^{[q]}$), який оцінює повноту їх компенсування. Його можна визначити як частку від ділення величини компенсованого сальдо не очікуваного пересування одиниць об'єкта за напрямом, регресивного (перший вираз) і регресивного (другий вираз) відповідно, на величину сальдо пересування цих же одиниць, обчисленого на початок компенсування:

$$K_{\frac{К.В.}{К.Н.}}^{[q]} = \left(\Delta L_{\frac{Н.}{Н.}}^{[q]} - \Delta L_{\frac{В.}{Н.}}^{[q]} \right) : \Delta L_{\frac{В.}{Н.}}^{[q]}; \quad (9)$$

$$K_{\frac{К.Н.}{К.В.}}^{[q]} = \left(\Delta L_{\frac{Н.}{В.}}^{[q]} - \Delta L_{\frac{Н.}{Н.}}^{[q]} \right) : \Delta L_{\frac{Н.}{В.}}^{[q]}. \quad (10)$$

Величина компенсованого сальдо в чисельнику дробу визначається як різниця докомпенсаційного та післякомпенсаційного сальдо.

Шуканий коефіцієнт – величина додатна та не перевищує одиницю, якщо компенсування мало місце. За повного (100-процентного) компенсування коефіцієнт дорівнює одиниці, тому що після-компенсаційне сальдо дорівнює нулю: $\Delta L_{\frac{В.}{Н.}}^{[q]} = 0$ або $\Delta L_{\frac{Н.}{В.}}^{[q]} = 0$. Якщо компенсування є частковим, чисельник дробу та значення коефіцієнта є більшим ніж 0 і меншим ніж 1.

Якщо компенсування втрат (поповнення) не відбувається, тобто $\Delta L_{\frac{В.}{Н.}}^{[q]} \geq \Delta L_{\frac{В.}{Н.}}^{[q]}$ ($\Delta L_{\frac{Н.}{В.}}^{[q]} \leq \Delta L_{\frac{Н.}{В.}}^{[q]}$), то відповідні коефіцієнти не є додатними.

Можна запропонувати ще один показник ефективності процедури компенсування втрат або поповнення об'єкта – загальний коефіцієнт ефективності процедури компенсування, який оцінює її результат загалом і водночас визначає факт перетворення загального сальдо об'єкта з втрат на поповнення або зворотню:

$$K_{\text{еф.к.}}^{[q]} = (\Delta L - \Delta L^{[q]}) : \Delta L. \quad (11)$$

Цей коефіцієнт також є додатним, але може бути як менше, так і більше одиниці. Якщо нерівновеликі до- та після-компенсаційне сальдо об'єкта мають однакову природу, обидві величини кваліфікуються як втрати або поповнення, коефіцієнт є меншим ніж 1, а якщо до-компенсаційне сальдо, визначене як втрати (поповнення), трансформується в після-компенсаційне сальдо, що являє собою поповнення (втрати), коефіцієнт є більшим ніж 1. Цей коефіцієнт дорівнюватиме одиниці, якщо абсолютні значення після-компенсаційного сальдо пересувань за напрямом, регресивного ($\Delta L_{\frac{В.}{Н.}}^{[q]}$) та прогресивного ($\Delta L_{\frac{Н.}{В.}}^{[q]}$), стають однаковими й тоді загальне після-компенсаційне сальдо об'єкта ($\Delta L^{[q]}$) дорівнює нулю. Якщо компенсування втрат (поповнення) не відбувається, тобто $\Delta L \geq \Delta L^{[q]}$ ($\Delta L \leq \Delta L^{[q]}$), то цей коефіцієнт не є додатними.

Відповідно до запропонованої схеми компенсування результатом процедури можуть бути частково або повністю компенсовані втрати (поповнення) об'єкта. Тобто цей результат з погляду на його очікування є ймовірнісним і для гарантованого (100 %-го) повного компенсування втрат або поповнення об'єкта, свідченням чого є виконання рівності (7) або (8), пропонується інша схема. Дамо їй однойменну назву «схема повного компенсування втрат (поповнення) об'єкта». Вона передбачає виконання таких дій: одиниці об'єкта, які, будучи підданими компенсаційному впливу в тому чи іншому компенсаційному циклі,

не зазнали не очікуване регресивне (прогресивне) пересування, однак опинилися на рівні, що є нижчим (вищим) у порівнянні з їх до-компенсаційним рівнем у стані об'єкта «до», мають піддаватися компенсаційному впливу до тих пір, поки не опиняться на рівні, який є не нижче (не вище), ніж цей їх докомпенсаційний рівень.

Незалежно від того, яку схему або комбінацію схем застосовувати для компенсування витрат (поповнення) об'єкта, встановити заздалегідь кількість компенсаційних циклів (Q) не уявляється можливим, бо вона залежить насамперед від характеристик керуючого впливу на об'єкт і від сприйнятливості одиниць останнього до цього впливу. Але, безумовно, кількість циклів обмежена умовами проведення процедури компенсування.

Висновки відповідно до статті. Процедура компенсування й оцінка його ефективності – це логічний результат розвитку методики міжрівневого балансу в напрямку її практичного застосування. В інформаційних системах – це підвищення ефективності організації процесів з даними щодо управління їх продуктивністю, швидкодією, енергомісткістю в задачах зберігання, обробки та передачі інформації. Запропонована процедура не враховує характеристики керуючого впливу, а тому один і той же самий результат може бути отриманий за різну кількість компенсаційних циклів, а її зростання призводить до збільшення ресурсних витрат. Тому перспективною є оптимізація процедури компенсування через характеристики керуючого впливу.

Список використаних джерел

1. Терехов Л. Л. Экономико-математические методы. Москва : Статистика, 1968. 360 с.
2. Статистика : підручник / С. С. Герасименко, А. В. Головач, А. М. Єріна [та ін.] ; за наук. ред. д-ра екон. наук С. С. Герасименка. 2-ге вид., перероб. і доп. Київ : КНЕУ, 2000. 467 с.
3. Дорф Р., Бишоп Р. Современные системы управления / пер. с англ. Б. И. Копылова. Москва : Лаборатория базовых знаний, 2002. 832 с.
4. Економіко-математичне моделювання : навчальний посібник / за ред. О. Т. Івашука. Тернопіль : ТНЕУ «Економічна думка», 2008. 704 с.
5. Новиков Ф. А. Дискретная математика для программистов : учебник для вузов. 3-е изд. Санкт-Петербург : Питер, 2009. 384 с.
6. Поляков В. И., Скорубский В. И. Основы теории алгоритмов. Санкт-Петербург : СПб НИУ ИТМО, 2012. 51 с.
7. Ильин А. В., Емельянов С. В., Фомичёв В. В., Фурсов А. С. Математические методы теории управления. Проблемы устойчивости, управляемости и наблюдаемости. Москва : Физматлит, 2014. 200 с.
8. Попов А. М., Сотников В. Н. Экономико-математические методы и модели: учебник для прикладного бакалавриата / под общ. ред. А. М. Попова. 3-е изд. испр. и доп. Москва : Издательство Юрайт, 2015. 345 с.
9. Стивенс Род. Алгоритмы. Теория и практическое применение. Москва : Издательство «Э», 2016. 544 с.
10. Дубягін О. Б. Модель міжрівневого балансу: агрегатна форма. *Технічні науки та технології* : науковий журнал. 2018. № 3 (13). С. 96–104.

References

1. Terekhov, L. L. (1968). *Ekonomiko-matematicheskie metody [Economic and mathematical methods]*. Moscow : Statistika [in Russian].
2. Herasyenko, S. S. (Ed.). (2000). *Statystyka [Statistics]*. Kyiv : KNEU [in Ukrainian].
3. Dorf, R., Bishop, R. (2002). *Sovremennye sistemy upravleniia [Modern control systems]*. Moscow : Laboratoriia bazovykh znaniia [in Russian].
4. Ivashchuk, O. T. (Ed.). (2008). *Ekonomiko-matematychni modeliuvannia [Economic and mathematical modeling]*. Ternopil : TNEU «Ekonomichna dumka» [in Ukrainian].
5. Novikov, F. A. (2009). *Diskretnaia matematika dlia programmistov [Discrete Mathematics for Programmers]*. St. Petersburg : Piter [in Russian].
6. Poliakov, V. I. (2012). *Osnovy teorii algoritmov [Fundamentals of the Theory of Algorithms]*. St. Petersburg : SPb NIU ITMO [in Russian].

7. Ilin, A. V., Emelianov, S. V., Fomichev, V. V., Fursov, A. S. (2014). *Matematicheskie metody teorii upravleniia. Problemy ustoiichivosti, upravliaemosti i nabliudaemosti [Problems of stability, controllability and observability]*. Moscow : Fizmatlit [in Russian].

8. Popov, A. M. (Ed.). (2015). *Ekonomiko-matematicheskie metody i modeli [Economic and mathematical methods and models]*. Moscow : Izdatelstvo Yurait [in Russian].

9. Stivens, Rod. *Algoritmy. Teoriia i prakticheskoe primenenie [Algorithms. Theory and practical application]*. Moscow : Izdatelstvo «Е» [in Russian].

10. Dubiahin, O. B. (2018). *Model mizhrivnevoho balansu: ahrehatna forma [Inter-level balance model: aggregate form]*. Chernihiv : ChNTU [in Ukrainian].

UDC 311+512

Alexander Dubiagin, Volodymyr Guryev, Irina Firsova

COMPENSATION OF THE CONSEQUENCES OF INTER-LEVEL SUBSTITUTION: PROCEDURE, EFFICIENCY

Urgency of the research. *The consequences of the control action on the object, the change in the structure of which is represented by the inter-level balance model, can be formulated in the form of object losses (replenishment) on the attribute measured in its units in the ratio scale. Therefore, the task of creating a procedure for regulating losses (replenishment) of an object is urgent.*

Target setting. *Existing evaluation methods do not take into account the factor of movement of object units from one level of the characteristic to another, which made the structural analysis of the results of the impact incomplete.*

Actual scientific researches and issues analysis. *The theoretical basis of the compensation procedure, which is considered for the first time, is the notion of "inter-level substitution", a model and a system of inter-level balance indicators.*

Uninvestigated parts of general matters defining. *Model and system of indices of the inter-level compensation balance.*

The research objective. *Determine the prerequisites for applying and the criteria for the effectiveness of the procedure, select a scheme and create an appropriate compensation mechanism, formulate rules for compiling a compensation balance and indicators of compensation effectiveness.*

The statement of basic materials. *Repeatedly changing the level structure of the object, you can adjust its loss (replenishment): completely get rid of, soften or strengthen. The consequences of the impact are characterized by the absolute balance of the object's units inter-level movement. Adjust the amount of the balance is offered by reducing the component, due to the not expected movement of the object's units, that is, by increasing or decreasing the proportion of losses or replenishment in their amount. The procedure for compensation of the object losses (replenishment) is accompanied by the compilation of a compensation balance in aggregate form.*

Conclusions. *The procedure does not take into account the characteristics of the impact, therefore the same result can be obtained for a different number of compensation cycles. Its growth is associated with an increase in resource costs. Therefore, it is promising to optimize the procedure through the characteristics of the impact.*

Keywords: *control action; coefficient of efficiency; compensation balance; inter-level substitution; structured object.*

Table: 1. Fig. 2. Bibl.: 10.

Дубягін Олександр Борисович – кандидат технічних наук, доцент, м. Чернігів, Україна.

Dubyagin Alexander – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Chernihiv, Ukraine.

E-mail: aleksandrubbyagin@gmail.com

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9512-242X>

ResearcherID: G-9774-2014

Гур'єв Володимир Іванович – кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри кібербезпеки та математичного моделювання, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

Guryev Volodymyr – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Professor of Cybersecurity and Mathematical Modeling Department, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: guryev54@ukr.net

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9507-5408>

ResearcherID: G-9807-2016

Фірсова Ірина Валеріївна – старший викладач кафедри інформаційних та комп'ютерних систем, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

Firsova Irina – Senior Lecturer of Information and Computer Systems Department, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: I.firsova@ukr.net

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1126-1516>

ResearcherID: R-4243-2016

УДК 004.891

DOI: 10.25140/2411-5363-2020-2(20)-158-166

Марія Дорош, Іван Грек, Юлія Бугай

РОЗРОБКА МОДЕЛІ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО ДОБОРУ ПЕРСОНАЛУ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДІВ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

Актуальність теми дослідження. Питання підбору персоналу з використанням інформаційних систем набуває дедалі більшого поширення, особливо в сучасних умовах діджиталізації майже всіх процесів управління організацією. Це призводить до накопичення значних обсягів даних, які потребують нових підходів до їх зберігання та обробки. При цьому хмарні технології в цих процесах відіграють провідну роль, оскільки надають широкий спектр можливостей роботи з великими обсягами даних. З іншого боку, звичайні менеджери з персоналу не завжди готові до використання цих технологій, через недостатність компетенцій у галузі інформаційних технологій. Суттєвою допомогою для них можуть виступати розроблені системи автоматизованого підбору персоналу з використанням методів штучного інтелекту, що і зумовлює актуальність цього дослідження.

Постановка проблеми. Виникла нагальна потреба у створенні загальної моделі побудови системи автоматизованого підбору персоналу з використанням методів штучного інтелекту за допомогою хмарних сервісів, яка може бути основою для створення інформаційних систем управління персоналом організації.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Зазвичай завдання автоматизованого добору персоналу розглядають конкретні (часткові) або занадто абстрактні питання побудови такої системи. При такій постановці задачі неможливо створити комплексної методики розробки системи автоматизованого підбору персоналу з використанням методів штучного інтелекту.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Недостатньо визначеним питанням в поставленій проблемі залишається формування комплексного підходу до побудови системи автоматизованого підбору персоналу за допомогою хмарних сервісів та технологій, що може забезпечити їх ефективне використання при вирішенні різних завдань управління персоналом організації.

Постановка завдання. Розроблена модель призначена для вирішення актуальної задачі автоматизованого підбору персоналу з використанням методів штучного інтелекту за допомогою хмарних технологій. Цю модель також можна використовувати як шаблон для пришвидшення створення таких систем.

Виклад основного матеріалу. Згідно з функціональними вимогами розроблено модель системи автоматизованого підбору персоналу з використанням методів штучного інтелекту. Для реалізації поставленого завдання запропоновано покрокову методику створення моделі добору персоналу. Виконано порівняння хмарних технологій для вирішення поставленого завдання, визначені їхні переваги та недоліки. Побудована архітектура системи, яка може бути частиною загальної інформаційної системи управління персоналом організації.

Висновки відповідно до статті. Розроблену модель системи автоматизованого підбору персоналу з використанням методів штучного інтелекту можна використовувати як основу для подальшої розробки інформаційних систем управління персоналом організації.

Ключові слова: автоматизована система; штучний інтелект; персонал; менеджмент; хмарна технологія.

Рис.: 5. Табл.: 2. Бібл.: 10.

Актуальність теми дослідження. Останнім часом у менеджменті виявляється стійка тенденція, що полягає в зростанні інтересу до «бережливого» використання людських ресурсів [1]. Менеджери розуміють, що в сучасному та надконкурентному світі працівника цікавить не тільки його заробітна плата, а й супутні умови створені компанією для нього, такі як можливість подальшого професійного зростання, потреба в змаганнях, умови робочого місця, допомога у вирішенні позаробочих проблем працівника та інші. Усе це призводить до збільшення витрат на одного працівника, а отже, і на весь персонал.

Постановка проблеми. Добір персоналу сьогодні – це доволі трудомісткий і затратний процес як щодо грошей, так і в часі. Спеціаліст із добору персоналу кожен день стикається з умовами невизначеності, такі як зміни ринку, бюджету, прибутків, економічної ситуації та інші. Унаслідок чого виникає багато проблем, пов'язаних з ефективністю і якістю добору персоналу: нестача часових ресурсів, неякісний відбір кандидатів, низька продуктивність праці як наслідок застарілих методів і технологій [2]. Отже, питання розробки та впровадження нових методів і технологій добору персоналу є актуальним та потребує спеціальних досліджень. З іншого боку, наявність великої кількості оголошень на відомих сайтах із працевлаштування свідчить про значний обсяг інформації, обробка якої є також складним завданням для менеджера з персоналу. Сучасні методи інтелектуальної обробки даних за підтримки інформаційних технологій можуть значно підвищити якість та швидкість добору персоналу з врахуванням великої кількості факторів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У теперішній час активно розроблюються системи автоматизованого підбору персоналу з використанням методів штучного інтелекту [3–6]. Систем для вирішення завдань добору персоналу не вистачає, а ті, що наявні на ринку, мають суттєві обмеження.

Аналіз останніх досліджень показав, що питання створення та застосування систем автоматизованого добору персоналу є дуже актуальним [3-7].

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Попри численні дослідження та розроблені системи в напрямі добору персоналу, досі не запропоновано комплексної методики побудови системи автоматизованого добору персоналу з використанням методів штучного інтелекту.

Метою дослідження є розробка моделі системи автоматизованого добору персоналу з використанням методів штучного інтелекту.

Для цього треба вирішити такі **завдання**:

1. Постановка завдання.
2. Вибір моделі реалізації хмарного середовища.
3. Вибір моделі обслуговування хмарного середовища.
4. Вибір хмарної платформи (можливо обґрунтування вибору за допомогою нечіткої логіки).
5. Визначення моделі та методів інтелектуальної обробки даних для добору персоналу.

Виклад основного матеріалу. А. Я. Кибанов під добором персоналу розуміє раціональний розподіл працівників організації за структурними підрозділами, ділянок, робочих місць відповідно до прийнятої в організації системою поділу й кооперації праці, з одного боку, і здібностями, психофізіологічними і діловими якостями працівників, що відповідають вимогам змісту виконуваної роботи, – з іншого [7, с. 160].

Наявність великої кількості факторів відбору зумовлює, необхідність автоматизації процесу добору персоналу.

Найбільш сучасним рішенням є використання хмарних технологій. Хмарна технологія – це парадигма, що передбачає віддалену обробку та зберігання даних. Ця технологія надає користувачам мережі Інтернет доступ до комп'ютерних ресурсів сервера і використання програмного забезпечення як онлайн-сервісу [8]. В останні 10-15 років хмарні обчислювальні сервіси перетворились на ефективні засоби для здійснення досліджень у галузі інноваційних технологій, особливо штучного інтелекту. Хмарні технології отримали таке широке розповсюдження, бо вони дозволяють працювати з інформацією, використовуючи широкий спектр девайсів (ПК, ноутбук, планшет, мобільні телефони), наявність великої кількості готових продуктів та їх висока швидкодія завдяки використанню розподілених систем для здійснення паралельних обчислень, можливість їх легкої інтеграції з вебсистемами та програмними продуктами.

Загальна модель системи автоматизованого добору персоналу з використанням методів штучного інтелекту представлена на рис. 1-2.

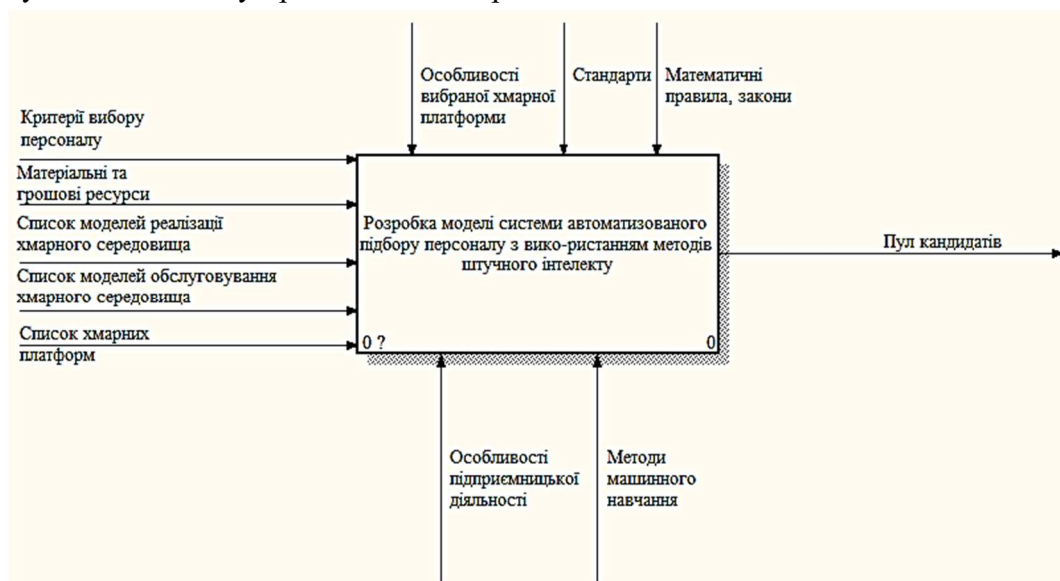


Рис. 1. Контекстна діаграма системи автоматизованого підбору персоналу

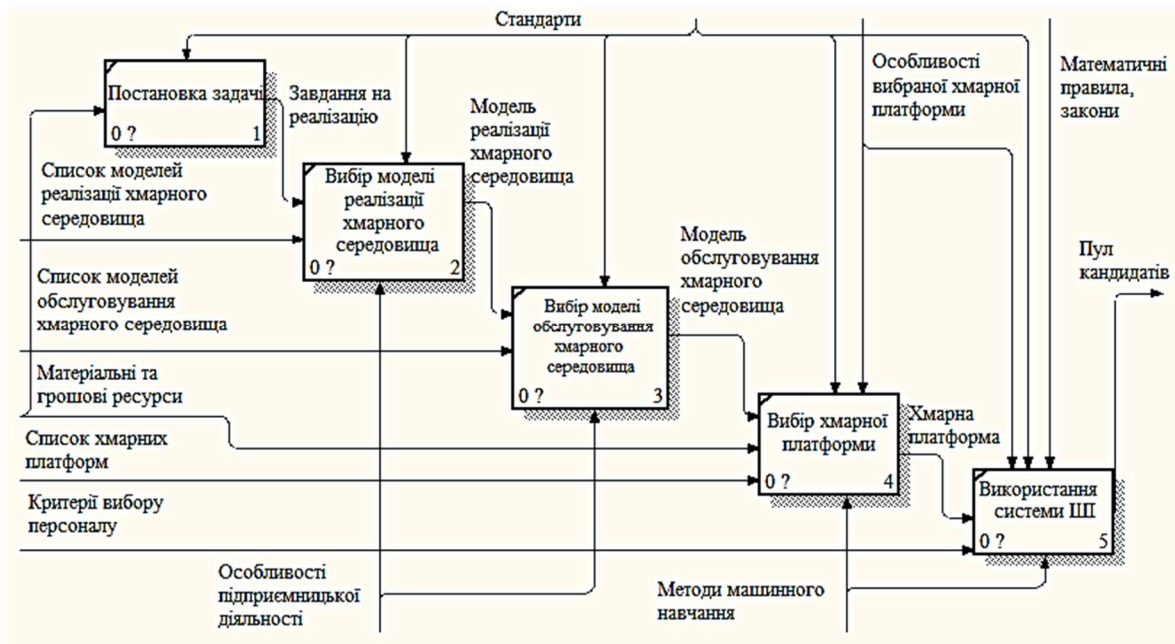


Рис. 2. Діаграма декомпозиції системи автоматизованого підбору персоналу

Завдання алгоритму автоматизованого підбору персоналу полягає в знаходженні найбільш підходящого пулу кандидатів за заданими критеріями у вигляді звіту, з яких рекрутер зможе вибрати потрібного для нього працівника.

Вибір моделі реалізації хмарного середовища.

Першим етапом створення системи є вибір моделі реалізації (в деякій літературі трапляється термін моделі розгортання). У межах підбору персоналу розрізняють чотири основні види:

1. Приватна хмара (*Private cloud*).
2. Громадська хмара (*Community cloud*).
3. Публічна хмара (*Public cloud*).
4. Гібридна хмара (*Hybrid cloud*).

Приватна хмара (*Private cloud*) – це хмарна інфраструктура, що призначена для використання лише однією організацією. Зазвичай така модель реалізації характерна для інформаційних систем, що створені і використовуються для внутрішніх потреб компанії. Наприклад, якщо фірма створила унікальний алгоритм підбору персоналу і хоче скористатись ним, як суттєвою конкурентною перевагою.

Громадська хмара (*Community cloud*) – це хмарна інфраструктура, що призначена для використання деякою конкретною спільнотою, об'єднанням. Зазвичай таку модель використовують компанії, що мають спільні цілі. Наприклад, створення ІТ-кластером інформаційної системи добору персоналу та її використання лише кластером, для збільшення конкурентної спроможності цілої організації.

Публічна хмара (*Public cloud*) – це хмарна інфраструктура, яка призначена для вільного використання широким загалом. Зазвичай таку модель використовують компанії, що продають свою послугу іншим.

Гібридна хмара (*Hybrid cloud*) – це хмарна інфраструктура, що являє собою комбінацію двох або більше хмарних інфраструктур.

Вибір моделі реалізації хмарного середовища залежить від конкретної компанії, розробника, отже, вищезгадані моделі є узагальненим підходом до реалізації хмарного середовища.

Вибір моделі обслуговування хмарного середовища.

Другим етапом є вибір моделі обслуговування (в деяких джерелах – інфраструктурна архітектура організації). У межах добору персоналу використовуються наступні моделі:

1. Програмне забезпечення як послуга (SaaS) – споживачу надаються програмні засоби – додатки, які виконуються на хмарній інфраструктурі [8, с. 160].

2. Платформа як послуга (PaaS) – являє собою модель, коли споживачеві надається можливість використання хмарної інфраструктури для розміщення базового програмного забезпечення з метою вирішення на ньому нових або існуючих прикладних задач [9, с. 207].

3. Інфраструктура як послуга (IaaS) – це модель використання хмарних обчислень, у межах якої хмарна інфраструктура використовується для самостійного управління та виконання будь-якого програмного забезпечення.

4. Робоче місце як послуга (WaaS) – це модель використання хмарних обчислень, у межах якої споживачу надається робочий простір, який повністю налаштований для успішного виконання його посадових обов'язків.

Як і при виборі моделі реалізації вибір моделі обслуговування залежить від індивідуальних особливостей того програмного продукту, який треба розробити.

Вибір хмарної платформи.

Є три варіанти реалізації автоматизованого підбору персоналу:

1. Створити власну інформаційну систему з нуля.
2. Купити готове рішення.
3. Створити рішення на основі існуючої хмарної платформи.

Кожен варіант має свої переваги та слабкі сторони. Найбільш ефективним з цих варіантів є третій спосіб, бо він є оптимальним з погляду грошових витрат, гнучкості створених рішень. Готові платформи мають потужне та гнучке API, що значно спрощує розробку.

За популярністю можна виділити три основні хмарні платформи: *Google Cloud Platform*, *Amazon Web Services (AWS)*, *Microsoft Azure*.

У цій статті ми наведемо кілька порівняльних характеристик (обчислення, аналітика, зберігання, мережа, ціноутворення), за допомогою яких можна зрозуміти, з якою платформою буде комфортніше і вигідніше працювати в майбутньому (табл. 1).

Таблиця 1

Порівняння хмарних платформ для виконання задач підбору персоналу

Критерії	Google Cloud Platform	Amazon Web Services (AWS)	Microsoft Azure
1	2	3	4
Комп'ютерні обчислення	сервіс Compute Engine для обробки обчислювальних процесів (4 сімейств примірників, 18 різних типів примірників; забезпечує як регіональне розміщення, так і вибір зони)	сервіс Elastic Compute Cloud (EC2), підсервіси, такі як AWS Elastic Beanstalk, Amazon EC2 Container Service (7 різних сімейств примірників і 38 типів примірників; одночасно пропонує і регіональну підтримку, і підтримку зони)	сервіси RemoteApp. Azure Virtual Machine (4 різних сімейства, 33 типу примірників, які можна розгорнути в різних регіонах; підтримка певної зони регіону поки не підтримується)
Аналітика	програмні середовища Cloud Vision API, Cloud Speech API, і Google Translate API мають множинні інтеграції в сторонні сервіси та додатки	окремий сервіс Quick Sight – надає собою легку у використанні бізнес-аналітику з готовими шаблонами і за вартістю в 10 разів дешевше, ніж традиційні BI-рішення	підсистема обробки аналітики Data Lake Analytics і машинне навчання в складі Cortana Intelligence Suite
Місце зберігання	має також досить надійні й потужні засоби зберігання	Simple Storage Service (S3) використовує об'єктно орієнтоване зберігання даних, а для архівації даних існує окремий сервіс Amazon Glacier	має досить надійні й потужні засоби зберігання

1	2	3	4
Мережа	має лише віртуальну мережу Cloud з підтримкою підмереж Public IP, власний брандмауер, і необхідні налаштування DNS	Virtual Private Cloud для створення VPN з налаштуванням підмережі, таблиці маршрутизації, приватних діапазонів IP-адрес і мережних шлюзів. Крім того, є сервіс Route 53 для реалізації вебслужби DNS	мережа (VNET) дозволяє встановити VPN, налаштувати публічний IP, підключити гібридну хмару, а також активувати міжмережвий екран і DNS
Ціноутворення	має схожу систему виставлення рахунків як і <i>Azure</i> , але з округленням використання ресурсів за період протягом 10 хвилин	моделі оплати: на вимогу: ви платите тільки за ресурси та послуги, які ви використовуєте; резервування: ви вибираєте потрібну кількість ресурсів, які ви хочете замовити авансом від 1 до трьох років і оплачуєте на основі використання; часткове резервування. Чим більше ресурсів використовуєш, тим менше вартість наданих послуг	більш гнучка система ціноутворення, оплата йде за користування хмарними ресурсами, з округленням по хвиликах. Існує можливість використовувати готові підписки MSDN з певною кількістю коштів на хмарні обчислення або з щомісячним виставленням рахунків

Кожна платформа пропонує ціновий калькулятор, який допомагає оцінити витрати. Щодо зручності, *Microsoft Azure* вийшов вперед, сервіс пропонує оцінити витрати не тільки за допомогою калькулятора на сайті, але у разі створення нових проєктів, безпосередньо в порталі управління.

Перевагою *Azure* стає впровадження функцій резервного копіювання та відновлення даних усередині хмарного сховища. Також одним із найважливіших рішень став підсервіс StorSimple – гібридне хмарне сховище для корпоративних клієнтів, яке дозволяє скоротити витрати до 60 %.

Одним із головних недоліків *Google Cloud Platform* є ціноутворення, воно менш гнучке в порівнянні з *AWS* і *Azure*.

Якщо вибирати лідера, то *AWS* і *Microsoft Azure* нині найбільш затребувані хмарні платформи (рис. 3). Але останнім часом проглядається стійкий інтерес до *Google Cloud* – близько 41% корпоративних клієнтів експериментують або планують використати цю платформу (рис. 3). У період з 2018 по 2019 роки спостерігається тренд на зменшення частки використання *AWS*, та приріст частки *Azure* і *Google Cloud* (рис. 4). Пропоновані обчислювальні потужності компаній перебувають практично на рівних позиціях, список пропонованих сервісів також постійно зростає.

Вибір моделі та методів інтелектуальної обробки даних для підбору персоналу.

Загальна схема інтелектуальної обробки даних:

1. Отримання та обробка первинних даних.
2. Інтелектуальна обробка даних.
3. Формування звіту.

На першому етапі формуються первинні дані. Вони отримуються з різних *job*-сайтів, *e-mail* повідомлень, файлів *doc* чи *pdf*, з будь-яких неструктурованих текстів (наприклад із соціальних мереж, месенджерів). Отримавши дані їх треба обробити, позбутись від «сміттєвих» значень та тих, що не потрапляють під задані параметри. У результаті отримуються «чисті» дані, які повністю готові для подальшого використання.

На другому етапі використовуються засоби *Machine Learning* для отримання результату підбору персоналу. Часто використовуються такі методи: кластерний аналіз (*K-means*), дерева рішення, нейронні мережі, лінійна регресія. Після роботи цих алгоритмів буде сформовано пул результатів розміщених у порядку від найбільш підходящого до найменш підходящого.



Рис. 3. Використання хмарних технологій корпоративними клієнтами
Джерело: [10, с. 34].



Рис. 4. Зростання використання хмарних технологій в світі за даними опитування представників підприємств в 2018 і 2019 роках
Джерело: [10, с. 34].

На третьому етапі результати другого етапу будуть виведені в зручному для рекрутера вигляді.

Загальна архітектура системи представлена на рис. 5.

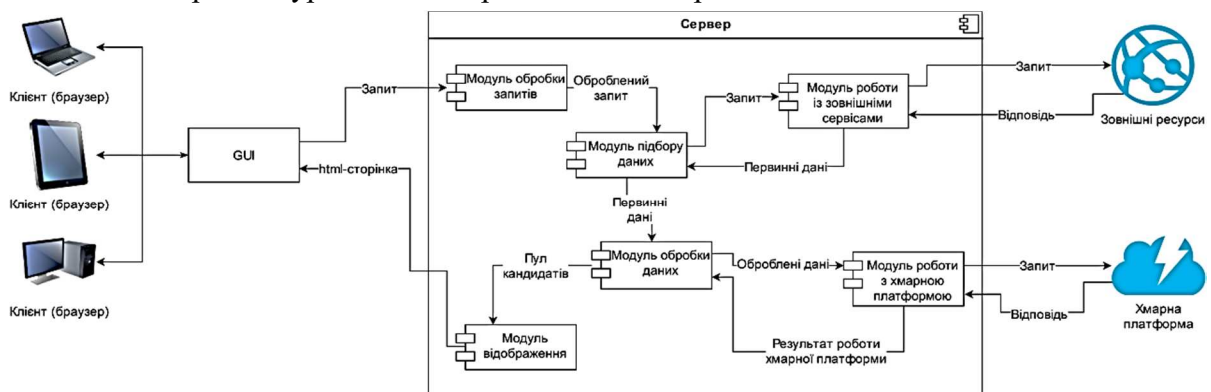


Рис. 5. Загальна архітектура системи

Оскільки запропонований алгоритм ґрунтується на хмарних сервісах, для врахування ризиків проаналізовані та визначені загальні принципи хмарних технологій та сервісів. Хмарна технологія, як і будь-яка технологія, має свої переваги і недоліки (табл. 2).

Переваги й недоліки хмарних технологій

Переваги	Недоліки
Можливість роботи з будь-якого девайсу	Необхідне постійне та стабільне з'єднання з Інтернетом
Можливість налаштувати приватність інформації	Недовіра до сторонніх провайдерів
Економія коштів та часу	Ризик хакерських атак
Зберігання даних на сервері	
Наявність великої кількості готових рішень	
Легка інтеграція	

Висновки відповідно до статті. Представлена модель розробки автоматизованої системи добору персоналу за допомогою хмарних сервісів може використовуватися для вирішення завдань створення інформаційних систем управління персоналом організації.

Практична цінність роботи також полягає в тому, що отримані в результаті аналізу хмарних технологій та сервісів дані, можуть бути використані для подальшого поглибленого вивчення таких систем, визначення ринкових тенденцій пріоритетних технологій розвитку. А також вибору оптимального рішення від кращого постачальника відповідно до вимог клієнта до безпеки, самих послуг та наявних у нього ресурсів.

Список використаних джерел

1. Чуланова, О. Л. Современные технологии консультирования в области управления персоналом. *Научные труды Вольного экономического общества России*. 2008. Т. 91. С. 262–271.
2. Чуланова О. Л., Квиндт О. В. Система подбора кадров управления на основе компетентностного подхода (региональный опыт). *Управление персоналом и интеллектуальными ресурсами в России*. 2012. № 3. С. 29–33.
3. Насейкина Л. Ф. Автоматизация подбора персонала IT-отдела. *Вестник ОГУ*. 2014. № 9 (170). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/avtomatizatsiya-podbora-personala-it-otdela>.
4. Зинченко А. А. Применение нейросетевых моделей для принятия решений о подборе персонала. *Вестник российских университетов. Математика*. 2015. № 2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-neyrosetevyh-modeley-dlya-prinyatiya-resheniy-o-podbore-personala>.
5. Тагиров В. К., Тагирова Л. Ф., Студяникова М. А., Преснов А. А. Система поддержки принятия решений в задачах подбора персонала сферы информационных технологий с элементами искусственного интеллекта. *Вестник УГНТУ. Наука, образование, экономика. Серия: Экономика*. 2018. № 4 (26). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sistema-podderzhki-prinyatiya-resheniy-v-zadachah-podbora-personala-sfery-informatsionnyh-tehnologiy-s-elementami-iskusstvennogo>.
6. Знахур С. В., Знахур Л. В. Особливості реалізації інтелектуальної системи для аналізу економічного потенціалу підприємств регіону на базі Azure Machine Learning. *Системи обробки інформації*. 2017. Вип. 2. С. 174-179. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/soi_2017_2_34.
7. Кибанов А. Я. Основы управления персоналом : учебник / Государственный Университет Управления. 2-е изд., Москва : ИНФРА-М, 2007. 447 с.
8. Хмарні технології в освіті. Навчально-методичний посібник для студентів фізико-математичного факультету. Житомир : Вид-во ЖДУ, 2016. 72 с
9. Романова Ю. Д. Современные информационно-коммуникационные технологии для успешного ведения бизнеса : учебник. Москва : НИЦ ИНФРА-М, 2014. 279 с.
10. RightScale 2019 STATE OF THE CLOUD REPORT. *Flexera*. 2019. URL: <https://info.flexera.com/SLO-CM-WP-State-of-the-Cloud-2019>.

References

1. Chulanova, O. L. (2008). Sovremennye tehnologii konsultirovaniia v oblasti upravleniia personalom [Modern consulting technologies in the field of personnel management]. *Nauchnyie trudyi Volnogo ekonomicheskogo obschestva Rossii – Scientific works of the Free Economic Society of Russia*, 91, 262–271. Surgut [in Russian].

2. Chulanova, O. L., & Kvindt O.V. (2012). Sistema podbora kadrov upravleniia na osnove kompetentnostnogo podkhoda (regionalnyi opyt) [Management personnel selection system based on a competency-based approach (regional experience)]. *Upravlenie personalom i intellektualnyimi resursami v Rossii – Human Resources and Intellectual Resources Management in Russia*, 3, 29–33 [in Russian].

3. Naseykina, L. F. (2014). Avtomatizatsiia podbora personala IT-otdela [Automation of recruitment of IT-department]. *Vestnik OGU – Bulletin of OSU*, 9, 170. Retrieved from <https://cyberleninka.ru/article/n/avtomatizatsiya-podbora-personala-it-otdela>.

4. Zinchenko, A. A. (2015). Primenenie neirosetevykh modelei dlia priniatiia reshenii o podbore personala [Application of neural network models for decision-making on personnel selection]. *Vestnyk rossiyskikh unyversitetov. Matematika – Vestnik of Russian universities. Series: Mathematics*, 2. Retrieved from <https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-neyrosetevykh-modeley-dlya-prinyatiya-resheniy-o-podbore-personala>.

5. Tagirov, V. K., Tagirova, L. F., Studyannikova, M. A., Presnov, A. A. (2018). Sistema podderzhki prinyatiia reshenii v zadachakh podbora personala sfery informatsionnykh tehnologii s elementami iskusstvennogo intellekta [Decision support system for the tasks of recruiting information technology personnel with elements of artificial intelligence]. *Vestnik UHNTU. Nauka, obrazovanie, ekonomika. Seriya: Ekonomika – Vestnik UGNTU, Science, education, economics. Series: Economics*, 4(26). Retrieved from <https://cyberleninka.ru/article/n/sistema-podderzhki-prinyatiya-resheniy-v-zadachah-podbora-personala-sfery-informatsionnykh-tehnologiy-s-elementami-iskusstvennogo>.

6. Znahur, S. V., Znahur, L. V. (2017). Osoblivosti realizatsiyi intelektualnoyi sistemi dlya analizu ekonomichnogo potentsialu pidpriemstv regionu na bazI Azure Machine Learning [Features of realization of intelligent system for the analysis of economic potential of the enterprises of the region on the basis of Azure Machine Learning]. *Systemy obrobky informatsii – Information processing systems*, 2, 174-179. Retrieved from http://nbuv.gov.ua/UJRN/soi_2017_2_34.

7. Kibanov, A. Ya. (2007). Osnovy upravleniya personalom [HR Management Fundamentals]. (2nd ed.). Vladivostok: State University of Management [in Russian].

8. *Khmarni tehnologii v osviti. Navchalno-metodychni posibnyk dlia studentiv fizyko-matematichnoho fakultetu [Cloud technologies in education. Educational and methodical manual for students of the Faculty of Physics and Mathematics]*. (2016). Zhytomyr: Vyd-vo ZhDU [in Ukrainian].

9. Romanova, Yu. D. (2014). *Sovremennyye informatsionno-kommunikatsionnyie tehnologii dlya uspeshnogo vedeniya biznesa [Modern information and communication technologies for successful business]*. Moscow: NITs INFRA-M [in Russian].

10. RightScale. (2019). STATE OF THE CLOUD REPORT. *Flexera*. Retrieved from <https://info.flexera.com/SLO-CM-WP-State-of-the-Cloud-2019>.

UDC 004.891

Mariia Dorosh, Ivan Hrek, Yuliia Buhai

DEVELOPMENT OF A MODEL OF AUTOMATED PERSONNEL SELECTION SYSTEM USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE METHODS

Relevance of the research. The issue of recruitment using information systems is becoming more common, especially in today's digitalization of almost all management processes of the organization. This leads to the accumulation of significant amounts of data that require new approaches to their storage and processing. At the same time, cloud technologies play a leading role in these processes, as they provide a wide range of opportunities to work with large amounts of data. On the other hand, ordinary HR managers are not always ready to use these technologies, due to lack of competence in the field of information technology. The developed systems of automated personnel selection with the use of artificial intelligence methods can be of significant help to them, which determines the relevance of this study.

Target setting. There is an urgent need to create a general model for building an automated recruitment system using artificial intelligence methods using cloud services, which can be the basis for creating information management systems for HR management.

Actual scientific researches and issues analysis. Usually the tasks of automated personnel selection consider specific (partial) or too abstract issues of building such a system. At such statement of a problem it is impossible to create a complex technique of development of system of the automated selection of the personnel with use of methods of artificial intelligence.

Uninvestigated parts of general matters defining. The formation of a comprehensive approach to building a system of automated recruitment using cloud services and technologies that can ensure their effective use in solving various problems of personnel management of the organization is insufficiently defined in this problem.

The research objective. The developed model is intended for the decision of an actual problem of the automated selection of the personnel with use of methods of artificial intelligence by means of cloud technologies. This model can also be used as a template to accelerate the creation of such systems.

The statement of basic materials. According to the functional requirements, a model of an automated personnel selection system using artificial intelligence methods has been developed. To implement this task, a step-by-step method of creating a model of personnel selection is proposed. A comparison of cloud technologies to solve the problem, their advantages and disadvantages was conducted. The architecture of the system is built, which can be a part of the general information system of personnel management of the organization.

Conclusions. The developed model of the system of the automated selection of the personnel with use of methods of artificial intelligence can be used as a basis for the further development of information systems of management of the personnel of the organization.

Keywords: automated system, artificial intelligence, personnel, management, cloud technology.

Fig.: 3. Table: 2. References: 10.

Дорош Марія Сергіївна – доктор технічних наук, професор кафедри інформаційних технологій та програмної інженерії, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

Dorosh Mariia – Doctor of Technical Sciences, Professor of Information Technologies and Software Engineering Department, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: mariyaya5536@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6537-9857>

Scopus Author ID: 56912183600

ResearcherID: AAF-2603-2019

Грек Іван Олександрович – здобувач вищої освіти, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

Hrek Ivan – Applicant for higher education, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: mnops19@gmail.com

Бугай Юлія Володимирівна – здобувачка вищої освіти кафедри інформаційних технологій та програмної інженерії, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

Buhai Yuliia – Applicant for higher education, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: juliabuhay2@gmail.com

Юлия Бабич, Николай Бабич, Елена Павлышко, Виктория Наконечная

ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕТЕРМИНИРОВАННЫХ РЕГУЛЯРНЫХ ВЫРАЖЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СТРУКТУРЫ ДАННЫХ XML-ТИПА

Актуальность темы исследования. В данной статье проведён глубокий анализ большого набора данных с помощью поисковых систем и хостинговых платформ. Используются четыре стратегии сбора данных: анализ поисковой системы Google, сканирование адресного пути, анализ веб-сайтов, поиск потенциальных данных для получения большего количества файлов-схем из сети Интернет. Получил дальнейшее практическое исследование набор данных для изучения детерминированных регулярных выражений.

Постановка проблемы. Современные языки описания структур данных XML-типа требуют применение детерминированных регулярных выражений, позволяющих считать строки посимвольно. Поэтому исследование данных выражений позволит ускорить процесс обработки данных и получить более точный результат.

Анализ последних исследований и публикаций. Проведённый анализ современных литературных источников и публикаций на данную тематику показал, что большинство из них используют небольшие объёмы данных, что является недостаточным для проведения эффективного анализа.

Выделение неисследованных частей общей проблемы. Для эффективного анализа данных из сети Интернет был использован большой набор данных и четыре стратегии его сбора и анализа.

Целью написания данной статьи является исследование детерминированных регулярных выражений, которые всё чаще применяются в структурах данных XML-типа.

Изложение основного материала. Разработка четырёх стратегий сбора данных в сети Интернет дала возможность получить больше XML-схем, что в 35 раз больше, чем в ранее проведённых исследованиях. Применение детерминированных регулярных выражений в целом и их подклассов для анализа больших наборов данных.

Выводы в соответствии со статьей. Впервые применены детерминированные регулярные выражения с использованием структуры данных XML-типа. Получен большой объём данных – 276371 файлов с помощью четырёх стратегий их сбора.

Ключевые слова: набор данных; регулярные выражения; детерминированные регулярные выражения; XML-тип.

Рис.: 4. Табл.: 3. Библ.: 10.

Актуальность темы исследования. Анализ больших наборов данных в современном мире требует применения новых стратегий их сбора. Использование регулярных выражений (РВ), которые являются фундаментальными в языках программирования, поисковых системах, утилитах обработки текста, запросах в базах данных и т. д. [1], оказалось недостаточным для больших объёмов данных, поэтому проведено исследование детерминированных регулярных выражений (ДРВ).

Постановка проблемы. В настоящее время язык разметки XML широко использует ДРВ для обмена данными в сети. Структуры данных XML определяются схемами, которые обеспечивают множество удобств и преимуществ для различных процессов, таких как обработка и автоматическая интеграция данных, статический анализ трансформаций и др. Среди популярных языков описания структуры XML-документа выделяют DTD и XSD, которые рекомендованы Консорциумом World Wide Web (W3C) [1]. Одним из основных требований к моделям контента с использованием данных языков разметки является применение ДРВ, которые могут считывать входную строку посимвольно слева направо, не возвращаясь назад. Одним из непосредственных преимуществ использования таких выражений является эффективный синтаксический анализ.

Анализ последних исследований и публикаций. Проводимые ранее исследования использовали порядка 100 XSD/DTD схем [2], что является недостаточным для проведения анализа больших наборов данных. В нашем исследовании все данные получены из репозитория РВ RegExLib, языка Relax NG, XSD и DTD [3] – это основной репозиторий РВ, доступный в Интернете, который содержит несколько видов выражений для соответствия URI, коду разметки, фрагментам кода Java, SQL-запросам, спаму и т. д. Другое направление исследований в данной сфере применяет популярную схему языка XML – это язык Regular Language для XML следующего поколения. Спецификация W3C требует, чтобы содержимое модели DTD и XSD было ДРВ, в то время как в языке Relax NG и RegExLib нет ограничений детерминизма. Поскольку и XSD, и RegExLib поддерживают такой вид оператора, как «счётчик», они и будут использованы в качестве примеров для изучения практического применения ДРВ в дальнейших исследованиях.

Выделение неисследованных частей общей проблемы. Для сбора данных были использованы четыре стратегии:

- анализ поисковой системы Google. Для поиска URL-адресов с помощью поисковой системы необходимы текстовые файлы XML-схем. Использовались API поисковой системы Google для получения ресурсов, файловых инструкций и сайтов с URL-адресами DTD, XSD и Relax NG. Во время эксперимента сохранялись URL-адреса XSD, DTD, Relax NG в соответствующих документах и одновременно удалялись повторяющиеся URL-адреса. При загрузке файла схемы была создана иерархия папок в соответствии с URL-каталогом, и каждая из папок сохранена локально. Преимущество данной стратегии заключается в том, что, когда файл схемы XML ошибочен или неоднозначен, то можно отследить его URL в сети Интернет в соответствии с сохраненным каталогом и проверить его. Этот принцип также используется в следующих трех стратегиях;

- сканирование адресного пути. Например, задан начальный URL-адрес: <http://52north.org/schema/users/1.0/users.xsd>, будет выполнен обход 52north.org, 52north.org/schema, 52north.org/schema/users и 52north.org/schema/users/1.0. Данная стратегия определения пути очень эффективна в поиске изолированных ресурсов или источников, для которых невозможно найти ссылку при регулярном обходе;

- анализ веб-сайтов. В качестве примера рассмотрим источник <http://repo1.maven.org> (Maven2), в котором некоторые URL-адреса скрыты в JAR/ZIP-файлах и поэтому не могут быть найдены через поисковые системы. Данные файлы загружаются как архивы JAR и ZIP, а затем извлекаются локально. Далее производится фильтрация файлов других типов, при этом сохраняются только XSD, DTD и Relax NG;

- поиск потенциальных данных для получения большего количества файлов-схем из сети Интернет. У каждого сайта могут быть разные файлы схем, например, Relax NG имеет и XSD, и DTD схемы, поэтому был проведён перекрёстный поиск. Этот метод доказал свою эффективность в нашем исследовании, поскольку предоставляет доступ к большому количеству URL-адресов и файлам схем.

Целью написания данной статьи является исследование ДРВ, которые всё чаще применяются в больших наборах данных и структурах данных XML-типа.

Изложение основного материала. В последние годы Консорциум всемирной паутины W3C требует, чтобы содержимое языков схем было в виде ДРВ. Проведя эксперимент с использованием четырёх стратегий, было получено 276371 файлов данных, из которых 124326 – DTD, 134816 – XSD, 13946 – Relax NG и 3950 – выражения RegExLib, что в 35 раз больше, чем в ранее проведенных исследованиях. Такой объём данных для изучения ДРВ имеет большое практическое значение, поскольку отображает реальную картину использования крупномасштабных случайных схем. В результате исследования, обнаружено, что более 98 % РВ в Relax NG и более 56 % в RegExLib являются детерминированными. Эти цифры указывают на то, что именно ДРВ имеют практическое применение.

Поскольку на практике большинство моделей контента, используемых в DTD и XSD, состоят из ограниченных подклассов ДРВ, поэтому исследования сосредоточены на изучении именно этих подклассов и их применении [3].

Чтобы определить, является ли стандартное РВ детерминированным, был применён временной алгоритм $O(|\sum E||E|)$, где $|\sum E|$ – множество различных символов в E [1,3]. Для

РВ со счётчиком временной алгоритм – это выражение $O(|\sum E||E|)$. Chen и Lu [2] исследовали алгоритмы, проверяли детерминизм входного стандарта РВ и выполняли проверку, если выражение не являлось детерминированным, то использовали временной алгоритм $O(|\sum E||E|)$ со счётчиком [3]. Учёный Peng и др. [4] предложили временной алгоритм $O(|\sum E||E|)$ для проверки ДРВ с чередованием. Groz и Maneth [4] впервые предложили $O(|E|)$ временной алгоритм для проверки стандартных ДРВ и ДРВ со счётчиком.

Пусть Σ алфавит символов (элементов). Множество всех конечных слов в Σ обозначим через Σ^* . Пустое слово обозначается через ε . Стандарт РВ в Σ определяется как: ϕ , ε или $a \in \Sigma$ – РВ, объединение $E_1|E_2$ конкатенация E_1E_2 или E_1^* является РВ для РВ E_1 и E_2 . N обозначим множество $\{0,1,2,\dots\}$. Через РВ со счётчиком и чередованием отличается от стандартных РВ использованием численного оператора итерации $E^{[m,n]}$ и оператора чередования $E_1 \& E_2$. Оценочные m и n удовлетворяют следующим условиям: $m \in N$, $n \in N \setminus \{0\} \cup \{\infty\}$ и $m \leq n$. Для обозначения множества строк, полученных из s_1 и s_2 всеми возможными способами, используем $s_1 \& s_2$. Для $s_1, s_2 \in \Sigma^*$ и $a, b \in \Sigma$, $s_1 \& \varepsilon = \varepsilon \& s_1 = \{s\}$ and $as_1 \& bs_2 = \{a(s_1 \& bs_2)\} \cup \{b(as_1 \& s_2)\}$.

В РВ каждый символ индексируется, для того, чтобы он встречался только один раз. Например, $(a_1 + b_1)^* a_2$ является маркировкой выражения $(a + b)^* a$. Маркировка E обозначается \bar{E} . Эти же обозначения будут использоваться для удаления индексов указанных символов: $\bar{\bar{E}} = E$. Из контекста будет ясно, добавляются или уменьшаются индексы [5]. Выражение E является детерминированным, тогда и только тогда, когда для всех слов $ixv, iuw \in L(\bar{E})$, где $|x| = |y| = 1$, если $x \neq y$, то $\bar{x} \neq \bar{y}$.

Детерминизм требует, чтобы позиция сопоставления была уникальной при сопоставлении предложений с РВ. Например, $a(a)^*$ является детерминированным, тогда как $(a)^*a$ – нет, хотя указанные символы эквивалентны. Для $a_2 \in L((a)^*a)$ и $a_1a_2 \in L((a)^*a)$ предположим $u = \varepsilon$, $x = a$, $y = a$, $v = \varepsilon$, $w = a$, следовательно, получаем $x = y = a$, но $\bar{x}(a_2) \neq \bar{y}(a_1)$, поэтому $(a)^*a$ не является ДРВ.

Далее следуют некоторые подклассы ДРВ, которые часто используются на практике:

- SORE (однократное РВ). Пусть Σ – алфавит. SORE является стандартным РВ над Σ , в котором каждый конечный символ встречается не более одного раза. Например, $(a^*b^{[0,2]})^+$ является однократным РВ, а выражение $(a^*b^{[0,2]}a^*)^+$ – нет, хотя указанные символы эквивалентны.

- Simplified CHARE является однократным РВ над Σ формы $f_1 \dots f_n$, где $n \geq 1$. Фактор f_i является выражением вида $(a_1 + \dots + a_m)$, $(a_1 + \dots + a_m)^\dagger$, $(a_1 + \dots + a_m)^*$, $(a_1 + \dots + a_m)^+$, где $m \geq 1$ и $a_i \in \Sigma$.

- eSimplified CHARE является SORE над Σ вида $f_1 \dots f_n$, где $n \geq 1$. Фактор f_i – это выражение $(b_1 + \dots + b_m)$, $(b_1 + \dots + b_m)^\dagger$, $(b_1 + \dots + b_m)^*$, $(b_1 + \dots + b_m)^+$, где $m \geq 1$ и b_i является a_i или a_i^+ , где $a_i \in \Sigma$.

Модель контента XSD поддерживает ограниченную форму чередования, в то время как Relax NG – неограниченную. Для анализа детерминизма Relax NG нужны инструменты, которые могут определять детерминизм неограниченного чередования. В конкретном случае изучен детерминизм РВ, генерируемый схемами REs из RegExLib, результаты представлены на рис. 1.

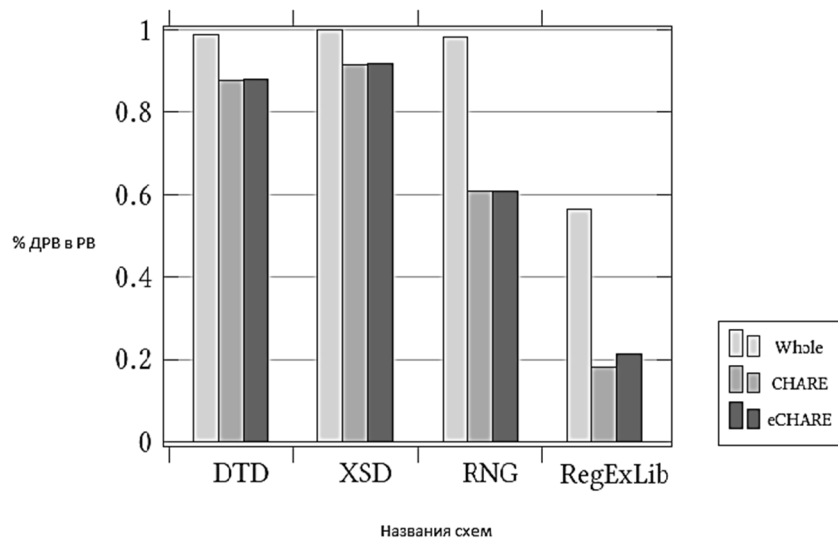


Рис. 1. Процент детерминированных регулярных выражений

Таким образом, исходя из полученных результатов, можно сказать, что ДРВ очень часто используются на практике.

На практике многие DTD и XSD содержат подклассы ДРВ, поэтому проведено их исследование. Существующие подклассы ДРВ определены на стандартных РВ, то есть SORE [4], Simplified CHARE [3], eSimplified CHARE [4]. Последние два являются подклассами SORE. Также включены три новых подкласса: SOREwCorI, SOREwC, SOREwI.

Исследования показывают, что используемые подклассы ДРВ имеют следующие слабые стороны:

- отсутствуют эксперименты по крупномасштабным реальным данным;
- нет подкласса ДРВ, который принадлежит неSORE, хотя в экспериментах с SORE данные подклассы занимают высокий процент;
- существующие подклассы ДРВ, определены на стандартных РВ, без учёта и/или чередования.

Из этого следует, что текущие исследования по подклассам ДРВ всё ещё находятся на начальной стадии и необходимо дальнейшее их изучение.

Для этого используем алфавит Σ и высоту звезды РВ над ним [4] – $h(E)$, она представляет собой неотрицательное целое число, определенное рекурсивно следующим образом:

1. $h(E) = 0$, if $E \neq \emptyset$ or a for $a \in \Sigma$.
2. $h(E) = \max\{h(E_1), h(E_2)\}$, if $E = (E_1 + E_2)$ or $E = (E_1 \cdot E_2)$ or $E = (E_1 E_2)$ where E_1, E_2 является РВ в Σ .
3. $h(E) = h(E_1) + 1$, if $E = (E_1)^*$ and E_1 является РВ в Σ .

Результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1

Высота звезды в DTD, XSD и RING

Высота звезды	DTDs (%)	XSDs (%)	RNGs (%)
0	26,56	65,27	66,42
1	71,72	34,11	32,86
2	1,69	0,57	0,72
3	0,03	0,05	0

Глубина вложения РВ в алфавит Σ , обозначена $ND(E)$ и представляет собой отрицательное целое число, рекурсивно определяемое следующим образом:

- $ND(E) = 0$ if $E \neq \emptyset$ or a for $a \in \Sigma$;

$ND(E) = \max\{ND(E_1), ND(E_2)\}$, if $E = (E_1 + E_2)$, $E = (E_1 \& E_2)$ or $E = (E_1 E_2)$,

- where E_1, E_2 are PB are Σ

- $ND(E) = ND(E_1) + 1$, if $E = (E_1)^*$, $E = (E_1)^?$ or $E = (E_1)^{[m,n]}$ for E_1 is a PB over Σ .

Результаты представлены в таблице 2.

Таблица 2

Глубина вложения в DTD, XSD и RNG

Глубина вложения	DTDs (%)	XSDs (%)	RNGs (%)
0	94,58	99,24	91,31
1	4,60	0,73	8,45
2	0,58	0,02	0,09
3	0,24	0,01	0,15

Определим плотность схемы, как число элементов, встречающихся в правой части его правил, разделенных на количество элементов.

$$d = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |A_i|,$$

где N – общее количество определений элементов, встречающихся в схеме, A_i – строка в правой части правила, а $|A_i|$ обозначает размер A_i . Файлы XML-схемы с большим значением плотности имеют более высокую сложность. Эксперимент показал, что средняя плотность Relax NG, XSD и DTD составляет 1,8689, 1,3476 и 10002 соответственно. На рис. 2, показана плотность трех видов XML-схем.

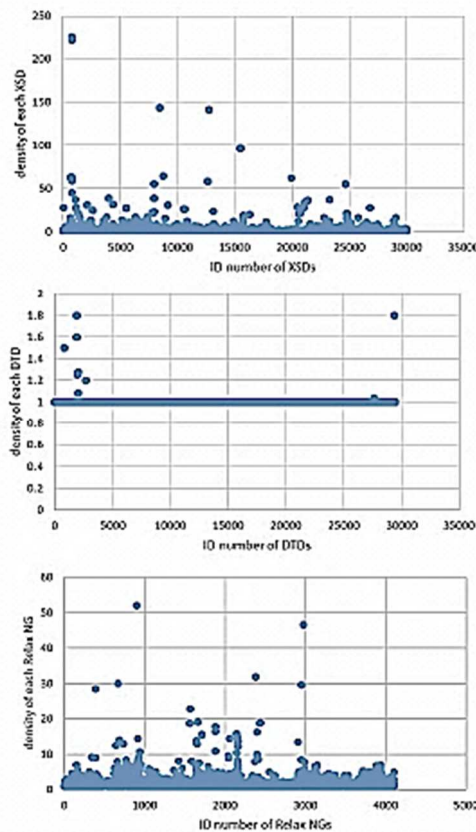


Рис. 2. Плотность схем XSD, DTD и Relax NG

Эксперимент показал, что XSD является наиболее часто используемой схемой для определения XML (рис. 3).

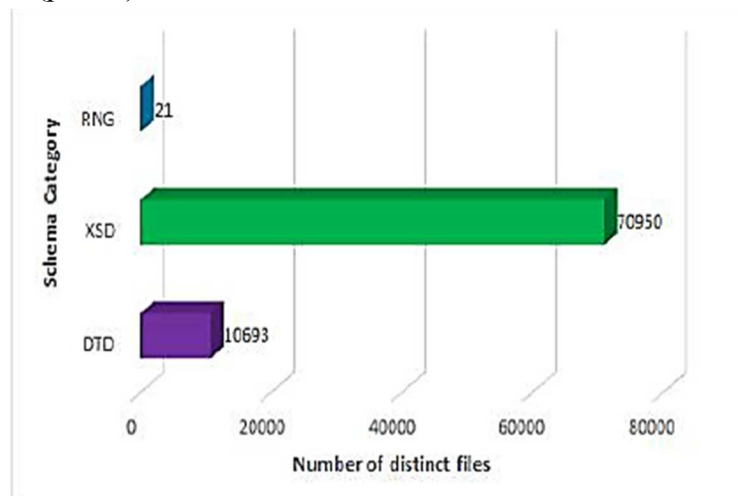


Рис. 3. Частота использования схем при извлечении файлов из сети Интернет

После построения схемы сети было выбрано 42 файла, которые имеют явно более высокие значения SchemaRank, чем другие схемы, и сосредоточились на 39 880 РВ, проанализированных из этих файлов схемы. Все эти выражения являются ДРВ, что подтверждает их частоту применения. Проанализировано, к каким подклассам принадлежат ДРВ, изучено три основных – SORE, Simplified CHARE и eSimplified CHARE, представленных на рис. 4.

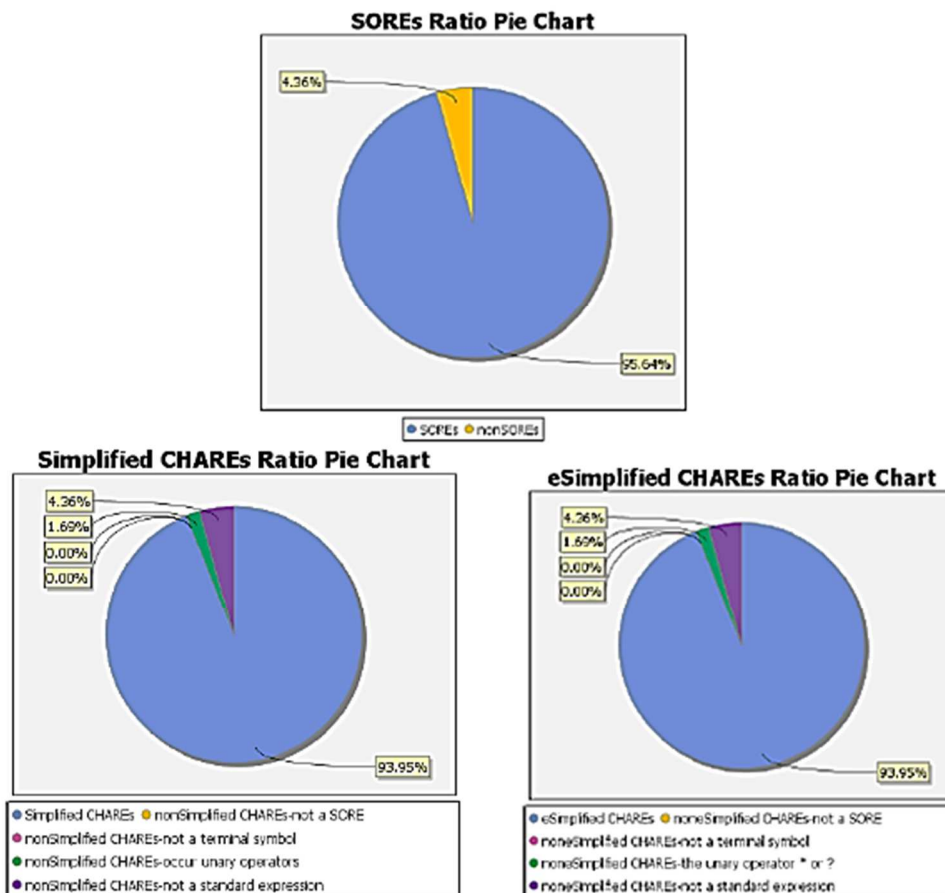


Рис. 4. Процент подклассов ДРВ на подмножестве XSD

Результаты показывают, что для применения на практике необходимо определить новый подкласс.

Иногда встречаются случаи, когда XML-схема была неправильно сформирована. Согласно [6], только 24,8 % XML в Интернете содержат ссылку на DTD или XSD, из которых только одна треть является действительной. SchemaRank в таких случаях помогает, если используется элемент или атрибут, который не определен в схеме. Для этого необходимо нормализовать ДРВ в наборе данных [7,8], заменив символы в порядке слева направо символами $a_1, a_2, a_3 \dots a_n$. В результате выражения с одинаковыми или похожими структурами могут быть объединены для получения более компактного набора данных [9, 10], как показано в таблице 3. Этот нормализованный набор данных ДРВ будет полезен в приложениях и сам по себе имеет ценность.

Таблица 3

Количество ДРВ

Тип	Исходный набор ДРВ	Нормализованный набор ДРВ
DTD	87,176	3,767
XSD	266,100	14,771
RNG	353,926	2,791
RegExLib	2,234	724
Всего	709,436	20,339

Выводы в соответствии со статьей. В статье впервые предложено четыре стратегии сбора данных в сети Интернет, что дало возможность получить больше XML-схем для более точных результатов.

Проведено исследование применения ДРВ, основываясь на большом наборе реальных данных. Результаты экспериментов показали, что ДРВ намного чаще применяются на практике, чем РВ, и дальнейшее исследование их подклассов обеспечит более точный результат применения схем данных в сети Интернет.

Список использованных источников

1. Yeting Li, Xiaolan Zhang, Feifei Peng, Haiming Chen. Practical Study of Subclasses of Regular Expressions in DTD and XML Schema. *Springer International Publishing*, Cham, 2016.
2. Regex Advice. RegExLib. URL: <http://www.regexlib.com>.
3. Фридл Дж. Регулярные выражения : учебное пособие. 3-е изд. Санкт-Петербург : Символ-Плюс, 2008. 608 с.
4. The regular expressions in practice. URL: <https://www.regular.com>.
5. Косенко Ю. И., Рослякова С. В., Носов П. С. Система ідентифікації функціональної ентропії суб'єкта критичної інфраструктури. *Современные направления теоретических и прикладных исследований* : сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции. Одесса, 2013. Вип. 2. С. 50–54.
6. Pogorilyy S., Shkulipa I. A. Conception for Creating a System of Parametric Design of Parallel Algorithms and their Software Implementations. *Cybernetics and System Analysis*. 2009. № 6. P. 952–958.
7. Grijzenhout S., Marx M. The quality of the XML web. *Web Semantics: Science, Services and Agents on the World Wide Web*. 2013. № 19. P. 59–68.
8. Системні дослідження та інформаційні технології. URL: <http://journal.iasa.kpi.ua>.
9. Jsoup: Java HTML Parser. URL: <https://jsoup.org/apidocs/overview-summary.html>.
10. Morton M. The process of using regular expressions. *Cybernetics and System Analysis*. 2017. № 2. P. 42–49.

References

1. Yeting, Li, Xiaolan, Zhang, Feifei, Peng, & Haiming, Chen. (2016). *Practical Study of Subclasses of Regular Expressions in DTD and XML Schema*. Springer International Publishing, Cham.
2. Regex Advice. (2001). RegExLib. Retrieved from <http://www.regexlib.com>.
3. Friedl, J. (2008). *Reguliarnie vyrageniia [Regular Expressions]*. (3rd ed.). St. Petersburg: SymbolPlus [in Russian].
4. Regex Advice. (2001). *The regular expressions in practice*. Retrieved from <http://www.regular.com>.
5. Kosenko, Yu. I. (2013). Systema identifikatsii funktsionalnoi entropii subekta kriticheskoi infrastruktury [System of identification of functional entropy of the subject of critical infrastructure]. *Sovremennye napravleniia teoreticheskikh i prikladnykh issledovaniy: sbornik nauchnykh trudov po materialam Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii – Modern areas of theoretical and applied*

research: *Collection of scientific papers on the materials of the international scientific-practical conference*. Odessa [in Ukrainian].

6. Pogorilyi, S., Shkulipa, I. (2009). A Conception for Creating a System of Parametric Design of Parallel Algorithms and their Software Implementations. *Cybernetics and System Analysis*, 54, 952–958.

7. Grijzenhout Steven, Marx Maarten. (2013). The quality of the XML web. *Web Semantics: Science, Services and Agents on the World Wide Web*, 19, 59–68.

8. System research and information technology. Retrieved from <http://journal.iasa.kpi.ua>.

9. Jsoup: Java HTML Parser. Retrieved from <https://jsoup.org/apidocs/overview-summary.html>.

10. Morton, M. (2018). *The process of using regular expressions*. New York: NYED Isis 18, 61–68.

UDC 004.67

Yuliia Babych, Mykola Babych, Olena Pavlyshko, Victoriia Nakonechna

RESEARCHING OF DETERMINED REGULAR EXPRESSIONS USING THE XML TYPE DATA STRUCTURE

Urgency of the research. This article provides an in-depth analysis of a large data set using search engines and hosting platforms. Four data collection strategies analysis of the Google search engine, scanning of the address path, analysis of websites, searching for potential data were used to obtain more diagram files from the Internet. A data set for studying deterministic regular expressions received further practical research.

Target setting. Modern XML-type data structure description languages require deterministic regular expressions to read lines character by character. Therefore, the study of these expressions will speed up the data processing and get a more accurate result.

Actual scientific researches and issues analysis. The analysis of modern literary sources and publications on this topic showed that most of them use small amounts of data, which is insufficient to conduct an effective analysis.

Uninvestigated parts of general matters defining. For effective analysis of data from the Internet, a large data set and four strategies for its collection and analysis were used.

The research objective of this article is to study deterministic regular expressions, which are increasingly used in XML-type data structures.

The statement of basic materials. The development of four strategies for collecting data on the Internet made it possible to get more XML-schemes, which is 35 times more than in previous studies. The use of deterministic regular expressions in general and their subclasses for the analysis of large data sets.

Conclusions. For the first time, deterministic regular expressions are applied using an XML-type data structure. A large amount of data was obtained - 276371 files using four strategies for their collection.

Keywords: data set; regular expressions; deterministic regular expressions; XML type.

Fig.: 4. Table: 3. References: 10.

Бабич Юлія Ігорівна – кандидат технічних наук, доцент кафедри інформаційних технологій проектування в машинобудуванні, Одеський національний політехнічний університет (просп. Шевченка, 1, г. Одеса, 65000, Україна).

Babych Yuliia – PhD in Technical Science, Associate Professor of Information Technology, Design in Mechanical Engineering department, Odessa National Polytechnic University (1 Shevchenka Str., 65000 Odessa, Ukraine).

E-mail: juliakosenko1987@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9966-2810>

Бабич Николай Иванович – кандидат технічних наук, доцент кафедри інформаційних систем, Одеський національний політехнічний університет (пр. Шевченка, 1, г. Одеса, 65000, Україна).

Babych Mykola – PhD in Technical Science, Associate Professor, Department of Information Systems, Odessa National Polytechnic University (1 Shevchenka Str., 65000 Odessa, Ukraine).

E-mail: babich.tiger@gmail.com

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3946-9880>

Павлышко Елена Георгиевна – старший преподаватель кафедры информационных технологий проектирования в машинобудуванні, Одеський національний політехнічний університет (пр. Шевченка, 1, г. Одеса, 65000, Україна).

Pavlyshko Olena – Senior lecturer at Department of Information Technology, Design in Mechanical Engineering, Odessa National Polytechnic University (1 Shevchenka Str., 65000 Odessa, Ukraine).

E-mail: pavlyshko.o.g@opu.ua

Наконечная Виктория Ивановна – преподаватель кафедры экономики, управления и администрирования, Херсонский политехнический колледж Одесского национального политехнического университета (ул. Небесной сотни, 23, г. Херсон, 73013, Украина).

Nakonechna Victoriia – Instructor at Department of Management, Economics and Administration Kherson Polytechnic College of Odessa National Polytechnic University (23 Nebesna Sotnya Str., 73013 Kherson, Ukraine).

E-mail: vgrabar2009@meta.ua

Алла Гребенник, Олена Трунова, Володимир Казимир, Максим Міщенко

ВИЯВЛЕННЯ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ РІВНЯ ЗАГРОЗ ДЛЯ КОРПОРАТИВНОЇ КОМП'ЮТЕРНОЇ МЕРЕЖІ

Актуальність теми дослідження. У сучасному світі проблеми надійності інформації, що є в електронному вигляді, загострюють питання її захисту. Незважаючи на те, що в корпоративних комп'ютерних мережах, інформація більш ізольована від зовнішніх впливів, нелінійність та складність протікання процесів, а також інші загрози, що несе в собі не тільки зовнішній, а і внутрішній мережевий трафік, дає підстави до посилення контролю та аналізу мережевих потоків.

Постановка проблеми. Підвищення надійності функціонування комп'ютерних мереж залежить не тільки від вчасного виявлення загроз в її інформаційних потоках, а і від задіяння упереджувальних захисних заходів, які насамперед повинні спиратись на обґрунтовані прогнози виникнення шкідливих впливів. Обидві проблеми взаємопов'язані, оскільки для виконання прогнозування необхідно мати достатню та актуальну статистичну базу подій, що відбуваються в мережі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Сучасні підходи до виявлення та прогнозування загроз для комп'ютерних мереж докладно проаналізовані в роботі [6]. Попри снування достатньої кількості методів і моделей вивчення та передбачення поведінки трафіку, найбільш застосовуваними при практичній реалізації залишаються моделі часових рядів.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. На сьогодні є багато інформаційних систем, метою яких є виявлення та запобігання мережевим атакам та аномаліям трафіку, більшість із них працює в реальному часі та надає інформацію про загрозу або вживає необхідних дій за фактом настання цієї загрози. Проте такі системи переважно побудовані на сигнатурному методі виявлення. Незважаючи на те, що в останні роки найбільш використовуваними в цій сфері є методи, пов'язані з машинним навчанням та інтелектуальним аналізом даних, більшість підходів мають лише теоретичну основу.

Постановка завдання. Враховуючи потребу в практичному застосуванні аномальних методів виявлення загроз інформації, було прийнято рішення про програмну реалізацію модулів інформаційної системи, які б виконували комплекс завдань збору, аналізу, моделювання розвитку подій у мережі, та були адаптовані до її типу та потреб.

Виклад основного матеріалу. Принципи функціонування систем виявлення загроз для комп'ютерної мережі базуються на розділенні загроз корпоративної комп'ютерної мережі на два основні класи – вторгнення в мережу та аномальна мережева поведінка. Системи, метою яких є виявлення та запобігання вторгненням базуються на використанні сигнатурних методів, а системи, що проводять аналіз аномальної мережевої поведінки, – на статистичному аналізі мережевого трафіку. У роботі обґрунтовано обрано та виконано програмну реалізацію алгоритмів двох адаптивних методів виявлення аномальної поведінки в потоках мережі, що вирішують зазначену проблему для різних, взаємовиключних умов, з використанням теорії Хаосу та ЕВМА-статистики. Одним із методів прогнозування стану або рівня загроз комп'ютерних мереж є Бассова мережа, оскільки цей метод досить тісно пов'язаний із підходами, заснованими на графах атаки, це дозволяє не тільки прогнозувати рівень загроз для корпоративної комп'ютерної мережі, але й досліджувати послідовність їх виникнення, адресу джерела та призначення, тип загрози тощо.

Висновки відповідно до статті. Інформаційні технології визначення та забезпечення надійного рівня взаємодії суб'єктів комп'ютерних мереж є однією з актуальних проблем сучасного кіберсередовища. Проблема прогнозування загроз для корпоративної комп'ютерної мережі має менше існуючих рішень, ніж проблема виявлення та усунення загроз, але її вирішення дає змогу вживати завчасних дій до усунення та подальшого вивчення аномалій у мережевих потоках.

Ключові слова: комп'ютерна мережа; системи захисту від атак; теорія Хаосу; ЕВМА-статистики; Бассова мережа.

Рис.: 12. Бібл.: 11.

Актуальність теми дослідження. У сучасному світі питання кібербезпеки набуло досить великої актуальності, адже питома вага інформації, що є в електронному вигляді, зростає з кожним днем, гостро ставлячи питання про її захист. З трансформацією розподілених інформаційних систем (ІС) у окремі корпоративні комп'ютерні мережі (ККМ), інформація стала більш ізольованою від зовнішніх впливів, проте нелінійність та складність протікання процесів у таких мережах, а також інші загрози, що несе в собі не тільки зовнішній, а і внутрішній мережевий трафік, дає підстави до посилення контролю та аналізу мережевих потоків.

Постановка проблеми. Для вирішення цих питань необхідно чітко усвідомлювати базові принципи функціонування ККМ, розуміти існуючі рішення забезпечення надійності їх інформаційних потоків та удосконалити алгоритми виявлення та прогнозування рівня загроз інформації ККМ. Здебільшого в кожній корпоративній мережі функціонує система виявлення атак (СВА), завданнями якої є забезпечення безпечності інформаційних потоків мережі. Від вирішення проблеми раннього виявлення та прогнозування аномальності подій у потоках з метою надання можливості вживання завчасних заходів для їх дослідження та усунення залежить якість СВА і надійність мережі загалом.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Сучасні підходи до виявлення та прогнозування загроз для комп'ютерних мереж докладно проаналізовані в роботі [6]. Незважаючи на існування достатньої кількості методів і моделей для реалізації поставленого завдання, найбільш застосовуваними, на сьогодні, при практичній реалізації залишаються моделі часових рядів. Методи моделювання та аналізу безпеки комп'ютерних мереж детально висвітлені в роботах [2; 3]. І незважаючи на те, що останніми роками найбільш використовуваними в цій сфері є методи, пов'язані з машинним навчанням та інтелектуальним аналізом даних, більшість підходів мають лише теоретичну основу.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. На сьогодні багато ІС, метою яких є виявлення та запобігання мережевим атакам та аномаліям трафіку, більшість із них працює в реальному часі та надає інформацію про загрозу або вживає необхідних дій за фактом настання цієї загрози. Проте такі системи переважно побудовані на сигнатурному методі виявлення, що налаштований на вже відомі типи порушень, і не урахувують особливостей ККМ.

Із розвитком та поширенням методів штучного інтелекту активно почали розвиватися системи, які побудовані на адаптивних методах виявлення та прогнозування загроз ПЗ. Зокрема, у 2014 році Агентством передових оборонних дослідницьких проєктів США, було ініційовано створення класу ІС, побудованих на основі штучного інтелекту, призначених для знаходження, перевірки та виявлення кіберзагроз [9]. Цей клас систем отримав назву Cyber Reasoning Systems (англ. – системи кіберрозсудження) та активно розвивається у сфері кіберзмагань, зокрема Cyber Grand Challenge. Дані системи, працюючи в реальному часі, орієнтовані на висунення гіпотези про наявні загрози для досліджуваного ПЗ, перевірки цієї гіпотези та її підтвердження або відхилення. Проте нині системи такого класу є досить енергомісткими та не розраховані на виявлення та прогнозування рівня загроз для корпоративної комп'ютерної мережі [1].

Вирішення проблеми раннього виявлення та прогнозування загроз для ККМ надало б можливість спеціалісту з кібербезпеки завчасно вживати заходів до їх дослідження та усунення. Також залежно від обраних методів виявлення та прогнозування це допомогло б з певною точністю завчасно ідентифікувати наміри атакувальника, зокрема послідовність його дій та джерела можливих загроз.

Враховуючи все вищезазначене, було прийнято рішення про створення інформаційної системи, яка б здійснювала виявлення та прогнозування рівня загроз для корпоративної комп'ютерної мережі з використанням алгоритмів, що адаптуються до типу та потреб ККМ.

Постановка завдання. Враховуючи потребу в практичному застосуванні аномальних методів виявлення загроз інформації, було прийнято рішення про програмну реалізацію модулів інформаційної системи, які б виконували комплекс завдань збору, аналізу, моделювання розвитку подій у мережі, та були адаптовані до її типу та потреб.

Виклад основного матеріалу. Як загрозу для ККМ можна визначити будь-яку подію, яка призводить до аномальної поведінки або використання вразливостей ККМ, що, у свою чергу, тягне за собою переривання, втручання або знищення будь-якої цінної інформації, послуги або предмета, що належить корпорації-власниці комп'ютерної мережі (КМ).

Таким чином, принципи функціонування систем виявлення загроз для КМ (рис. 1) базуються на розділенні загроз для ККМ на два основні класи – вторгнення в мережу та аномальна мережева поведінка. Системи, метою яких є виявлення та запобігання вторгненням базуються на використанні сигнатурних методів, а системи, що проводять аналіз аномальної мережевої поведінки (Anomaly-Based Intrusion Detection and Prevention Systems) – на статистичному аналізі мережевого трафіку [2].

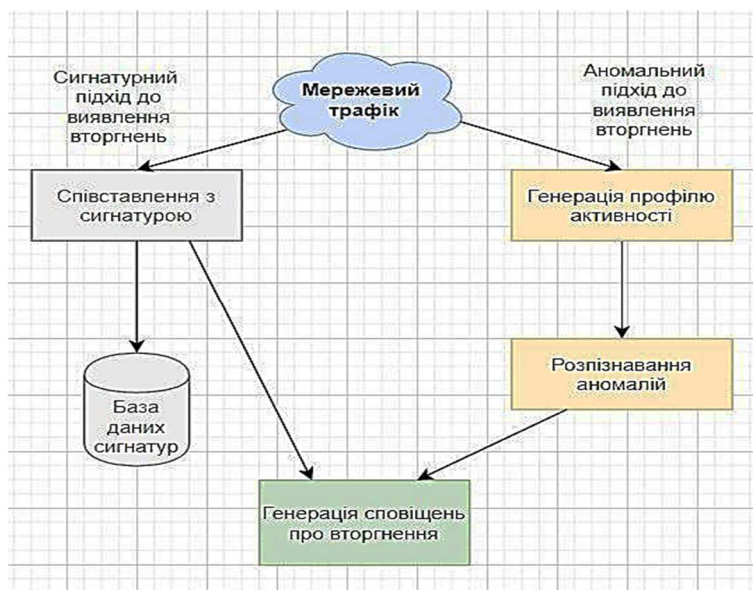


Рис. 1. Схематичний поділ принципів роботи систем виявлення загроз

Обидва підходи виявлення загроз мають свої переваги та недоліки.

До переваг сигнатурного методу виявлення можна віднести високу швидкість обробки та низький рівень хибних спрацювань для загроз, сигнатури яких присутні та оновлені. Це дозволяє цьому методу швидко та точно ідентифікувати підозрілі події. Основним недоліком сигнатурного методу виявлення загроз є неможливість виявити загрози нульового дня, тобто ті, для яких сигнатури відсутні або застарілі [4].

З іншого боку, перевагою методу аномалій є можливість виявлення ще невідомих атак та відсутність необхідності оновлення бази даних (БД) новими сигнатурами та правилами атак. Цей підхід полягає не в чіткому виявленні атак, а у визначенні підозрілої активності, відмінної від нормальної. Але це призводить до хибних спрацювань виявлення аномальної поведінки, яке не є атакою, або до пропуску атак, які не збігаються з визначенням аномальної поведінки.

Отже, для підвищення надійності та захищеності потоків мережі необхідно в системах захисту поєднувати обидва підходи, що й було вирішено зробити у створюваній у цій роботі інформаційній системі.

Архітектурною особливістю розроблюваної системи (рис. 2) є те, що ІС встановлюється окремо від досліджуваної мережі та серверу БД, що забезпечує автономність кожної частини системи. Це пов'язано з тим, що виявлення атак або аномальної поведінки вимагає постійної реєстрації всіх подій контрольованої мережі, завантажує обчислювальні потужності, вимагає великих обсягів дискового простору для зберігання зібраних даних та, як наслідок, знижує швидкодію роботи системи.

Як компонент для збору статистичної інформації про кількість та тип вторгнень у розроблюваній ІС використана мережева система виявлення вторгнень із відкритим кодом Snort. За рахунок цього вдасться підсилити компоненти виявлення аномалій мережевого трафіку та розширити базу знань про наявні загрози для корпоративної мережі.

Для обміну даними між мережею та сервером БД встановлено агент Telegraf, який поставляється у вигляді пакетного ПЗ для ОС FreeBSD, на основі якої працює мережевий екран pfSense.

Програмний мережевий екран PfSense, побудований на базі ядра FreeBSD, встановлюється на вузол, що фізично знаходиться одразу перед роутером. Основною перевагою цього рішення є наявність відкритого API, розробленого для роботи з PfSense – FaucAPI [5], що забезпечує доступ до даних трафіку, які проходить через мережевий екран.

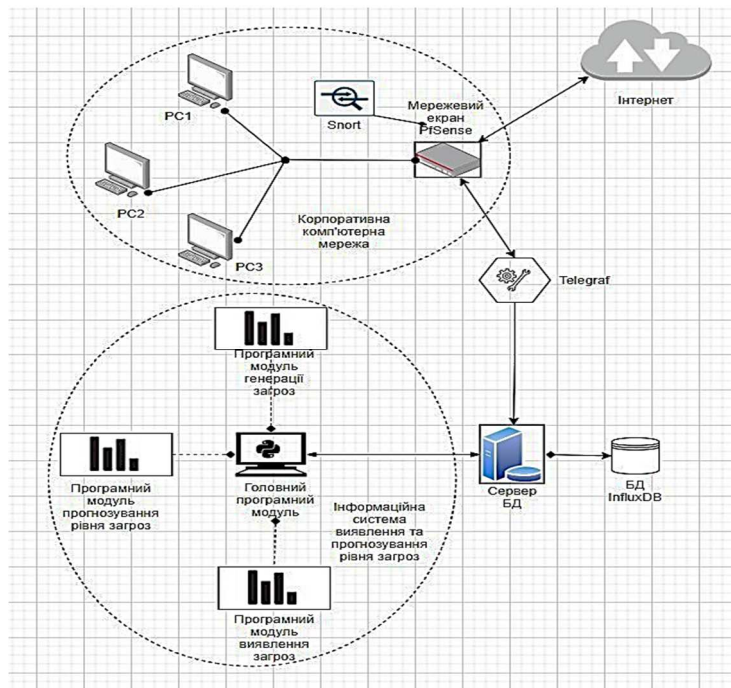


Рис. 2. Загальна архітектура системи прогнозування та виявлення загроз ККМ

Для формування бази знань, про виконані атаки на КМ, використовується IDS Snort, що встановлена як додатковий пакет для мережевого екрана pfSense, вона генерує оповіщення про здійснені атаки у форматі IDMEF (Intrusion Detection Message Exchange Format), записує їх до окремого лог-файла, дані з якого періодично записуються до БД за допомогою агента Telegraf.

У якості БД використано базу даних часових рядів InfluxDB, яка призначена для зберігання великих обсягів однотипних даних [8]. InfluxDB буде встановлена на окремий сервер, що знаходиться за межами ККМ, таким чином забезпечивши ізолюваність даних та функціонування незалежно від внутрішніх збоїв мережі.

Сама ІС прогнозування та виявлення рівня загроз буде включати в себе модуль комунікації з InfluxDB для отримання даних трафіку з мережевого екрана ККМ, окремі модулі аналізу трафіку з метою виявлення аномалій трафіку та модуль передбачення рівня загроз, виведення отриманих статистичних даних і прогнозів. Для тестування роботи та збільшення обсягу даних аналізу використовується модуль для генерації аномального трафіку, розроблений із застосуванням бібліотеки Scapy. Програмна частина ІС написана мовою програмування Python, ізолюваність від досліджуваної мережі, дозволяє системі функціонувати незалежно від внутрішніх збоїв мережі.

Основним джерелом інформації про загрози для розробленої системи є мережевий трафік, який надходить до ККМ з глобальної мережі Інтернет. Таким чином, у якості вхідних даних для побудови прогнозу рівня загроз для корпоративної мережі, будемо використовувати набір кількісних та якісних параметрів трафіку, що проходить через мережу за одиницю часу.

Для виявлення аномалій мережевого трафіку в певний момент часу, необхідно сформувати часові ряди параметрів трафіку. Значення цих параметрів мають бути кількісною мірою трафіку, що проходить за одиницю часу, та надавати інформацію як про зовнішню взаємодію з мережею, так і відповіді мережі на здійснені взаємодії. Також обрані параметри для забезпечення можливості аналізу тенденцій та аномалій мережевого трафіку мають бути неперервними величинами.

Експертним шляхом були відібрані найважливіші, на наш погляд, параметри мережевого трафіку, що задовольняють заданим вище умовам. Серед цих параметрів: назва інтерфейсу, кількість байтів, що надійшло на вхід/вихід інтерфейсу за одиницю часу; кількість помилок на вході/виході та загальна.

Отже, розроблювана ІС у ролі вхідних даних приймає часові ряди показників мережевого трафіку (кількість вхідних/вихідних пакетів, байт) та часові ряди сповіщень про загрози у форматі IDEMF. На виході система надає інформацію про ймовірні загрози у графічному вигляді та у вигляді сповіщень, і зберігає її в бази даних.

У дослідженні були використані два адаптивні методи виявлення кіберзагроз, що вирішують зазначену проблему для різних, взаємовиключних умов, з використанням:

- теорії Хаосу;
- EWMA-статистики.

Розглядаючи комп'ютерну мережу як складну динамічну систему, процеси в якій протікають нелінійно, можемо зробити припущення про можливість застосування Теорії Хаосу для раннього виявлення нормального (хаотичного) та підозрілого (нехаотичного) перебігу процесів у ККМ.

Для виявлення хаотичності скористаємося підходом з обчисленням експоненти Ляпунова λ , що для потоку динамічної системи $F^t(x_0) = x_t$, визначається таким чином:

$$\lambda(x) = \lim_{t \rightarrow \infty} \frac{1}{t} \cdot \ln \|d_x F^t\|. \quad (1)$$

Загалом додатне значення експоненти вказує на хаотичну поведінку потоку, нульове – на незмінність поведінки, а від'ємне – на наявність нехаотичної поведінки.

У якості потоку даних, як зазначалося вище, системою використовується значення вхідного трафіку, а саме кількість отриманих пакетів за одиницю часу. Увесь трафік має бути розділений на дві вибірки: старий та новий трафік. Після розподілу виконується прогноз нових значень, що базується на вибірці старого трафіку. Обчислюючи помилки Δx_k для кожного з передбачень за формулою (1), будемо визначати поведінку їх зміни за допомогою експоненти Ляпунова $\Delta x_k = x_k - x_k^n$, де x_k^n – передбачене значення x_k .

Якщо значення експоненти буде додатним, тобто зміна помилки відбувається хаотично – трафік є нестабільним, що є властиво для ККМ, процеси в якій протікають нелінійно. При нульовому значенні експоненти, зміна помилки передбачення відсутня, а отже, і зміна трафіку відсутня. Якщо експонента набуває від'ємного значення, зміна помилки передбачення не є хаотичною. Отже, трафік стабілізувався і можна зробити висновки, що така зміна може бути викликана DDoS-подібною атакою.

Для тестування результатів роботи алгоритму було оброблено два типи трафіку: нормальний трафік та спричинений SYN і UDP flood атаками, та отримані відповідні їм експоненти Ляпунова (рис. 3-6).

Отже, цей метод дозволяє виявити атаки на ранньому етапі, що впливають на рівень мережевого трафіку, викликаючи різкий хаотичне зростання його показників. До таких атак можна віднести DDoS атаки, flooding та brute force атаки. Недоліком цього методу є неможливість його застосування для дальніх горизонтів прогнозування, оскільки відповідно до Теорії Хаосу, динаміка системи значною мірою залежить від початкових умов, що робить довгострокове прогнозування неможливим [11].

Метод з використанням EWMA-статистики полягає в застосуванні зваженого ковзкого середнього до часових рядів мережевого трафіку та визначення аномальних значень за формулою:

$$X_t \geq \beta \mu_{t-1}, \quad (2)$$

де X_t – значення параметру мережі (вхідного трафіку) в момент часу t ;

β – коефіцієнт перевищення;

μ_{t-1} – середнє значення параметра за методикою EWMA для масиву даних до моменту часу t .

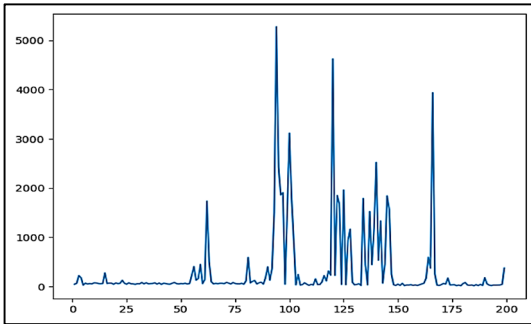


Рис. 3. Нормальний трафік

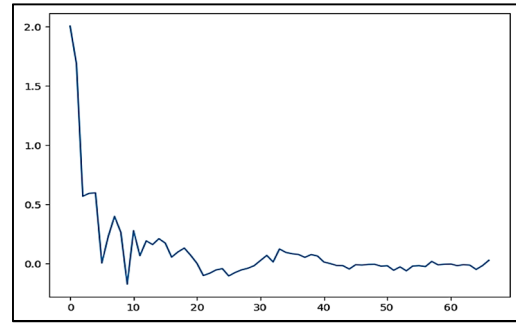


Рис. 4. Значення експоненти Ляпунова для нормального трафіку

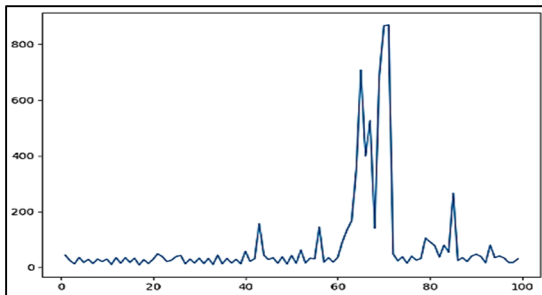


Рис. 5. Трафік з SYN та UDP flood

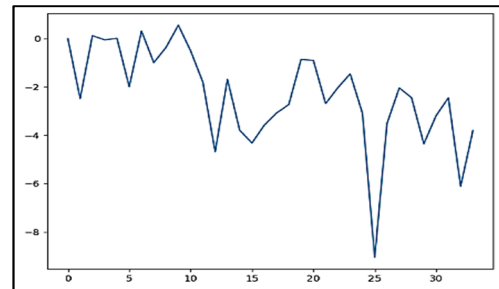


Рис. 6. Значення експоненти Ляпунова для SYN та UDP flood

На рис. 7-8 можна спостерігати графічне зображення застосування зазначеного методу виявлення аномалій до часових рядів зміни значень параметрів мережевого трафіку. У точках, де значення трафіку перевищує розрахункове значення ковзкої середньої, є підстави стверджувати про аномалії трафіку.

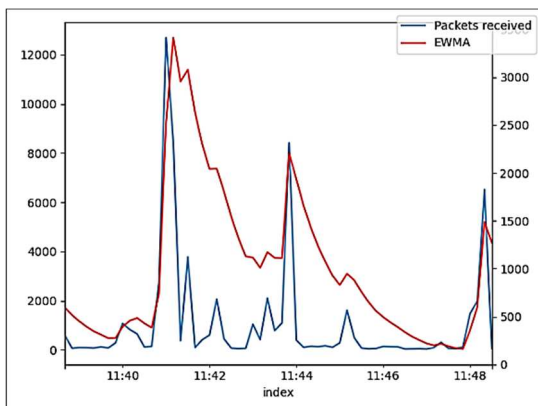


Рис. 7. «Кількість отриманих пакетів» вихідна та розрахована з EWMA

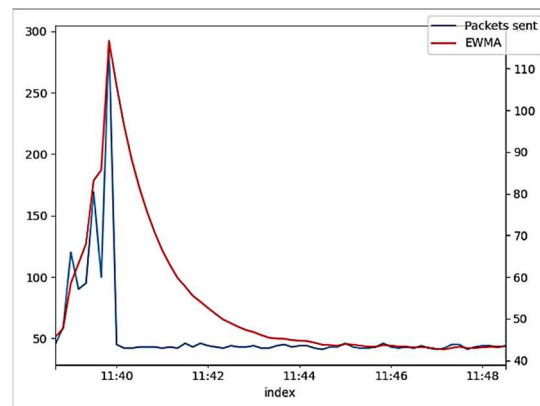


Рис. 8. «Кількість відправлених пакетів» вихідна та розрахована з EWMA

Відповідно до двох наведених вище адаптивних методів виявлення аномалій в інформаційній системі було розроблено програмні модулі ChaosDetector та EWMA detector. Для порівняння їх роботи було проведено тестування виявлення атак для часових проміжків 10, 20, 30, 40, 50, 60 хвилин спостереження значень вхідного трафіку. Як параметр було обрано кількість вхідних пакетів за одиницю часу. Для кожного з алгоритмів порівнювався час їх виконання та кількість виявлених аномалій. Результати порівняння зображені на рис. 9.

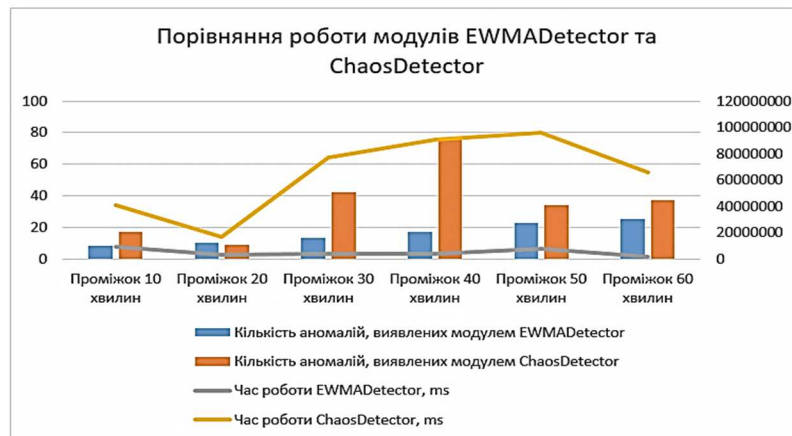


Рис. 9. Порівняння роботи модулів EWMADetector та ChaosDetector

Як бачимо з графіка, різниця в кількості аномалій, виявлених детекторами, зростає зі збільшенням часового проміжку аналізу даних. Це пояснюється тим, що виявлення аномалій на основі Теорії Хаосу не призначене для використання з далекими горизонтами прогнозування й може давати хибні результати зі збільшенням горизонту.

Разом з тим час роботи детектора, побудованого на основі використання EWMA статистики, значно менший, ніж час детектора, побудованого на використанні Теорії Хаосу. Це пояснюється складністю обчислень модулю ChaosDetector, а саме необхідністю для кожної ітерації робити прогнози наступного значення та вираховувати значення експоненти Ляпунова для отриманих помилок.

Можна зробити висновок, що оптимальний проміжок часу для виявлення аномалій мережевого трафіку становить 20 хвилин, адже для нього кількість аномалій, виявлених обома детекторами, найбільш близька за значеннями, а їх час роботи один із найменших серед усіх інтервалів.

Крім моніторингу трафіку, до завдань мережевого адміністрування треба віднести завдання прогнозування стану або рівня загроз комп'ютерних мереж.

Одним із найбільш гнучких та точних методів прогнозування є прогнозування рівня загроз за допомогою ймовірнісних мереж Байеса. Цей метод досить тісно пов'язаний із підходами, заснованими на графах атаки [8]: Бассова мережа переважно побудована на основі графа атак. Відмінна риса Бассових мереж – це умовні змінні та ймовірності, які відображені в моделі.

Бассова мережа – це ймовірнісна графова модель, яка складається зі змінних та зв'язків між ними. Ця мережа являє собою спрямований ациклічний граф з вузлами, представленими дискретними або неперервними змінними, та ребрами, що відображають зв'язки між ними. Вузли утримують стани випадкових величин та форму умовної ймовірності [7].

Для набору випадкових змінних $X = \{x_1, \dots, x_n\}$ у мережі Баєса, функція спільної щільності ймовірності визначається за формулою 3, де $P_a(x_i)$ представляє відповідне значення ймовірності змінних у батьківських вузлах мережі, а $P(x_i/Pa(x_i))$ – умовна ймовірність у дочірніх вузлах.

$$P(x_1, \dots, x_n) = \prod_{i=1}^n P\left(\frac{x_i}{Pa(x_i)}\right). \quad (3)$$

У Бассових мережах, ймовірності зв'язків оновлюються у міру надходження нової інформації за допомогою теореми Баєса. Таким чином, з появою нових загроз для мережі, побудована мережа Баєса оновлюється та надає актуальні прогнози про рівні загроз.

Програмну реалізацію прогнозування рівня загроз з використанням мереж Баєса необхідно розділити на дві частини:

1. «Офлайн режим» – побудова мережі Баєса на основі сповіщень, отриманих від встановлених IDS систем та передбачення загалом рівня загроз для системи.

2. «Онлайн-режим» – передбачення ймовірності майбутніх загроз, шляхом подачі на вхід побудованої мережі Баєса інформації про нові загрози.

На вхід цього алгоритму подаються сповіщення системи IDS у форматі IDMEF, що включають у себе як мінімум такі поля:

- Time – час створення сповіщення;
- AlertType – тип сповіщення;
- Source – адреса джерела атаки;
- Destination – адреса призначення атаки.

Сповіщення агрегуються за їхнім типом для послідовних часових значень їх створення (формула (4)):

$$A_{t_1}[AlertType] = A_{t_2}[AlertType] = \dots = A_{t_n}[AlertType], \quad (4)$$

де t_1, \dots, t_n – послідовні часові значення створення сповіщень.

Для агрегованого сповіщення A_0 типу $AlertType_A$, зберігаються значення адреси джерела атаки та адреси призначення атаки кожного зі сповіщень A_t .

Після агрегації сповіщень за типом, виконується обчислення кореляції між двома послідовними агрегованими сповіщеннями A_0 типу $AlertType_A$ та B_0 типу $AlertType_B$. Сповіщення про загрози A_t і B_t вважаються корельованими, якщо виконується одна з двох умов:

- 1) $\{A_t[Source] = B_t[Source], A_t[Destination] = B_t[Destination]\}$;
- 2) $\{A_t[Destination] = B_t[Source]\}$.

Для кожної пари корельованих сповіщень обчислюються ймовірності їх виникнення за формулою:

$$P(B/A) = \frac{Corr(A,B)}{Corr(A,*)}, \quad (5)$$

де $Corr(A, B)$ – кількість зв'язків між сповіщеннями A та B ,

$Corr(A,*)$ – загальна кількість зв'язків, спричинена сповіщенням A (може бути виражена у кількості $Source$ адрес для сповіщення A).

У результатуючій Баєсовій мережі вузлами виступають агреговані сповіщення, а ребрами між ними – обчисленні ймовірності їх виникнення.

Створені за вказаним алгоритмом мережі зображені на рис. 10, 11.

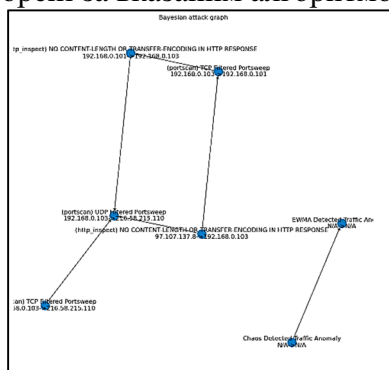


Рис. 10. Баєсова мережа сповіщень про загрози для періоду 3 дні

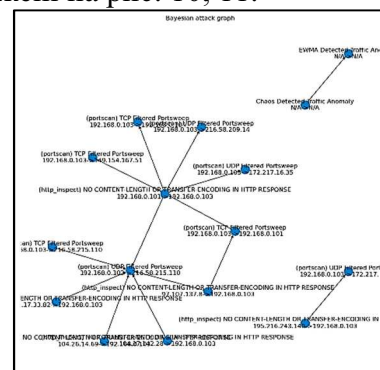


Рис. 11. Баєсова мережа сповіщень про загрози для періоду 7 днів

Відзначимо, що кількість агрегованих сповіщень про загрози зростає зі збільшенням періоду агрегації. Баєсова мережа добувається, як тільки надходить інформація про нову загрозу.

Отримана в офлайн режимі Баєсова мережа використовується в онлайн-режимі для прогнозування рівня загроз за обраний проміжок часу t . Для цього, крім періоду, для якого створена мережа, передається назва останнього сповіщення про загрозу з БД.

У результаті обчислень умовних ймовірностей змінних, алгоритм повертає ймовірності появи усіх можливих загроз, що виступають змінними в побудованій мережі Баєса. Приклад виводу реалізованого програмного модуля наведено на рис. 12.

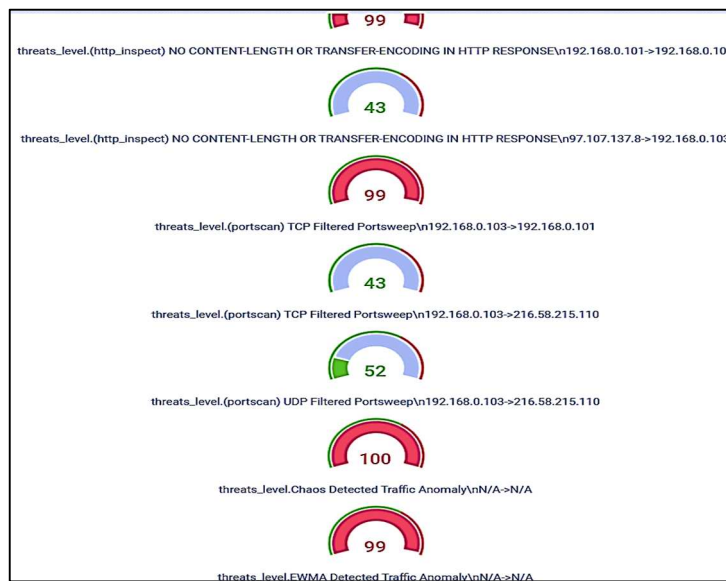


Рис. 12. Результат прогнозування рівня загроз на основі Баєсової мережі, побудованої за період 3 дні

Останньою загрозою в наведеному прикладі стала аномалія, виявлена за допомогою теорії Хаосу. Оскільки вона зафіксована та записана до БД модулем виявлення загроз, ймовірність її появи дорівнює 100 %. Відповідно, вона була передана на вхід алгоритму для прогнозування рівня загроз, а алгоритм, у свою чергу, вивів ймовірності появи всіх інших загроз, наявних у побудованій Баєсовій мережі, що обчислюються за формулою умовних ймовірностей.

Таким чином, розглянутий метод дозволяє не тільки прогнозувати рівень загроз для ККМ, але й досліджувати послідовність їх виникнення, адресу джерела та призначення, тип загрози тощо.

Для моніторингу станів трафіку та аномалій застосовується створена статистична модель, а для прогнозування рівня загроз – мережа Баєса. Алгоритм є адаптивним, оскільки його робота не залежить від конфігурації ККМ.

Висновки відповідно до статті. Інформаційні технології визначення та забезпечення надійного рівня взаємодії суб'єктів комп'ютерних мереж є однією з актуальних проблем сучасного кіберсередовища. Проблема прогнозування загроз для ККМ має менше існуючих рішень, ніж проблема виявлення та усунення загроз.

Прогнозування рівня загроз для ККМ дає змогу вживати завчасних дій до їх усунення та подальшого вивчення.

Реалізований алгоритм прогнозування рівня загроз за допомогою мереж Баєса надає змогу спеціалістам з кібербезпеки досліджувати їх джерела та послідовність виникнення.

Майбутні удосконалення розробленої інформаційної системи вбачаються в розширенні модулів виявлення та прогнозування атак новими алгоритмами, застосування хмарної інфраструктури для розгортання та тестування модулів системи, тестування роботи системи на високонавантажених комп'ютерних мережах.

Подяка. Робота проведена та фінансована в межах проекту HATO CyRADARS (Cyber Rapid Analysis for Defense Awareness of Real-time Situation – CyRADARS) – grant agreement number: G5286.

Список використаних джерел

1. Cyber Reasoning Systems: Automating Cyber Warfare. Medium. 2016. URL: https://medium.com/@joey_rideout/cyber-reasoning-systems-automating-cyber-warfare-3329f339edeb.

2. Моделювання та аналіз безпеки розподілених систем : навч. посіб. [для студ. спец. 121 «Інженерія програмного забезпечення»] / В. В. Литвинов та ін. Чернігів : Чернігів. нац. технол. ун-т, 2016. 254 с.
3. Методи аналізу та моделювання безпеки розподілених інформаційних систем : монографія / В. В. Литвинов та ін. ; за заг. ред. проф. С. М. Шкарлета. Чернігів : Чернігів. нац. технол. ун-т. 2017. 206 с.
4. Cybersecurity Spotlight – Signature-Based vs Anomaly-Based Detection. URL: <https://www.cisecurity.org/spotlight/cybersecurity-spotlight-signature-based-vs-anomaly-based-detection>.
5. FauxAPI – v1.3. URL: https://github.com/ndejong/pfsense_fauxapi.
6. Husák M., Komárková J., Bou-Harb E., Čeleda P. Survey of Attack Projection, Prediction, and Forecasting in Cyber 5. Security. *IEEE Communications Surveys Tutorials*. September 2018. Vol. 21, No. 1. P. 640-660, URL: <https://is.muni.cz/repo/1434138/2019-COMST-survey-of-attack-projection-prediction-forecasting.pdf>.
7. Husák M. Predictions of Network Attacks in Collaborative Environment (PhD Dissertation). Brno, 2019. 144 с.
8. Sheyner O., Haines J., Jha S. Lippmann R., J. M. Wing J.M. Automated generation and analysis of attack graphs. In: *Proceedings of the 2002 IEEE Symposium on Security and Privacy (S&P'02)*. 2002. P. 273-284.
9. Avgerinos T., Brumley D., Davis J. and etc. The Mayhem Cyber Reasoning System. *Security&Privacy*. 2018. P. 52-60. URL: <http://users.umiacs.umd.edu/~tdumitra/courses/ENEE657/Fall19/papers/Avgerinos18.pdf>.
10. What infrastructure and application monitoring can solve for you: URL: <https://www.influxdata.com/customers/infrastructure-and-application-monitoring>.
11. Мартінзон О. С., Грабар О. І. Теорія хаосу: URL: <https://conf.ztu.edu.ua/wp-content/uploads/2017/06/139-2.pdf>.

References

1. Cyber Reasoning Systems: Automating Cyber Warfare. Medium. (2016). Retrieved from https://medium.com/@joey_rideout/cyber-reasoning-systems-automating-cyber-warfare-3329f339edeb.
2. Lytvynov, V. V., Kazymyr, V. V., Stetsenko, I. V., Trunova, O. V., Skiter, I. S. ... Nekhai, V. V. (2016). *Modeliuvannia ta analiz bezpeky rozpodilenykh system [Modeling and analysis of safety-related systems]*. Chernihiv: ChNTU [in Ukrainian].
3. Shkarlet, S. M. (Ed.). (2017). *Metody analizu ta modeliuvannia bezpeky rozpodilenykh informatsiinykh system [Methods of analysis and modeling of safety-related information systems]*. Chernihiv: ChNTU [in Ukrainian].
4. Cybersecurity Spotlight – Signature-Based vs Anomaly-Based Detection. Retrieved from <https://www.cisecurity.org/spotlight/cybersecurity-spotlight-signature-based-vs-anomaly-based-detection>.
5. FauxAPI – v1.3: Retrieved from https://github.com/ndejong/pfsense_fauxapi.
6. Husák, M., Komárková, J., Bou-Harb, E., Čeleda, P. (September, 2018). Survey of Attack Projection, Prediction, and Forecasting in Cyber 5. Security. *IEEE Communications Surveys Tutorials*, 21, 1. Retrieved from <https://is.muni.cz/repo/1434138/2019-COMST-survey-of-attack-projection-prediction-forecasting.pdf>.
7. Husák, M. (2019). *Predictions of Network Attacks in Collaborative Environment* (PhD dissertation). Brno.
8. Sheyner, O., Haines, J., Jha, S. Lippmann, R., J. M. Wing, J. M. (2002). Automated generation and analysis of attack graphs. In: *Proceedings of the 2002 IEEE Symposium on Security and Privacy (S&P'02)* (pp. 273-284).
9. Avgerinos, T., Brumley, D., Davis, J. and etc. (2018). The Mayhem Cyber Reasoning System. *Security&Privacy*. Retrieved from <http://users.umiacs.umd.edu/~tdumitra/courses/ENEE657/Fall19/papers/Avgerinos18.pdf>.
10. What infrastructure and application monitoring can solve for you. Retrieved from <https://www.influxdata.com/customers/infrastructure-and-application-monitoring/>
11. Martinzon, O. S., Hrabar, O. I. (2017). *Teoriia khaosu [Chaos theory]*. Retrieved from <https://conf.ztu.edu.ua/wp-content/uploads/2017/06/139-2.pdf>.

Alla Grebennyk, Olena Trunova, Volodymyr Kazimir, Maksym Mishchenko

DETECTION AND FORECASTING OF THE THREAT LEVEL FOR A CORPORATE COMPUTER NETWORK

Urgency of the research. In today's world, the question of the reliability of electronic information exacerbates the issue of its protection. Despite the fact, that in corporate computer networks information is more isolated from external influences, the nonlinearity and complexity of processes in such networks, as well as a number of threats posed not only by external but also internal network traffic, gives grounds to strengthen control and network flow analysis.

Target setting. Improving the operational reliability of computer networks depends not only on the timely detection of threats in its information flows, but also on the use of preventive measures, which, above all, should be based on reasonable forecasts of harmful effects. Both problems are interrelated, as forecasting requires a sufficient and up-to-date statistical database of events, which happen in the network.

Actual scientific researches and issues analysis. Modern approaches to the detection and prediction of threats to computer networks are analyzed in detail in [6]. Despite the existence of a sufficient number of methods and models for the implementation of the task, time series models are the most used in practical realization.

Uninvestigated parts of general matters defining. Currently, there are a number of information systems designed to detect and prevent network attacks and traffic anomalies, most of which work in real time and provide information about the threat or take the necessary action upon the occurrence of this danger. However, such systems are mainly based on the signature detection method. Although the most widely used methods in recent years have been machine learning and data mining, most approaches have only a theoretical basis.

The research objective. Taking into account the need for practical application of anomalous methods of detecting information threats, it was decided to create the program implementation of information system modules that perform a set of tasks of collecting, analyzing, modeling network events, and were adapted to its type and needs.

The statement of basic materials. The principles of operation of threat detection systems for a computer network are based on the division of dangers to the corporate computer network into two main classes - network intrusion and abnormal network behavior. Systems, which are based on the detecting and preventing intrusions, use of signature methods, and systems that analyze abnormal network behavior - based on statistical analysis of network traffic. Among such methods, the software implementation of algorithms of two adaptive methods for detecting anomalous behavior in network flows, which solve this problem for different mutually exclusive conditions using Chaos theory and EWMA-statistics, is selected and performed. Bayesian network is one of those methods for predicting the state or level of dangers to computer networks, because this method is closely related to approaches based on attack graphs: a distinctive feature of Bayesian networks is the conditional variables and probabilities that are reflected in the model. This allows not only predicting the level of threats to the corporate computer network, but also investigating the sequence of their occurrence, source and destination, type of threat, and so on.

Conclusions. Information technologies for determining and ensuring a reliable level of interaction between the subjects of computer networks is one of the urgent problems of the modern cyber environment. The problem of predicting dangers to the corporate computer network has less existing solutions than the problem of detecting and eliminating threats, but its solution allows you to take early action to eliminate and further study the anomalies in network flows.

Keywords: computer network; attack protection systems; Chaos theory; EWMA statistics; Bayesian network.

Fig.: 12. References: 11.

Гребенник Алла Григорівна – аспірант, Інститут проблем математичних машин і систем НАН України (просп. Глушкова, 42, м. Київ, 03187, Україна).

Hrebennyk Alla – PhD student, the Institute of Mathematical Machines and Systems Problems National Academy of Science of Ukraine (42 Academician Glushkova Av., 03187 Kyiv, Ukraine).

E-mail: grebennyk.alla@gmail.com

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7464-1412>

Трунова Олена Василівна – кандидат педагогічних наук, доцент, доцент кафедри інформаційних технологій та програмної інженерії, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

Trunova Olena – PhD in Pedagogical Sciences, Assistant Professor, Assistant Professor of Department of Information Technology and Software Engineering, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: e.trunova@gmail.com

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0689-8846>

Казимир Володимир Вікторович – доктор технічних наук, професор, професор кафедри інформаційних та комп'ютерних систем, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

Kazymyr Volodymyr – Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of Information and Computer Systems, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: vvkazymyr@gmail.com

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8163-1119>

Scopus Author ID: 56644727300

Мищенко Максим Валерійович – студент магістратури, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

Mishenko Maksym – master, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: mak22101996@gmail.com

УДК 004.41

DOI: 10.25140/2411-5363-2020-2(20)-186-196

Світлана Рзаєва, Дмитро Рзаєв, Валерій Краскевич,
Андрій Роскладка, Володимир Гамалій**ОСОБЛИВОСТІ РОЗРОБКИ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ
AUTOMATIC SALES FUNNEL**

Актуальність теми дослідження. У статті описано технологію розробки інформаційної системи *Automatic sales funnel*, яка формує послідовність дій, які спочатку знайомлять потенційного клієнта з продуктом / послугою, а потім ведуть до здійснення нових і нових покупок. Ознайомлення з товарами / послугами та їх подальшим придбанням здійснюється на автоматичному рівні. В архітектуру інформаційної системи *Automatic sales funnel* закладено CRM-систему, онлайн-сервіс для автоматизації аналітики e-маркетингу; власний сайт компанії, система управління контентом, що використовується для організації процесу створення, управління та редагування вмісту сайту компанії; автоматичні інструменти комунікації для ефективного управління маркетинговими стратегіями, з метою залучення потенційних клієнтів.

Постановка проблеми. Інформаційна система *Automatic sales funnel* повинна поєднувати в собі стратегію і тактику, які використовуються для залучення клієнтів, містить інструменти, які аналізують теперішній стан конкуренції на цільовому ринку та в Інтернет-мережі, повинна дозволити використовувати експертну оцінку, яка розбиває безлику масу покупців на різні сегменти, яким властиві схожість у поведінці та однаковість інтересів, щоб м'яко привести їх до придбання продуктів / послуг компанії.

Аналіз досліджень і публікацій. За останній час були опубліковані статті російських та американських учених, присвячені розгляду теоретичних основ побудови інформаційних систем *Automatic sales funnel*, проте досліджень українських вчених щодо розробки та архітектури інформаційної системи *Automatic sales funnel* відсутні.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Прикладний підхід до реалізації інформаційної системи дозволить розробити власне програмне забезпечення для *Automatic sales funnel*, створити унікальний продукт «під ключ», створити семантичне ядро SEO для швидкої адаптації програмного продукту на цільовому ринку товарів / послуг.

Метою статті є аналіз особливостей розробки інформаційної системи *Automatic sales funnel*.

Виклад основного матеріалу. Дано загальне визначення інформаційної системи *Automatic sales funnel*. Сформульовано основні вимоги та дано визначення щодо режимів функціонування інформаційної системи *Automatic sales funnel*. Проаналізовано етапи розробки та змодельовано інформаційну систему *Automatic sales funnel*. Розроблено вбододаток цієї системи.

Висновки відповідно до статті. В архітектуру етапів розробки *Automatic sales funnel* закладено новітню технологію за унікальним рішенням реалізації бізнес-процесів компанії, яка дозволяє створити семантичне ядро SEO для швидкої адаптації програмного продукту на цільовому ринку товарів / послуг, новітній лендинг із адаптуванням під різні цифрові пристрої, конверсійну форму використання схем з реалізації трафіку на лідогенування та його адаптацію у CRM-систему.

Ключові слова: інформаційна система *Automatic sales funnel*; CRM-система; система управління контентом, автоматичні інструменти комунікації, інтернет-комунікації.

Рис.: 4. Бібл.: 6.

Актуальність теми дослідження. Інформаційна система *Automatic sales funnel* є прикладом поєднання хмарних технологій і Інтернет мережі, з підключенням модулів чату, збору статистики та інформації в соціальних мережах, з метою застосування в бізнес-процесах середнього та малого бізнесу. Ця система здатна робити продажі продуктів / послуг компанії в автоматичному режимі (без участі менеджерів різних специфікацій), рушійною силою виступає цілеспрямований бот із приєднанням до CRM-системи та соціальних мереж, «вшитого» у вебсайт компанії, яка реалізує свій товар або послугу на цільовому ринку.

Інформаційна система *Automatic sales funnel* допомагає збільшити обсяг продажів товарів / послуг компанії без участі менеджерів з продажу, реалізувати експертну систему, за якою будуть проаналізовані найкращі показники конверсії трафіку лідогенування, для утримання клієнтів, розробити бекенд для оптимізації аналітики трафіку та SEO, з метою залучення відвідувачів / потенційних клієнтів на сайт компанії.

Постановка проблеми. Інформаційна система *Automatic sales funnel* поєднує в собі стратегію і тактику, які використовуються для залучення клієнтів, містить інструменти, які аналізують теперішній стан конкуренції на цільовому ринку та в Інтернет-мережі, дозволяє використовувати експертну оцінку яка розбиває безлику масу покупців на різні сегменти, яким властиві схожість у поведінці та однаковість інтересів, аби м'яко привести їх до придбання продуктів / послуг компанії.

Для розробки інформаційної системи Automatic sales funnel необхідні такі інструменти:

- CRM-система або система для зберігання даних клієнтів;
- сайт компанії, яка реалізує свої товари / послуги;
- система управління контентом, що використовується для організації процесу створення, управління і редагування вмісту сайту компанії;
- онлайн-сервіс для автоматизації аналітики е-маркетингу;
- автоматичні інструменти комунікації для ефективного управління маркетинговими стратегіями, з метою залучення потенційних клієнтів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Останні публікації були пов'язані з розглядом теоретичних основ побудови Automatic sales funnel [2; 3; 4; 5; 6]. Усі дослідження, пов'язані з Automatic sales funnel, проводились російськими та американськими вченими. Але немає жодних публікацій українських науковців, які б піднімали проблему розробки та архітектури інформаційної системи Automatic sales funnel.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Інформаційна система Automatic sales funnel є дуже зручною, дозволяє вирішити певні проблеми та завдання, такі як:

- збільшення кількості постійних клієнтів;
- збільшення доходів від реалізації товарів / послуг;
- зменшення витрат, пов'язаних із залученням нових клієнтів;
- оптимізація витрат на організацію та проведення реклами;
- зменшення відтоку клієнтів.

Прикладний підхід до реалізації інформаційної системи дозволить розробити власне програмне забезпечення для Automatic sales funnel, створити унікальний продукт «під ключ», створити семантичне ядро SEO для швидкої адаптації програмного продукту на цільовому ринку товарів / послуг.

Постановка завдання. Інформаційна система Automatic sales funnel є актуальною, важливою та невід'ємною складовою успішного функціонування будь-якого підприємства чи установи. Automatic sales funnel формує послідовність дій, які спочатку знайомлять потенційного клієнта з продуктом, а потім ведуть до здійснення нових і нових покупок. Ознайомлення з товарами / послугами та їх подальшим придбанням здійснюється на автоматичному рівні. Уся інформація зберігається у CRM-системі. При користуванні вебсайтом потенційний клієнт отримує спливаюче вікно-повідомлення, що веде до чатбота, реалізованого системою Manychat's та має безпосередню прив'язку до Facebook через месенджер WhatsApp, або інші популярні інтернет-платформи та соцмережі.

Завдання Automatic sales funnel полягає в тому, щоб в автоматизованому режимі якомога більше залучити потенційних клієнтів на сторінку продавця, не загубити в нескінченному інформаційному потоці, а посередництвом різних сценаріїв е-маркетингу були м'яко підведені до покупки.

Automatic sales funnel можна розбити на кілька або навіть безліч частин, які тісно взаємопов'язані між собою і ведуть до того, щоб відвідувачі змінюють статус «Відвідувач» на статус «Покупець».

Викладення основного матеріалу. Sales funnel (переклад з англійської мови воронка продажів) – це послідовність маркетингово виважених дій, які спочатку знайомлять потенційного клієнта з продуктом або послугою, а потім підводять цього клієнта до придбання товару або замовлення послуги. Sales funnel виступає як аналітичний інструмент, що дозволяє зрозуміти мотивацію потенційного клієнта про придбання товарів або послуг. Розуміючи всі кроки, які проходить потенційний клієнт від миті, коли продукт привернув його увагу, й до моменту прийняття рішення про придбання товару, продавець може контролювати поведінку клієнта, ненав'язливо стимулюючи та спонукаючи до купівлі.

Мета sales funnel полягає в залученні відвідань вебсторінки продавця товарів / послуг потенційними клієнтами (щоб не загубилися і не зникли в нескінченному інформаційному потоці) і за посередництвом різних сценаріїв продажів м'яко підвести їх до покупки, підлаштовуючись під його потреби.

Сенс застосування концепції sales funnel полягає в тому, щоб визначити основні етапи (у контент-маркетингу активно використовують поняття шлях покупця – Customer journey), які проходить клієнт від знайомства з продуктом і до прийняття рішення про купівлю.

Automatic sales funnel – процес ознайомлення з товаром / послугою та подальше придбання здійснюється на автоматичному рівні. Уся інформація зберігається у CRM-системі. Користуючись вебсайтом, потенційний клієнт отримує спливаюче вікно-повідомлення від чатбота, реалізованого системою Manychat's, що має безпосередню прив'язку до Facebook через месенджер Whats App.

Automatic sales funnel можна розбити на кілька або навіть безліч етапів, які тісно взаємопов'язані між собою і ведуть до змінення статусу клієнта з «Відвідувач» на статус «Покупець». На початку першого етапу вибудовується ставлення між вашими послугами і майбутнім клієнтом. Наступні етапи розвивають ці відносини й відкривають для покупця нові можливості. Тому перший крок – це визначити Product Matrix.

Product Matrix – це елементи продукту, на основі яких будується Automatic sales funnel. Product Matrix складається з Lead Magnet, Trip Wire, Core offer.

Lead Magnet – безкоштовна пропозиція, метою якої є заохотити споживача і дати йому спробувати продукт. Пропозиція безкоштовного продукту здійснюється на спеціальній підписаній сторінці. Якщо користувач підписується на магніт, то йому на пошту приходить лист із підтвердженням передплати. Після підтвердження він автоматично перенаправляється на сторінку, де отримує посилання для скачування обраного продукту. Але основна мета цієї сторінки – зовсім не сам магніт, а рекомендація ознайомитися з так званим One Time Offer (OTO) або Trip Wire – одноразовою пропозицією, яка розміщується на цій вебсторінці.

Мета такої пропозиції – спонукати передплатника на першу покупку, тобто це одноразовий продукт для заманювання за нижчою ціною, ніж основний продукт. Наприклад, онлайн-курси «Python Developer» коштують досить дорого, як місячна зарплата потенційного клієнта, тому зважитися на покупку непросто. Але як маркетинговий хід щодо залучення потенційних слухачів, автор курсів проводить поодинокі онлайн-лекції на конкретну тему, щоб запалити аудиторію. Такі лекції коштують значно дешевше, ніж основний курс, і можуть переконати або спонукати слухача купити та пройти основний курс.

Умови успішного Trip Wire:

- дешевизна (TripWire має бути доступним, щоб відрізнитися від основного продукту);
- винятковість (TripWire повинен здаватися винятковою пропозицією, недоступною для інших);
- обмеження за часом (часові рамки можуть дати додаткову мотивацію користувачеві. Наприклад, спеціальна ціна на вебінар діє тільки до вказаної дати).

Мета Automatic sales funnel (ASF) – привести потенційного споживача до покупки Coreoffer (основний продукт, що виступає джерелом доходу підприємства). Основний продукт найдорожчий у ланцюгу продажів, саме на базі цього продукту і складаються перші два етапи Automatic sales funnel.

Automatic sales funnel впроваджується за допомогою онлайн-сервісів, тому підходить передусім для онлайн-бізнесу. Впровадження ASF дозволить:

- контролювати процес взаємодії з клієнтами;
- здійснювати перші продажі, обслуговування відбуваються в автоматичному або напівавтоматичному режимі;

- уникнути потреби «ганятися» за клієнтами: ASF послідовно «підігріває» інтерес до продукту та збуджує бажання його придбати;

- забезпечити економію грошей на зарплату адміністраторів, менеджерів з продажу та інших співробітників, частину роботи яких візьме на себе ASF;

- клієнтам зручно взаємодіяти з менеджером через Automatic sales funnel, тому вони оцінять рівень сервісу і рекомендуватимуть друзям і знайомим.

Типи бізнесу, для яких підходить Automatic sales funnel продажів:

- інтернет-магазини;
- інформаційний бізнес;
- продуктові компанії;
- SaaS або розробка ПО;
- послуги.

Для впровадження Automatic sales funnel потрібні такі інструменти:

1. Як основа необхідна *CRM-система* або *система для зберігання даних клієнтів*: для цього підійдуть такі системи, як Бітрікс24, AmoCRM або Carrot quest.

2. *Сайт*. Це ключовий момент. Якщо не буде сайта, то нікуди буде приводити клієнтів, а отже, ніякої ASF не можливо побудувати. При створення власного сайта необхідно передбачити окремі поп-ап вікна з лід-магнітом і пропозицією отримати безкоштовний продукт, купон на знижку тощо. Метою є отримання контактів потенційного клієнта. Наявність окремої сторінки спроможна актуалізувати поточну проблему користувача, аби запропонувати йому безкоштовне рішення.

Теоретично впровадити ASF можна і в соціальних мережах, якщо налаштувати там автосполучення і підготувати відповідні лід-магніти тощо.

3. *Трафік*. ASF потрібна для лідогенерації та утримання клієнтів, тобто працює з уже існуючим трафіком. Трафік є необхідною умовою, тому якщо є проблеми із залученням відвідувачів на сайт. Вирішити це можна за допомогою SEO, SMM, платної реклами або інших інструментів.

4. *Система управління контентом* (CMS – Content Management System). Це система управління контентом, тобто це комп'ютерна програма або інформаційна система, яка використовується для організації та забезпечення процесу створення, управління і редагування вмісту сайта.

Особливість системи в тому, що вона не вимагає залучення авторів сайта, не вимагає від користувача знання HTML або володіння основами програмування.

Основним завданням такої системи є збір і об'єднання в єдине ціле, на основі ролей і завдань, різних джерел інформації. Ці джерела можуть бути доступні як усередині самої організації, так і поза її межами. До того ж ця система забезпечує можливість взаємодії різних співробітників, проектів і робочих груп з тими базами знань і даних, які були раніше створені, в такому вигляді й таким способом, щоб зробити процес пошуку та повторного використання максимально комфортним і звичним.

За складом і специфікою такі системи бувають різними, але зазвичай містять у своєму складі дві основні частини. Перша складова частина – це back-office, чия функція полягає в зберіганні та контролі над функціональністю інформації. Друга – це front-office. Ця частина системи забезпечує взаємодію проекту та користувача.

Система управління контентом розділяє вміст і дизайн. Це необхідно для полегшення роботи із сайтом, оскільки при незмінному дизайні, інформація, що міститься на сайті, може змінюватися регулярно. Програма зберігає у своїй пам'яті готові шаблони для додавання інформації, які досить легкі в освоєнні. Ці шаблони дозволяють вибрати дизайн для сторінки в дуже короткий проміжок часу. Відповідно скорочується час на додавання інформації на портал і витрати сил і часу. Система управління контентом постійно пере-

буває на основному сервері, на якому і зберігається велика частина даних. При редагуванні до неї необхідно просто підключитися з використанням будь-якого з відомих інтернет-браузерів.

У CMS системах можна виділити кілька характерних особливостей:

- Детермінована внутрішня архітектура. В CMS системах внутрішня архітектура має розвинуті механізми абстракції, не залежні від CMS-утворюючих модулів. Це значить, що супроводжувати проєкт, виконаний на основі CMS набагато простіше.

- Багатофункціональність. Вебсайти, виконані на основі CMS, володіють також і високим ступенем індивідуалізації: кожен проєкт може бути адаптований щодо конкретної ситуації. Багатофункціональність CMS систем дозволяє створювати на їх основі безліч інтернет-проєктів, наприклад: блоги, сайти-візитки або інтернет-магазини.

- Розширюваність і сумісність. Наявний функціонал CMS систем може бути розширений за рахунок інтеграції додаткових модулів і програмних кодів. Багато CMS підтримують роботу з різними СУБД.

- Шаблонізація. У CMS підтримується шаблонізація – зручне створення, а також інтеграція шаблонів подання (дизайну) без необхідності зачіпати програмне ядро або вміст розроблюваного сайту.

- Зручність використання. CMS можуть являти собою як системи з довільним, досить розширеним і налаштованим набором функціональних можливостей, так і дистрибутиви, зручні для використання непрофесійними програмістами.

5. *Інструменти аналітики.* Для будь-якої ASF потрібно оцінювати ефективність, тому використовуйте інструменти, за допомогою яких можна оцінювати основні метрики (наприклад, openrate у розсилок).

Найкраще мати наскрізну аналітику, щоб розуміти, з яких саме каналів приходять потенційні клієнти або користувачі послуг. Система аналітики для всіх інструментів Automatic sales funnel є в Carrot quest, Roistat, або Rick.

Carrot quest – онлайн-сервіс для автоматизації та прискорення маркетингу, зростання продажів і поліпшення якості комунікації з клієнтами. Carrot quest – це сервіс, що включає в себе інструменти eCRM, email-розсилки, спливаючі вікна, онлайн-чат і вебаналітику. Іншими словами, всі інструменти для проведення автоматизації маркетингу. Система автоматизує процес збирання лідів, збільшує кількість первинних і повторних продажів, здійснювати підтримку на сайті й у соцмережах. Carrot quest допомагає онлайн-бізнесу знаходити взаєморозуміння з користувачами і підвищувати конверсію на кожному кроці ASF: від ліда до перших і повторних продажів.

Основні фічі (особливості) Carrot quest:

- Інструменти для підтримки користувачів: чат на сайті з необмеженою кількістю операторів, інтеграції із соцмережами й месенджерами, автовідповіді, збір контактів, оцінка операторів, аналітика діалогів тощо.

- Інструменти для лідогенерації та продажів: спливаючі форми для збору контактів, збір даних про дії користувача із сайту, автоматична розсилка листів.

- Детальна аналітика ASF, А/Б-тести для експериментів, інтеграція зі звичними для клієнта сервісами.

- Сервіси, з якими у Carrot quest є інтеграція: Telegram, Messenger, amoCRM, Битрикс24, Slack, Viber, Омнідеск.

Система наскрізної бізнес-аналітики Roistat збирає дані з CRM системи, рекламних майданчиків і сайту потенційних клієнтів. За секунди будує звіти по 40+ бізнес-показниками. Основне завдання Roistat - це обробка даних з CRM-системи, сайту, рекламних майданчиків із подальшим формуванням звітів для аналітики ключових бізнес-показників.

Rick – наскрізна аналітика, допомагає при опрацюванні звітів продажів, дає методологію і стежить за точністю показників, щоб маркетологи бачили, де насправді ховаються точки зростання: в каналах, конверсії сайта або у відділі продажів, показує неефективні рекламні кампанії. Rick об'єднує замовлення і оплати з CRM, витрати з рекламних кабінетів і дії користувачів з Google Analytics.

б. *Автоматичні інструменти комунікації*. Email-маркетинг, або інтернет-комунікації, є важливою складовою зовнішніх комунікацій компанії, яка пропонує свій товар або послугу потенційному клієнту. Автоматичні інструменти комунікації здійснюють пошук по контактах та створюють необмежену кількість сегментів, на основі демографічних даних і критеріїв поведінки, з метою ефективного управління маркетингових стратегій для залучення клієнтів. Тобто допомагає у створенні якісного контенту для сайта, керувати ним та перетворювати відвідувачів у клієнтів, що здійснюють покупки, тим самим надає допомогу в підвищенні конверсії сайтів.

Для планування email-маркетингу кампаній і управління продажами необхідно:

- створити блоковий редактор листів з готовими шаблонами;
- використовувати автовідповідачі для автоматичної розсилки акцій, пропозицій тощо;
- застосовувати CRM-систему для побудови й управління процесами продажу, з метою визначення контактів потенційних клієнтів, які можуть здійснити покупку.

Автоматичними інструментами email-маркетингу виступають Mail Chimp, UniSender, Send Pulse, Get Response.

Mail Chimp – сервіс безкоштовних поштових розсилок для WordPress.

UniSender – дозволяє підтримувати зв'язок із клієнтами за допомогою email, SMS і Viber-розсилок.

Send Pulse – пропонує застосовувати розсилки в Facebook для більш широкого охоплення та додатково використовувати web-push повідомлення, щоб повернути відвідувачів на сайт. Безкоштовні web-push повідомлення допомагають залучити до 10 000 передплатників. Ці невеликі спливаючі вікна дозволяють: поінформувати потенційних клієнтів про статус замовлення, новини, розпродажі, нові статті на блогах, навчальні вебінари, повертати клієнтів за допомогою знижок або нагадувати про те, що потрібно продовжити передплату. Спливаючі вікна особливо зручні для збору інформації про e-mail клієнтів, які залишили кошик або не почали оформляти замовлення, або не закінчили її оформлення, з метою повернення клієнтів та подальшого завершення ними виконання операцій.

Get Response – це платформа для email-маркетингу. У ній можна створювати бази потенційних клієнтів, наявних клієнтів і партнерів, щоб в подальшому розвивати з ними відносини і збільшувати базу лояльних та прибуткових клієнтів.

Один із принципів, спільних для побудови інформаційних систем ASF, – це послідовне впровадження та інтеграція різних функціональних модулів, які виконується і для CRM-систем. Нині стандартний функціональний склад таких систем визначається таким чином:

- функціональність продажів, зокрема прогнозування, аналіз циклу продажів, регіональний або продуктової аналіз тощо;
- функціональність маркетингу;
- функціональність підтримки й обслуговування клієнтів;
- функціональність для вищого керівництва компанії, включно з розширеною і легкою у використанні звітністю;
- функціональність електронної торгівлі;
- управління продажами через Інтернет у форматі b2b / b2c;
- функціональність мобільних продажів, зокрема передача інформації торговим представникам на мобільні пристрої;
- функціональність продажів телефоном;

- керування часом, включно з календарним, індивідуальним та груповим плануванням, використання електронної пошти;
- функціональність інтеграції з ERP, зокрема інтеграція з бек-офісом, Інтернетом, зовнішніми базами даних;
- функціональність синхронізації даних, включно із синхронізацією баз даних і серверів додатків усередині компанії, синхронізацією з мобільними і портативними пристроями тощо.

Приклад побудови архітектури CRM системи наведено на рис. 1.

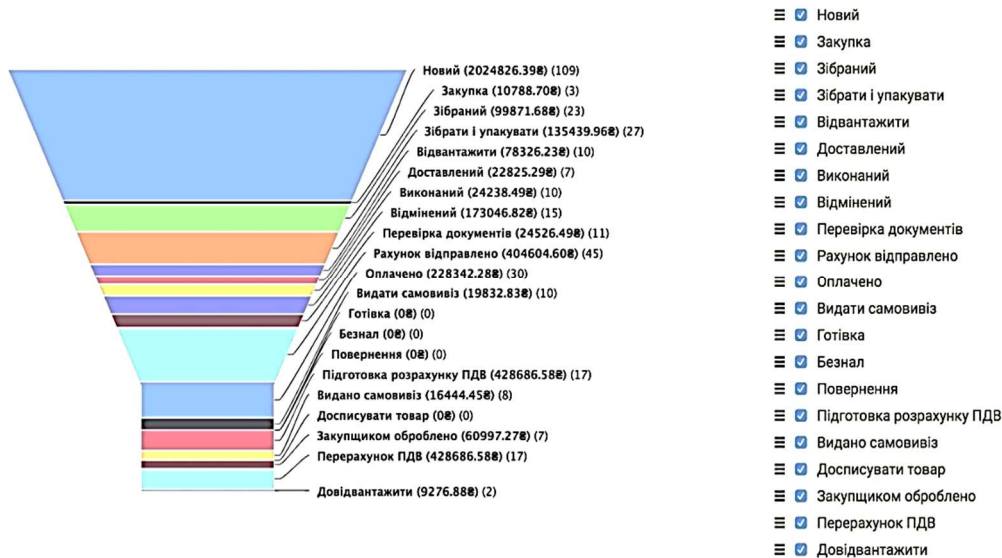


Рис. 1. Приклад побудови архітектури ASF

Стадія 1. Визначення цільової аудиторії. Основна цінність ASF полягає в тому, що вона дозволяє виділити з безлікої маси тих клієнтів, хто потенційно зацікавлений у купівлі запропонованого продукту або послуги. Цей етап відфільтрує тих, у кого немає потреби в продукті, виділить в окрему групу потенційних клієнтів із відкладеним інтересом та пропустить на наступний етап тих, хто зацікавлений у придбанні товарів / послуг.

Стадія 2. Зацікавленість потенційного клієнта. На цьому етапі частина притягнених клієнтів передумає здійснювати купівлю, інші запросять додаткову інформацію про продукт. Таким чином, на третю стадію перейде менша кількість потенційних покупців. На цьому етапі ASF – звужиться.

Стадія 3. Обговорення умов угоди. До моменту зустрічі з менеджером клієнтів, готових придбати продукцію компанії, залишиться ще менше. Кількість тих клієнтів, які продовжать «свою подорож» по ASF, залежить від роботи менеджера з продажів. Деяких покупців може не влаштувати умови угоди, і вони відмовляться від придбання продукту / послуги.

Стадія 4. Укладення угоди. Ця стадія є показовою для оцінки ефективності роботи відділу продажів, оскільки показує кількість клієнтів, які здійснили купівлю товарів / послуг.

Стадія 5. Оплата рахунку. Необхідність цієї стадії у ASF продиктована тими обставинами, що частина клієнтів, які вже уклали угоду, можуть повернути товар або не оплатити рахунок продажу. Цей факт є важливим для коректного підсумку конверсії ASF і оцінки ефективності процесу продажу загалом.

Название сделки	Основной контакт	Телефон (контакт)	Статус сделки	Ближайшая зад.	Источник
Новая заявка	Виктор	+7 916 553 85 66	Проведена встреча		ВК Довжик
Новая заявка	Станислав Сергатовский		Думают	27.10.2014 23:59	ВК Довжик
Айти компания	Умид	+7 965 599 68 93	Думают	Завтра, 23:59	Introvert.bz
Консалтинговая компания	Ален	+7 705 446 77 77	Думают	Завтра, 23:59	Introvert.bz
Фотообои	Владимир	+7 928 110 88 11	Назначена встреча	Завтра, 11:00	Introvert.bz
Новая заявка	Василий Батарейкин	+7 903 257 99 77	Думают	29.10.2014 23:59	Рекомендация
Каркасные дома	Виктория Аксенова	+ 380 95 273 73 41	Проведена встреча	Завтра, 23:59	Рекомендация
Франшиза лапшичной	Снежанна	7 926 946 80 11	Думают	Завтра, 23:59	Introvert.bz
Продажа окон	Юрий Михайлов		Проведена встреча	Завтра, 23:59	Биржа фриланса
Кофе с собой	Павел Салтанов		Новая заявка		ВК Довжик
1дн Косметика для салс	Евгения Замятина		Непонятно	21.10.2014 23:59	ВК Довжик
1дн Ритейл и недвижка	Руслан Морозов		Назначена встреча	21.10.2014 23:59	ВК Довжик
Интернет агентство	Илья Бабков	7 918 8 999 123	Думают	29.10.2014 23:59	ВК Довжик

Рис. 2. CPM-система Automaticsalesfunnel

Конверсія ASF – оптимальна методика оцінки ефективності окремого менеджера департаменту продажів. Конверсія ASF – це відсоток осіб, які здійснили купівлю товару / послуги, щодо кількості притягнутих потенційних клієнтів.

На прикладі ASF: компанія просуває продукт в Інтернеті за допомогою сторінки-лендінга, а саме запускає рекламну кампанію, в якій банер, що веде на сайт-вітрину, (тобто завершальну сторінку колонки продаж, вебсторінка, яка відкривається при натисканні на рекламному оголошенні), показується в мережі 1000 разів. Реклама зацікавила 100 осіб, вони кликнули на банер і перейшли по посиланню на сайт компанії. Конверсія на цій стадії склала: $(1000/100) \cdot 100 \% = 10 \%$.

Таким чином, можна підрахувати конверсію на кожній стадії. Підсумкова конверсія ASF становитиме $0,1 \% = (1000/1) \cdot 100 \%$, що означає одного клієнта, який купив товар, на 1000 потенційно зацікавлених покупців.

Меню налаштування CRM системи рис. 3.

Рис. 3. Меню налаштування CRM-системи

Наступним кроком створення ASF, буде адаптація чатбота до CRM-системи та соціальної мережі.

Опишемо основні етапи створення чат-бота в сервісі Many Chat:

- на початку необхідно підключити бізнес-сторінку компанії у Facebook до Many Chat;
- потім створюється пара елементарних діалогів для чатбота;
- проектується «карусель» (чатбот для Viber може надсилати повідомлення типу «карусель»). Вони складаються з елементів – товарів, які можна горизонтально прокручувати по колу. Кожен елемент містить у собі фото товару, опис, ціну, і кнопку «Купити». Такий формат є функціональним та зручним покупцеві й часто застосовується для реклами;
- планується відправка повідомлень;
- вводиться правила відписки для чатбота;
- завантажується екран вітання з логотипом Many Chat.

Після чого по експертній системі (логістиці) чатбота під кожен позицію розробляється ієрархія повідомлень, яка з'єднується із CRM-системою програмним забезпеченням Zapper (рис. 4).

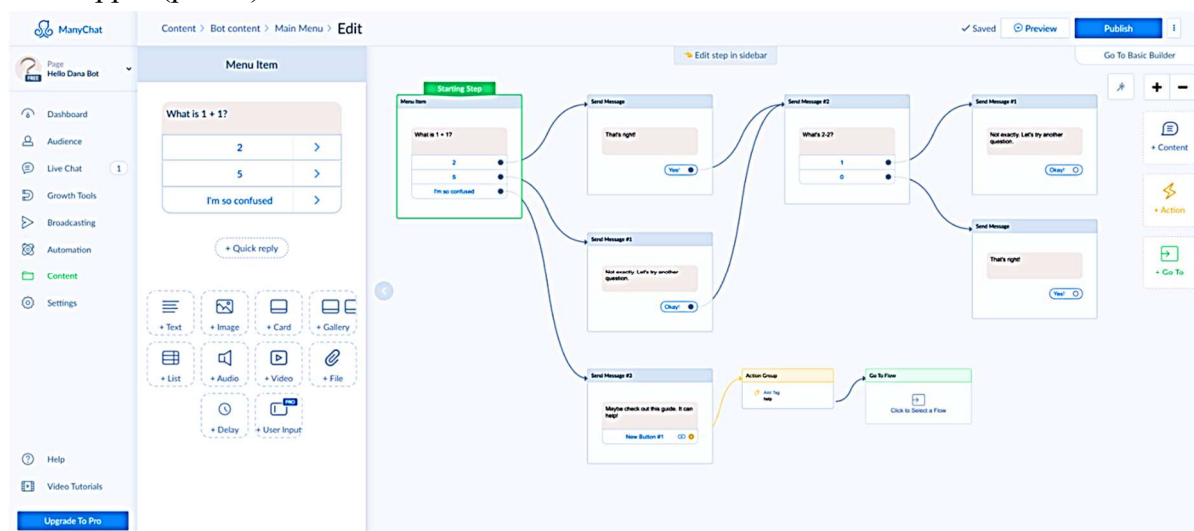


Рис. 4. Ієрархія повідомлень

Наступним кроком буде аналіз результатів по залученню клієнтів та проведенню продажів і розробка нових стратегій реалізації ASF.

Висновки відповідно до статті. В архітектуру етапів розробки Automatic sales funnel закладено новітню технологію по унікальному рішенню реалізації бізнес-процесів компанії, яка дозволяє створити семантичне ядро SEO для швидкої адаптації програмного продукту на цільовому ринку товарів / послуг, новітній лендінг з адаптуванням під різні цифрові пристрої, конверсійну форму використання схем з реалізації трафіку на лідогенерації та його адаптацію у CRM-систему.

Сфера застосування інформаційної системи Automatic sales funnel – це середній і малий бізнес, а саме продаж нерухомості, інформаційний бізнес, продаж путівок на круїзні лайнери, готельно-ресторанний бізнес, надання освітніх послуг тощо.

Список використаних джерел

1. Rzayeva S., Rzayev D. Modeling and analysis of the software of the financial comparison of the enterpris. *The scientific heritage*. 2018. № 24. P. 62-66.
2. Реген Н. Автоворонки для инфобизнеса. *Из серии: 1000 бестселлеров 2017 г.* URL: <https://www.litres.ru/natalya-regen-7619615/avtoronki-dlya-infobiznesa/chitat-onlayn/>.
3. Matt Ackerson. Your Ridiculously Easy Guide to Website Conversion Funnels. URL: <https://www.autogrow.co/conversion-funnel/>
4. Mariana Lessmann. 17 Best Sales Funnel Examples In 2020 To Help You Convert More Customers. URL: <https://www.autogrow.co/best-sales-funnel-examples>.

5. Matt Ackerson. 11 Copywriting Techniques for High-Converting Landing Pages. URL: <https://www.autogrow.co/11-%d1%81opywriting-techniques-to-capture-leads>.

6. David Skok. Customer Acquisition: Maximizing your Funnel. URL: <https://www.forentrepreneurs.com/sales-funnel>.

References

1. Rzaueva, S., Rzauev, D. (2018). Modeling and analysis of the software of the financial comparison of the enterprise. *The scientific heritage*, 24, 62-66.

2. Natalia Regen (2017). Avtovoronky dlya ynfobyznesa [Information car trucks]. Retrieved from <https://www.litres.ru/natalya-regen-7619615/avtovoronki-dlya-infobyznesa/chitat-onlayn>.

3. Matt Ackerson. Your Ridiculously Easy Guide to Website Conversion Funnels. Retrieved from <https://www.autogrow.co/conversion-funnel>.

4. Mariana Lessmann. 17 Best Sales Funnel Examples In 2020 To Help You Convert More Customers. Retrieved from <https://www.autogrow.co/best-sales-funnel-examples>.

5. Matt Ackerson. 11 Copywriting Techniques for High-Converting Landing Pages. Retrieved from <https://www.autogrow.co/11-%d1%81opywriting-techniques-to-capture-leads>.

6. David Skok. Customer Acquisition: Maximizing your Funnel. Retrieved from <https://www.forentrepreneurs.com/sales-funnel>.

UDC 004.41

Svitlana Rzaieva, Dmytro Rzaiev, Valerii Kraskevych,
Andriy Roskladka, Volodymyr Gamaliy

FEATURES OF DEVELOPMENT OF AUTOMATIC SALES FUNNEL INFORMATION SYSTEM

Abstract. The article describes the technology of developing the Automatic sales funnel information system which forms a sequence of actions that first introduce the potential customer to the product / service and then lead to more new purchases. Acquaintance with goods / services and their subsequent purchase is carried out at the automatic level. The architecture of the Automatic sales funnel information system includes a CRM system, an online service for automating e-marketing analytics; the company's own website, content management system used to organize the process of creating, managing and editing the content of the company's website; automatic communication tools for effective management of marketing strategies in order to attract potential customers.

Formulation of the problem. The Automatic sales funnel information system should combine the strategy and tactics used to attract customers, it contains tools that analyze the current state of competition in the target market and the Internet, it should allow the use of expert judgment that divides the faceless mass of customers which are characterized by similar behavior and similar interests into different segments in order to gently lead them to purchasing products / services of the company.

Analysis of research and publications. Recently, articles related to the theoretical foundations of the construction of Automatic sales funnel information systems by Russian and American scientists have been published, but there is no research by Ukrainian scientists on the development and architecture of the Automatic sales funnel information system.

Selection of previously unsolved parts of the overall problem. An applied approach to the implementation of the information system will allow to develop proprietary software for Automatic sales funnel, create a unique turnkey product, create a semantic SEO core for rapid adaptation of the software product in the target market of goods / services.

The purpose of the article is to analyze the features of the development of the information system Automatic sales funnel.

Presenting main material. The general definition of the information system Automatic sales funnel is given. The basic requirements are formulated and definitions regarding the modes of functioning of the Automatic sales funnel information system are given. The stages of development are analyzed and the information system Automatic sales funnel is modeled. The web-application of this system is developed.

Conclusions and suggestions. The architecture of the stages of development of Automatic sales funnel includes the latest technology for a unique solution of the company's business processes. This technology allows to create a semantic SEO core for rapid adaptation of the software product in the target market of goods / services, the latest landing with adaptation to various digital devices, conversion form of using schemes for the implementation of traffic for lead generation and its adaptation to the CRM-system.

Keywords: information system Automatic sales funnel; CRM system; content management system, automatic communication tools, Internet communication.

Fig.: 4. References: 6.

Рзаєва Світлана Леонідівна – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри інженерії програмного забезпечення та кібербезпеки, Київський національний торговельно-економічний університет (вул. Кіото 19, м. Київ, 02156, Україна).

Rzaieva Svitlana – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of Software Engineering and Cybersecurity Department, Kyiv National University of Trade and Economics (19 Kyoto Str., 02156 Kyiv, Ukraine).

E-mail: rzaevasl@ukr.net

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7589-2045>

ResearcherID: N-1141-2016

Рзасв Дмитро Олександрович – старший викладач кафедри інформатики та системології, Київський національний економічний університет імені Вадима Гетьмана (просп. Перемоги 54/1, м. Київ, 03057, Україна).

Rzaiev Dmytro – Senior Lecturer of Informatics and Systemology Department, Kyiv National Economics University after Vadym Hetman, (54/1 Peremogy Avenue, 03057, Kyiv, Ukraine)

E-mail: ditomas@ukr.net

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7149-4971>

Краскевич Валерій Євгенійович – доктор технічних наук, професор, професор кафедри комп'ютерних наук та інформаційних систем, Київський національний торговельно-економічний університет (вул. Кіото 19, м. Київ, 02156, Україна).

Kraskevych Valerii – PhD, Professor, Professor of Computer Science and Information Systems Department, Kyiv National University of Trade and Economics (19 Kyoto Street, Kyiv, 02156, Ukraine).

E-mail: sudza44@hotmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2688-5252>

Роскладка Андрій Анатолійович – доктор економічних наук, професор, завідувач кафедри цифрової економіки та системного аналізу, Київський національний торговельно-економічний університет (вул. Кіото 19, м. Київ, 02156, Україна).

Roskladka Andriy – PhD, Professor, Head of Digital Economics and System Analysis Department, Kyiv National University of Trade and Economics (19 Kyoto Street, Kyiv, 02156, Ukraine).

E-mail: a.roskladka@knute.edu.ua

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1297-377X>

Гамалій Володимир Федорович – доктор фізико-математичних наук, професор, професор кафедри цифрової економіки та системного аналізу, Київський національний торговельно-економічний університет (вул. Кіото 19, м. Київ, 02156, Україна).

Gamaliy Volodymyr – PhD, Professor, Professor of Digital Economics and System Analysis Department, Kyiv National University of Trade and Economics (19 Kyoto Street, Kyiv, 02156, Ukraine).

E-mail: v.gamaliy@knute.edu.ua

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7544-7470>

Юлія Ткач, Дмитро Мехед, Катерина Мехед, Леся Черниш

ОРГАНІЗАЦІЯ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ В УМОВАХ ПАНДЕМІЇ ТА КАРАНТИНУ

Актуальність теми досліджень. Криза Covid-19 та впроваджені карантинні заходи в Україні та по всьому світу змінили форму навчання та роботу науково-дослідних інститутів на дистанційну, що вплинуло на проведення наукових досліджень. Багатьом науковцям доводиться призупиняти збір даних або впроваджувати свої проекти з урахуванням заходів соціального дистанціювання.

Постановка проблеми. На початку 2020 року перед науковцями постало питання проведення експериментальних досліджень у карантинних умовах. Перспективним напрямом у галузі наукових досліджень є визначення методів, за допомогою яких дослідники можуть збирати дані під час карантинних заходів. Виникла необхідність більш ретельного розгляду таких методів у сучасних умовах пандемії.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Цифрові методи дослідження, переваги та ризики їх використання висвітлені більш детально в працях закордонних дослідників Virginia Braun, Rebecca A. Clay, Victoria Clarke, Vaike Fors, Adam Jowett, Helen Kara, Deborah Lupton, Sarah Pink. Методи документального дослідження від щоденників та листів до опитувань та стенограм інтерв'ю докладно розглянули у своїх працях Niall Bolger, Aimee Grant, Malcolm Tight, Daniel Turner, Eshkol Rafaeli.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Нині в роботах вітчизняних учених недостатньо уваги приділяється методам проведення досліджень у період пандемії та карантину.

Мета роботи. Методологічне обґрунтування особливостей застосування онлайн-методів проведення емпіричних досліджень з урахуванням заходів соціального дистанціювання.

Виклад основного матеріалу Для досягнення цієї мети статті використовуються платформи для проведення онлайн-зустрічей із можливістю ведення відеозапису конференцій та месенджери. Нами було виокремлено найбільш безпечні ресурси з погляду інформаційної безпеки та проаналізовано можливості їх реалізації.

Висновки відповідно до статті. У роботі охарактеризовано методи проведення наукових досліджень можливих для використання в період пандемії, виокремлено найбільш безпечні ресурси з погляду інформаційної безпеки та проаналізовано можливості реалізації виокремлених методів проведення наукових досліджень в умовах соціального дистанціювання.

Ключові слова: організація наукових досліджень; цифрова грамотність; цифрова компетентність; методи досліджень; пандемія.

Бібл.: 9.

Актуальність теми дослідження. Пандемія коронавірусу та карантинні заходи, які були вжиті в Україні та інших країнах світу, сприяли більшому використанню ІТ-технологій до проведення наукових досліджень, що веде до появи нових інформаційних загроз. Використання надійних систем та платформ проведення наукового експерименту, захист інформації отриманих даних зазвичай вимагає значних матеріальних та часових затрат, тому важливим елементом вибору методів проведення наукових досліджень є їх апробація ще до початку дослідження. Оскільки інформаційні загрози мають здебільшого ймовірнісний характер, то при виборі платформ та додатків для проведення дослідження доцільно використовувати лише перевірене програмне забезпечення.

Постановка проблеми. На початку 2020 року перед науковцями постало питання проведення експериментальних досліджень в умовах карантинних обмежень і неможливості організації емпіричних досліджень через виконання карантинних заходів і заборону зібрання значної кількості людей разом. Перспективним напрямом у галузі наукових досліджень є визначення методів, за допомогою яких дослідники можуть збирати дані під час карантинних заходів. Невизначеність через коронавірус у проведенні навчання в 2020/21 навчальному році зумовлює необхідність забезпечити готовність організації дистанційного навчання, а від цього й дистанційне проведення експериментів. Безпека платформ для звершення відеодзвінків і інших цифрових методів вимагає ретельного розгляду з погляду як етики (конфіденційність, анонімність, приватність), так і відповідності GDPR (отримання і подання інформаційної згоди, безпека та зберігання даних, захист інформації). Криза Covid-19 вплинула на те, що більшість досліджень почали проводитися дистанційно. Вирішення проблеми цифрової грамотності є ще однією проблемою для дослідників з усього світу.

Цифрові технології дозволяють підтримувати системи охорони здоров'я за допомогою аналітики «Великих даних» і штучного інтелекту для визначення моделей мобільності, епідеміологічних моделей і відстеження контактів. У багатьох інших секторах економіки цифрові технології також є новим стандартом для громадян, урядів і підприємців у всьому світі.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Цифрові методи дослідження, переваги та ризики їх використання висвітлені більш детально в працях закордонних дослідників Virginia Braun, Rebecca A. Clay, Victoria Clarke, Vaike Fors, Adam Jowett, Helen Kara, Deborah Lupton, Sarah Pink. Методи документального дослідження від щоденників та листів до опитувань та стенограм інтерв'ю докладно розглянули у своїх працях Niall Bolger, Aimee Grant, Malcolm Tight, Daniel Turner, Eshkol Rafaeli.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Нині в працях вітчизняних науковців недостатньо уваги приділяється методам проведення наукових досліджень у період пандемії та карантину.

Мета роботи. Методологічне обґрунтування особливостей застосування онлайн-методів проведення емпіричних досліджень з урахуванням заходів соціального дистанціювання. Досягнення цієї мети передбачає вирішення таких завдань:

- охарактеризувати методи проведення наукових досліджень, можливих для використання в період пандемії;
- виокремити найбільш безпечні методи з погляду інформаційної безпеки;
- проаналізувати можливості реалізації виокремлених методів проведення наукових досліджень під час карантину.

Виклад основного матеріалу. Заходи ізоляції, спрямовані на стримування поширення COVID-19, зумовили необхідність припинити збір даних багатьма науковцями або впровадження своїх проєктів з урахуванням заходів соціального дистанціювання, щоб мати змогу продовжувати свої дослідження, поки ситуація у світі не стабілізується.

Безперечно, велика кількість онлайн-інструментів використовувалися і до цього часу. Виникла необхідність більш повно проаналізувати такі методи в сучасних умовах пандемії. Ми виділили найбільш актуальні саме в сучасних умовах: документальні дослідження, автоетнографія та цифрові методи. Саме сьогодні цифрові технології є життєво важливими інструментами, що допомагають людям справлятися з вимогою залишатися вдома й дотримуватися соціальної дистанції під час пандемії коронавірусу (COVID-19). Цифрова компетентність поряд із формуванням здатності до вільної орієнтації в інформаційних потоках передбачає вільне володіння вербальними й невербальними засобами спілкування з іншими людьми за допомогою сучасних засобів інформації.

За допомогою таких методів, як співбесіди та фокус-групи дослідник може отримати разове уявлення про власний опис самої людини. Якщо є необхідність виміряти зміни за певний період, потрібно запланувати декілька зустрічей, кожна з яких буде обмежена тим, що учасник буде згадувати і ділитися. Однак, використовуючи методи документального дослідження, такі як щоденники є змога отримати більш тривале та регулярне розуміння життєвого досвіду, а також змінити динаміку взаємодії дослідник – учасник. Інтерв'ю та фокус-групи іноді можуть бути чимось на зразок допиту, коли дослідник ставить конкретні запитання, а відповіді учасника обмежені колом цих запитань. З щоденниками учасники можуть мати більше автономії, щоб поділитися тим, що вони хочуть, а також де і коли [1; 2; 3]. Ці методи також називають самозвітами або «сучасними методами оцінки», але насправді існує безліч різних способів збору записів у щоденник [2]. Доцільно зауважити, що, крім звичних щоденників у вигляді записів на будь-яких носіях (це може бути як зошит, так і смартфон), можливе використання голосових щоденників (наприклад, диктофон). Методи щоденника дають змогу зібрати докладні й надійні дані [1]. Щоденники також можуть бути об'єднані з інтерв'ю іншими методами, де

іноді щоденник може служити підказкою для подальшого обговорення. Щоденники можуть бути структуровані (як опитувальник) і спрямовані на кількісний аналіз, або напів- або неструктуровані – з вимогою більш вільного викладу. Підтримка зв'язку з учасниками дуже важлива, особливо для довгострокових досліджень, оскільки сприяє мотивованості та залученню. Документальні методи можуть використовувати вибірку на основі інтервалів (тобто записувати щось кожен годину або кожен день) або на основі подій (тобто записувати щось, коли це відбувається, що може бути нерегулярним) [4].

Автоетнографія – це етнографія, написана самим дослідником і через нього (аналогічно як автобіографія – це біографія, написана її суб'єктом). Досвідчене використання автоетнографії вимагає від науковця чіткого розуміння, яку частину себе включити в дослідження як дані, які ще дані збирати і як аналізувати всі ці дані. У продовження автоетнографії треба звернути увагу на дуоетнографію, коли може бути запропоновано досліджувати явище на основі власного досвіду, наприклад, опитуючи один одного [5].

Вирішення проблеми цифрової грамотності є ще однією проблемою для дослідників з усього світу. Цифрові технології є життєво важливими інструментами, що допомагають людям справлятися з вимогою залишатися вдома і дотримуватися соціальної дистанції під час пандемії коронавірусу (COVID-19). Цифрові технології дозволяють підтримувати системи охорони здоров'я за допомогою аналітики «Великих даних» і штучного інтелекту для визначення моделей мобільності, епідеміологічних моделей і відстеження контактів. У багатьох інших секторах економіки цифрові технології також є новим стандартом для громадян, урядів і підприємців у всьому світі.

Цифрова грамотність передбачає вільну орієнтацію в інформаційних потоках і поряд з формуванням здатності до вільної орієнтації в інформаційних потоках передбачає вільне володіння вербальними й невербальними засобами спілкування за допомогою сучасних цифрових інструментів [5].

Але для використання цифрових технологій потрібен доступ до надійного інтернет-з'єднання. Щонайменше 34 країни світу виступили з ініціативами, що включають у себе безкоштовний інтернет-трафік і доступ до платформ електронного навчання для учнів і викладачів, а також субсидований доступ для стаціонарних комп'ютерів і мобільних пристроїв.

Цифрові дослідження або цифрові методи – це поняття, які охоплюють широкий спектр методів, об'єднаних їх залежністю від технологій. У більшості досліджень при роботі з респондентами або фокус-групами важливим є здобуття довіри та порозуміння. Для досягнення цієї мети в період пандемії та під час карантину використовуються цифрові платформи для проведення онлайн-зустрічей із можливістю ведення відеозапису конференцій та месенджери. Нами було виокремлено найбільш безпечні ресурси з погляду інформаційної безпеки та проаналізовано можливості реалізації виокремлених методів проведення наукових досліджень в умовах соціального дистанціювання.

Дуже обережно треба підходити до вибору інструментів для організації тих чи інших методів генерації даних. Найбільш популярними платформами для онлайн-відеоконференцій є, ймовірно, Zoom і Skype, хоча обидві платформи мають проблеми з конфіденційністю, які обмежують їх використання для конфіденційних досліджень. Zoom передає незашифровані належним чином дані, конференція може бути взламаною (якщо не встановлені кімнати очікування і паролі). Skype також може використовувати дзвінки для реклами або «ручного перегляду» даних, тому залишається можливість прослуховування розмов конференції. З цих причин велика кількість університетів і бізнес-організацій перейшли на професійні послуги, такі як BlueJeans [7].

Найпростішим способом проведення онлайн-опитувань є використання месенджерів, таких як, WhatsApp, Facebook Messenger, Viber або Telegram. Більшість із них обмінюються даними з рекламодавцями (й іншими особами) і можуть зажадати від користувачів

надання особистої контактної інформації. Для підключення через WhatsApp або інший месенджер необхідним є використання особистого номера телефону респондента або інших контактних даних.

Хоча будь-який із перерахованих вище інструментів дозволяє проводити групові зустрічі для фокус-груп, існують також спеціальні онлайн-платформи, розроблені спеціально для полегшення досліджень у фокус-групах, такі як itracks або collabito. Основною проблемою використання цих платформ є висока вартість і орієнтація на потреби дослідження ринку. Академічним установам надавався доступ до онлайн-платформ навчання, таких як Blackboard Collaborate або Adobe Connect з можливістю налаштування «гостьового» доступу і запису сеансів з великою кількістю учасників, з дотриманням умов та стандартів конфіденційності.

Серед безкоштовних сервісів із відкритим вихідним кодом провідні позиції посідає Jitsi. Цей сервіс не вимагає жодної додаткової установки (крім iOS або Android) і працює безпосередньо в браузері. Це безкоштовний сервіс із надійно зашифрованою передачею даних для проведення зустрічей.

Важливим фактором відбору платформи для проведення досліджень у період пандемії є можливість запису онлайн-сесій. Більшість дослідників мають потребу зберігати стенограми своїх конференцій, для чого потрібен як мінімум аудіозапис. Запис відео надає більше фактичних даних і дає можливість краще зрозуміти реакцію респондентів.

При використанні конференцій Zoom, слід переконатися, що використовується Local Recording, і файли зберігаються на комп'ютері, а не в хмарі Zoom.

Є й інші інструменти, які можна використовувати для запису на комп'ютері. OBS – це безкоштовне програмне забезпечення з відкритим вихідним кодом для Windows, Mac або Linux, яке дозволяє записувати екран і відеосесанси на комп'ютері.

Що стосується методів вибірки даних, то є безліч потенційних джерел даних. Наприклад, електронні ЗМІ (наприклад, новини і статті в мережі офіційних ЗМІ) можуть бути легко використані для аналізу соціальних уявлень із широкого кола тем. Мовні засоби масової інформації (наприклад, телевізійні або радіопередачі) можуть імітувати обговорення у фокус-групах за темами, а опубліковані автобіографії або блоги можуть надавати розповіді від першої особи для вивчення широкого спектра людського досвіду. Соціологи також провели якісний аналіз підручників, вебсайтів, політичних промов і дебатів. Дискусійні форуми та соціальні мережі також використовувалися для вивчення широкого спектра соціальних явищ. Існують навіть архіви якісних даних відкритого доступу до дослідницьких інтерв'ю і фокус-груп, які можна використовувати для власних цілей. Такі джерела даних можуть бути корисні незалежно від того, чи перебуває дослідник в умовах глобальної пандемії чи ні. Вони легко доступні, і дослідник, ймовірно, досліджує «реальний» соціальний світ, а не штучно генерує дані спеціально для цілей дослідження.

Онлайн-дослідження пов'язані з новими етичними проблемами. По-перше, потрібно мати на увазі, що здоров'я та добробут учасників і дослідників повинні мати пріоритет над термінами проведення досліджень і термінами дисертацій. По-друге, реакція та поведінка людей онлайн під час глобальної пандемії (яка по-різному впливає на стан кожного) також може мати значення для достовірності дослідження. Крім того, потрібно врахувати рівень цифрової компетентності учасників, навички використання цифрових технологій, якість інтернет-з'єднання та з'єднання з WI-FI.

Незважаючи на це, відеодзвінки є близькою заміною особистої співбесіди й можуть дозволити збирати дані на великих географічних територіях, навіть якщо заходи соціального дистанціювання мають місце [7].

Висновки відповідно до статті. У роботі охарактеризовано методи проведення наукових досліджень, можливих для використання в період пандемії, виокремлено найбільш безпечні ресурси з погляду інформаційної безпеки та проаналізовано можливості реалі-

зації виокремлених методів проведення наукових досліджень в умовах соціального дистанціювання. Усі досліджені методи мають свої методологічні переваги й недоліки. Потрібно мати на увазі, що здоров'я та добробут учасників і дослідників повинні мати пріоритет над термінами проведення досліджень.

Список використаних джерел

1. Bolger, N., Davis, A., & Rafaeli, E. (2003). Diary Methods: Capturing Life as it is Lived. *Annual Review of Psychology*, 54(1), 579-616. doi: 10.1146/annurev.psych.54.101601.145030.
2. Turner, D. (2016). Participant Diaries For Qualitative Research. Retrieved from <https://www.quirkos.com/blog/post/qualitative-participant-diaries>.
3. Meth, P. (2003). Entries and omissions: Using solicited diaries in geographical research. *Area*, 35(2), 195-205. doi: 10.1111/1475-4762.0026.
4. Ahlin, T., & Li, F. (2019). From field sites to field events: Creating the field with information and communication technologies (ICTs). *Medicine Anthropology Theory | An Open-access Journal in the Anthropology of Health, Illness, and Medicine*, 6(2), 1-24. doi:10.17157/mat.6.2.655
5. Denzin, N. K. (2006). Analytic Autoethnography, or Déjà Vu all Over Again. *Journal of Contemporary Ethnography*, 35(4), 419-428.
6. Prensky, M. (2005). Computer games and learning: Digital game-based learning. *Handbook of Computer Game Studies*, 18, 97-122.
7. Jowett, A., (2020, April 28) Carrying out qualitative research under lockdown – Practical and ethical considerations. Retrieved from <https://blogs.lse.ac.uk/impactofsocialsciences/2020/04/20/carrying-out-qualitative-research-under-lockdown-practical-and-ethical-considerations>.
8. Turner, D. (2020, April 16). Tips for conducting online interviews and focus groups for qualitative research. Retrieved from <https://www.quirkos.com/blog/post/online-interviews-focus-groups-qualitative-research>.
9. Kaufmann, K., & Peil, C. (2019). The mobile instant messaging interview (MIMI): Using WhatsApp to enhance self-reporting and explore media usage in situ. *Mobile Media & Communication, Online first*, 1-18. doi: 10.1177/2050157919852392.

References

1. Bolger, N., Davis, A., & Rafaeli, E. (2003). Diary Methods: Capturing Life as it is Lived. *Annual Review of Psychology*, 54(1), 579-616. doi: 10.1146/annurev.psych.54.101601.145030.
2. Turner, D. (2016). Participant Diaries For Qualitative Research. Retrieved from <https://www.quirkos.com/blog/post/qualitative-participant-diaries>.
3. Meth, P. (2003). Entries and omissions: Using solicited diaries in geographical research. *Area*, 35(2), 195-205. doi: 10.1111/1475-4762.0026.
4. Ahlin, T., & Li, F. (2019). From field sites to field events: Creating the field with information and communication technologies (ICTs). *Medicine Anthropology Theory | An Open-access Journal in the Anthropology of Health, Illness, and Medicine*, 6(2), 1-24. doi:10.17157/mat.6.2.655
5. Denzin, N. K. (2006). Analytic Autoethnography, or Déjà Vu all Over Again. *Journal of Contemporary Ethnography*, 35(4), 419-428.
6. Prensky, M. (2005). Computer games and learning: Digital game-based learning. *Handbook of Computer Game Studies*, 18, 97-122.
7. Jowett, A., (2020, April 28) Carrying out qualitative research under lockdown – Practical and ethical considerations. Retrieved from <https://blogs.lse.ac.uk/impactofsocialsciences/2020/04/20/carrying-out-qualitative-research-under-lockdown-practical-and-ethical-considerations>.
8. Turner, D. (2020, April 16). Tips for conducting online interviews and focus groups for qualitative research. Retrieved from <https://www.quirkos.com/blog/post/online-interviews-focus-groups-qualitative-research>.
9. Kaufmann, K., & Peil, C. (2019). The mobile instant messaging interview (MIMI): Using WhatsApp to enhance self-reporting and explore media usage in situ. *Mobile Media & Communication, Online first*, 1-18. doi: 10.1177/2050157919852392.

UDC 378.2:004

Yuliia Tkach, Dmytro Mekhed, Kateryna Mekhed, Lesya Chernysh

**ORGANIZATION OF SCIENTIFIC RESEARCH IN THE CONDITIONS
OF PANDEMIC AND QUARANTINE**

Urgency of the research. The Covid-19 crisis and the quarantine measures introduced in Ukraine and around the world have changed the form of training and the work of research institutes to remote one. This fact has influenced the conduct of scientific research. Many scientists have to stop collecting data or implement their projects taking into account indicators of social distance.

Target setting. At the beginning of this 2020, scientists faced the issue of conducting experimental studies during quarantine conditions. A promising area of research is identifying methods by which researchers can collect data during social-distancing. This necessitated a more detailed consideration of such methods during a pandemic.

Actual scientific researches and issues analysis. Digital research methods, benefits and risks of their use are described in studies of foreign scientists such as Virginia Braun, Rebecca A. Clay, Victoria Clarke, Vaike Fors, Adam Jowett, Helen Kara, Deborah Lupton, Sarah Pink. Documentary method from diaries and letters to surveys and interview transcripts considered in detail in the works Niall Bolger, Aimee Grant, Malcolm Tight, Daniel Turner, Eshkol Rafaeli.

Uninvestigated parts of general matters defining. Currently, scientists do not pay enough attention to the methods of conducting scientific research during the pandemic and quarantine.

The research objective. Methodological substantiation of the features of the application of online methods for conducting empirical research, taking into account measures of social distance.

The statement of basic materials. To achieve the goal of the article, platforms are used for holding online meetings with the possibility of video recording of conferences, as well as messengers. We have identified the most secure in terms of information security and analyzed the possibilities of their implementation.

Conclusions. The article describes the possible methods of conducting scientific research during the pandemic, identifies the safest ones from the point of view of information security and analyzes the possibility of implementing the selected methods in conditions of social distance.

Keywords: methodology, digital literacy, digital competence, research methods, pandemic.

References: 9.

Ткач Юлія Миколаївна – доктор педагогічних наук, доцент, доцент, завідувачка кафедри кібербезпеки та математичного моделювання, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

Tkach Yulia – Doctor of Pedagogical Sciences, Associate Professor, Associate Professor, Head of Department of Cybersecurity and Mathematical Simulation, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: tkachym79@gmail.com

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8565-0525>

Мехед Дмитро Борисович – кандидат педагогічних наук, доцент кафедри кібербезпеки та математичного моделювання, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

Mekhed Dmytro – PhD in Pedagogy, Associate Professor of Department of cybersecurity and mathematical simulation, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: d.mekhed@gmail.com

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3905-3620>

ResearcherID: H-1751-2016

Scopus Author ID: 57193823626

Мехед Катерина Миколаївна – аспірант кафедри математики та економіки Національного університету «Чернігівський колегіум» імені Т. Г. Шевченка (вул. Гетьмана Полуботка, 53, м. Чернігів, 14013, Україна).

Mekhed Kateryna – PhD student of mathematics and economics department, Т. Н. Shevchenko National University «Chernihiv Colehium» (53 Hetman Polubotko Str., 14013 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: ekaterina.mekhed@gmail.com

ORCID ID 0000-0003-4599-4099

Черниш Леся Григоріївна – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри кібербезпеки та математичного моделювання, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

Chernysh Lesia – PhD in Technical Science, Associate Professor, Associate Professor of Department of Cybersecurity and Mathematical Simulation, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: lg4@ukr.net

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7446-1684>

Юлія Ткач, Михайло Шелест, Леся Черниш, Світлана Литвин, Артур Бригинець

АНАЛІЗ СИСТЕМ ПІДТРИМКИ АУДИТУ ІНФОРМАЦІЙНОЇ БЕЗПЕКИ

Актуальність теми дослідження. Для забезпечення необхідного рівня безпеки інформації на підприємстві необхідно регулярно проводити аудит безпеки інформаційних систем, тому питання аналізу цього процесу є актуальним завданням у сфері кібербезпеки.

Постановка проблеми. Нині немає виділеної класифікації, а також аналізу параметрів подібних систем із подальшим їх порівнянням. Тобто відсутня систематизація даних щодо систем підтримки аудиту ІБ, яка повинна дозволити спеціалістам робити більш простий та зважений вибір інструменту для проведення комплексного аудиту, або аудиту інформаційної системи на окремому етапі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вивченню та систематизації відомостей щодо аудиту та управління інцидентами інформаційної безпеки в Україні присвячено праці багатьох учених, однак питанням різного роду систем підтримки аудиту інформаційної безпеки присвячена недостатня увага українських науковців.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Незважаючи на численні дослідження в напрямку захисту інформації, досі не запропоновано класифікації об'єктів дослідження під час аудиту ІБ підприємства, а також недостатньо проаналізовано сам процес аудиту.

Постановка завдання. Актуальним вирішенням вказаних проблем є використання різного роду програмних рішень, які значно полегшують проведення систематизованого аудиту інформаційної безпеки на більшості його етапів, тим самим заощаджуючи ресурси підприємства.

Виклад основного матеріалу. Найбільш повного аналізу заслуговують комплексні програми та системи, які охоплюють найбільший спектр можливостей для підтримки аудиту ІБ. Більш спеціалізовані додатки заслуговують об'єму дослідження залежно від реалізованого інструментарію та доцільності в межах аудиту ІБ. Беручи до уваги цілі описаних завдань, можна виділити таку класифікацію об'єктів дослідження з відповідними прикладами: комплексні програми оцінки кіберзагроз у межах мережі, які надають звіт про стан корпоративної мережі, який охоплює ключові загрози ІБ та включає дані про продуктивність і ефективність. Подібні системи дозволяють визначити потенційно вразливі місця та скоригувати політику безпеки організації до настання інцидентів безпеки (Fortinet Cyber Threat Assessment Program); комплексні системи моніторингу дій користувачів, які дозволяють провести внутрішній аудит ІБ, що дозволяє визначити слабкі місця системи захисту інформації та оцінити картину інформаційних потоків на підприємстві (StaffCop Enterprise); програми забезпечення тестування на проникнення на різних його етапах, та мережеві сканери безпеки, зокрема системи виявлення несанкціонованого доступу (Network Intrusion Detection System), які використовуються для фіксації шкідливого трафіку (NMap, XSpider, Snort, Wireshark); засоби розробки та впровадження політик безпеки, які дозволяють проводити розробку політик на основі готових шаблонів, організовувати процеси обговорення, розповсюдження та публікації політик безпеки, а також контролювати інформованість співробітників організації в питаннях ІБ (RUSecure Security Online Support Evaluation); програмні засоби для аналізу ризиків ІБ, які дозволяють здійснювати як кількісний, так і якісний аналіз ризиків, а також містять засоби генерації звітів і формування планів обробки ризиків (RA2, MSAT, vsRisk).

Висновки відповідно до статті. Основна мета аудиту ІБ полягає в отриманні найбільш повної та об'єктивної оцінки захищеності інформаційної системи, локалізуванні наявних проблем та розробці ефективної програми побудови системи забезпечення ІБ організації. До основних задач аудиту, вирішення яких можна автоматизувати за допомогою програмних додатків, належать саме завдання реалізації компонентів системи управління ІБ. Також у межах аудиту ІБ або окремим проектом може бути проведено тестування на проникнення, або пентестинг, що дозволяє перевірити здатність інформаційної системи компанії протистояти спробам проникнення в мережу й неправомірного впливу на інформаційні ресурси.

Ключові слова: інформаційна безпека; аудит інформаційної безпеки; СМІБ; управління інцидентами ІБ; пентестинг; аналіз ризиків; захист інформації.

Бібл.: 5.

Актуальність теми дослідження. Розвиток інформаційних систем і технологій відіграє дуже важливу роль у життєвому циклі більшості організацій. Це передбачає наявність таких проблем, як хакери, шкідливі програми, віруси та кіберзлочини. Для забезпечення необхідного рівня безпеки інформації необхідно регулярно проводити аудит безпеки інформаційних систем, але як основні перешкоди на шляху до успішного аудиту часто виникає така проблема, як брак фахівців та відсутність підготовлених структур у сфері інформаційної безпеки. Актуальним вирішенням вказаних проблем є використання різного роду програмних рішень, які значно полегшують проведення систематизованого аудиту інформаційної безпеки на більшості його етапів, тим самим заощаджуючи ресурси підприємства.

Постановка проблеми. Оскільки аудит – це комплекс заходів, в якому задіяний не тільки аудитор, а і представники більшості структурних підрозділів компанії, усі учасники цього процесу повинні бути скоординовані. Але в умовах нестачі кваліфікованих і досвідчених фахівців у галузі аудиту інформаційної безпеки (ІБ) важливо легко обирати та якісно

використовувати системи, які мінімізують їхні зусилля і при цьому максимізують результати проведеної роботи. Нині немає виділеної класифікації, а також аналізу параметрів подібних систем із подальшим їх порівнянням. Тобто відсутня систематизація даних щодо систем підтримки аудиту ІБ, яка повинна дозволити спеціалістам робити більш простий та зважений вибір інструменту для проведення комплексного аудиту, або аудиту інформаційної системи на окремому етапі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вивченню та систематизації відомостей щодо аудиту та управління інцидентами інформаційної безпеки в Україні присвячено праці О. Г. Корченко, С. О. Гнатюк, С. В. Казмірчук, В. М. Панченко, С. В. Мельник тощо. Окремо можна виділити роботу О. В. Поповича, в якій приділено увагу основним вимогам проведення аудиту інформаційної безпеки [1]. Однак питанням різного роду систем підтримки аудиту інформаційної безпеки присвячена недостатня увага українських науковців.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Незважаючи на численні дослідження в напрямку захисту інформації, досі не запропоновано класифікації об'єктів дослідження під час аудиту ІБ підприємства, а також недостатньо проаналізовано сам процес аудиту.

Мета статті. Враховуючи необхідність забезпечення якісного рівня аудиту інформаційної безпеки на підприємстві та важливість вибору необхідного інструменту серед їх великого різноманіття, за мету статті можна виділити проведення аналізу подібних систем, який передбачає розгляд технічних особливостей, опис основних можливостей та їх порівняння, а також формування базової класифікації систем підтримки аудиту.

Виклад основного матеріалу. Найбільш повного аналізу заслуговують комплексні програми та системи, які охоплюють найбільший спектр можливостей для підтримки аудиту ІБ. Більш спеціалізовані додатки заслуговують об'єму дослідження в залежності від реалізованого інструментарію та доцільності в межах аудиту ІБ.

Актуальним прикладом програмно-апаратного комплексу, розробленого у 2016 році, є Fortinet Cyber Threat Assessment Program (СТАР) [2]. Для участі в програмі необхідно заповнити анкету на сайті Fortinet. У співпраці з ключовими партнерами компанія Fortinet на термін до семи днів встановлює в межах корпоративної мережі замовника міжмережевий екран, що відслідковує мережевий трафік, показники продуктивності, активність додатків і користувачів, події безпеки, а також запобігає спробі отримання доступу зловмисниками до найбільш важливих файлів та інформації з баз даних. Процесор FortiASIC на платформі FortiGate реалізує апаратне прискорення механізмів обробки пакетів і перевірки вмісту мережевого трафіку, таких як антивірусний захист, контроль додатків, система запобігання вторгнень (Intrusion Prevention System, IPS), межсетевое екранування [3]. FortiGate налаштовується в мережі замовника, або через порт зеркалювання трафіку комутатора локальної мережі; при цьому не порушується нормальна робота користувачів та додатків.

Зібрані дані обробляються системою централізованого управління подіями, яка розгорнута на серверах компанії. Отримана інформація використовується для отримання кількісної оцінки та аналізу мережевого трафіку, відображення відомостей про вторгнення, функціонуванні шкідливих додатків і проходженні шкідливих файлів, які можуть становити ризик для мережі замовника. Глибокий аналіз можливих загроз спирається на досвід дослідницьких груп компанії. За результатами аналізу замовнику надається звіт про оцінку ризику (СТАР Risk Assessment Report), що містить рекомендації щодо усунення вразливостей мережі, виявлених в процесі перевірки. Звіт містить інформацію про мережеві операції, додатки віддаленого доступу, виявлені шкідливі програми та файли, заблокованих атаках, зафіксованих зверненнях до шкідливим і фішингових веб-сайтів, а також використанні мережевих протоколів і хмарних сервісів (SaaS і IaaS) в графічному вигляді.

Звіт розбитий на кілька розділів. Вступна частина містить інформацію про дату і місце проведення досліджень, їх тривалості, а також опис засобів захисту інформації, що застосовуються міжмережевим екраном. Далі йде перелік рекомендованих дій, що дозволяють підвищити безпеку конкретної мережі, наприклад дії, спрямовані на посилення контролю за недовіренними додатками, споживанням ними ресурсів мережі, та запобігання обходу політик безпеки. Важливим моментом є опис засобів захисту інформації, що дозволяють забезпечити безпеку мережі від кіберзагроз та комплексних атак. Розглянемо детальніше основні розділи, наведені в звіті СТАР:

- розділ «Безпека та запобігання загрозам» містить інформацію про виявлені вразливості додатків, які можна використовувати для проведення кібератаки, а також оцінку роботи брандмауера і ймовірність порушення правил безпеки;

- розділ «Активність користувачів» описує функціонуючі додатки користувачів мережі, соціальні мережі, P2P, обмін миттєвими повідомленнями;

- розділ «Продуктивність і використання мережі» наводить інформацію про те, як необхідно оптимізувати засоби безпеки для оптимальної роботи в мережі на підставі пропускної здатності мережі, пікових навантажень, вимоги до обсягу трафіку, тестах моніторингу та продуктивності;

Загалом, СТАР - це ефективний, швидкий, та безкоштовний спосіб оцінити рівень інформаційної безпеки корпоративної мережі організації за допомогою програмно-апаратного комплексу компанії Fortinet. Такий зовнішній аудит дозволяє визначити, наскільки ефективним є поточний захист корпоративної мережі і які загрози залишаються непоміченими. Постачальник послуги гарантує, що при реалізації рекомендованих в звіті СТАР заходів інформаційна безпека організації на рівні мережі буде відповідати кращим світовим практикам. Маючи можливість провести глибокий аналіз існуючих або можливих загроз, клієнти отримують чітку оцінку ризиків для їх конкретної мережевої інфраструктури та дізнаються, які дії потрібно зробити в першу чергу, щоб знизити ризики й захистити критично важливі активи.

Особливо важливим є внутрішній аудит ІБ підприємства, так як у будь-якої компанії є комерційна таємниця - інформація, яка, потрапляючи в чужі руки, позбавляє компанію переваги на ринку або в своєму сегменті. Є кілька основних видів інформаційних активів, які слід захищати: це власне інформація, інфраструктура, персонал, імідж та репутація компанії. Відповідно, внутрішні загрози ІБ - це можливі дії співробітників з інформаційними активами, умисні або ні, які можуть мати негативні наслідки для компанії. До таких дій відносяться, наприклад, передача інформації тим, від кого хотілося б її приховати, - зловмисникам або конкурентам, шахрайські дії з грошима компанії, або реалізація товару в свою користь.

Для реалізації внутрішнього аудиту існують системи моніторингу дій користувачів, наприклад StaffCop Enterprise - це програма, яка дозволяє контролювати інформаційний обмін та стан інформаційних ресурсів [4]. З її допомогою можна самостійно провести аудит внутрішньої інформаційної безпеки, отримати статистику вразливостей, а також повну інформацію про інциденти. Система дозволяє отримати найрізноманітніші дані та представити їх у вигляді, зручному для аналізу. StaffCop Enterprise має клієнт-серверну архітектуру, тобто складається з серверної частини, яка розміщується у клієнта, та програм-агентів, які встановлюються на комп'ютерах користувачів і збирають інформацію про їхні дії. Інформація обробляється в серверній частині. Повнота збору даних про той чи інший користувача залежить від налаштувань.

Під необхідність налаштування системи, компанія-розробник пропонує клієнтам тест, який можна заповнити письмово або відповісти на питання усно. Це допоможе адаптувати систему під специфіку організації й необхідні завдання. Після розгортання програми та проведення налаштувань система починає збирати інформацію. Сигнали про інциденти надходять на комп'ютер відповідального співробітника або керівника негайно, інша інформація

формується в звіті. При необхідності можна сформувавши звіт будь-якої структури, використовуючи зібрану інформацію. Інформація в StaffCop Enterprise структурується за трьома основними напрямками: ІБ, облік робочого часу та адміністрування робочих місць.

Функції моніторингу та блокування StaffCop Enterprise реалізують превентивну функцію захисту інформації, реалізуючи наступні можливості:

- контроль присутності на робочому місці;
- логування входу і виходу з системи;
- облік робочого часу;
- реєстрація всіх операцій з файлами;
- створення тінювих копій файлів, що передаються за межі компанії;
- відстеження завантаження файлів в хмарні сховища;
- моніторинг комунікацій співробітників;
- моніторинг електронної пошти по протоколам POP3, IMAP, SMTP;
- перехоплення листів і вкладень через веб-сервіси електронної пошти;
- реєстрація листування в інтернет-месенджерах Skype, ICQ, Jabber;
- реєстрація фактів дзвінків, їх тривалості і архівація SMS в SIP-телефонії;
- реєстрація підключень та блокування USB-пристроїв із категоризацією за класами пристроїв;
- обмеження запису на USB режимом «тільки читання»;
- моніторинг та блокування мережевої активності;
- факти відвідування веб-сайтів та час, проведений на них;
- реєстрація запитів до популярних пошукових систем;
- реєстрація всіх мережевих підключень (програма, ір-адреса, порт);
- факти встановлення та видалення додатків;
- блокування запуску додатків по спискам доступу;
- аудіовізуальний моніторинг співробітників та їхніх комп'ютерів;
- детектор аномалій поведінки користувачів, система сповіщення про інциденти та інші можливості [5].

Система StaffCop Enterprise була розроблена з урахуванням запитів внутрішнього аудиту ІБ, та повністю відповідає функціональним вимогам по виявленню, аналізу і розслідування інцидентів інформаційної безпеки. Особливістю системи є контроль з командного рядка GNU / Linux, що дозволяє реєструвати всі дії адміністраторів на робочих станціях і серверах з встановленим агентом StaffCop. Така функція розширює список співробітників, які можуть перебувати під наглядом. Перевагою також є можливість перегляду картки співробітника, яка консолідує всю інформацію по певному користувачеві в одному місці.

Окремим випадком аудиту ІБ є тестування на проникнення, або пентестинг. Пентестинг дозволяє в досить короткі терміни об'єктивно оцінити реальний рівень захищеності інформаційних активів організації в умовах сучасного стану способів несанкціонованого доступу до інформації. Головною метою тестування на проникнення є виявлення вразливостей, які можуть бути успішно використані зловмисником. Оцінка захищеності забезпечується шляхом моделювання атак потенційних зловмисників а також пошуком вразливостей системи захисту з їх подальшою експлуатацією. У порівнянні з традиційним аудитом ІБ, основною відмінною рисою тесту на проникнення є: менша глибина охоплення інформаційної інфраструктури організації; велика деталізація знайдених вразливостей; більш точна оцінка ризиків ІБ, заснована на результатах реалізації знайдених вразливостей; велика вірогідність результатів аудиту в порівнянні з класичними методами аудиту, такими як заповнення анкет або опитування співробітників.

Тестування на проникнення дозволяє здійснити оцінку більшої кількості процесів ІБ, ніж інструментальний аудит, та може бути реалізовано з допомогою різноманітних програм, цілих систем або спеціалізованих дистрибутивів ОС (наприклад, Kali Linux).

Висновки відповідно до статті. Отже, основна мета аудиту ІБ полягає в отриманні найбільш повної та об'єктивної оцінки захищеності інформаційної системи, локалізуванні наявних проблем та розробці ефективної програми побудови системи забезпечення ІБ організації. До основних задач аудиту, вирішення яких можна автоматизувати з допомогою програмних додатків, відносяться саме задачі реалізації компонентів системи управління ІБ. Також у межах аудиту ІБ або окремим проектом може бути проведено тестування на проникнення, або пентестинг, що дозволяє перевірити здатність інформаційної системи компанії протистояти спробам проникнення в мережу й неправомірного впливу на інформаційні ресурси. Беручи до уваги цілі описаних завдань, можна виділити таку класифікацію об'єктів дослідження з відповідними прикладами:

– комплексні програми оцінки кіберзагроз в рамках мережі, які надають звіт про стан корпоративної мережі, який охоплює ключові загрози ІБ та включає дані про продуктивність і ефективність. Подібні системи дозволяють визначити потенційно вразливі місця і скоригувати політику безпеки організації до настання інцидентів безпеки (Fortinet Cyber Threat Assessment Program);

– комплексні системи моніторингу дій користувачів, які дозволяють провести внутрішній аудит ІБ, що дозволяє визначити слабкі місця системи захисту інформації та оцінити картину інформаційних потоків на підприємстві (StaffCop Enterprise);

– програми забезпечення тестування на проникнення на різних його етапах, та мережеві сканери безпеки, зокрема системи виявлення несанкціонованого доступу (Network Intrusion Detection System), які використовуються для фіксації шкідливого трафіку (NMap, XSpider, Snort, Wireshark);

– засоби розробки та впровадження політик безпеки, які дозволяють проводити розробку політик на основі готових шаблонів, організовувати процеси обговорення, розповсюдження та публікації політик безпеки, а також контролювати інформованість співробітників організації в питаннях ІБ (RUSecure Security Online Support Evaluation);

– програмні засоби для аналізу ризиків ІБ, які дозволяють здійснювати як кількісний, так і якісний аналіз ризиків, а також містять засоби генерації звітів і формування планів обробки ризиків (RA2, MSAT, vsRisk).

Список використаних джерел

1. Попович О. В., Войновська К. О. Особливості аудиту інформаційної безпеки банку при роботі з електронними грошима. *Формування ринкових відносин в Україні*. 2014. № 12. С. 127-130.
2. Fortinet Cyber Threat Assessment. *Fortinet*. URL: <https://www.fortinet.com/offers/cyber-threat-assessment>.
3. Next-Generation Firewall (NGFW). *Fortinet*. URL: <https://www.fortinet.com/products/next-generation-firewall>.
4. StaffCop. URL: <https://www.staffcop.ru>.
5. Обеспечение информационной безопасности. URL: <https://www.staffcop.ru/information-security>.

References

1. Popovych, O. V., Voinovska, K. O. (2014). Osoblyvosti audytu informatsiinoi bezpeky banku pry roboti z elektronnyh hroshyma [Features of the bank's information security audit when working with electronic money]. *Formuvannia rynkovykh vidnosyn v Ukraini – Formation of market relations in Ukraine*, 12, 127-130 [in Ukrainian].
2. Fortinet Cyber Threat Assessment. *Fortinet*. Retrieved from <https://www.fortinet.com/offers/cyber-threat-assessment>.
3. Next-Generation Firewall (NGFW). *Fortinet*. Retrieved from <https://www.fortinet.com/products/next-generation-firewall>.
4. StaffCop. Retrieved from <https://www.staffcop.ru>.
5. *Obespechenie informatsionnoi bezopasnosti [Information security]*. Retrieved from <https://www.staffcop.ru/information-security>.

UDC 519.9:004.681

Yuliia Tkach, Mykhailo Shelest, Lesya Chernysh, Svitlana Lytvyn, Artur Bryhynets

ANALYSIS OF INFORMATION SECURITY AUDIT SUPPORT SYSTEMS

Urgency of the research. In order to ensure the required level of information security at the enterprise it is necessary to regularly conduct security audits of information systems, so the analysis of this process is an urgent task in the field of cybersecurity.

Target setting. Currently, there is no dedicated classification, as well as analysis of the parameters of such systems with their subsequent comparison. That is, there is no systematization of data on IS audit support systems, which should allow specialists to make a simpler and more balanced choice of tool for a comprehensive audit, or audit of the information system at a separate stage.

Actual scientific researches and issues analysis. Work of many scientists is devoted to the study and systematization of information on the audit and management of information security incidents in Ukraine, but the issues of various types of information security audit support systems have received insufficient attention from Ukrainian scientists.

Uninvestigated parts of general matters defining. Despite numerous studies in the field of information security, the classification of research objects during the audit of the enterprise IS has not been proposed yet, and the audit process itself has not been sufficiently analyzed.

The research objective. An urgent solution to these problems is the use of various software solutions that greatly facilitate a systematic audit of information security at most of its stages, thus saving enterprise resources.

The statement of basic materials. The most complete analysis deserves comprehensive programs and systems that cover the widest range of opportunities to support IS audit. More specialized applications deserve research, depending on the tools and feasibility of the IS audit. Taking into account the objectives of the described tasks, the following classification of research objects can be highlighted with relevant examples: comprehensive cyber threat assessment programs within the network, which provide a report on the state of the corporate network, covering key IS threats and including performance and efficiency data. Such systems allow you to identify potential vulnerabilities and adjust the organization's security policy before security incidents (Fortinet Cyber Threat Assessment Program); comprehensive systems for monitoring user actions, which allow for internal audit of IS, which allows to identify weaknesses in the information security system and assess the picture of information flows in the enterprise (StaffCop Enterprise); intrusion testing programs and network security scanners, including the Network Intrusion Detection System, which are used to detect malicious traffic (NMap, XSpider, Snort, Wireshark); security policy development and implementation tools that allow policy development based on ready-made templates, organize processes of discussion, dissemination and publication of security policies, as well as control the awareness of employees of the organization in matters of IS (RUSecure Security Online Support Evaluation); software for IS risk analysis, which allows for both quantitative and qualitative risk analysis, as well as means for generating reports and forming risk treatment plans (RA2, MSAT, vsRisk).

Conclusions. The main purpose of IS audit is to obtain the most complete and objective assessment of the security of the information system, localization of existing problems and development of an effective program for building an IS security system of the organization. The main tasks of the audit, the solution of which can be automated with the help of software applications, are the tasks of implementing the components of the IS management system. Penetration testing or pentesting can also be performed as part of an IS audit or a separate project, which allows to check the ability of the company's information system to resist attempts to penetrate the network and improper influence on information resources.

Keywords: information security; information security audit; SMIB; IS incident management; pentesting; risk analysis; information protection.

References: 5.

Ткач Юлія Миколаївна – доктор педагогічних наук, доцент, доцент, завідувачка кафедри кібербезпеки та математичного моделювання, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

Tkach Yulia – Doctor of Pedagogical Sciences, Associate Professor, Associate Professor, Head of Department of Cybersecurity and Mathematical Simulation, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: tkachym79@gmail.com

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8565-0525>

Шелест Михайло Євгенович – доктор технічних наук, професор, професор кафедри кібербезпеки та математичного моделювання, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

Shelest Mykhailo – Doctor of Technical Science, Professor, Professor of Department of Cybersecurity and Mathematical Simulation, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: mishel3141@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1090-0371>

SCOPUS Author ID: 57211429755

Черниш Леся Григоріївна – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри кібербезпеки та математичного моделювання, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

Chernysh Lesia – PhD in Technical science, Associate Professor, Associate Professor of Department of Cybersecurity and Mathematical Simulation, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: lg4@ukr.net

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7446-1684>

Литвин Світлана Володимирівна – кандидат педагогічних наук, доцент, завідувач кафедри іноземних мов професійного спрямування, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

Lytvyn Svitlana – PhD in Pedagogical Science, Associate Professor, Head of Department of Foreign Languages for Specific Purposes, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: xpower777@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0530-1828>

Researcher ID: H-5712-2018

Бригинець Артур Анатолійович – магістрант кафедри кібербезпеки та математичного моделювання, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

Chernysh Lesia – PhD in Technical science, Associate Professor, Associate Professor of Department of Cybersecurity and Mathematical Simulation, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: is.steel.97@gmail.com

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0235-545X>

УДК 004.056

DOI: 10.25140/2411-5363-2020-2(20)-210-217

Михайло Шелест, Юлія Ткач, Сергій Семендй, Марина Синенко, Леся Черниш

ДОСЛІДЖЕННЯ СТІЙКОСТІ АЛГОРИТМУ АВТЕНТИФІКОВАНОГО ШИФРУВАННЯ НА БАЗІ SPONGE-ФУНКЦІЇ

Актуальність теми досліджень. Автентифіковане шифрування призначено для забезпечення конфіденційності, контролю цілісності та достовірності даних. Альтернативним підходом до побудови спеціальних алгоритмів автентифікованого шифрування є використання конструкцій типу sponge. Конструкції sponge є відносно новими криптографічними примітивами. Дослідження та оцінювання нових рішень у сфері криптографії, зокрема алгоритмів автентифікованого шифрування на базі sponge-функцій, завжди є актуальними у зв'язку з можливим їх застосуванням для задач безпеки сучасного кіберпростору.

Постановка проблеми. Перед практичним впроваджені нового методу або засобу криптографічного захисту інформації необхідно проведення його ретельного дослідження, насамперед щодо його стійкості до атак та швидкодії.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вивчення питань автентичного шифрування та sponge-функцій здебільшого вивчався закордонними вченими, зокрема, М. Беллар, Ч. Нампремпре, В. Глігор, П. Донеску, Г. Бертоні, Дж. Даємен, М. Пітерс, Ван Ашче Г., М. Боровський, С. Агієвич, В. Марчук, А. Маслов, В. Семенов. Досліджень вітчизняних учених з цих питань немає.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Нині в роботах вітчизняних та закордонних науковців ще не досліджувалось питання стійкості до атак алгоритму автентифікованого шифрування, на базі sponge-функцій *Bash-f*.

Постановка завдання. Дослідити стійкість запропонованого алгоритму автентифікованого шифрування, а саме, отримати оцінки стійкості криптоалгоритму до атак, спрямованих на розшифрування шифртексту (відновлення ключа шифрування), та атак, спрямованих на порушення цілісності (підробки імітовставки).

Виклад основного матеріалу. Використання ітераційних конструкцій типу sponge є альтернативним підходом у побудові алгоритмів автентифікованого шифрування. Основними параметрами, за якими оцінюють алгоритм шифрування, зазвичай, є його стійкість до атак, спрямованих на розшифрування шифртексту (відновлення ключа шифрування), та швидкодія процесу шифрування. У випадку з алгоритмом автентифікованого шифрування, додається ще оцінювання його стійкості щодо атак, спрямованих на порушення цілісності (підробки імітовставки). Здебільшого оцінюють стійкість алгоритму як до відомих атак загального призначення, наприклад, *tradeoff*-атаки, так і до базових атак, що розробляються спеціально під алгоритм.

Вивчена стійкість алгоритму щодо різних видів *tradeoff*-атак. Незважаючи на те, що обчислювальна складність *tradeoff*-атак менше, ніж атаки «брутальної сили», необхідні об'єми пам'яті та кількість префіксів для проведення успішної атаки є достатньо великими. Тому його застосування на практиці є малоймовірним.

Стійкість алгоритму була розглянута відповідно до наступних базових атак: пошук шляхів; знаходження циклів; відновлення стану; внутрішня колізія. Ймовірність успіху базових атак задають оцінки зверху на стійкість sponge-функції, мінімальне число звернень до F для успішної атаки становить $O(2^{c+2})$.

Для режимів алгоритму, що залежить від ключа, розглядаються атаки 'прогнозування гами' та 'підробка імітовставки'. Очікуване число звернень до F складало $O(2^{c/2})$, а при $l \leq c$ атаки взагалі не несуть загрози.

Висновки відповідно до статті. Отримані результати щодо стійкості алгоритму автентифікованого шифрування як до універсальної *tradeoff*-атаки, так і до базових атак для конструкцій sponge підтверджують, що він є стійким. Враховуючи отримані раніше оцінки швидкодії реалізації цього алгоритму, можна стверджувати, що даний клас алгоритмів бази sponge-функції *Bash-f* може бути перспективним для використання при створенні захищеного кіберпростору.

Ключові слова: автентифікаційне шифрування; sponge-функція; оцінка стійкості криптоалгоритму; *tradeoff*-атака; базові атаки на конструкції sponge.

Табл.: 2. Бібл.: 10.

Актуальність теми дослідження. Автентифіковане шифрування (це коли проводиться одночасне виконання функцій шифрування та імітозахисту) призначено для забезпечення конфіденційності, контролю цілісності та достовірності даних [1-2]. Сторони, які мають загальні ключі, можуть організувати не тільки шифрований обмін повідомленнями, але і здійснювати контроль цілісності шляхом додавання імітовставок до повідомлення, що дозволяє переконуватися в прийомі достовірного повідомлення. Автентифіковане шифрування забезпечує певну функціональну гнучкість: ключі можуть оновлюватися в процесі обробки даних; є можливість шифрувати тільки окремі частини повідомлення або чередувати шифровані та відкриті повідомлення; імітовставки можуть бути відсутні або, навпаки, траплятися кілька разів. Переважно алгоритми автентифікованого шифрування будують на базі блочних криптосистем: деякі з них симулюють класичний підхід, виключаючи використання двох ключів, інші – є оригінальними конструкціями.

Альтернативним підходом до побудови алгоритмів автентифікованого шифрування є використання конструкцій типу *sponge* [3-4]. Конструкції *sponge* є відносно новими криптографічними примітивами, які можуть бути використані для побудови різноманітних криптографічних алгоритмів. *Sponge*-функції належать до *LRX*-класу криптографічних перетворень і можуть ефективно за швидкістю реалізуватися на програмованих логічних інтегральних схемах, тому що в них задіяні тільки логічні операції (*L*), циклічні зрушення (*R*) та XOR (*X*), що є цікавим при сучасних швидкостях телекомунікацій.

У роботі [5] білоруськими вченими запропоновано цікаву *sponge*-функцію *Bash-f*. Дослідження та оцінювання нових рішень у сфері криптографії, зокрема алгоритмів автентифікованого шифрування на базі *sponge*-функцій, завжди є актуальними у зв'язку з можливим їх застосуванням для задач безпеки сучасного кіберпростору.

Постановка проблеми. Методи та засоби криптографічного захисту інформації посідають важливе місце в системі забезпечення безпеки кіберпростору. До сучасних засобів криптозахисту висувають певні вимоги, передусім обґрунтовану стійкість та швидкодію, яка відповідає сучасним вимогам. Усі нові рішення у сфері криптографії, що пропонуються для практичного використання, повинні пройти відповідні дослідження.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Значний внесок із розробки теорії автентичного шифрування внесли іноземні вчені М. Беллар, Ч. Нампремпре, В. Глігор, П. Донеску. Питаннями щодо *sponge*-функцій щільно займаються закордонні вчені Г. Бертоні, Дж. Даємен, М. Пітерс, Ван Ашче Г., М. Боровський, С. Агієвич, В. Марчук, А. Маслов, В. Семенов. Досліджень вітчизняних учених із даних питань немає. У роботах Дж. Хонга, П. Саркара, О. Дункелмана, Н. Келлера, А. Бірюкова, А. Шаміра, С. Баббеджа досить повно відображено інформацію щодо універсальних атак на криптоалгоритми.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. На даний час у роботах вітчизняних та зарубіжних вчених не досліджувалось питання стійкості до стандартних атак алгоритму автентифікованого шифрування, на базі *sponge*-функції *Bash-f*.

Мета статті. Метою статті є дослідження стійкості алгоритму автентифікованого шифрування з використанням *sponge*-функції *Bash-f*, а саме, отримання оцінки стійкості криптоалгоритму до атак, спрямованих на розшифрування шифртексту (відновлення ключа шифрування), та атак, спрямованих на порушення цілісності (підробки імітовставки).

Виклад основного матеріалу. Використання ітераційних конструкцій типу *sponge* є альтернативним підходом у побудові алгоритмів автентифікованого шифрування. В їх основі лежить *sponge*-функція, яка визначає складне бієктивне перетворення над внутрішнім станом $S \in \{0,1\}^b$ конструкції. У стані *S* виділяють дві частини $S_r \in \{0,1\}^r$ та $S_c \in \{0,1\}^c$, такі що $b=r+c$ та $S=S_r || S_c$. Підстан S_r може видаватися назовні як частина виходу конструкції, а підстан S_c тримається в секреті і назовні не видається. Різні значення *r* та *c* визначають компроміс між швидкістю обробки даних і стійкістю *sponge*-конструкції: збільшення *r* з одночасним зменшенням *c* призводить до збільшення швидкості та зниження стійкості.

У роботі [3] для *sponge*-алгоритмів в припущенні, що ключ *K* зберігається в таємниці та обирається випадково та ймовірно з множини $\{0,1\}^{|K|}$, визначені такі вимоги безпеки (де *A* – відкриті дані/заголовок, *C* – шифртекст, *M* – відкритий текст, *T* – імітовставка):

1. *Неможливість відновлення ключа.* Ймовірність знаходження нападником ключа в будь-якій атаці, в якій він може перевірити *n* ключів, не перевищує $n \cdot 2^{-|K|}$.

2. *Неможливість підробки імітовставки.* За умови неможливості відновлення ключа ймовірність успішного визначення нападником імітовставки для будь-якої пари (*A*, *M*) дорівнює $2^{-|T|}$, навіть коли нападнику відомий шифртекст *C*, який відповідає (*A*, *M*), та виходи (*C_i*, *T_i*) для адаптивно обираємих їм входів (*A_i*, *M_i*), де (*A_i*, *M_i*) ≠ (*A*, *M*).

3. *Неможливість відновлення відкритого тексту.* Для нападника найбільш ефективним методом отримати будь-якої інформації про M (за винятком інформації щодо довжини) по виходу (C, T) , відповідному входу (A, M) , де A обирається нападником, а M – невідомо, є відновлення ключа, навіть якщо нападнику відомі виходи (C_i, T_i) для адаптивно обираємих їм входів (A_i, M_i) , де $A_i \neq A$.

Відзначимо, що вимоги щодо неможливості відновлення відкритого тексту базується на тому, що для фіксованого ключа не повинно бути двох входів (A', M') та (A'', M'') , де $A' = A''$ та $M' \neq M''$. Унікальність відкритих даних для того ж самого ключа є критичним з погляду криптографічної стійкості.

Оцінку стійкості будемо проводити в припущенні, що базове перетворення F *sponge*-функції *Bash-f* не відрізняється від випадкового.

Основними параметрами, за якими оцінюють алгоритм шифрування, зазвичай, є його стійкість до атак, направлених на розшифрування шифртексту (відновлення ключа шифрування), та швидкість процесу шифрування. У випадку з алгоритмом автентифікованого шифрування додається ще оцінювання його стійкості щодо атак, направлених на порушення цілісності (підробки імітовставки).

Здебільшого оцінюють стійкість алгоритму як до відомих атак загального призначення (наприклад, повний перебір ключового простору або *tradeoff*-атаки [6-8]), так і до базових атак, що розробляються спеціально під алгоритм.

Умови атаки щодо розшифрування (відновлення ключу шифрування) полягають у тому, що нападник повинен відрізнити випадкову вхідну послідовність від зашифрованого на секретному ключі тексту, при цьому нападник може звертатись як до оракулу розшифрування (на вхід оракула заборонено подавати вхідну послідовність, яку потрібно відрізнити), так і до *sponge*-функції.

Умови атаки щодо порушення цілісності (підробки імітовставки) складаються у тому, що нападник повинен підробити імітовставку заданого вхідного повідомлення, при цьому він може звертатися до оракулу виробки імітовставки (потрібно подавати на вхід вихідне повідомлення) або до *sponge*-функції.

Для оцінювання стійкості автентифікованого шифрування треба довести, що нападник не має суттєвих переваг в умовах проведення певної атаки.

У випадку, коли автентифіковане шифрування використовується для зашифрування відомого відкритого тексту, то воно може розглядатися як поточний алгоритм, який формує гаму по блоках.

Tradeoff-атака відноситься до ефективних універсальних атак на алгоритми поточного шифрування [9]. Ця атака використовується для обернення односторонньої функції, тобто для визначання невідомого прообразу по відомому образу. Такі односторонні функції відображають внутрішній стан чи ключ та синхропосилку алгоритму у вихідну послідовність, яка називається префіксом [6]. Довжина потрібного префіксу залежить від класу атаки. Якщо атака направлена на відновлення внутрішнього стану, то довжина префіксу повинна дорівнювати сумі довжин ключа та синхропосилки. Префікси, що використовуються в атаці, можуть відповідати тому самому ключу чи різним ключам.

Атака складається з двох етапів [7]:

1) етап попередніх обчислень, на якому у відповідності до алгоритму створюються певні таблиці;

2) етап реального часу (етап пошуку рішення), на якому відстежуються вихідні префікси та відновлює внутрішній стан чи ключ по таблицях, що створені на першому етапі.

Tradeoff-атака характеризується наступними параметрами [8]:

- N – потужність множини внутрішніх станів та ключів (потужність простору пошуку);
- P – обчислювальна складність етапу попередніх обчислень;
- M – розмір пам'яті, необхідний для зберігання попередньо обчислених таблиць;

- T – обчислювальна складність етапу реального часу;
- D – кількість префіксів, необхідних для проведення атаки;
- π – ймовірність успіху атаки.

Для того, щоб атака була успішною, параметри повинні відповідати визначеному рівнянню компромісу, яке залежить від класу атаки. Зазвичай розглядають рішення для рівняння компромісу з ймовірністю успіху атаки $\pi = 0,63$.

Проведемо аналіз стійкості алгоритму автентифікованого шифрування до найбільш ефективних *tradeoff*-атак.

Метою атаки є визначення таємного ключа $K \in \{0,1\}^l$, де $l \in \{128, 256\}$ – рівень стійкості. Будем рахувати, що проводиться атака на алгоритм шифрування при відомому відкритому тексті (тобто при відомій гамі). У такому випадку нападнику буде невідома тільки частина $S[1571-2l\dots] \in \{0,1\}^{2l-8}$ внутрішнього стану $S \in \{0,1\}^{1563}$. У випадку успішного відновлені значення внутрішнього стану S у деякий момент часу t , легко можна отримати значення внутрішнього стану, який мав місце одразу ж після загрузки ключа та синхропосилки, а також безпосередньо сам ключ.

У роботі [9] розглянуто *BG*-атаку, оснований на парадоксі днів народження та направлену на відновлення початкового стану. Рівняння компромісу *BG*-атаки має вид: $TM=N$, де $M=D$, $P=M=N/D$, N – потужність множини станів. Одним з можливих рішень рівняння є $T=M=D=P=N^{1/2}$.

У роботі [10] запропонована модифікація класичної *tradeoff*-атаки (позначимо її як *BS*-атака). Дана атака направлена на відновлення початкового стану алгоритму. Рівняння компромісу *BS*-атаки має вид: $T \cdot M^2 \cdot D^2 = N^2$, де $P=N/D$, $1 \leq D^2 \leq T$, N – потужність множини ключів. Одним з можливих рішень для даного рівняння є

$$T=M=N^{1/2}, D=N^{1/4}, P=N^{3/4}.$$

Атаки *BG* та *BS* направлені на відновлення внутрішнього стану. У випадку, коли сума довжин ключа та синхропосилки менше ніж розмір внутрішнього стану, застосовуються більш ефективні модифікації таких атак. Наприклад, у роботі [6] запропоновано модифікації атак *BG* та *BS*, що направлені на відновлення ключа по префіксам, отриманих на одному ключі, но на різних синхропосилках (дані атаки позначимо через *HBG* и *HBS*, відповідно). При довжині ключа k , довжині синхропосилки v та потужності множини ключів N рішеннями для даних модифікацій є:

- $(P, D, M, T) = (N^{1/2}, N^{1/2}, N^{1/2}, N^{1/2})$, де $P = 2^{(k+v)/2} < 2^k$ для $k > v$;
- $(P, D, M, T) = (N^{2/3}, N^{1/3}, N^{1/3}, N^{2/3})$, де $P = 2^{(k+v)/3} < 2^k$ для $k > 2v$;
- $(P, D, M, T) = (N^{3/4}, N^{1/4}, N^{1/2}, N^{1/2})$, де $P = 2^{(k+v)/4} < 2^k$ для $k > 3v$.

Перші два рішення відповідають *HBG*-атаці, а третє – *BS*-атаці.

У роботі [7] описана модифікація *BS*-атаки (назвемо її *DK*-атака), яка спрямована на відновлення ключа по префіксах, отриманих на різних ключах та однаковій синхропосилці. Рівняння компромісу для такого виду атаки є

$$T \cdot M^2 \cdot D^2 = N^2,$$

де $1 \leq D^2 \leq T$, $P=N/D$, N – потужність множини ключів. Одними з можливих рішень для цього рівняння є:

- $(P, D, M, T) = (N^{2/3}, N^{1/3}, N^{1/3}, N^{2/3})$;
- $(P, D, M, T) = (N^{3/4}, N^{1/4}, N^{1/2}, N^{1/2})$.

У табл. 1-2 наведено характеристики деяких *tradeoff*-атак відносно досліджуваного алгоритму для рівня стійкості $l = 128$ та $l = 256$. Для *HBG*-атаки довжина синхропосилки $v = l/2$.

Таблиця 1

Характеристики tradeoff-атак для рівня стійкості $l=128$.

Атака	N	T	M	D	P
<i>BG</i>	2^{248}	2^{124}	2^{124}	2^{124}	2^{124}
<i>BS</i>	2^{248}	2^{124}	2^{124}	2^{62}	2^{186}
<i>HBG</i>	2^{192}	2^{96}	2^{96}	2^{96}	2^{96}
<i>DK</i>	2^{128}	$2^{85.3}$	$2^{42.7}$	$2^{42.7}$	$2^{85.3}$

Таблиця 2

Характеристики tradeoff-атак для рівня стійкості $l=256$.

Атака	N	T	M	D	P
<i>BG</i>	2^{504}	2^{252}	2^{252}	2^{252}	2^{252}
<i>BS</i>	2^{504}	2^{252}	2^{252}	2^{126}	2^{378}
<i>HBG</i>	2^{384}	2^{192}	2^{192}	2^{192}	2^{192}
<i>DK</i>	2^{256}	$2^{170.7}$	$2^{85.3}$	$2^{85.3}$	$2^{170.7}$

З наведених даних видно, що найкращі характеристики має *DK*-атака. Незважаючи на те, що обчислювальна складність *DK*-атаки менше, ніж атаки «брутальної сили», необхідні об'єми пам'яті та кількість префіксів для проведення успішної атаки є достатньо великими. Тому його застосування на практиці є малоімовірним.

Тепер розглянемо стійкість алгоритму по відношенню до базових атак.

У роботі [3] досліджено стійкість *sponge*-функції щодо базових атак, в яких апріорі немає ніяких припущень щодо можливих атаках на функцію F .

У дослідженні передбачалось, що нападник може виконати не більше, ніж β звернень до F (у т.ч. до F^{-1} , якщо F є бієкцією). Стійкість алгоритму була розглянута відповідно до таких базових атак:

– *Пошук шляхів*. Необхідно знайти такий рядок, який після фази 'вбирання' алгоритму отримує заданий внутрішній стан. Ймовірність успіху атаки становила $\beta^2/2^{c+2}$, якщо F – бієкція.

– *Знаходження циклів*. Проводиться пошук циклів у вихідних послідовностях при коректних вхідних даних. Ймовірність успіху атаки складала $\beta^2/2^{c+r+1}$, якщо F – не бієкція.

– *Відновлення стану*. Для заданого рядка Z проводиться відновлення відповідного стану S . Ймовірність успішної атаки складала $\beta/2^c$.

– *Зв'язування виходу*. Для заданого рядка Z проводиться пошук такого стану S , який видає відповідний вихід. При цьому не гарантується, що такий стан існує. Ймовірність успішної атаки складала $\beta/2^{|Z|-r}$.

– *Внутрішня колізія*. Проводиться пошук таких двох рядків, що в результаті завершення етапу «вбирання» отримується однаковий внутрішній стан (зовнішні стани можуть відрізнитися). Ймовірність успіху атаки складала $\beta^2/2^{c+1}$.

Вразливість *sponge*-функції до таких атак обумовлена тим, що стан кінцевий, тому атаки не спроможні до випадкового оракулу. Ймовірність успіху базових атак задають оцінки зверху на стійкість *sponge*-функції. Мінімальне число β звернень до F для однієї успішної атаки становить $O(2^{c+2})$.

Для режимів, що залежить від ключа, розглядаються наступні атаки.

– *Прогнозування гами*. Після завершення успішної атаки по відновленню поточного стану по відомій частині вихідної гами прогнозується інша частина гами. Очікуване число звернень до F складала $2^{c/2}$, а при $l \leq c$ атака взагалі не несе загрози.

– *Підробка імітовставки*. Після успішного проведення атаки по відновленню поточного стану може бути проведена підробка імітовставки для нового повідомлення при спостереженні наборів пар «повідомлення+імітовставка» – «імітовставка». Очікуване число звернень до F становила $2^{r+c-n}/(m+1)$, де m – число спостережених повідомлень, а

n – довжина імітовставки. При $l \leq c - \log_2(m)$ атака не становить загрози. При $m = 2^{c/2}$ отримано оцінку $c \geq 2l$. Інший спосіб підробки імітовставки полягає в пошуку внутрішньої колізії ключової sponge-функції. Очікуване число спостережних блоків становить $2^{c/2}$. Після визначення внутрішньої колізії імітовставки можуть бути легко подроблені.

Висновки відповідно до статті. Отримані результати щодо стійкості досліджуваного алгоритму автентифікованого шифрування як до універсальної *tradeoff*-атаки, так й до базових атак для конструкцій *sponge* підтверджують, що він є стійким. Враховуючи отримані раніше оцінки швидкодії реалізації цього алгоритму [10], можна стверджувати, що цей клас алгоритмів бази *sponge*-функції F може бути перспективним для використання при створенні захищеного кіберпростору.

Список використаних джерел

1. Bellare M., Namprempre Ch. Authenticated Encryption: Relations among notions and analysis of the generic composition paradigm. *ASIACRYPT 2000, LNCS 1976*. 2000. P. 531–545.
2. Gligor V., Donescu P. Fast Encryption and Authentication: XCBC Encryption and XECB Authentication Modes. *Matsui M. (Eds.) Fast Software Encryption. FSE 2001. LNCS 2355*. Springer, Berlin, Heidelberg, 2001. P. 92–108.
3. Bertoni G., Daemen J., Peeters M., Van Assche G. (2011). Cryptographic sponge functions. Retrieved from <http://sponge.noekeon.org/CSF-0.1.pdf>.
4. Borowski M. The sponge construction as a source of secure cryptographic primitives. *Military Communication Conference*, France, 2013.
5. Agievich S., Marchuk V., Maslau A., Semenov V (2016). Bash-f: another LRX sponge function. *Proceedings of the 5th Workshop on Current Trends in Cryptology*, Russia (pp. 184–205).
6. Hong J. Sarcar P. New Application of Time Memory Data Tradeoffs. *Advances in Cryptology, Asiacrypt 2005, LNCS 3788*. Springer-Verlag, 2005. P. 353–372.
7. Dunkelman O., Keller N. Treatment of the initial value in Time-Memory-Data Tradeoffs attacks on stream ciphers. *Information Processing Letters*. 2008. Vol. 107(5). P. 133-137.
8. Biryukov A., Shamir A. Cryptanalytic Time-Memory Data Tradeoffs for Stream Ciphers. *Advances in Cryptology, proceedings of ASIACRYPT 2000, LNCS 1976*. Springer-Verlag, 2000, P. 1–13.
9. Babbage S. Improved exhaustive search attacks on stream ciphers. *European Convention Security and Detection, IEE Conference publication No. 408, IEE*, 1995, P. 161–166.
10. Бакрі М., Гері Л. Ч. Віяй, Юрченко А. В., Ткач Ю. М., Шелест М. Є. Реалізація стандарту шифрування SES для забезпечення безпеки цифрової інфраструктури. *Безпека ресурсів інформаційних систем* : тези доп. учасників I Міжнар. наук.-практ. конф. (м. Чернігів 16-17 квітня 2020 р.). Чернігів : Вид-во ЧНТУ, 2020. С. 30–31.

References

1. Bellare, M., Namprempre, Ch. (2000). Authenticated Encryption: Relations among notions and analysis of the generic composition paradigm. *ASIACRYPT 2000, LNCS 1976*, pp. 531–545 [in English].
2. Gligor, V., Donescu, P. (2001). Fast Encryption and Authentication: XCBC Encryption and XECB Authentication Modes. In *Matsui M. (Eds.) Fast Software Encryption. FSE 2001. LNCS 2355*. (pp. 92–108). Springer, Berlin, Heidelberg [in English].
3. Bertoni, G., Daemen, J., Peeters, M., Van Assche G. (2011). Cryptographic sponge functions. Retrieved from <http://sponge.noekeon.org/CSF-0.1.pdf> [in English].
4. Borowski, M. (2013). The sponge construction as a source of secure cryptographic primitives. *Military Communication Conference*. France [in English].
5. Agievich, S., Marchuk, V., Maslau, A., Semenov, V. (2016). Bash-f: another LRX sponge function. *Proceedings of the 5th Workshop on Current Trends in Cryptology*, Russia (pp. 184–205) [in English].
6. Hong, J. Sarcar, P. (2005). New Application of Time Memory Data Tradeoffs. *Advances in Cryptology. Asiacrypt 2005, LNCS 3788* (pp. 353–372). Springer-Verlag [in English].
7. Dunkelman, O., Keller, N. (2008). Treatment of the initial value in Time-Memory-Data Tradeoffs attacks on stream ciphers. *Information Processing Letters*, 107(5), 133-137 [in English].
8. Biryukov A., Shamir A. Cryptanalytic Time-Memory Data Tradeoffs for Stream Ciphers. *Advances in Cryptology, proceedings of ASIACRYPT 2000, LNCS 1976* (pp. 1-13). Springer-Verlag, 2000 [in English].

9. Babbage, S. (1995). Improved exhaustive search attacks on stream ciphers. *European Convention Security and Detection, IEE Conference publication No. 408*, IEE, 161-166 [in English].

10. Bakri, M., Heri, L. Ch. Viiari, Yurchenko, A. V., Tkach, Yu. M., Shelest, M. Ie. (2020). Realizatsiia standartu shyfruvannia SES dlia zabezpechennia bezpeky tsyfrovoy infrastruktury [Realization of the SES encryption standard for secure digital security infrastructure]. *Bezpeka resursiv informatsiinykh system : I Mizhnar. nauk.-prakt. konf. – Security of information systems resources: I International scientific-practical conf. (Chernihiv, April 16-17, 2020)*. Chernihiv [in Ukraine].

UDC 004.056

Mikhailo Shelest, Yuliia Tkach, Sergiy Semendyyay, Marina Sinenko, Lesya Chernish

STUDY OF THE STRENGTH OF AN AUTHENTICATED ENCRYPTION ALGORITHM BASED ON SPONGE FUNCTION

Urgency of the research. In recent years, the direction of "cryptography of substitutions" has been formed in theoretical cryptography, which studies fixed substitutions of large dimensions as crypto-primitives. So-called sponge functions can be used in the implementation of this class of primitives.

Target setting. One of the approaches to building authenticated encryption algorithms is to use sponge functions. In some countries (for example, in the Republic of Belarus and Malaysia) the development of national standards for cryptographic protection of information using authenticated encryption algorithms based on the sponge function *Bash-f* is being completed. In this regard, there is some interest in the study of this algorithm, especially to assess its resistance to attacks and evaluate its speed.

Actual scientific researches and issues analysis. In modern research, a significant place is occupied by the problems of cryptographic protection of information. In the works of scientists widely various issues regarding the protection of information, including cryptographic are described, but the question of the stability of the algorithm of authenticated encryption based on the sponge function remains unexplored.

Uninvestigated parts of general matters defining. At present, the work of domestic and foreign scientists has not studied the issue of resistance to standard attacks of the algorithm of authenticated encryption, based on the proposed by Belarusian scientists sponge-function *Bash-f*.

The research objective. Investigate the resistance to standard attacks of the authenticated encryption algorithm, based on the sponge function *Bash-f* proposed by Belarusian scientists.

The statement of basic materials. The use of iterative constructions such as sponge is an alternative approach in the construction of authenticated encryption algorithms. The main parameters by which the encryption algorithm is evaluated are usually its resistance to attacks aimed at decrypting the ciphertext (recovery of the encryption key), and the speed of the encryption process. In the case of the authenticated encryption algorithm, an assessment of its resistance to attacks is added, aimed at violating the integrity (forgery of imitations). As a rule, the stability of the algorithm is evaluated both to known general-purpose attacks, such as tradeoff-attacks, and to basic attacks developed specifically for the algorithm.

The stability of the algorithm for different types of tradeoff-attacks is studied. Although the computational complexity of tradeoff attacks is less than brute force attacks, the amount of memory required and the number of prefixes for a successful attack is large enough. Therefore, its application in practice is unlikely.

The stability of the algorithm was considered in accordance with the following basic attacks: search for ways; finding cycles; recovery; internal collision. The probability of success of basic attacks is determined by estimates from above on the stability of the sponge function, the minimum number of calls to F for a successful attack is $O(2^{c+2})$.

For key-dependent algorithm modes, 'gamma prediction' and 'fake imitation' attacks are considered. The expected number of appeals to F was $O(2^{c/2})$, and at $l \leq c$ attacks do not pose a threat at all.

Conclusions. The results obtained on the resilience of the investigated algorithm of authenticated encryption to both universal tradeoff-attack and basic attacks for sponge constructs confirm that it is stable. Given the previously obtained estimates of the speed of implementation of this algorithm, it can be argued that this class of algorithms based on the sponge function F may be promising for use in creating a secure cyberspace.

Keywords: authentication encryption; sponge-function; cryptographic algorithm stability assessment; tradeoff-attack; basic attacks on sponge constructs.

Table: 2. References: 10.

Шелест Михайло Євгенович – доктор технічних наук, професор, професор кафедри кібербезпеки та математичного моделювання, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

Shelest Mykhailo – Doctor of Technical Science, Professor, Professor of Department of Cybersecurity and Mathematical Simulation, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: mishel3141@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1090-0371>

SCOPUS Author ID: 57211429755

Ткач Юлія Миколаївна – доктор педагогічних наук, доцент, завкафедри кібербезпеки та математичного моделювання, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

Tkach Yuliia – Doctor of Pedagogical Science, Associate Professor, Head of Department of Cybersecurity and Mathematical Simulation, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenko str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: tkachym79@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8565-0525>

SCOPUS Author ID: 57193026076

Семендяй Сергій Матвійович – завідувач лабораторії кібербезпеки, аспірант, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

Semendiai Serhii – Head of the cybersecurity laboratory, PhD Student, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: sovnarcom@ukr.net

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7751-5956>

Синенко Марина Анатоліївна – кандидат фізико-математичних наук, доцент, доцент кафедри кібербезпеки та математичного моделювання, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

Synenko Maryna – PhD in Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Cybernetic Protection and Mathematical Modeling, Chernigiv National University of Technology (95 Shevchenko str., 14035 Chernigov, Ukraine).

E-mail: mara.a.snnk@gmail.com

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8961-533X>

Scopus ID: 6504542623

ResearcherID: V- 1813-2017

Черниш Леся Григоріївна – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри кібербезпеки та математичного моделювання, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

Chernysh Lesia – PhD in Technical science, Associate Professor, Associate Professor of Department of Cybersecurity and Mathematical Simulation, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: lg4@ukr.net

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7446-1684>

УДК 004.7

DOI: 10.25140/2411-5363-2020-2(20)-218-228

Володимир Базилевич, Марина Мальцева, Тарас Петренко, Леся Черниш

**ЗАХИЩЕНА СИСТЕМА РОЗУМНОГО БУДИНКУ
З ВИКОРИСТАННЯМ INTERNET OF THINGS**

Актуальність теми дослідження. Сьогодні Internet of Things (Інтернет речей, IoT) щільно увійшов у життя мільярдів людей по всьому світу. IoT використовується в багатьох сферах людської діяльності – промисловості, побуті, медицині, освіті, управлінні містами та ін. Однак зростання кількості підключених пристроїв веде до збільшення ризиків безпеки – від заподіяння фізичної шкоди людині за допомогою цих пристроїв до пошкодження надскладного технологічного обладнання. Саме тому питання забезпечення захисту систем IoT є актуальними.

Постановка проблеми. Комплексний захист систем IoT можливий лише при забезпеченні надійного мережевого, програмного та технічного захисту пристроїв, обладнання та комунікацій з яких складаються ці системи. Враховуючи те, що вищезазначені об'єкти та методи їх захисту можна об'єднати в окрему захищену систему розумного дому, її розробка є актуальною теоретичною та практичною задачею кібербезпеки.

Аналіз досліджень і публікацій. Сьогодні існує багато публікацій, в яких аналізуються проблеми безпеки IoT, та пропонуються шляхи їх вирішення, проте роботи, в яких була б розроблена окрема захищена система IoT на прикладі розумного будинку, відсутні.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Аналізуючи багаторівневу архітектуру IoT-систем і особливості хмарних платформ Інтернету речей, виділяючи потенційно вразливі компоненти цих комплексних рішень (система управління доступом до IoT-пристрою і хмарної платформи; хмари, мобільні додатки та веб-інтерфейси пристроїв; оновлення програмного забезпечення; пам'ять пристроїв; локальні сховища даних; апаратні та програмні інтерфейси пристроїв; мережеві сервіси пристроїв; екосистема комунікацій, зокрема мережевий трафік) можна стверджувати що побудова захищеної системи розумного дому з використанням IoT дозволить підвищити рівень захищеності цих систем.

Метою статті – побудова захищеної системи з використанням IoT на прикладі розумного будинку.

Виклад основного матеріалу. Визначено основні поняття IoT, досліджено основні сфери використання IoT, зроблено захищену систему розумного будинку з використанням IoT в якій використано основні способи захисту інформації що доцільно впроваджувати в мережах розумного будинку – VPN, брандмауер, ACL та паролі для надійного захисту. Проаналізовані основні вразливості IoT та шляхи їх усунення. Розглянуті різні архітектури систем IoT. Запропоновано алгоритм налагодження захищеної системи розумного будинку з використанням IoT

Висновки відповідно до статті. В роботі було розроблено захищену систему з використанням Internet of Things на прикладі розумного будинку. Визначено переваги та недоліки використання Інтернет речей. Досліджено, що популярність Інтернет речей зростає щосекунди, тому необхідно більше уваги приділяти їх захисту. Основними вразливостями IoT можна вважати відсутність стандартизації, шифрування трафіку, встановлення дефолтних паролів за замовчуванням. Було запропоновано схему захищеної системи розумного будинку з використанням Internet of Things побудовану в Cisco Packet Tracer та покроковий алгоритм налагодження системи її захисту з використанням фаєрволу ASA5505 для фільтрації вхідного трафіку. Було створено складні паролі для облікових записів пристроїв IoT. Протоколи бездротової передачі WPA2/3-PSK з використанням алгоритму AES забезпечує безпеку бездротової передачі даних. На домашньому контролері встановлено унікальний SSID. Створену систему можна впроваджувати та безпечно використовувати в будинках та офісах.

Ключові слова: IoT; мережа; розумний будинок; VPN; WPA2-PSK; ASA5505; ACL.

Рис.: 10. Табл.: 1. Бібл.: 12.

Актуальність теми дослідження. Сьогодні Internet of Things (Інтернет речей, IoT) щільно увійшов в життя мільярдів людей по всьому світу. IoT використовується в багатьох сферах людської діяльності – промисловості, побуті, медицині, освіті, управлінні містами та ін. Однак зростання кількості підключених пристроїв веде до збільшення ризиків безпеки – від заподіяння фізичної шкоди людині за допомогою цих пристроїв до пошкодження надскладного технологічного обладнання. Саме тому питання забезпечення захисту систем IoT є актуальними.

Постановка проблеми. Комплексний захист систем IoT можливий лише при забезпеченні надійного мережевого, програмного та технічного захисту пристроїв, обладнання та комунікацій з яких складаються ці системи. Враховуючи те, що вищезазначені об'єкти та методи їх захисту можна об'єднати в окрему захищену систему розумного дому, її розробка є актуальною теоретичною та практичною задачею кібербезпеки.

Аналіз досліджень і публікацій. Сьогодні існує багато публікацій, в яких аналізуються проблеми безпеки IoT та пропонуються шляхи їх вирішення, проте робіт, в яких була б розроблена окрема модель захисту IoT на прикладі розумного будинку, немає.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Аналізуючи багаторівневу архітектуру IoT-систем і особливості хмарних платформ Інтернету речей, виділяючи потенційно вразливі компоненти цих комплексних рішень (система управління доступом до IoT-пристрою і хмарної платформи; хмари, мобільні додатки та вебінтерфейси пристроїв; оновлення програмного забезпечення; пам'ять пристроїв; локальні сховища даних; апаратні та програмні інтерфейси пристроїв; мережеві сервіси пристроїв; екосистема комунікацій, зокрема мережевий трафік) можна стверджувати що побудова захищеної системи розумного дому з використанням IoT дозволить підвищити рівень захищеності цих систем.

Метою статті є побудова захищеної системи з використанням IoT на прикладі розумного будинку.

Виклад основного матеріалу. Сьогодні до IoT належить понад десять мільярдів пристроїв, що мають підключення до Інтернету. Вони можуть збирати дані та взаємодіяти один з одним, передаючи дані. Завдяки появі дешевих рішень IoT і поширенню бездротових мереж можна перетворити що-небудь від дуже маленького, такого як таблетки, до дуже великого, такого як літак, у частину IoT. IoT складається з розумних приладів із доступом до Інтернету, що використовують вбудовані системи, такі як процесори, датчики та комунікаційне обладнання, щоб збирати, надсилати та діяти на основі даних, які вони отримують зі свого середовища. Пристрої IoT взаємодіють з іншими та можуть ділитися даними, що вони збирають, підключившись до шлюзу IoT або іншого кінцевого пристрою, в якому дані надсилаються в хмару для аналізу. Іноді пристрої можуть бути з'єднанні один з одним, взаємодіяти та на основі отриманих результатів виконувати певні, запрограмовані дії. Здебільшого «розумні речі» працюють без втручання людини, проте в разі потреби, можлива їх взаємодія. Як приклад, людина може налаштувати їх, дати їм інструкції або отримати доступ до даних.

У зв'язку з багаторівневою архітектурою IoT-систем і особливостями хмарних платформ Інтернету речей на базі технологій Big Data, можна виділити наступні потенційно вразливі компоненти цих комплексних рішень:

- система управління доступом до IoT-пристрою і хмарної платформи;
- хмари, мобільні додатків та веб-інтерфейси пристроїв;
- оновлення програмного забезпечення;
- пам'ять пристроїв;
- встановлення програмного забезпечення від вендора;
- локальні сховища даних;
- апаратні та програмні інтерфейси пристроїв;
- мережеві сервіси пристроїв;
- екосистема комунікацій, зокрема мережевий трафік [1].

Вперше термін «Інтернет речей» вжив Кевін Ештон у 1999 році, піонер британських технологій. За словами Ештона IoT є системою фізичних об'єктів у світі, підключених до Інтернету за допомогою датчика [2]. Найпростіше визначення – Інтернет речей – це мережа фізичних пристроїв, які поєднують у собі IP-зв'язок із програмним забезпеченням, датчиками, виконуваними механізмами та іншою електронікою, щоб безпосередньо інтегрувати фізичний світ у наші комп'ютерні системи, що призводить до підвищення ефективності та економічної вигоди [2].

Протоколи підключення, мережевих зв'язків та комунікацій, що використовуються з цими веб-пристроями, значною мірою залежать від конкретних застосованих програм IoT. IoT також може використовувати штучний інтелект (AI) та машинне навчання для полегшення та динаміки процесів збору даних.

Майже будь-який фізичний пристрій можна перетворити на Інтернет речей, якщо має підключення до Інтернету для контролю та передачі інформації.

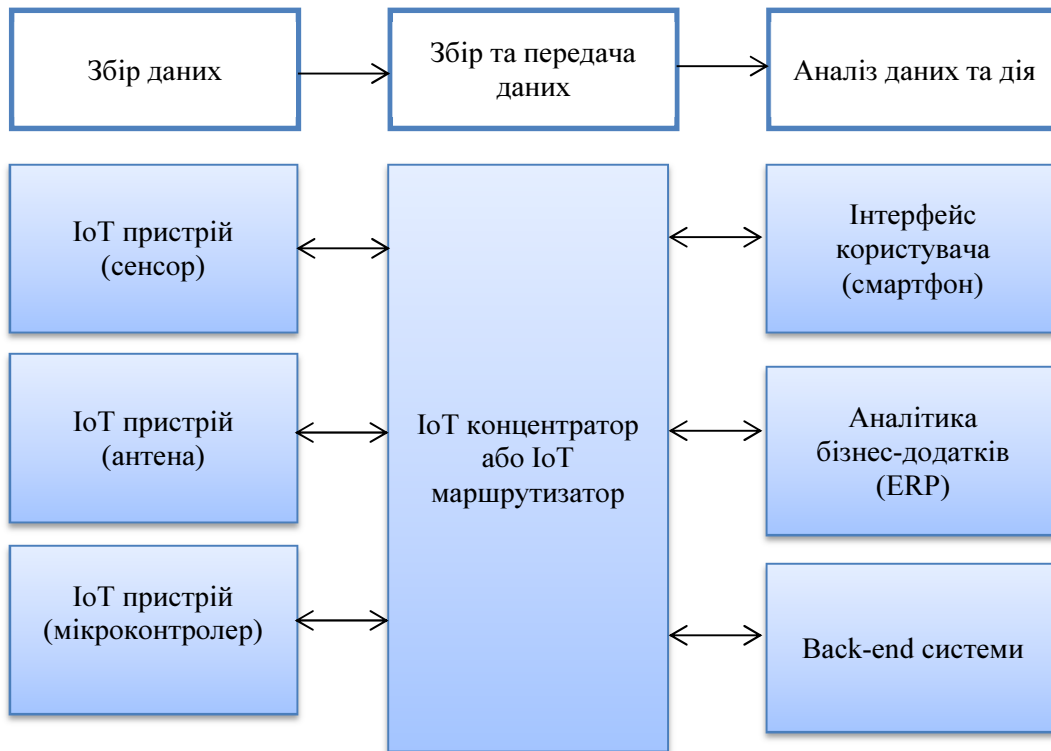


Рис. 1. Приклад IoT системи

Джерело: [3].

Експерти почали називати IoT промисловою революцією 4.0. Звіти статистики IoT показують, як технологічні інновації матимуть вирішальну роль в організації економіки, охорони здоров'я, маркетингу, банківської справи та фінансів, а також уряду. IoT збирається розпочати високий ступінь автоматизації, налаштування та підключення.

Ось деякі факти щодо статистики IoT:

- 127 нових пристроїв IoT підключаються до Інтернету щосекунди;
- побутова електроніка становить 63 % усіх встановлених блоків IoT;
- до кінця 2020 року кількість пристроїв IoT в будинках зросте майже до 13 млрд;
- 23 % поточних масштабних проєктів IoT – це розумні міста;
- 40 % пристроїв IoT використовуються в галузі охорони здоров'я;
- глобальні витрати на IoT становитимуть 15 трильйонів доларів за шість років між 2019 та 2025 роками;
- кількість активних пристроїв IoT в 2020 році перевищить 30 млрд [4].

Не існує загальної єдності в поглядах на архітектуру IoT, з якою б погодилися всі науковці. На думку деяких дослідників, архітектура IoT має три шари, але деякі дослідники підтримують чотиришарову архітектуру. Вони вважають, що завдяки удосконаленню, IoT архітектура трьох шарів не може відповідати вимогам додатків. Через проблеми в IoT щодо безпеки та конфіденційності також була запропонована архітектура п'яти шарів. Вважається, що нещодавно запропонована архітектура може відповідати вимогам IoT щодо безпеки та конфіденційності. Ієрархія всієї запропонованої шаруватої архітектури Internet of Things (IoT) показана на рис. 2, де показані шарові архітектури IoT, що складаються відповідно з трьох, чотирьох та п'яти рівнів.



Рис. 2. Ієрархія архітектур IoT

Джерело: [5].

Трирівнева архітектура – це базова архітектура й відповідає основній концепції IoT. Вона була запропонована на ранніх стадіях розвитку IoT. І має три рівні (сприйняття, мережевий та прикладний), як показано на рис. 3.

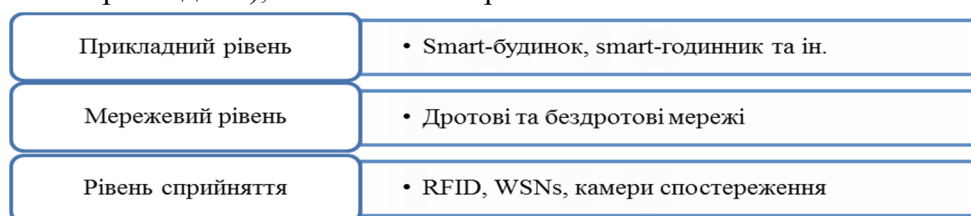


Рис. 3. Трирівнева архітектура IoT

Джерело: [5].

Чотирьохрівнева архітектура. Тришарова архітектура була базовою архітектурою. Через постійний розвиток в IoT, вона не могла виконати всіх вимог до IoT. Тому дослідники представили архітектуру з чотирма рівнями. Вона має три рівня, як попередня архітектура, та ще один рівень, який називається рівнем підтримки. На рис. 4 представлені рівні цієї архітектури з механізмами безпеки, що використовуються для забезпечення захисту від зловмисників.

П'ятирівнева архітектура. Чотирьохрівнева архітектура відіграла важливу роль у розвитку IoT. Були також деякі проблемні питання щодо безпеки та зберігання даних в чотирьохрівневій архітектурі. Внаслідок чого дослідники запропонували п'ятишарову архітектуру, щоб зробити IoT більш надійним. Вона має три основні рівні (рівень сприйняття, транспортний та прикладний), бізнес-рівень та рівень обробки. Вважається, що запропонована архітектура має можливість максимально виконувати вимоги IoT. Вона також має можливість захищати програми IoT [5].

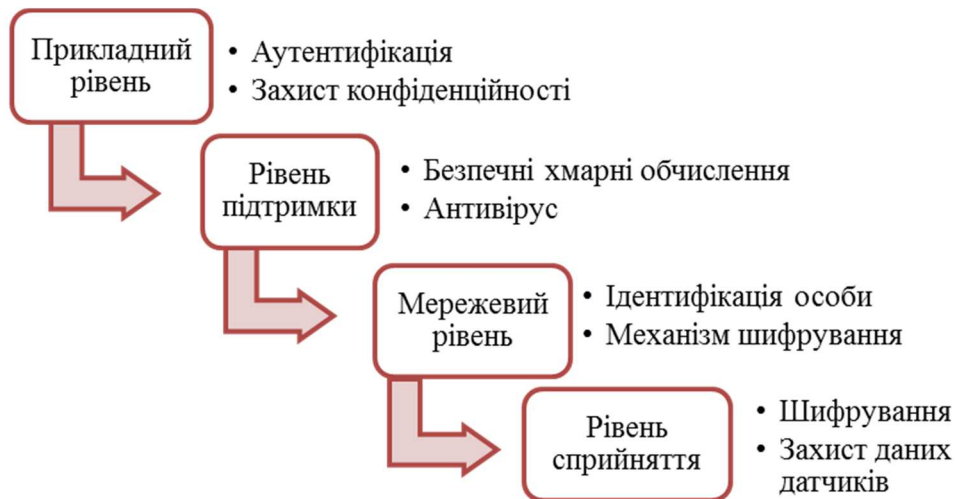


Рис. 4. Чотирьохрівнева архітектура IoT

Джерело: [5].

Інтернет речей переймає сучасні технології і застосовується в різних галузях. Нині ми маємо змогу збирати, обробляти та надсилати дані до інших об'єктів, додатків чи серверів. Протоколи IoT дозволяють цим об'єктам спілкуватися та обмінюватися даними. Протоколи IoT можна класифікувати на дві категорії: мережеві та протоколи даних (рис. 5). Мережеві протоколи використовуються для підключення різних пристроїв, що використовуються в мережі, і зазвичай використовуються Інтернет. З іншого боку, протоколи даних використовуються для підключення IoT низької потужності та підключаються без використання Інтернету.

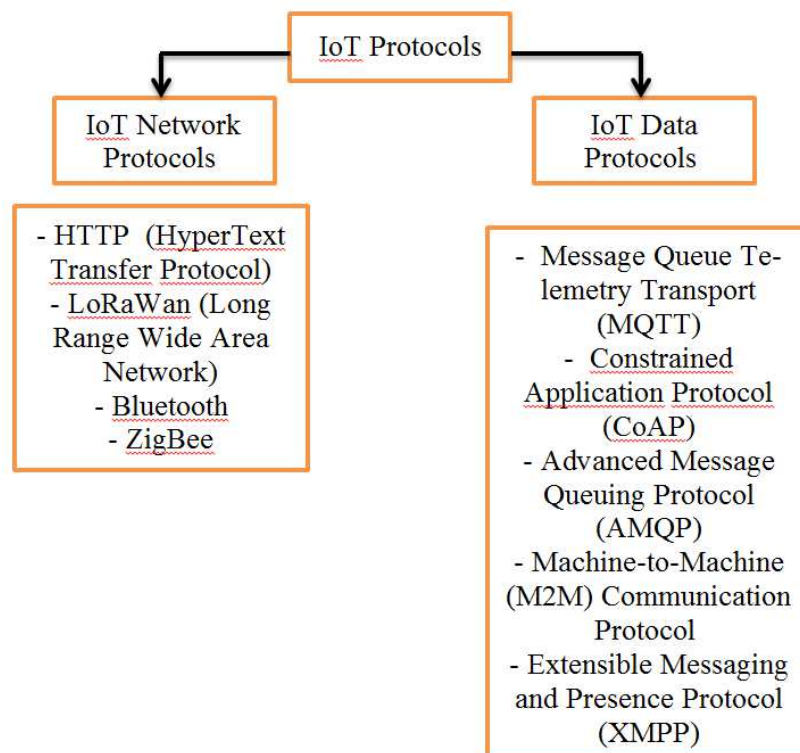


Рис. 5. Протоколи IoT

Найслабшим місцем IoT є безпека. Нажаль майже всі пристрої мають багато уразливостей, що дозволяє хакерам легко їх зламувати. У таблиці наведені найбільші уразливості IoT та шляхи їх усунення [6].

Таблиця

Найбільші уразливості IoT та шляхи їх усунення

Уразливість	Шляхи подолання
Недостатня (або відсутня) стандартизація архітектури і протоколів, сертифікація пристроїв	Створення єдиного міжнародного стандарту з єдиним переліком вимог до Інтернет речей
Відсутність шифрування бездротового трафіку	Використання протоколів шифрування WPA2/WPA3-PSK з алгоритмом шифрування AES
Робоче використання типових облікових записів, встановлених виробником за замовчуванням	Можливість створення облікових записів для кожної Інтернет речей та створення виробником різних „Нетипових” паролів за замовчуванням для кожного пристрою
Слабка аутентифікація і системи управління доступом	Створення складного пароля та логіну для кожного облікового запису Інтернет речей
Відсутність підтримки з боку виробника для усунення вразливостей	Використання виробником стандарту безпеки Інтернет речей, створення різних паролів для пристроїв за замовчуванням, наявність технічної підтримки
Складність або неможливість установки оновлень операційної системи	Наявність веб-інтерфейсу домашнього контролера та можливість конфігурування кожної Інтернет речей та наявність можливості встановлення оновлення операційної системи
Використання незахищених мобільних технологій і хмарної інфраструктури	Використання незахищених мобільних технологій і хмарної інфраструктури
взаємна інтеграція різних пристроїв між собою дозволяє зловмисникові оволодіти всією мережею, зламавши лише 1 річ	Шифрування трафіку, що передається від одного пристрою до іншого. Облікові записи для пристроїв.
Відсутність брандмауерів і антивірусів	Використання фаєрволів з налаштованими списками доступу для захисту вхідного трафіку та антивірусного програмного забезпечення для внутрішнього захисту
Використання небезпечного ПЗ	Використання ліцензійного програмного забезпечення надійного виробника

Для розробки захищеної системи розумного будинку з використанням IoT була використана багатофункціональна програма моделювання мереж Cisco Packet Tracer. Далі наводимо алгоритм побудови та налагодження захищеної системи розумного будинку з використанням IoT:

1. Побудова мережі, додавання всіх необхідних мережевих та кінцевих пристроїв. (смартфон - девайс з якого буде відбуватися керування та спостереження за Інтернет речей, wireless router - який в свою чергу підключений до Інтернет, далі йде хмара (як імітація Інтернету), до якої було підключено маршрутизатор іншого провайдера(R2). Нижче ISP маршрутизатора був розміщений комутатор та два сервери (DNS-сервер, який містить базу даних загальнодоступних IP-адрес та пов'язаних з ними імен хостів і в більшості випадків служить для вирішення або перекладу цих імен на IP-адреси за потребою та IoT Server – сервер Інтернет речей). До R2 підключено домашній контроллер, який є точкою з'єднання всіх Інтернет речей. Смартфон підключено до точки доступу бездротово, в свою чергу, остання було підключено кросоверним кабелем. ISP1 та ISP2 – за допомогою Serial кабеля. Сервери та домашній контроллер – прямим кабелем (рис. 6).

2. Налаштування мережі. Проведено налаштування домашнього шлюзу. Для початку було змінено дефолтний SSID (ідентифікатор, являє собою унікальний 32-значний буквено-цифровий код, який використовується для ідентифікації WLAN. Необхідний для запобігання випадкового або навмисного підключення до мережі іншого бездротового обладнання). Далі підключили вебкамеру до шлюзу. Для цього перейшли до налаштувань об'єкта та вибрали мережевий адаптер PT-IOE-MN-W та вказали SSID, який налаштували шлюзі.

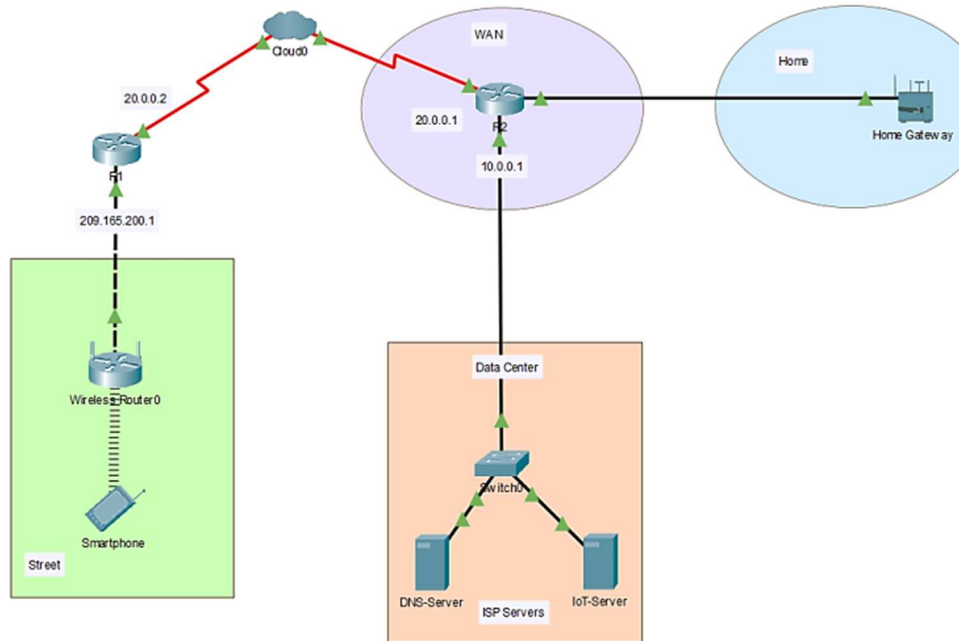


Рис. 6. Побудова мережі

3. Налаштування маршрутизатора R2, налаштування ір-адрес на інтерфейси та налаштування його як dhcp-сервер.

4. Налаштування хмари. Для кожного Serial інтерфейсу задали унікальний DLCI. S0/0 -100 (A), S1/0 (B). На вкладниці frame relay (це ретрансляція кадрів (frame relay, FR) – це метод доставки повідомлень у мережах передачі даних із комутацією пакетів) налаштували таким чином S1 (B) – S0 (A).

5. Налаштування DNS та IoT серверів. Для цього перевірили чи роздав R2 ір-адресу та вкладниці Services — DNS натиснули on. Також додали запис про IoT та DNS сервер. Name — www.iot.com, ip — 10.0.0.253 . Name — www.dns.com, ip — 10.0.0.2533

6. Для захисту моделі розумного дому спочатку було змінено стандартний SSID на домашньому контролері та обрано тип аутентифікації WPA2-PSK (рис. 7).

7. На IoT – сервері було створено обліковий запис зі складним паролем та логіном для підключення розумних речей. Нажаль, програма packet tracer не підтримує можливість створення окремих облікових записів для кожної розумної речі, проте це потрібно зробити обов'язково.

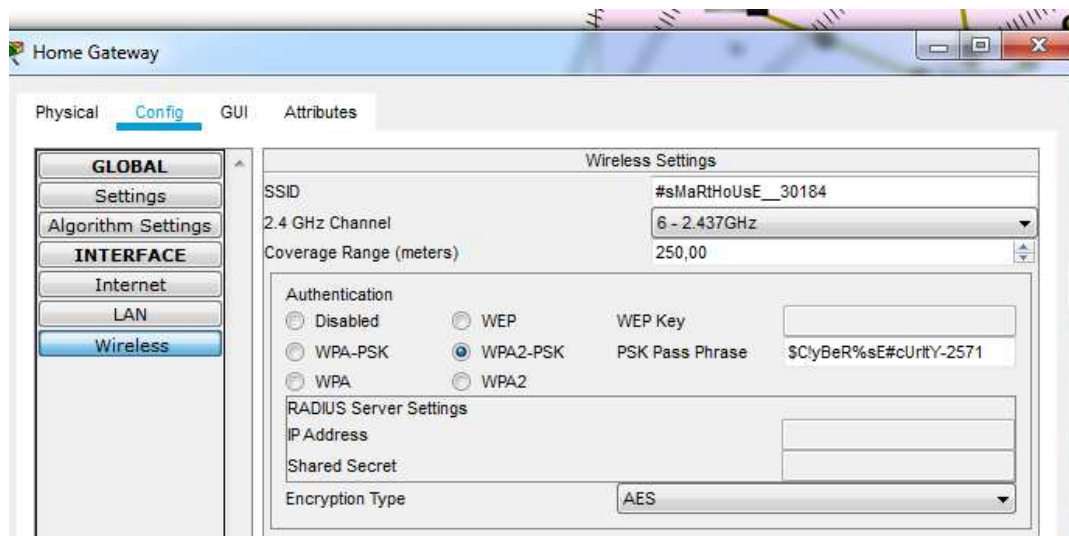


Рис. 7. Налаштування основних параметрів безпеки на домашньому контролері

8. Одним із найкращих способів захистити розумний дім є використання фаєрволу. Для роботи було використано фаєрвол Cisco ASA 5505. Серія Cisco ASA 5500 – це продовження брандмауера Cisco PIX 500 серії Cisco. Однак ASA - це не просто чистий апаратний брандмауер. Cisco ASA – це захисний пристрій, який поєднує в собі брандмауер, антивірус, запобігання вторгнень та віртуальну приватну мережу (VPN). Він забезпечує активну захист від загрози, яка зупиняє атаки, перш ніж вони поширюються по мережі. Тому брандмауер Cisco ASA – це весь пакет, так би мовити. Він поєднує:

- антивіруса;
- антиспам;
- IDS / IPS систему;
- VPN-пристрій;
- SSL пристрій;
- перевірка вмісту [7].

9. Налаштування основних параметрів брандмауера. Спершу встановлено пароль на привілейований режим роботи. Потім налаштовано WLAN-и, а саме, надання їм ір-адрес, імен та рівнів захищеності. Внутрішній WLAN завжди має мати найвищий рівень. Налаштовано dhcp на внутрішній порт. Також була прописана маршрутизація для працездатності мережі. Щоб була можливість виходити в Інтернет, необхідно перетворити локальні ір-адреси на глобальні. Для цього налаштували nat.

Далі було створено списки доступу, в яких вказано, які мережі або хости матимуть доступ до внутрішньої мережі (рис. 8).

```
route outside 0.0.0.0 0.0.0.0 209.165.200.1 1
!
access-list FROM-VPN extended permit tcp 192.168.2.0 255.255.255.0 host 10.0.0.253
access-list FROM-VPN extended permit tcp 192.168.2.0 255.255.255.0 host 10.0.0.253 eq www
access-list FROM-VPN extended permit tcp 192.168.2.0 255.255.255.0 host 10.0.0.254 eq domain
access-list FROM-VPN extended permit tcp 192.168.2.0 255.255.255.0 host 10.0.0.254 eq www
access-list FOR-VPN extended permit tcp host 10.0.0.254 192.168.2.0 255.255.255.0 eq domain
access-list FOR-VPN extended permit tcp host 10.0.0.254 192.168.2.0 255.255.255.0 eq www
access-list FOR-VPN extended permit tcp host 10.0.0.253 192.168.2.0 255.255.255.0 eq www
access-list FOR-VPN extended permit tcp host 10.0.0.253 192.168.2.0 255.255.255.0
!
```

Рис. 8. Налаштування списків доступу

Наступним кроком захисту мережі було створення VPN-tunnel між фаєрволами. Для цього налаштували першу фазу, а саме, на зовнішньому інтерфейсі увімкнули протокол іке командою `crypto ikev1 enable outside`.

Далі створили політику `crypto ikev1 policy 1`, де вказали алгоритм шифрування `3des` (це параметри для побудови міні тунелю ISAKMP-тунелю, через який будуть передаватися параметри основного Ірsec-тунелю): `encryption 3des` алгоритм хешування `md5`: «`hash md5`», тип аунтентифікації `Pre-Shared Key`: «`authentication pre-share`» та алгоритм Диффи — Хеллмана: «`group 2`», «`exit`».

Наступним кроком було налаштування ключа автентифікації та адреси піра, тобто зовнішньої ір-адреси між мережевого екрану з яким буде побудовано VPN за допомогою команди: `tunnel-group 210.210.2.2 type ipsec-l2l`. Задамо атрибути `ipsec: tunnel-group 210.210.2.2 ipsec-attributes, ikev1 pre-shared-key cisco, exit`.

Далі вказали параметри для побудови ірsec-тунелю з ім'ям `TS` і вказали алгоритм хешування: `crypto ipsec ikev1 transform-set TS esp-3des esp-md5-hmac`. Створити списки доступу з ім'ям `FOR-VPN`, тобто визначили, який трафік буде направлено в VPN-тунель: `access-list FOR-VPN extended permit icmp 192.168.2.0 255.255.255.0 10.0.0.0 255.255.255.0`. Створили крипто карту з ім'ям `TO-SITE2` під номером: `crypto map TO-SITE2 1 match address FOR-VPN`, де вказали пір, тобто зовнішню ір-адресу між мережевого екрану: `crypto map TO-SITE2 1 set peer 210.210.2.2`, та вказали `lifetime` тунелю в секундах: `crypto map TO-SITE2 1 set security-association lifetime seconds 86400`.

Після цього прив'язали transform-set TS: crypto map TO-SITE2 1 set ikev1 transform-set TS. Також прив'язали цю крипто карту до зовнішнього інтерфейсу: crypto map TO-SITE2 interface outside, end, wr mem.

Аналогічні команди прописали на іншому фаєрволі.

Після налаштувань необхідно переконаватися, що тунель побудований, для цього зашли на ASA та подивилися, чи будується тунель: show crypto isakmp sa (рис. 9).

```
Type help or '?' for a list of available commands.

ciscoasa>en
Password:
ciscoasa#conf t
ciscoasa(config)#show crypto isakmp sa

IKEv1 SAs:

  Active SA: 1
  Rekey SA: 0 (A tunnel will report 1 Active and 1 Rekey SA during
rekey)

Total IKE SA: 1
1  IKE Peer: 209.165.200.2
   Type    : L2L           Role    : responder
   Rekey   : no           State   : QM_IDLE

There are no IKEv2 SAs
ciscoasa(config)#
```

Ctrl+F6 to exit CLI focus

Copy Paste

Рис. 9. Перевірка побудови тунелю

Переконавшись, що тунель побудований та далі перевіривши ірsec за допомогою команди show crypto ipsec sa, впевнились, що тунель побудований та при цьому ASA шифрує всі пакети, але вхідні пакети не розшифровує. На цьому налаштування фаєрволу ASA5505 та системи захисту в цілому можна вважати закінченим.

В процесі розробки захищеної системи розумного будинку з використанням IoT нами була розроблена схема цієї системи, що складається з датчиків, пристроїв керування, мережевої частини та пристроїв захисту. Зазначена схема наведена на рис. 10.

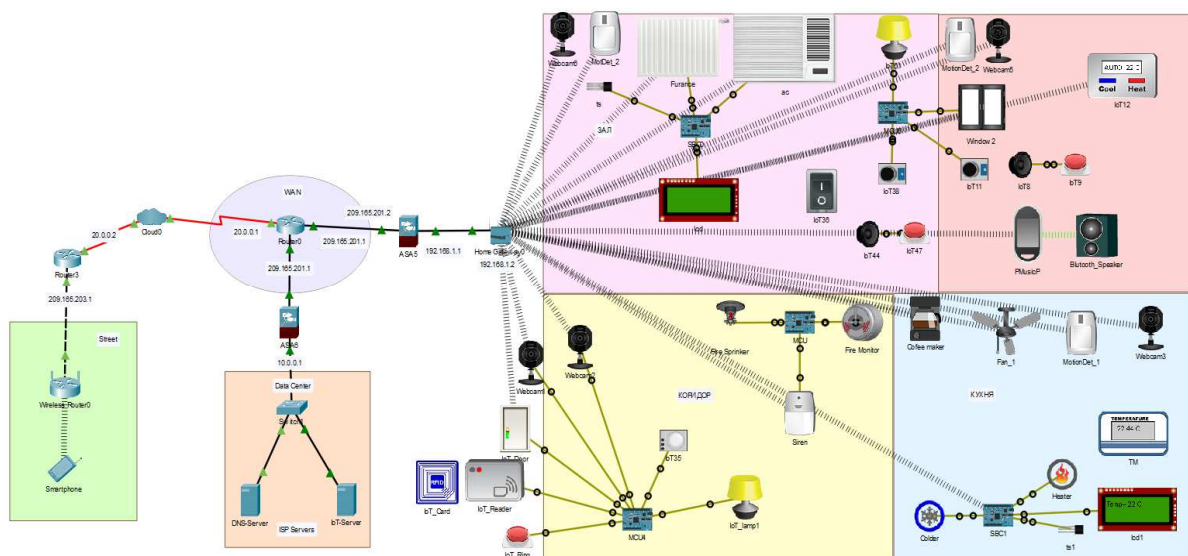


Рис. 10. Загальна схема технічного захисту розумного будинку

Висновки відповідно до статті. У роботі було розроблено захищену систему з використанням Internet of Things на прикладі розумного будинку. Визначено переваги та недоліки використання Інтернет речей. Досліджено, що популярність Інтернет речей зростає щосекунди, тому необхідно більше уваги приділяти їх захисту. Основними уразливостями IoT можна вважати відсутність стандартизації, шифрування трафіку, встановлення дефолтних паролів за замовчуванням.

Було запропоновано схему захищеної системи розумного будинку з використанням Internet of Things побудовану в Cisco Packet Tracer та покроковий алгоритм налагодження системи її захисту з використанням фаєрволу ASA5505 для фільтрації вхідного трафіку. Було створено складні паролі для облікових записів пристроїв IoT. Протоколи бездротової передачі WPA2/3-PSK з використанням алгоритму AES забезпечує безпеку бездротової передачі даних. На домашньому контролері встановлено унікальний SSID. Створену систему можна впроваджувати та безпечно використовувати в будинках та офісах.

Список використаних джерел

1. Coetzee and J. Eksteen. The Internet of Things-promise for the future? An introduction. *IST-Africa Conference Proceedings*, 2011. P. 1-9.
2. What is Internet of Things (IOT)? URL: <https://www.informopedia.com/have-you-heard-the-word-internet-of-things-iot-lets-explore>.
3. Internet of things (IoT). URL: <https://internetofthingsagenda.techtarget.com/definition/Internet-of-Things-IoT#>.
4. В мире подсчитано количество IoT-устройств. URL: <http://www.dailycomm.ru/m/47373>.
5. IoT Elements, Layered Architectures and Security Issues: A Comprehensive Survey. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6165453>.
6. Internet of Things: information security challenges and solutions. URL: https://www.researchgate.net/publication/326559393_Internet_of_Things_information_security_challenges_and_solutions.
7. Cisco ASA Series CLI Configuration. URL: https://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/security/asa/asa90/configuration/guide/asa_90_cli_config/interface_start_5505.html.

References

1. Coetzee and J. Eksteen (2011). The Internet of Things-promise for the future? An introduction. *IST-Africa Conference Proceedings* (pp. 1-9).
2. What is Internet of Things (IOT)? Retrieved from <https://www.informopedia.com/have-you-heard-the-word-internet-of-things-iot-lets-explore>.
3. Internet of things (IoT) Retrieved from <https://internetofthingsagenda.techtarget.com/definition/Internet-of-Things-IoT#>.
4. The number of IoT devices is counted in the world Retrieved from <http://www.dailycomm.ru/m/47373>.
5. IoT Elements, Layered Architectures and Security Issues: A Comprehensive Survey Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6165453>.
6. Internet of Things: information security challenges and solutions Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/326559393_Internet_of_Things_information_security_challenges_and_solutions.
7. Cisco ASA Series CLI Configuration Retrieved from https://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/security/asa/asa90/configuration/guide/asa_90_cli_config/interface_start_5505.html.

UDC 004.7

Volodymyr Bazylevych, Marina Maltseva, Taras Petrenko, Lesia Chernysh

PROTECTED INTELLIGENT HOUSE SYSTEM USING INTERNET OF THINGS

Urgency of the research. Today, the Internet of Things (IoT) is firmly entrenched in the lives of billions of people around the world. IoT is used in many areas of human activity - industry, everyday life, medicine, education, urban management and others. However, the increase in the number of connected devices leads to an increase in safety risks - from causing physical harm to humans with these devices to damage to complex technological equipment. That is why the issues of ensuring the protection of IoT systems are relevant.

Target setting. Comprehensive protection of IoT systems is possible only with reliable network, software and technical protection of devices, equipment and communications of which these systems consist. Given that the above objects and methods of their protection can be combined into a separate secure system of a smart home, its development is an important theoretical and practical task of cybersecurity.

Actual scientific researches and issues analysis. Today, there are many publications that analyze IoT security issues and suggest ways to solve them, but there is no work that would develop a separate model of IoT protection on the example of a smart home.

Uninvestigated parts of general matters defining. Analyzing the multilevel architecture of IoT systems and features of cloud platforms of the Internet of Things, highlighting potentially vulnerable components of these complex solutions (access control system to IoT device and cloud platform; clouds, mobile applications and web interfaces of devices; software updates; device memory; local data warehouses; hardware and software interfaces of devices; network services of devices; ecosystem of communications, including network traffic) it can be argued that building a secure system of a smart home using IoT will increase the level of security of these systems.

The research objective of this article is to build a secure system using IoT on the example of a smart home.

The statement of basic materials. The basic concepts of IoT are defined, the main spheres of IoT use are investigated, the secure system of smart house with use of IoT in which the basic ways of protection of the information which is expedient to implement in networks of smart house - VPN, firewall, ACL and passwords for reliable protection is developed. The main IoT vulnerabilities and ways to eliminate them are analyzed. Different architectures of IoT systems are considered. An algorithm for setting up a secure smart home system using IoT is proposed

Conclusions. The work developed a secure system using the Internet of Things on the example of a smart home. The advantages and disadvantages of using the Internet of Things are identified. It has been studied that the popularity of the Internet of Things is growing every second, so it is necessary to pay more attention to their protection. The main vulnerabilities of IoT can be considered the lack of standardization, traffic encryption, default passwords. The scheme of a secure system of a smart home using the Internet of Things built in Cisco Packet Tracer and a step-by-step algorithm for debugging its protection system using the ASA5505 firewall to filter incoming traffic were proposed. Strong passwords have been created for IoT device accounts. WPA2 / 3-PSK wireless protocols using the AES algorithm ensure the security of wireless data transmission. The home controller has a unique SSID. The created system can be implemented and safely used in homes and offices.

Keywords: IoT, network, smart home, VPN, WPA2-PSK, ASA5505, ACL.

Fig. : 10. Table: 1. Bibl. : 12

Базилевич Володимир Маркович – кандидат економічних наук, доцент, завідувач кафедри інформаційних та комп'ютерних систем, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна)

Bazylevych Volodymyr – PhD in Economic science, Associate Professor, Head of Information and Computer Department, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: bazvlamar@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8935-446X>

Мальцева Марина Віталіївна – студентка групи КБ-161, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

Maltseva Marina – student of the KB-161 group, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: maryna_maltseva@ukr.net

Петренко Тарас Анатолійович – кандидат технічних наук, доцент кафедри кібербезпеки та математичного моделювання, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

Petrenko Taras – PhD in Technical Science, Associate Professor of Cybersecurity and Mathematical Simulation Department Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: mail_taras@ukr.net

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5571-3815>

ResearcherID: G-5801-2014

SCOPUS Author ID: 57193026484

Черниш Леся Григоріївна – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри кібербезпеки та математичного моделювання, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

Chernysh Lesia – PhD in Technical Science, Associate Professor, Associate Professor of Department of Cybersecurity and Mathematical Simulation, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: lg4@ukr.net

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7446-1684>

УДК 004.4

DOI: 10.25140/2411-5363-2020-2(20)-229-236

Євген Риндич, Тарас Петренко, Леся Черниш, Сергій Семендяй, Георгій Біленький

НАВЧАЛЬНИЙ СТЕНД ДЛЯ ВИВЧЕННЯ ДИСЦИПЛІН ІЗ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МЕРЕЖЕВОГО ЗАХИСТУ ІНФОРМАЦІЇ

Актуальність теми дослідження. На сьогодні набули значного поширення комп'ютерні мережі, без яких уже не можливо уявити функціонування будь-якої комп'ютерної системи. Поширення та доступність призвели до необхідності розмежувати доступ до компонентів таких систем та впроваджувати до навчання технічних спеціальностей таких дисциплін, як «Організація комп'ютерних мереж», «Системи захисту обчислювальних мереж» та інші.

Постановка проблеми. У галузі вивчення дисциплін пов'язаних із сучасними комп'ютерними мережами та їх безпекою значне місце посідають практичні навички налаштування програмного та апаратного забезпечення. Одним з найефективніших методів є навчання з використанням півнатурних та натурних моделей комп'ютерних мереж.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Розглянуто останні публікації у відкритому доступі, включаючи дані навчальних центрів компаній Cisco та Mikrotik.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Розробка та обґрунтування використання півнатурних моделей сучасних комп'ютерних мереж у навчальному процесі спеціалізованих дисциплін вищих навчальних закладів.

Постановка завдання. Запропонувати базову півнатурну модель комп'ютерної мережі для стенду вивчення дисциплін із забезпечення мережевого захисту інформації.

Виклад основного матеріалу. У статті наведено аналіз, вимоги та півнатурна модель стенду комп'ютерної мережі для вивчення дисциплін з забезпечення мережевого захисту інформації.

Висновки відповідно до статті. Запропоновано півнатурну модель стенду комп'ютерної мережі для вивчення дисциплін з забезпечення мережевого захисту інформації з використанням мережевого обладнання Mikrotik.

Ключові слова: комп'ютерна мережа; інформаційні технології; кібербезпека; комутація; MikroTik; шифрування; моделювання.

Рис.: 2. Табл.: 1. Бібл.: 7.

Актуальність теми дослідження. Сучасний етап розвитку комп'ютерних систем та мереж призвів до значного збільшення та ускладнення елементів сучасних систем. Вивчення мережевих систем вимагає як теоретичних, так і практичних навичок. Створення стенду для демонстрації основних етапів побудови мережі, її налаштуванні та обмеженнях, знайомство з мережевим обладнанням та його конфігурацією є одним з кращих способів показати та навчити студентів роботі з апаратним та програмним забезпеченням. Особливим напрямком практичного використання мереж є створення безпечного підключення до зовнішніх мереж та ознайомлення з базовими поняттями маршрутизації та організації безпечної взаємодії головного офісу(HQ) підприємства та його віддалених підрозділів(BO). Також можлива практика в пошуку вразливостей та дослідженню способів проникнення в систему через знайдені вразливості для їх усунення. Стенд дасть можливість як адмініструвати та набирати практичні навички, так і дасть базу для подальших досліджень структур мережі, локальної та глобальної.

Постановка проблеми. У галузі вивчення дисциплін пов'язаних із сучасними комп'ютерними мережами та їх безпекою значне місце посідають практичні навички налаштування програмного та апаратного забезпечення. Одним з найефективніших методів є навчання з використанням півнатурних та натурних моделей комп'ютерних мереж. Також, працюючи з мережевим обладнанням, необхідно розуміти, що кожен елемент мережі необхідно налаштовувати як самостійну структуру, зі своїми правилами, обмеженнями та дозволами, тому для цієї задачі мережеве обладнання MikroTik підходить найкраще.

Конфігурації та налаштування для MikroTik можна заносити як на фізичні пристрої, так і тестувати за допомогою додаткового ПО, це дозволяє відпрацювати праце спроможність того чи іншого елемента мережі перед його інтеграцією в реальну систему.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. При побудові захищеної мережі не має завдання дати користувачам можливість впливати на захищеність та внутрішні конфігурації системи, студентам для розуміння понять комутації, маршрутизації, побудови локальних виділених мереж або обслуговуванні мережевого обладнання необхідно знайомитися з купою документації без можливості самостійно конфігурувати пристрої мережі,

налаштовувати точки доступу, основні сервера, маршрути, протоколи захисту та обмежень. Всі ці можливості студенти пізнають або на віртуальних машинах, або на власних роутерах. Стенд з можливістю відкату налаштувань та з тестовим простором може дати студентам реальну можливість попрактикуватися у різних напрямках адміністрування мережі, як від фізичного рівня та побудови захищених маршрутів на локальному рівні, так і додавання обмежень в зовнішній мережі на доступ, сканування або вторгнення.

У досліджених роботах є багато прикладів побудови мережі, налаштуванні обладнання, однак основною проблемою для студентів є те, що просто ознайомлюючись з такими статтями він не здобуде практичних навичок адміністрування.

Наприклад в [1], показані принципи налаштування способів тунельного з'єднання між віддаленими мережами, однак у студента, який ознайомиться з цією статтею і одразу перейде до налаштування мережеве обладнання, може виникнути безліч питань щодо налаштування, конфігурацій та самого процесу побудови.

Використання стенду в навчальних цілях також може допомогти в побудові гуртків по налаштуванню і контролю мережі, що може включити в себе Wi-Fi точки доступу, дослідження HotSpot [2] та інші мережеві технології, які можуть допомогти студентам в опануванні перерахованих вище понять.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Розробка та обґрунтування використання півнатурних моделей сучасних комп'ютерних мереж у навчальному процесі спеціалізованих дисциплін вищих учбових закладів не береться до уваги при складанні подібних статей, бо всі вони направлені на окремі елементи, проблеми, завдання, і не ставлять перед собою завдання в навчанні окремих осіб повному спектру необхідних налаштувань. Стенд півнатурних моделей сучасних комп'ютерних мереж допоможе у вирішенні цих проблем.

Мета статті. Метою статті є розробка та обґрунтування використання півнатурних моделей сучасних комп'ютерних мереж у навчальному процесі спеціалізованих дисциплін вищих учбових закладів

Виклад основного матеріалу дослідження. Будь-яка система – це набір елементів і зв'язків між ними. Для системи, яка реалізується, такими елементами можуть виступати, наприклад:

1) Основний маршрутизатор - електронний пристрій, що використовується для поєднання двох або більше мереж і керує процесом маршрутизації, тобто на підставі інформації про топологію мережі та певних правил приймає рішення про пересилання пакетів мережевого рівня (рівень 3 моделі OSI) між різними сегментами мережі.

2) Wi-Fi точка – бездротова базова станція, призначена для забезпечення бездротового доступу до вже існуючої мережі (бездротовий або провідний) або створення абсолютно нової бездротової мережі. Бездротовий зв'язок здійснюється за допомогою технології Wi-Fi. Проводячи аналогію, точку доступу можна умовно порівняти з вишкою стільникового оператора, з одним застереженням, що у точки доступу менший радіус дії і зв'язок між підключеними до неї пристроями здійснюється за технологією Wi-Fi. Радіус дії стандартної точки доступу - приблизно 200-250 метрів, за умови, що на цій відстані не буде ніяких перешкод (наприклад, металокопункцій, перекриттів із бетону та інших споруд погано пропускають радіо хвилю) [3].

3) Мережевий комутатор — пристрій, призначений для з'єднання декількох вузлів комп'ютерної мережі в межах одного сегмента.

4) Користувачі – ПК або ноутбуки які будуть приєднуватися до мережі студентами для виконання лабораторних робіт та доступу до мережі Інтернет, проведення тестів на доступність та можливість втручання в процес маршрутизації інших студентів.

Архітектура системи.

Будь-яка система обробки й передачі даних повинна забезпечувати масштабованість, високу швидкість роботи і надійність. Проектуванням стенду та системи загалом необхідно з урахуванням кількості потенційних студентів, їх потреб та потреб курівництва.

При розробці та реалізації циклу лабораторних робіт з мережевих технологій запропоновано використовувати маршрутизатори MikroTik RB2011UiAS-2HnD-IN як основних маршрутизаторах на відокремлених ділянках. Також в стенді використовується MikroTik RB750 який моделює роботу «Глобальну мережі» з зовнішніми IP адресами для емуляції мережі Інтернет[4].

Для стенду було обрано мережеве обладнання MikroTik через його відносно невелику вартість, різноманітність функцій та зручне налаштування з використанням операційної системи RouterOS.

Дане ПО має великий функціонал. Завдяки ньому можна налаштувати правила маршрутизації, різні інтерфейси та обмеження для доступу, що дозволить студентам отримати практичний досвід для майбутньої роботи в сфері мережевого обладнання та налаштування захищених систем класу АС-2 та АС-3. Слід зазначити, що операційна система розроблена на базі Linux, що дозволяє знизити рівень особливих знань для початку налаштування.

Вбудовані функції безпеки дозволяють за допомогою ознайомити здобувачів з процесами створення тунелів, автентифікації, перевірки цілісності та шифруванню IP-пакетів.



Рис. 1. Схема створення тунелів між віддаленими вузлами

Основні можливості, які можна використати при використанні стенду:

- базові функції комутації;
- базові функції та протоколи маршрутизації, їх безпека;
- створення та дослідження віртуальних мереже(VLAN);
- вивчення технології Network Address Translation (NAT);
- створення та дослідження тунелів з шифруванням та без шифрування (PPTP, PPPoE, SSTP, OpenVPN, L2TP/IPSec);
- дослідження протоколу SNMP;
- дослідження та порівняння алгоритмів шифрування даних;
- дослідження та порівняння базових протоколів автентифікації

У таблиці наведено адресацію мереж, а на рис. 2 – схема стенду з вказаними IP адресами та обладнанням.

Таблиця

IP адреси стенда

№	Призначення	Адреса мережі	Шлюз	Маска мережі
1	Головний офіс	192.168.1.0	192.168.1.254	255.255.255.0
2	Віддалений підрозділ	192.168.100.0	192.168.100.254	255.255.255.0
3	Зовнішня мережа. Провайдер головного офісу	65.65.65.0	65.65.65.254	255.255.255.0
4	Зовнішня мережа. Провайдер віддаленого підрозділу	75.75.75.0	75.75.75.254	255.255.255.0

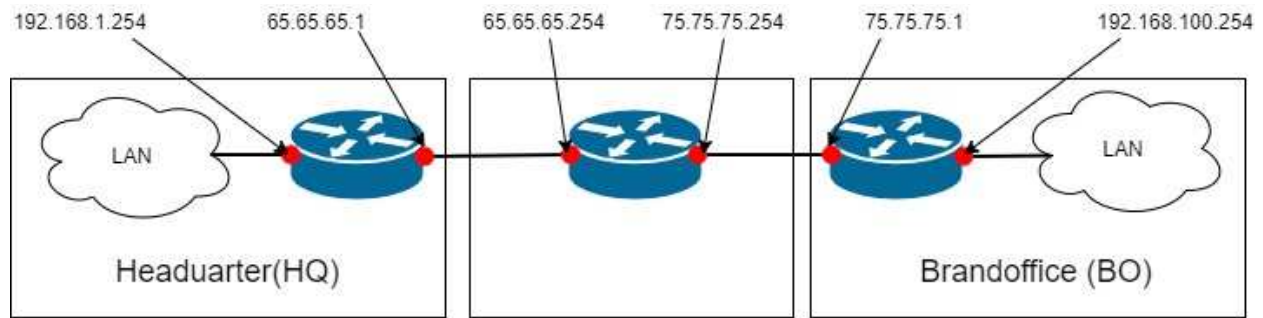


Рис. 2. Схема з'єднання та адресації

В ході розробки та тестування було також виявлено, що для більш поглибленого вивчення деяких дисциплін необхідно додати додаткове обладнання. Так для вивчення захисту зовнішнього периметру доцільно розширити запропоновану схему апаратним брандмауером та зовнішнім аналізатором трафіку та, зважаючи на відтворення критичної інфраструктури, додати джерела безперебійного живлення з можливістю відстеження стану та доступу за допомогою мережевих протоколів.

Первинне налаштування.

Беручи до уваги постійне збільшення загроз та способи захисту постійне оновлення налаштувань має лягти на плечі керівникам стенду та системи, та студентам які будуть користуватися мережею, для їх же безпеки та отриманні професійних навичок [4].

Базові налаштування MikroTik можна проводити в групах студентами під наглядом кураторів для перевірки. Наступні конфігурації є базовими, однак необхідними для стабільної та безпечної роботи мережі. Подальші конфігурації можуть бути виконані в ході виконання лабораторних робіт та розроблені викладачами. Ідеї з налаштування та способів покращення безпеки мережі, її гнучкості та адаптивності повинно проводитися постійно, бо технології захисту постійно оновлюються, а зловмисники постійно знаходять вразливості в системі.

Налаштування полягає у виконанні таких кроків [5]:

1. Необхідно запустити програму Winbox і перейдіть на вкладку Neighbors.
2. У списку відобразиться роутер. Для з'єднання необхідно натиснути лівою кнопкою миші на його MAC адресу.

3. Натисніть кнопку Connect.

Login за замовчуванням admin, пароль порожній.

Для першого порту ether1 необхідно записати коментар "WAN". Для налаштування порту необхідно:

1. Відкрити меню Interfaces.
2. Вибрати перший інтерфейс ether1.
3. Натиснути жовту кнопку Comment.
4. У вікні ввести коментар "WAN".
5. Натиснути кнопку ОК.

Для другого порту ether2 необхідно записати коментар "LAN". Для налаштування порту необхідно:

1. Вибрати інтерфейс ether2.
2. Натиснути жовту кнопку Comment.
3. У вікні ввести коментар "LAN".
4. Натиснути кнопку ОК.

Якщо інтернет провайдер видає мережеві налаштування автоматично, то необхідно налаштувати WAN порт роутера MikroTik на отримання налаштувань по DHCP, для цього необхідно:

1. Відкрити меню IP.
2. Вибрати DHCP Client.

3. У вікні натиснути кнопку Add (плюсик).
4. У новому вікні в списку Interface: треба вибрати WAN інтерфейс ether1.
5. Натиснути кнопку ОК для збереження налаштувань.

Для налаштування статичного IP адреси і маски підмережі WAN порту MikroTik необхідно:

1. Відкрити меню IP.
2. Вибрати Addresses.
3. У вікні натиснути кнопку Add (плюсик).
4. У новому вікні в полі Address: прописати статичний IP адреса/маску підмережі.
5. У списку Interface: вибирати WAN інтерфейс ether1.
6. Для збереження налаштувань необхідно натиснути кнопку ОК.

Для налаштування адреси інтернет шлюза MikroTik необхідно:

1. Відкрити меню IP.
2. Вибрати Routes.
3. У вікні натиснути кнопку Add (плюсик).
4. У новому вікні в полі Gateway: прописати IP адресу шлюза.
5. Необхідно натиснути кнопку ОК для збереження налаштувань.

Для додавання адреси DNS серверів MikroTik необхідно:

1. Відкрити меню IP.
2. Вибрати DNS.
3. У вікні натиснути кнопку Settings.
4. У новому вікні в полі Servers: прописати IP адресу пріоритетного DNS сервера.
5. Необхідно натиснути кнопку «вниз» (чорний трикутник), щоб додати ще одне поле

для введення.

6. У новому полі прописати IP адресу альтернативного DNS сервера.
7. Поставити галочку Allow Remote Requests.
8. Натиснути кнопку ОК для збереження налаштувань.

Для створення об'єднання bridge-local (міст) необхідно:

1. Відкрити меню Bridge.
2. Натиснути кнопку Add (плюсик).
3. У поле Name прописати ім'я об'єднання bridge-local.
4. Натиснути кнопку ОК.

Для додавання в об'єднання провідних Ethernet портів 2-5 необхідно:

1. Перейти на вкладку Ports.
2. Натиснути кнопку Add (плюсик).
3. У списку Interface вибрати ethernet порт ether2.
4. У списку Bridge вибрати ім'я об'єднання bridge-local.
5. Натиснути кнопку ОК.
6. Повторити процедуру для портів ether3, ether4, ether5.

Для додавання Wi-Fi інтерфейсу необхідно.

1. Перейти на вкладку Ports.
2. Натиснути кнопку Add (плюсик).
3. У списку Interface вибрати бездротовий інтерфейс wlan1.
4. У списку Bridge вибрати ім'я об'єднання bridge-local.
5. Натиснути кнопку ОК.

Для налаштувати IP адресу локальної мережі MikroTik необхідно:

1. Відкрити меню IP.
2. Вибрати Addresses.
3. Натиснути кнопку Add (плюсик).
4. У полі Address ввести адресу і маску локальної мережі, наприклад 192.168.88.1/24.

5. У списку Interface вибрати bridge-local.

6. Натиснути кнопку ОК.

Налаштування NAT виконується такими командами:

- ip firewall nat add chain = srcnat out-interface = ether1 action = masquerade

Protect router - команди для захисту роутера:

- ip firewall filter add action=accept chain=input disabled=no protocol=icmp

- ip firewall filter add action=accept chain=input connection-state=established disabled=no in-interface=ether1

- ip firewall filter add action=accept chain=input connection-state=related disabled=no in-interface=ether1

- ip firewall filter add action=drop chain=input disabled=no in-interface=ether1

Protect LAN - захист внутрішньої мережі:

- ip firewall filter add action=jump chain=forward disabled=no in-interface=ether1 jump-target=customer

- ip firewall filter add action=accept chain=customer connection-state=established disabled=no

- ip firewall filter add action=accept chain=customer connection-state=related disabled=no

- ip firewall filter add action=drop chain=customer disabled=no.

Для призначення типів інтерфейсів для захисту внутрішньої мережі (external - зовнішній, internal - внутрішній LAN) необхідно ввести команди:

- ip upnp interfaces add disabled = no interface = ether1 type = external

- ip upnp interfaces add disabled = no interface = ether2 type = internal

- ip upnp interfaces add disabled = no interface = ether3 type = internal

- ip upnp interfaces add disabled = no interface = ether4 type = internal

- ip upnp interfaces add disabled = no interface = ether5 type = internal

- ip upnp interfaces add disabled = no interface = bridge-local type = internal

Щоб змінити пароль доступу до роутера MikroTik, необхідно виконати наступні дії:

1. Відкрити меню System;

2. Вибрати Users;

3. Виконати подвійний клік кнопкою миші на користувача admin;

4. Натиснути кнопку Password ...;

5. У поле New Password ввести новий пароль;

6. У поле Confirm Password підтвердити новий пароль;

7. У вікні Change Password натиснути кнопку ОК;

8. У вікні User натиснути кнопку ОК.

Зловмисників часто цікавить розділ Scripts, через який вони можуть отримати доступ до обладнання та Інтернет каналу у своїх цілях. Щоб перевірити, що все в порядку, необхідно перевірити розділ System - Scripts.

Перевіряти необхідно вкладку Scripts на відсутність будь-яких незрозумілих записів, за замовчуванням він чистий.

Висновки відповідно до статті. Як було показано в цій статті, на сучасному етапі розвитку обчислювальної техніки й загального наукового прогресу цілком реально створювати масштабні, швидкодіючі, системи з мінімальною вартістю для обслуговування потреб студентів у доступі до мережі Інтернет. Практичні навички здобуті у ході проектування, налаштування, виконання лабораторних робіт та самостійного дослідження допоможуть студентам краще зрозуміти можливості мережевого обладнання, способи його конфігурації, захисту та експлуатації. Також такий стенд дасть можливість здобувати практичні навички у сфері кібербезпеки для студентів, які в звичайних умовах не мали б можливості це зробити. Проектування, встановлення та налаштування подібної системи було проведено на практиці та показало стабільну роботу як у режимі звичайної роботи

мережевого обладнання, так і як навчальний стенд для практики студентів. Таким чином, можна зробити висновок, що розроблена система може використовуватися як самостійна система для окремого забезпечення Інтернетом студентів, так і як складова частина навчального процесу студентів спеціальності кібербезпека.

Використання мережевого обладнання MikroTik для побудови стенду півнатурних моделей сучасних комп'ютерних мереж у навчальному процесі спеціалізованих дисциплін вищих навчальних закладів зумовлене тим, що ці прилади мають багато можливостей. Мережеве обладнання MikroTik виступає як комплексне рішення для керування мережею, трафіком, користувачами та іншими елементами системи.

Стенд також можна доповнювати окремими елементами типу **FortiGate**, як мережевий екран нового покоління [6; 7], так і іншими елементами, які мають малий профіль роботи, але як елемент комплексної системи показує себе невід'ємною частиною

Список використаних джерел

1. Кузьмицкий А. Объединяем офисы с помощью Mikrotik. URL: <http://mikrotik.axiom-pro.ru/articles/mtooffice.php>.
2. Простая Точка Доступа на Mikrotik. URL: <http://mikrotik.axiom-pro.ru/articles/mikrotikap.php>.
3. MikroTik Routers and Wireless – Products: RB2011UiAS-2HnD-IN. URL: <https://mikrotik.com/product/RB2011UiAS-2HnD-IN>.
4. Литвинов В. В., Казимир В. В., Риндич С. В. Сучасний стан захисту інформації в IP-телефонії. *Математичні машини і системи*. 2009. № 2. С. 76–84.
5. Настройка роутера MikroTik. URL: https://www.technotrade.com.ua/Articles/mikrotik_router_setup.php.
6. Риндич С. В., Коняшин В. В., Зайцев С. В., Усов Я. Ю. Особливості створення мережевої системи виявлення вторгнень у комп'ютерні системи. *Математичні машини і системи*. 2018. № 3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/osoblivosti-stvorennya-merezhevoyi-sistemi-viyavleniya-vtorgnen-u-kompyuterni-sistemi/viewer>.
7. Глобальні мережі : метод. вказ. до виконання лаб. робіт з дисципліни – Новітні архітектури та засоби побудови глобальних та корпоративних мереж для студ. спец. 8.05010201 – Комп'ютерні системи та мережі, 8.05010202 – Системне програмування, 8.05010203 – Спеціалізовані комп'ютерні системи / уклад.: С. В. Риндич. Чернігів : ЧНТУ, 2013. 16 с.

References

1. Kuzmitsky, A. (n.d.). We unite offices with the help of Mikrotik. Retrieved from <http://mikrotik.axiom-pro.ru/articles/mtooffice.php>.
2. Prostaia Tochka Dostupa na Mikrotik [Simple Access Point on Mikrotik]. Retrieved from <http://mikrotik.axiom-pro.ru/articles/mikrotikap.php>.
3. MikroTik Routers and Wireless – Products: RB2011UiAS-2HnD-IN. Retrieved from <https://mikrotik.com/product/RB2011UiAS-2HnD-IN>.
4. Litvinov, V. V., Kazimir, V. V., Rindich, E. V. (2009). Suchasnyi stan zakhystu informatsii v IP-telefonii [The current state of information security in IP-telephony]. *Matematychni mashyny i systemy – Mathematical Machines and Systems*, 2, 76–84.
5. Nastroiika routera MikroTik [Configuring the MikroTik router]. Retrieved from https://www.technotrade.com.ua/Articles/mikrotik_router_setup.php.
6. Ryndych, Ye. V., Koniashyn, V. V., Zaitsev, S. V., Usov, Ya. Yu. (2018). Osoblyvosti stvorennia merezhevoi systemy vyivlennia vtornhen u kompiuterni systemy [Peculiarities of creating a network system for detecting intrusions into computer systems]. *Matematychni mashyny i systemy – Mathematical Machines and Systems*, 3. Retrieved from <https://cyberleninka.ru/article/n/osoblivosti-stvorennya-merezhevoyi-sistemi-viyavleniya-vtorgnen-u-kompyuterni-sistemi/viewer>.
7. Ryndych, Ye. V. (2013). *Hlobalni merezhi : metod. vказ. do vykonannia lab. robіt z dystsypliny – Novitni arkhitektury ta zasoby pobudovy hlobalnykh ta korporatyvnykh merezh dlia stud. spets. 8.05010201 – Kompiuterni systemy ta merezhi, 8.05010202 – Systemne prohramuvannia, 8.05010203 – Spetsiali-zovani kompiuterni systemy [Global networks: a method. decree. to perform lab. work on the discipline – The latest architectures and tools for building global and corporate networks for students. special 8.05010201 – Computer systems and networks, 8.05010202 – System programming, 8.05010203 – Specialized computer systems]*. Chernihiv: ChNTU [in Ukrainian].

UDC 004.4

Yevhen Ryndych, Taras Petrenko, Lesia Chernysh, Serhii Semendiai, Heorhiy Bilenky

**TRAINING STAND FOR THE STUDY OF DISCIPLINES
TO ENSURE NETWORK INFORMATION PROTECTION**

Relevance of the research topic. Today, computer networks have become widespread, without which it is no longer possible to imagine the functioning of any computer system. Widespread and accessible led to the need to differentiate access to the components of such systems and to introduce into the training of technical specialties such disciplines as "Organization of computer networks", "Computer network protection systems" and others.

Formulation of the problem. In the field of studying disciplines related to modern computer networks and their security, a significant place is occupied by practical skills of setting up software and hardware. One of the most effective methods is training using semi-natural and full-scale models of computer networks.

Analysis of recent research and publications. Recent open source publications are reviewed, including data from Cisco and Mikrotik training centers.

Selection of unexplored parts of the general problem. Development and substantiation of the use of semi-natural models of modern computer networks in the educational process of specialized disciplines of higher educational institutions.

Setting objectives. To offer a basic semi-natural model of a computer network for a stand for studying disciplines on providing network information protection.

Presenting main material. The article presents the analysis, requirements and half-scale model of a computer network stand for studying disciplines for network information protection.

Conclusions in accordance with the article. A full-scale model of a computer network stand is proposed for studying disciplines on providing network information protection using Mikrotik network equipment.

Keywords: computer network; information technologies; cybersecurity; switching; MikroTik; encryption; modeling.

Fig. : 2. References: 7.

Риндич Євген Володимирович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри інформаційних та комп'ютерних систем, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

Yevhen Ryndych – PhD in Technical Science, Associate Professor, Associate Professor of Information and Computer Department, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: yevhen.ryndych@stu.cn.ua

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2723-4144>

ResearcherID: F-6080-2014

SCOPUS Author ID: 57188702150

Петренко Тарас Анатолійович – кандидат технічних наук, доцент кафедри кібербезпеки та математичного моделювання, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

Petrenko Taras – PhD in Technical Science, Associate Professor of Department of Cybersecurity and Mathematical Simulation, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: mail_taras@ukr.net

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5571-3815>

ResearcherID: G-5801-2014

SCOPUS Author ID: 57193026484

Черниш Леся Григорівна – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри кібербезпеки та математичного моделювання, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

Chernysh Lesia – PhD in Technical science, Associate Professor, Associate Professor of Department of Cybersecurity and Mathematical Simulation, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: lg4@ukr.net

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7446-1684>

Семендяй Сергій Матвійович – завідувач лабораторії кібербезпеки, аспірант, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

Semendiai Serhii – Head of the cybersecurity laboratory, PhD Student, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: sovnarcom@ukr.net

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7751-5956>

Біленький Георгій Сергійович – магістр кафедри кібербезпеки та математичного моделювання, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

Bilenkyi Heorhiy – Master of the Department of Cybersecurity and Mathematical Modeling, Chernihiv National Technological University (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: damian2000@bigmir.net

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6056-0526>

Сергій Семендяй, Михайло Шелест, Юлія Ткач, Леся Черниш

ЕТИЧНИЙ ХАКІНГ У БІЗНЕС-КОМПАНІЯХ ТА ВИЯВЛЕННЯ ВРАЗЛИВОСТЕЙ В ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ ДЕРЖАВНИХ ОРГАНІВ УКРАЇНИ

Актуальність теми досліджень. Бурхливий розвиток ІТ-технологій та інтенсивна інформатизація усіх сфер суспільства веде до появи нових інформаційних загроз, тому інформаційна безпека є одним із найбільш важливих завдань ІТ-індустрії. Важливим елементом у процесі розробки нових методів захисту інформації є пошук вразливостей інформаційних систем.

Постановка проблеми. Перспективним напрямом у галузі захисту інформації є розробка активних методів забезпечення захисту, з-поміж яких можна виділити пошук вразливостей інформаційних систем.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У сучасних дослідженнях інформаційної безпеки значне місце посідають етичний хакінг та проведення тестів на проникнення, залишаючи в тіні такий дієвий засіб, як дослідження волонтерами вразливостей державних інформаційних ресурсів.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Нині в роботах вітчизняних та закордонних учених недостатньо уваги приділяється можливостям дослідження волонтерами вразливостей державних інформаційних ресурсів.

Постановка завдання. Мета статті полягає у висвітленні різниці між підходами до забезпечення кібербезпеки в бізнес-структурах та державних органах України.

Виклад основного матеріалу. Клієнти надають ІТ-компаніям дедалі більше особистої інформації, а компанії повинні її оберігати. Але практично в кожній програмі є вразливості, отже, персональні дані клієнтів можуть опинитися у руках злочинців.

Висновки відповідно до статті. Показником роботи кіберполіції є розкриття злочинів. Так, кіберполіція робить багато корисного, наприклад, ловить шахраїв і розповсюджувачів дитячого порно. Однак специфічних комп'ютерних злочинів розкрито одиниці. Тобто рівень захисту з боку держави як власних ресурсів, так і громадян від злочинних посягань поки що низький.

Ключові слова: етичний хакінг; комп'ютерні мережі; кібербезпека; захист інформації; виявлення вразливостей. Бібл.: 2.

Актуальність теми дослідження. Бурхливий розвиток ІТ-технологій та інтенсивна інформатизація всіх сфер суспільства веде до появи нових інформаційних загроз, тому інформаційна безпека є однією з найбільш важливих задач ІТ-індустрії. Важливим елементом в процесі розробки нових методів захисту інформації є пошук вразливостей інформаційних систем.

Постановка проблеми. Компаніям доводиться керуватись принципом «хочеш протистояти хакерам – думай, як хакер». Бізнес активно залучає до співпраці етичних хакерів, котрі шукають помилки та допомагають їх виправити раніше, ніж про вразливість стане відомо хакерам-зловмисникам. Проте державні установи майже зовсім не використовують такий інструмент, як етичний хакінг.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. У сучасних дослідженнях інформаційної безпеки значне місце посідають етичний хакінг та проведення тестів на проникнення, залишаючи в тіні такий дієвий засіб, як дослідження волонтерами вразливостей державних інформаційних ресурсів.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. На сьогодні в роботах вітчизняних та зарубіжних вчених недостатньо уваги приділяється можливостям дослідження волонтерами вразливостей державних інформаційних ресурсів.

Мета статті. Головною метою цієї роботи є огляд та аналіз різних підходів до забезпечення кібербезпеки в бізнес-структурах та державних органах України.

Виклад основного матеріалу. Клієнти надають ІТ-компаніям дедалі більше особистої інформації, а компанії повинні її оберігати. Але практично в кожній програмі є вразливості, отже, персональні дані клієнтів можуть опинитися в руках злочинців.

Хакери займаються пошуком таких вразливостей – багів (небезпечних помилок) у програмах, вебсервісах чи мобільних застосунках. Хакери-злочинці продають свої знахідки на чорному ринку, використовують для шантажу чи самоствердження, псуючи чужі ІТ-продукти.

Етичні хакери діють відкрито, за визначеними правилами, і передають інформацію про знайдені вразливості компаніям, щоб ті виправили помилки. Зазвичай компанія виплачує за це грошову винагороду. Таку співпрацю називають «bug bounty» (винагорода за баг), а шукачів вразливостей – «баг-хантерами».

Історія етичного хакінгу починається у 70-х роках ХХ сторіччя. Одними з перших такий підхід почали використовувати військово-повітряні сили США. На комерційні рейки етичний хакінг став у 1995 році, коли було відкрито першу у світі bug bounty програму в компанії Netscape.

Бізнес або самостійно організовує програму bug bounty (як Facebook чи Google), або ж відкриває програму на спеціальній платформі, де зареєстровані тисячі етичних хакерів з усього світу.

У світі існує десяток активних bug bounty платформ, одна з яких – українська HackenProof. Принцип роботи платформ простий. Компанія розміщує інформацію про свою програму: які компоненти системи треба перевірити, яка винагорода передбачена.

Етичний хакер повинен дотримуватись правил і досліджувати лише дозволені ділянки. Коли він знаходить баг, то надсилає звіт: описує процес злому й поради щодо виправлення.

Звіт перевіряє спеціальна команда інженерів, і якщо вразливість підтверджується, баг-хантеру виплачують винагороду. Кожен баг має свій «рівень». Найбільше платять за критичні вразливості – ті, що дозволяють отримати доступ адміністратора і вносити будь-які зміни в систему.

Також розмір винагороди залежить від конкретної компанії. Наприклад, одному учаснику ком'юніті корпоративний месенджер Slack заплатив за критичну вразливість 1000 \$, Uber за такий же небезпечний баг —3000 \$.

Баг-хантери зазвичай зареєстровані одразу на кількох платформах, де шукають цікаві для себе задачі. Учасники з високим рейтингом мають доступ до закритих програм. Також етичні хакери періодично їздять на профільні заходи, де змагаються в пошуку вразливостей та діляться знаннями.

Часто у етичного хакера є конкретна спеціалізація та кілька коронних технік. Хтось спеціалізується на вебсервісах, хтось – на блокчейн-проектах і криптовалютах, хтось – на мобільних застосунках.

Навесні 2016 року виникла спільнота українських кіберактивістів з різних міст України і куточків світу – Український кіберальянс (УКА, англ. Ukrainian Cyber Alliance, USA). Український кіберальянс ексклюзивно передає добуті дані для аналізу, дорозвідки та оприлюднення міжнародній розвідувальній спільноті ІнформНапалм, а також силовим структурам України.

Відповідальне розголошення (responsible disclosure) – термін у кібербезпеці, який означає, що вразливості, знайдені в системі, деякий час не виходять назовні, щоб її власники встигли їх виправити. Українські хактивісти довгий час намагались працювати саме так, сподіваючись, що чиновники почнуть більш відповідально відноситись до роботи, але не дочекались цього. У результаті Український кіберальянс провів серію перевірок під лозунгом #FuckResponsibleDisclosure, публікуючи знайдені недоліки. З-поміж тих, у кого є проблеми з кібербезпекою, – Центр космічного зв'язку, Запорізька АЕС, військомати та багато інших держустанов. Відкриті для всього Інтернету системні диски із закритою інформацією, прості паролі до системних акаунтів, а то й узагалі їх відсутність – ось лише незначна частина знахідок, які хактивісти опублікували у Facebook під згаданим вище хештегом.

Наслідки, до яких могли призвести ці дірки в захисті інформації, найрізноманітніші – від витоку даних про бійців АТО до дистанційного управління регіональними водоканалами. За думкою хактивістів, писати відповідальним за це особам марно. У найкращому

разі вони закриють тихенько дірку й на тому все закінчиться. Тобто це означає, що інші про атаку нічого не знатимуть і не зможуть підготуватися. А коли державні організації присоромлюють публічно, то це таки дає певний ефект.

З-поміж знайдених ресурсів фігурують Управління національної поліції в Києві, Академія МВС – на відкритому диску лежала база даних сайтів і база офіцерів, НАЗК, «Енергоатом», включно з відділом ядерної безпеки Запорізької АЕС – у них у відкритому доступі лежало все, починаючи від креслень реактора 1984 року й до останніх звітів. У Кіровоградському водоканалі відкритою виявилась система віддаленого керування водопроводом, у Рівненському – доступ до локальної мережі.

Херсонська обласна рада залишила в у відкритому доступі загальний диск з документами. Одне з київських комунальних підприємств виклало онлайн свою бухгалтерію й ключ від розрахункового рахунку. Були виявлені витoki документів мобільних операторів "Київстар" і Vodafone — служби безпеки операторів почали реагувати через лічені секунди після публікації. У випадку із сайтами РНБО й Конституційної комісії при президентові України реакція послідувала беззастережно, їм знадобилось від доби до тижня щоб закрити або виправити скомпрометовані ресурси.

Висновки відповідно до статті. Показником роботи кіберполіції є розкриття злочинів. Так, кіберполіція робить багато корисного, наприклад ловить шахраїв і розповсюджувачів дитячого порно. Однак специфічних комп'ютерних злочинів розкрито одиниці. Тобто рівень захисту з боку держави як власних ресурсів, так і громадян від злочинних посягань поки що низький. За думкою фахівців з Українського кіберальянсу, вимоги до обслуговування державних ресурсів такі, що протирічать самі собі й не можуть бути виконані. Необхідно спростити законодавство, скоротити зайві організації, звільняти людей, що не справляються з поставленими завданнями. Ускладнення законів, надії на чудодійні закордонні залізяки або запрошених чудо-спеціалістів – це шлях у нікуди. В Україні відкрито кіберцентри, які посилено займаються освоєнням бюджетів і грантів, але результатів їх роботи не видно. Тому, якщо немає грошей на те, щоб зробити все заново на більш високому рівні, можна спростити наявну систему. Треба донести до виконавців просту думку, що інформація – це цінність, її необхідно захищати. Треба визнати наявність проблеми й обговорити її публічно, а не займатися перекладанням відповідальності.

Список використаних джерел

1. Піскозуб А. З. Використання вільного програмного забезпечення для підвищення рівня захищеності комп'ютерних мереж та систем. *Матеріали другої міжнародної науково-практичної конференції FOSS Lviv 2012*. Львів, 2012. С. 86-90.

2. ISO/IEC 27001:2005, Information technology – Security techniques – Information security management systems – Requirements 3. Shakeel Ali, Tedi Heriyanto. BackTrack 4: Assuring Security by Penetration Testing. Master the art of penetration testing with BackTrack. *Packt Publishing Ltd*. Birmingham, 2011. 373 p. 4. URL: <http://www.kali.org>.

References

1. Piskozub, A. Z. (2012). Vykorystannia vilnoho prohramnoho zabezpechennia dlia pidvyshchennia rivnia zakhyshchenosti kompiuternykh merezh ta system [The use of free software to increase the level of security of computer networks and systems]. *Materialy druhoi mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii FOSS Lviv 2012 – Proceedings of the second international scientific-practical conference FOSS Lviv 2012* (pp. 86-90). Lviv [in Ukrainian].

2. ISO/IEC 27001:2005, Information technology – Security techniques – Information security management systems – Requirements 3. Shakeel Ali, Tedi Heriyanto. BackTrack 4: Assuring Security by Penetration Testing. Master the art of penetration testing with BackTrack (2011). *Packt Publishing Ltd*. Birmingham. Retrieved from <http://www.kali.org>.

UDC 004.056

Serhii Semendiai, Mykhaylo Shelest, Yuliia Tkach, Lesia Chernysh

ETHICAL HACKING IN BUSINESS COMPANIES AND DETECTION OF VULNERABILITIES IN INFORMATION SYSTEMS OF STATE AUTHORITIES OF UKRAINE

Urgency of the research. The rapid development of IT technologies and intensive informatization of all spheres of society leads to the emergence of new information threats, so information security is one of the most important tasks of the IT industry. An important element in the development of new methods of information protection is the search for vulnerabilities in information systems.

Target setting A promising area in the field of information security is the development of active methods of providing protection, among which we can highlight the search for vulnerabilities of information systems.

Actual scientific researches and issues analysis. Ethical hacking and penetration testing play a significant role in modern information security research, leaving in the shadows such an effective tool as volunteer research into the vulnerabilities of public information resources.

Uninvestigated parts of general matters defining. Currently, in the works of domestic and foreign scientists, insufficient attention is paid to the opportunities for volunteers to study the vulnerabilities of state information resources.

The research objective. The purpose of the article is to highlight the differences between approaches to cybersecurity in business structures and government agencies of Ukraine.

The statement of basic materials. Customers are providing more and more personal information to IT companies, and companies need to protect it. But virtually every program has vulnerabilities, so personal customer data can end up in the hands of criminals.

Conclusions. An indicator of the work of cyberpolice is the detection of crimes. Yes, cyberpolice does a lot of good, such as catching fraudsters and distributors of child porn. However, specific computer crimes have been uncovered. That is, the level of protection by the state of both its own resources and citizens from criminal encroachments is still low.

Keywords: ethical hacking; computer networks; cybersecurity; information security; vulnerability detection.

References: 2.

Семендяй Сергій Матвійович – завідувач лабораторії кібербезпеки, аспірант, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

Semendiai Serhii – Head of the cybersecurity laboratory, PhD Student, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: sovnarcom@ukr.net

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7751-5956>

Шелест Михайло Євгенович – доктор технічних наук, професор, професор кафедри кібербезпеки та математичного моделювання, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

Shelest Mykhailo – Doctor of Technical Science, Professor, Professor of Department of Cybersecurity and Mathematical Simulation, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: mishel3141@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1090-0371>

SCOPUS Author ID: 57211429755

Ткач Юлія Миколаївна – доктор педагогічних наук, доцент, завкафедри кібербезпеки та математичного моделювання, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна)

Tkach Yuliia – Doctor of Pedagogical Science, Associate Professor, Head of Department of Cybersecurity and Mathematical Simulation, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: tkachym79@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8565-0525>

SCOPUS Author ID: 57193026076

Черниш Леся Григоріївна – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри кібербезпеки та математичного моделювання, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

Chernysh Lesia – PhD in Technical science, Associate Professor, Associate Professor of Department of Cybersecurity and Mathematical Simulation, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: lg4@ukr.net

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7446-1684>

РОЗДІЛ III. ЕНЕРГЕТИКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА

УДК 621.3.07

DOI: 10.25140/2411-5363-2020-2(20)-241-252

Роман Єршов

ЦИФРОВІ КОМПАРАТОРИ ЧАСТОТИ ТА ФАЗИ В СКЛАДІ СИСТЕМИ СТАБІЛІЗАЦІЇ ПОЛОЖЕННЯ РУХОМОЇ ПЛАТФОРМИ

Актуальність теми дослідження. Дводіапазонна чотириквADRANTНА СИСТЕМА СТАБІЛІЗАЦІЇ ПОЛОЖЕННЯ (ССП) БЕЗКОЛЕКТОРНОГО ДВИГУНА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ (БДПС) У СКЛАДІ РУХОМОЇ ПЛАТФОРМИ (РП), В ЯКІЙ СИЛОВИЙ КАСКАД ПОБУДОВАНИЙ НА ОСНОВІ КВАЗІРЕЗОНАНСНОГО ІМПУЛЬСНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА (КРПП), МАЄ КРАЩУ ШВИДКОДІЮ ТА ТОЧНІСТЬ У ПОРІВНЯННІ ІЗ СИСТЕМАМИ НА ОСНОВІ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ З ЖОРСТКИМ ПЕРЕМІКАННЯМ ТА ШІМ.

Постановка проблеми. ССП БДПС МОЖЕ БУТИ ПОБУДОВАНА НА ОСНОВІ КЛАСИЧНОГО БАГАТОКОНТУРНОЇ ПІДПОРЯДКОВАНОЇ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ (САК), АБО Ж У ЧАСТОТНО-ІМПУЛЬСНОМУ (ЧИ-) ДОМЕНІ. ЗАДАЧА КЕРУВАННЯ ШВИДКІСТЮ В ЧИ-ДОМЕНІ ТРАНСФОРМУЄТЬСЯ В ЗАДАЧУ ПОРІВНЯННЯ ТА УЗГОДЖЕННЯ ЧАСТОТ, А КЕРУВАННЯ ПОЛОЖЕННЯМ – У ПОРІВНЯННЯ ТА УЗГОДЖЕННЯ ФАЗ ОПОРНОГО СИГНАЛУ ТА СИГНАЛУ ЗВОРОТНОГО ЗВ'ЯЗКУ. РОЗРОБКА СПЕЦІАЛІЗОВАНИХ ЦИФРОВИХ БЛОКІВ ЧАСТОТНОГО КОМПАРАТОРА (ЧК) ТА ФАЗОВОГО КОМПАРАТОРА (ФК) ДЛЯ ВИКОНАННЯ ВИЩЕЗАДАНИХ ЗАДАЧ Є НЕТРИВІАЛЬНОЮ ЗАДАЧОЮ.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Найбільш ранні рішення ЧК, ЯКІ КОРЕКТНО НАЗИВАТИ «ЧАСТОТНИМ ДЕТЕКТОРОМ» (ЧД), ВИКОНУВАЛИСЬ ЗМІШАНИМИ (МІСТИЛИ ЯК АНАЛОГОВІ, ТАК ЦИФРОВІ ВУЗЛИ) ЧЕРЕЗ ЇХ ВИКОРИСТАННЯ В СКЛАДІ ВИСОКОЧАСТОТНОЇ СИСТЕМИ З ФАЗОВИМ АВТОПІДСТРОЮВАННЯМ ЧАСТОТИ (ФАПЧ). ПОВНОФУНКЦІОНАЛЬНИЙ ЧК СКЛАДАЄТЬСЯ З ДВОХ ЛІЧІЛЬНИКІВ, КОМПАРАТОРА, БЛОКА ЧД І КЕРУЮЧОГО ЦИФРОВОГО АВТОМАТА (КЦА), ТА СПЕЦІАЛІЗОВАНОЇ КОМБІНАЦІЙНОЇ СХЕМИ.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Існуючі БЛОКИ ЧК НЕ ПОВЕРТАЮТЬ КІЛЬКІСНЕ ВІДНОШЕННЯ МІЖ ЧАСТОТАМИ, ЯКЕ МОЖНА ВИКОРИСТАТИ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ ДИНАМІКИ ТА НЕЧУТЛИВІ ДО ВИЯВЛЕННЯ МАЛИХ НЕУЗГОДЖЕНЬ МІЖ ЧАСТОТАМИ, ЩО СТВОРЮЄ НЕСТАБІЛЬНІСТЬ ВИЯВЛЕННЯ СТАНУ РІВНОСТІ ЧАСТОТ. Існуючі БЛОКИ ФК НЕСТАБІЛЬНІ В РОБОТІ, КОЛИ ЧАСТОТА ОДНОГО З ВИМІРЮВАНИХ СИГНАЛІВ НАБЛИЖАЄТЬСЯ ДО СИСТЕМНОЇ ЧАСТОТИ ТАКТУВАННЯ, А ТАКОЖ НЕ ВРАХОВУЮТЬ ПОРЯДКУ НАДХОДЖЕННЯ ФРОНТІВ ВИМІРЮВАНИХ СИГНАЛІВ.

Постановка завдання. СТАТТЯ ПРИСВЯЧЕНА ДОСЛІДЖЕННЮ І РОЗРОБЦІ СТРУКТУРИ ПОВНІСТЮ ЦИФРОВИХ БЛОКІВ ЧК ТА ФК, ЯКІ УСУНУТЬ НЕДОЛІКИ ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ І ПРИСТОСОВАНІ ДЛЯ ІНТЕГРАЦІЇ В СИСТЕМИ СТАБІЛІЗАЦІЇ ПОЛОЖЕННЯ З КРПП У СИЛОВІЙ ЧАСТИНІ ТА САК ПОБУДОВАНОЮ В ЧИ-ДОМЕНІ.

Викладення основного матеріалу. ЗАПРОПОНОВАНІ, РОБЛЕНІ І ПРОТЕСТОВАНІ НОВІ ТЕХНІЧНІ РІШЕННЯ ДЛЯ ПОВНІСТЮ ЦИФРОВИХ БЛОКІВ ЧК ТА ФК, ПОБУДОВАНИХ У БАЗИСІ ПРОГРАМОВАНОЇ ЛОГІЧНОЇ ІНТЕГРОВАНОЇ СХЕМИ (ПЛІС) ЗАСОБАМИ МОВИ ОПИСУ АПАРАТУРИ (МОА) VHDL. ВОНИ ДОЗВОЛЯЮТЬ НЕ ТІЛЬКИ ВИМІРЯТИ ЗНАК НЕРІВНОСТІ ЧАСТОТИ ТА ФАЗИ МІЖ ДВОМА ПЕРІОДИЧНИМИ СИГНАЛАМИ, А Ї ОТРИМАТИ ЧИСЛОВІ ЗНАЧЕННЯ ВІДМІННОСТІ МІЖ НИМИ.

Висновки відповідно до статті. ВВЕДЕННЯ БЛОКІВ ЧК ТА ФК ДО СКЛАДУ ССП БДПС ПРИЗВОДИТЬ ДО РІЗКОГО ЗМЕНШЕННЯ ВИКОРИСТАННЯ АПАРАТНИХ РЕСУРСІВ ПРОГРАМОВАНОЇ ЛОГІЧНОЇ ІНТЕГРОВАНОЇ СХЕМИ (ПЛІС) І ВИСОКОЇ НАДІЙНОСТІ ТА ЗАВАДОСТІЙКОСТІ САК ЧЕРЕЗ БЕЗПЕРЕРВНИЙ ХАРАКТЕР НАДХОДЖЕННЯ СИГНАЛІВ. У ЗАПРОПОНОВАНИХ НОВИХ БЛОКАХ УСУНУТІ НЕДОЛІКИ, ПРИТАМАНІ ІСНУЮЧИМ БЛОКАМ ЧК ТА ФК ЗА РАХУНОК ВВЕДЕННЯ ДОДАТКОВИХ ЦИФРОВИХ ВУЗЛІВ – СИНХРОНІЗАТОРІВ (ВКОРОЧУВАЧІВ ІМПУЛЬСІВ І ДЕТЕКТОРІВ ФРОНТІВ) ТА ГІСТЕРЕЗИСНОЇ ЛАНКИ, ЯКІ ПІДВИЩУЮТЬ СТІЙКІСТЬ І ВИРІШУЮТЬ ПРОБЛЕМУ ВИЯВЛЕННЯ ПРАКТИЧНО РІВНИХ ЧАСТОТ І ФАЗ.

Ключові слова: частотно-імпульсний; частотний; фазовий; детектор; дискримінатор; компаратор; ЧД; ФД; ЧК; ФК; ЧИМ; ПЛІС; FPGA; VHDL.

Рис.: 7. Табл.: 1. Бібл.: 24.

Актуальність теми дослідження. Розглянемо (рис. 1) дводіапазонну чотириквADRANTНУ ПРЕЦИЗІЙНУ СИСТЕМУ СТАБІЛІЗАЦІЇ ПОЛОЖЕННЯ (ССП) БЕЗКОЛЕКТОРНОГО ДВИГУНА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ (БДПС), ЯКА ПРАЦЮЄ В СКЛАДІ СИСТЕМИ СТАБІЛІЗАЦІЇ РУХОМОЇ ПЛАТФОРМИ (ССРП), В ЯКІЙ СИЛОВА ЧАСТИНА ПОБУДОВАНА НА ОСНОВІ КВАЗІРЕЗОНАНСНОГО ІМПУЛЬСНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА (КРПП) З ПЕРЕМІКАННЯМ ПРИ НУЛЬОВОМУ СТРУМІ (ПНС) [1-5], А РЕГУЛЮВАННЯ ВИКОНУЄТЬСЯ НА ОСНОВІ ЧАСТОТНО-ІМПУЛЬСНОЇ МОДУЛЯЦІЇ (ЧИМ) [6].

КРПП-ПНС У СКЛАДІ СИЛОВОЇ ЧАСТИНИ МОЖЕ БУТИ ПРИСУТНІЙ ЯК У СТАБІЛІЗАТОРІ НАПРУГИ ЛАНКИ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ (ЛПС) [6], ТАК І В КОЖНОМУ З ПІВМОСТІВ ТРИФАЗНОГО ІНВЕРТОРА НАПРУГИ [2-5]. ССП ЗАЗВИЧАЙ ПОБУДОВАНА НА ОСНОВІ БАГАТОКОНТУРНОЇ ПІДПОРЯДКОВАНОЇ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ (САК) [7] (І ПОПЕРЕДНІХ АНАЛІТИЧНИХ РОЗРАХУНКІВ), АЛЕ ІСНУЮТЬ І ІНШІ ПІДХОДИ.

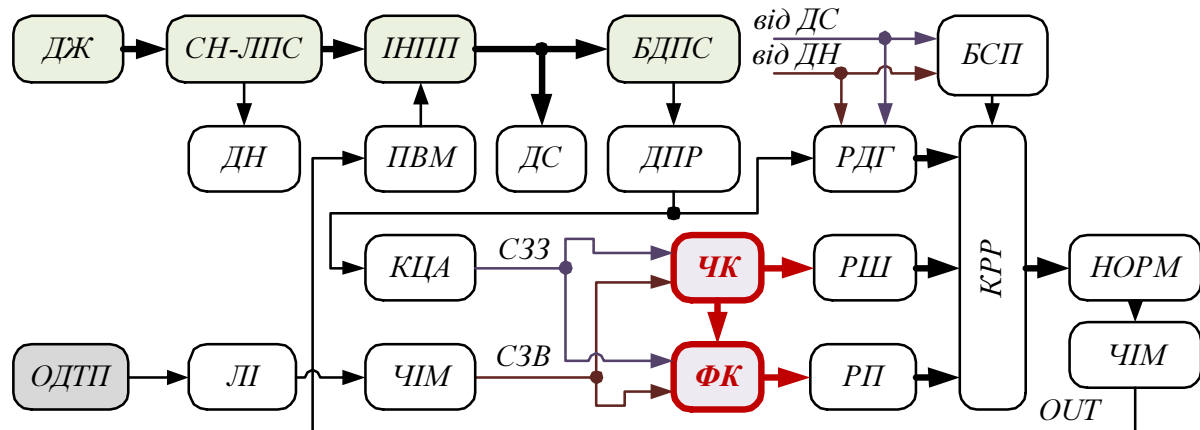


Рис. 1. Двобитна чотирьохквартантна САК ССП БДПС в ЧІ-домени

Наприклад, «шипкоподібна» концепція обробки сигналів (англ. *Spikes Signal Processing, SSP*) [8] фактично працює в частотно-імпульсному (ЧІ-) домені. Особливість її використання з фундаментального погляду полягає в тому, що принцип її роботи аналогічний поведінці біологічних систем (нейронів у мозку) і аналогових блоків, при цьому використовується виключно цифрова елементна база. З технічного погляду SSP дозволяє побудувати замкнену САК без необхідності в складних змінних із плаваючою комою, а також уникати складних та повільних арифметичних операцій додавання і множення, які замінюються реверсивними лічильниками, дільниками частоти і ЧІ-модуляторами [6] відповідно. Усе вищезгадане призводить до різкого зменшення використання апаратних ресурсів програмованої логічної інтегрованої схеми (ПЛІС) [3-5; 8], особливо матриці взаємозв'язків між блоками (для SSP достатньо 1-бітових асинхронних каналів). Одночасно підвищується надійність та завадостійкість через неперервний характер надходження сигналів.

У системі, яка показана на рис. 1, контур регулювання швидкості представлений частотним компаратором (ЧК), вихідний сигнал якого пропорційний до неузгодженості (незбігу) між частотами сигналу задаючого впливу (СЗВ) і сигналу зворотного зв'язку (СЗЗ), – кутовою швидкістю ротора БДПС. Вихід ЧК надходить на вхід «грубого» регулятора швидкості (РШ), на який система перемикається під час розгону або гальмування БДПС. Завдання РШ у цих режимах – зменшити неузгодженість за частотою СЗВ та СЗЗ до нуля.

У режимі регулювання положення відбувається регулювання різниці фаз між СЗВ та СЗЗ, яка вимірюється фазовим компаратором (ФК), та подається на вхід «точного» регулятора положення (РП). Перемикання в цей режим виконується тільки після завершення регулювання швидкості. Перемикання між режимами здійснюється за допомогою блока комутатора режиму регулювання (КРР), який схемотехнічно є векторним мультиплексором, та блока спостерігача (БСП), який використовує сигнали датчиків положення ротора (ДПР), датчиків струму (ДС) та датчиків напруги (ДН) ЛПС.

За різкої зміни зовнішнього моменту, прикладеного до вала БДПС, або СЗВ ССП, відбувається перемикання на регулятор динамічного гальмування (РДГ), який дозволяє з максимальною швидкістю відібрати енергію, запасену в обмотках БДПС, тим самим якнайшвидше зупинити його перед зміною напрямку обертання.

Вхідними сигналами для блоків ЧК та ФК виступають опорне джерело траєкторії переміщення (ОДТП), сигнал якого необхідно лінійно інтерполювати (ЛІ) з обмеженою швидкістю наростання та промодулювати, щоб отримати СЗВ. СЗВ та СЗЗ відображаються в ЧІ-область із використанням іншого ЧІМ з фіксованою тривалістю імпульсу (або з вкорочувачем імпульсів на виході). У цьому випадку в модулятор завантажується різниця між максимально можливим і поточним вхідним значенням. Якщо ДПР представлений інтерфейсом квадратурного енкодера (англ. *Quadrature Encoder Interface, QEI*) або

декількома дискретними датчиками Холла, він повинен бути перетворений у СЗЗ з використанням простого кінцевого цифрового автомата (КЦА) в інтерфейс «крок-напрямок». Звертаємо увагу, що вхідні частоти повинні бути нормалізовані до системного сигналу тактування за допомогою цілочисельного дільника частоти.

Вихідними сигналами блоків ЧК і ФК є абсолютне значення і прапорці нерівності між частотами та фазами відповідно. У випадку ЧК значення нормовані на ємність лічильника і виражають відсоткове відношення меншої частоти до більшої. У разі ФК різниця фаз виражається в кількості імпульсів системного сигналу тактування. Отже, при об'єднанні обох вищезазначених блоків з існуючою САК вихідні значення повинні масштабуватися до одиниць вимірювання, що використовуються в системі.

Постановка проблеми. Постановка проблеми. ССП БДПС може бути побудована на основі класичного багатоконтурної підпорядкованої САК [9-10], або ж в ЧІ-домені. Задача керування швидкістю в ЧІ-домені трансформується в задачу порівняння та узгодження частот, а керування положенням – у порівняння та узгодження фаз опорного сигналу та сигналу зворотного зв'язку. Розробка спеціалізованих цифрових блоків ЧК та ФК для виконання вищезгаданих задач є нетривіальною задачею.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Розглянемо більш докладно підходи до розробки блоків ЧК і ФК. По-перше, слід зазначити, що нині терміни «компаратор» і «детектор» позначають два різних типи блоків обробки сигналів. Для детектора необхідно тільки визначити й повертати знак рівності або нерівності між двома вхідними періодичними послідовностями сигналів, або навіть просто наявність деякої частоти на вході. Компаратор – більш складний пристрій, що може також вимірювати кількісну різницю між двома частотами безпосередньо або в порівнянні з деякою еталонною частотою.

Ранні рішення блока ЧК, які більш правильно називати «частотними детекторами» (ЧД), виконувались змішаними (містили пасивні аналогові ланцюги, дискретні транзистори, наприклад, формувачі імпульсів і дільники частоти) через їх використання в складі аналогової високочастотної системи з фазовим автопідстроюванням частоти (ФАПЧ).

Найпростіші повністю цифрові ЧД [11] можуть виявляти якісну різницю між вхідними частотами й містять лише чотири тригери (які об'єднані в пари для роботи подібно до лічильників з метою виявлення послідовності в переходах вимірюваних сигналів), а також чисто комбінаційну схему, яка виконує арбітраж тригерів (запуск і скидання) [12]. Такий ЧД не повертає кількісного відношення між частотами й не враховує фазу слідування вхідних сигналів, а тільки генерує два вихідних сигнали – 'UP' і 'DOWN', які керують ланцюгом підкачки заряду. Ланцюг підкачки заряду змінює керуючу напругу для генератора керованого напругою (ГКН), вихід якого є високочастотним виходом блока ФАПЧ.

Базовий повнофункціональний ЧК складається з двох лічильників, компаратора, блока ЧД і керуючого КЦА (який виконує запуск та зупинку в правильній послідовності й без втрат), і спеціалізованої комбінаційної схеми [12]. Він також повертає тільки тризначне якісне співвідношення між частотами, наприклад, рівність (що не перевищує допустиму точність) між частотами. Ключовим недоліком такого типу виходу є те, що він часто «брязкотить» (формує нестійкий вихідний сигнал) при вимірюванні майже рівних частот. Це, у свою чергу, може бути усунуто шляхом використання формувача вихідного сигналу з гістерезисом.

Усунення нестабільності роботи ЧК реалізується за допомогою покращеної схеми арбітражу, яка виявляє стан переповнення будь-якого з лічильників і запобігає скиданню обох лічильників доти, поки збережені значення не стануть уставленими й не зберуться [13]. Основним поліпшенням ЧК є незалежний від фази процес вимірювання. Найпростішим способом є підгонка фаз і порівняння вхідних частот, які вирівняні по

фазі, але це призводить до недоліків: такий блок не пристосований для порівняння змінних частот і вимагає більш складної схеми з додатковим контуром керування (що збільшує частоту відмов).

Комплексне покращення полягає в перемиканні існуючих лічильників ЧК в режим рахунку по колу та їх ініціалізації ненульовими і завжди відмінними між собою початковими значеннями. Якщо виміряні частоти рівні, обидва лічильника інкрементуються з однаковою швидкістю, і, таким чином, значення лічильників ніколи не зможуть урівнятися. Інакше після декількох вхідних імпульсів значення всередині лічильників стануть рівними, що вказуватиме на різні частоти тактування. Друге вдосконалення досягається шляхом додавання спеціалізованої комбінаційної схеми, яка робить вимірювання незалежними від різниці ходу фаз, і підходить для вимірювання малих відхилень частоти [14]. Недолік такої схеми полягає в тому, що тривалість циклу вимірювання не постійна і залежить від номіналів частот.

ЧК у складі ФАПЧ стабілізує системний сигнал тактування на кристалі інтегральної мікросхеми, тому придатний для генерації тактових імпульсів вибірки АЦП та систем відновлення потоку даних в LVDS і т. ін. [15; 16]. Іншими сферами застосування, де використовуються ФАПЧ з ЧК, є синтезатори частоти, фазові модулятори, FM-модулятори і демодулятори, радіочастотне обладнання зв'язку та контролери для електродвигунів із регульованою швидкістю [3-5].

Окремим класом пристроїв є частотно-фазові компаратори (ЧФК) [17; 18] або, точніше кажучи, фазово-частотні детектори (ЧФД). ЧФД відрізняється від звичайного ЧД поведінкою виходів 'UP' і 'DOWN'. Активний рівень 'UP' генерується як тоді, коли фаза f_A відстає від фази f_B , так і коли визначається, що частота f_A вище, ніж f_B . Навпаки, активний рівень 'DOWN' генерується як тоді, коли фаза f_A випереджає фазу f_B , так і коли визначається, що частота f_A нижче за f_B .

Найпростіший ЧФД складається з набору бістабільних елементів (тригерів), – одного для генерації сигналу неузгодження фаз, пари тригерів для виявлення суто переходів переднього й заднього фронтів (сигналів частотної помилки), які в поєднанні з вихідним сигналом неузгодження фаз генерують сигнали фазово-частотної помилки [19]. Ця базова схема ЧФД також може бути розширена шляхом додавання комбінаційної схеми для трьох окремих вихідних прапорців.

Описаний вище блок ЧФД сьогодні став загальноприйнятим і широко використовуваним, але і він може пропустити тактові імпульси. Вдосконалення може бути досягнуто за рахунок включення схеми коректора, яка надійно виявляє пропущені фронти тактових імпульсів, і правильно активує перемикачі для підкачки заряду ГКН ФАПЧ або *Delay Locked Loop* (DLL). Додаткове покращення полягає в виявленні неточно визначених пропущених фронтів, тобто, неправильного спрацьовування коректора. Удосконалений блок ЧФД можна використовувати в складі блоків PLL або DLL для синтезу тактових імпульсів і відновлення синхронізуючої сітки, що дозволяє їм працювати на більш високих частотах і отримувати фазову синхронізацію швидше, ніж типові блоки [20].

Сучасні дослідження схемотехнічних рішень блоків ЧК та ФК сфокусовані на модифікацію існуючих ЧФД та усунення раніше сформульованих недоліків роботи цих блоків залежно від застосування. Наприклад, усунення «сліпої» зони та лінеаризації фазово-частотної характеристики [21; 22], розширення діапазону детектування і, нарешті, повна відмова від необхідності в системному сигналі тактування. Більшість з вищезазначених рішень втілені на замовних КМОП-мікросхемах ASIC і знаходять використання навіть у складі інтелектуального датчика струму [23].

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Підсумовуючи наведений вище огляд, можна зробити висновок, що у випадку ЧК існуючі схемотехнічні рішення мають такі недоліки:

1. Не повертають кількісне відношення між частотами, яке могло б використовуватися системою керування для прогнозування динаміки регулювання;

2. Нечутливі до неузгоджень між частотами, які менше, ніж половина періоду (один перехід), що, у свою чергу, створює нестабільність виявлення стану рівності частот.

Існуючі блоки ФК працюють значно стабільніше, але й вони також мають недоліки:

1. Не враховують порядку надходження фронтів, а тільки певну їх кількість до порогового значення.

2. Нестабільні в роботі, коли вимірюваний сигнал по частоті наближається до системної тактової частоти.

Виклад основного матеріалу.

Постановка завдання. Стаття присвячена дослідженню та розробці структури повністю цифрових блоків ЧК та ФК у базисі ПЛІС із використанням мови опису апаратури (МОА) VHDL, які усуватимуть недоліки існуючих схемотехнічних рішень і пристосовані для інтеграції в ССРП з КРІП у силовій частині та САК, побудованою в ЧІ-доміні.

Частотний компаратор. На рис. 2 наведено структурну схему розробленого цифрового блока ЧК з покращеною точністю і динамічними характеристиками. Принцип його роботи опишемо нижче.

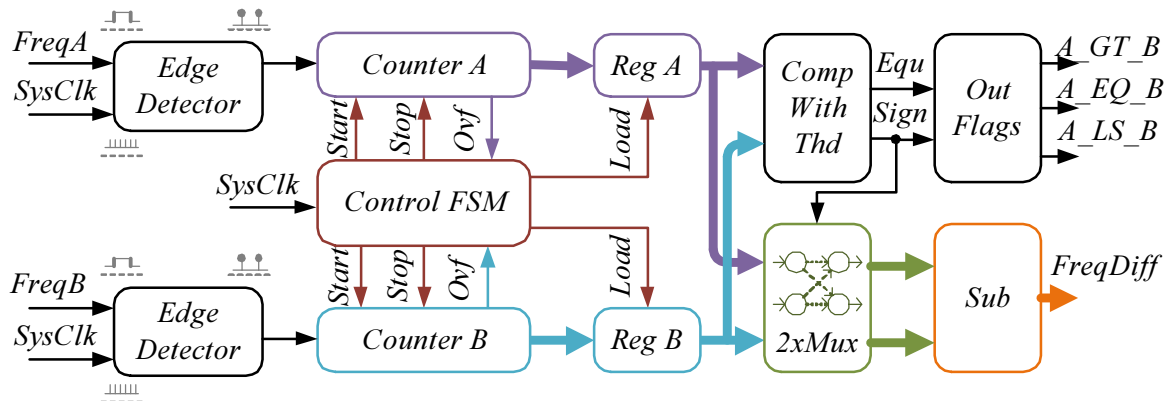


Рис. 2. Структурна схема блоку ЧК

Синхронізатори ‘Edge Detectors’ встановлюються по обох входах вимірювання частот (сигнали ‘Freq A’ і ‘Freq B’), та спрацьовують по обох фронтах (і передньому, і задньому). Синхронізатори потребують зовнішнього тактового сигналу ‘SysClk’ з частотою, яка щонайменше вдвічі перевищує максимально допустиму вимірювану частоту. Таким чином, одному вимірюваному імпульсу відповідає два зареєстровані переходи.

Коли принаймні один із лічильників (блоки ‘Counter A’ або ‘Counter B’) досяг переповнення, обидва лічильника зупиняються, а нараховані ними значення зберігаються в регістрах-защібках, і починаючи з наступного циклу (після скидання обох лічильників) починається новий операційний цикл. За дотримання послідовності цих дій відповідає КЦА (блок ‘Control FSM’, який також потребує синхронізації по сигналу ‘SysClk’).

Однорівнева буферизація з використанням регістрів-защібок ‘Reg A’ і ‘Reg B’ реалізована в блоці ЧК з метою підвищення швидкодії. Це досягається шляхом конвеєризації процесів підрахунку кількості переходів, обчислення різниці частот, установки початкового значення один раз за робочий цикл. Крім того, вона виключає некоректне спрацьовування вихідних прапорців, які залишаються незмінними до кінця наступного циклу вимірювань.

Збережені в регістрах значення пропорційні частотам вхідних сигналів, тому що один із лічильників завжди діє як формувач еталонного часового вікна. Перед обчисленнями збережені значення надходять на подвійний мультиплексор (блок ‘2xMux’), який пропускає через себе двійкові вектори в прямому (наскрізному, прозорому) або перехрещеному (обмінному) напрямку. Керування режимом роботи подвійного мультиплексора виконує сигнал знаку порівняння частоти так, що більше значення завжди подається на вхід зменшуваного, а менше – на вхід від’ємника блока беззнакового віднімача (блок ‘Sub’ на рис. 3).

Це дозволяє завжди зберігати кількісну різницю додатною (в прямому двійковому коді), що полегшує її інтерпретацію іншими блоками в системі. Для цієї ж мети реалізовані три вихідних прапорця, які визначають якісне відношення частот ('*A_GT_B*', '*A_EQ_B*' і '*A_LS_B*'). Прапорець рівності частот використовується, наприклад, як маркер для перемикання замкнутої САК електроприводом із режиму стабілізації швидкості в режим стабілізації становища й навпаки.

З метою підвищення стабільності роботи блока ЧК, вихідні прапорці за допомогою вузла '*Comp With Thd*' наділені гістерезисними властивостями таким чином, що можна встановити пороги спрацьовування для входження в режим рівності частот і виходу з нього в режим порівняння нерівних частоти.

У запропонованому вище (рис. 2) рішенні визначення відношення між підрахованими значеннями (тобто, більш високої частоти) виконується з використанням компаратора, але воно також може бути реалізовано на основі RS-тригера. Сигнали встановлення і скидання цього RS-тригера підключаються до виходів переповнення лічильників (оскільки переповнення одного лічильника припиняє роботу обох).

Як згадувалося вище, завдяки наявності вхідних синхронізаторів вимірювана кількість імпульсів навмисно подвоюється. Це дозволяє використовувати такий підхід: при підрахунку кількості переходів (замість імпульсів) *частоти вважаються рівними*, якщо в кінці поточного циклу вимірювання різниця між кількістю переходів у лічильниках *не перевищує одиниці*. Це, у свою чергу, робить роботу блока ЧК незалежною від фази слідування між вимірюваними частотами.

На рис. 3 зображено принципову схему блока ЧК на рівні регістрових передач (англ. *Register Transfer Level, RTL*), отриману шляхом синтезу VHDL-опису в середовищі **Altera® Quartus-II®**.

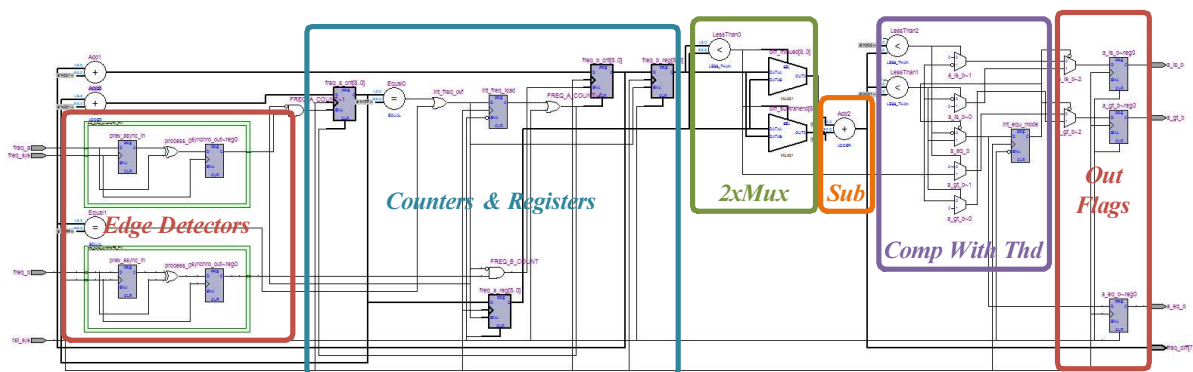


Рис. 3. Принципова схема блоку ЧК на рівні регістрових передач, отримана шляхом синтезу VHDL-опису

На рис. 4 наведено часові діаграми роботи розробленого блока ЧК та його поведінка у разі зміни співвідношення між вимірюваними частотами. Моделювання проводилося з використанням програмного середовища **Altera® Quartus-II®**. Випадок, коли частота СЗВ '*freq A*' вище за частоту СЗЗ '*freq B*', зображений на ділянці (а). Випадок, коли частота СЗВ '*freq A*' стала менше за частоту СЗЗ '*freq B*', зображений на ділянці (б). Випадок, коли частоти СЗВ та СЗЗ рівні, зображений на ділянці (в).

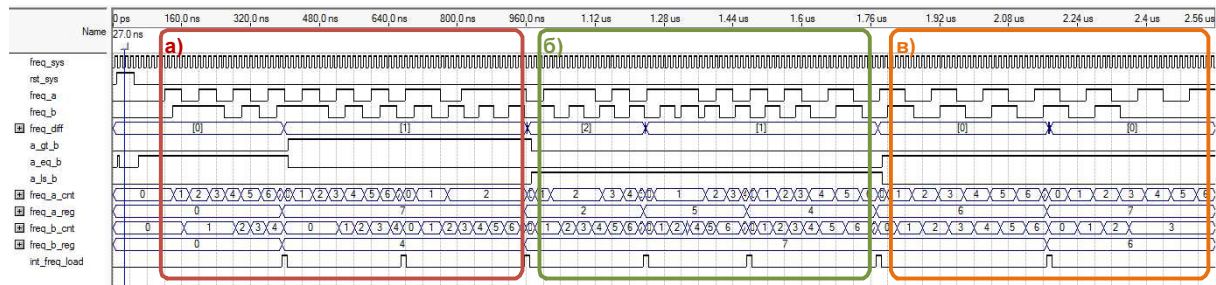


Рис. 4. Часові діаграми роботи блока ЧК

Фазовий компаратор. На рис. 5 показана структурна схема розробленого цифрового ФК з покращеною точністю спрацьовування і динамічними характеристиками. Як і в ЧК, у ФК синхронізатори ‘Edge Detectors’ також встановлені по обох входах вимірюваних сигналів та працюють у режимі детекторів фронтів, проте, на відміну від ЧК, налаштовані на роботу тільки за певним і однаковим для обох входів фронтом (наприклад, за переднім). Вибір конкретного фронту може бути виконаний із використанням налаштувань у розділі ‘generic’ VHDL-опису. Для роботи КЦА арбітражу й лічильників також необхідний додатковий системний синхронізуючий сигнал ‘SysClk’.

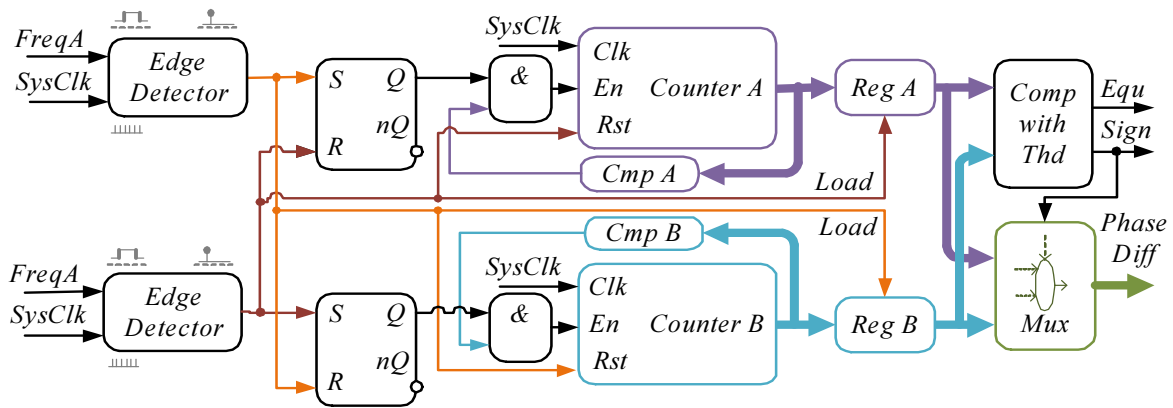


Рис. 5. Структурна схема блока ФК

Робота КЦА ФК аналогічна роботі шахового годинника, оскільки сигнал детектування фронту на одному з вимірюваних входів запускає лічильник фази цього каналу ‘Counter A’ і одночасно скидає лічильник протилежного каналу ‘Counter B’ (попередньо записавши його значення до регістра-защіпки ‘Reg B’), і навпаки. Цей підхід також спрощує обчислення різниці фаз, оскільки значення, підраховане кожним з лічильників, являє собою різницю фаз, виражену у кількості імпульсів сигналу ‘SysClk’. Таким чином, різниця подається на вихід без будь-яких арифметичних операцій від одного з вихідних регістрів-защібок через мультиплексор ‘Mux’, вхід вибору якого в простішому випадку керується RS-тригером, який скидається і встановлюється виходами детекторів фронтів.

Для робастного керування вибір фази відбувається з урахуванням гістерезису на входження та вихід зі стану детектування рівних фаз за допомогою блока ‘Comp With Thd’. Захист лічильників фази ‘Counter A’ та ‘Counter B’ від переповнення виконується блоками ‘Cmp A’ та ‘Cmp B’, які зупиняють рахунок фази при перевищенні рахівником деякого опорного значення.

На рис. 6 зображено принципову схему блока ФК на рівні регістрових передач (англ. Register Transfer Level, RTL), отриману шляхом синтезу VHDL-опису в середовищі Altera® Quartus-II®.

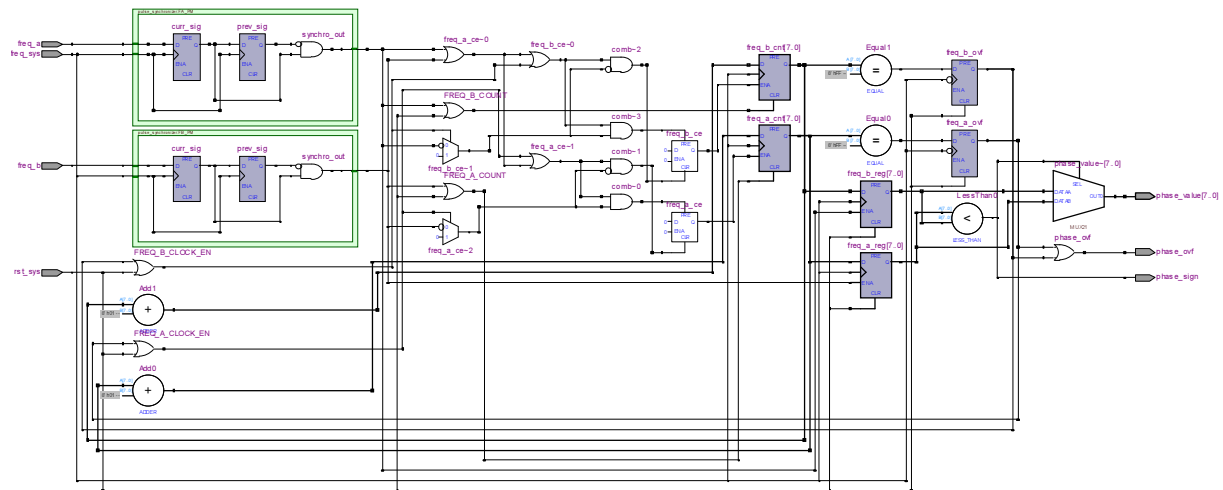


Рис. 6. Принципова схема блоку ФК на рівні регістрових передач, отримана шляхом синтезу VHDL-опису

На рис. 7 наведені часові діаграми роботи розробленого блоку ФК та його поведінка залежно від зміни співвідношення між фазами вимірюваних сигналів. Моделювання проводилося з використанням середовища **Altera® Quartus-II®**. Випадок, коли фаза сигналу *'freq_a'* випереджає фазу сигналу *'freq_b'*, зображений на ділянці (а). Випадок, коли сигнали *'freq_a'* і *'freq_b'* мають майже однакові фази слідування, зображений на ділянці (б). Випадок, коли фаза сигналу *'freq_b'* випереджає фазу сигналу *'freq_a'*, зображений на ділянці (в).

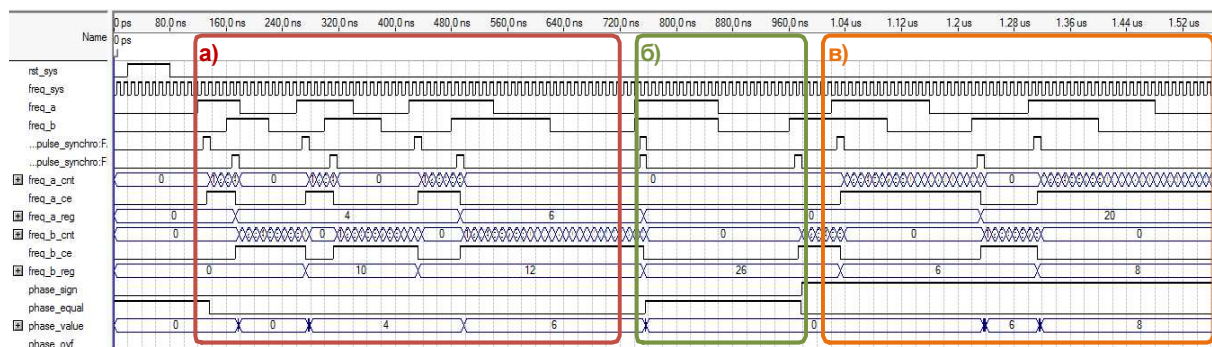


Рис. 7. Часові діаграми роботи блоку ФК

Слід зазначити, що вихідне значення ФК є достовірним тільки за умови рівності частот слідування вхідних сигналів, тобто коли процес налаштування частоти завершений (різниця частот усунена), і перемикання системи керування з режиму регулювання частоти в режим регулювання фази вже відбулося. Цей стан визначається на основі вихідного сигналу *'A_EQ_B'* блоку ЧК. Якщо треба грубо детектувати стан рівності фаз, то вихідний сигнал ФК можна наділити гістерезисними властивостями.

Результати синтезу блоків ЧК та ФК на ПЛІС засобами мови VHDL. Часове моделювання розроблених VHDL-сутностей виконувалась у середовищі **Altera® Quartus® II** для мікросхеми ПЛІС сімейства **Cyclone®-III**. В якості системного синхронізуючого сигналу було взято сигнал з виходу вбудованого в ПЛІС вузла ФАПЧ, налаштованого на частоту 200 МГц. Порівняльна оцінка використання ресурсів кристалу ПЛІС, які займають блоки ЧК та ФК, залежно від обраної розрядності лічильників, наведена в таблиці.

Таблиця

Ресурси мікросхеми ПЛІС моделі *Altera EP3C5E144A7* (5 136 LEs), зайняті блоками ЧК та ФК залежно від розрядності їх лічильників

Назва параметра	Задане значення на етапі синтезу											
	8			12			16			20		
Розрядність лічильників, біт												
Складові	Тип схемотехнічного ресурсу ПЛІС											
	LE	CF	RG	LE	CF	RG	LE	CF	RG	LE	CF	RG
Блок ЧК	74	70	44	99	97	60	128	124	76	158	154	92
Блок ФК	50	48	38	66	66	54	101	84	70	104	104	86

Висновки відповідно до статті. Створені нові цифрові схемотехнічні рішення для блоків ЧК та ФК з можливістю гнучкого налаштування їх режиму роботи та динамічних характеристик. Запропоновані блоки реалізовані з використанням МОА VHDL і протестовані на мікросхемі FPGA (сімейство **Intel® Altera® Cyclone-III®**).

У розробленому блоці ФК усунені такі недоліки, властиві наявним зразкам:

1. Завдяки встановленню додаткових ланок детектування фронтів по входах вимірювання стало можливим перемикаччя блока ЧК із режиму підрахунку кількості імпульсів у режим підрахунку кількості фронтів. Це, у свою чергу, дозволило усунути один з основних недоліків ЧК – неможливість достовірного порівняння частот на рівність, а також зробити вимірювання частот нечутливим до фази слідування імпульсів;

2. Завдяки встановленню гістерезисної ланки, яка керується значенням різниці підрахованих фронтів, стало можливим використання ЧК як інтелектуального перемикача між «грубим» і «точним» режимами керування при роботі в складі замкненої САК прецизійної ССП.

У розробленому блоці ФК усунені такі недоліки, властиві наявним зразкам:

1. Завдяки встановленню додаткових детекторів фронтів досягається надійна робота з визначення різниці фаз навіть при значеннях вимірюваних частот, близьких до системної частоти тактування;

2. Завдяки ланцюгам перехресного керування досягаються висока швидкодія ($f_{sys} = 200$ МГц) автоматики та її стабільна робота навіть за умови одночасності надходження імпульсів на вимірювальних входах.

Обидва блоки оснащені можливістю налаштування ємності лічильників (тобто інтервалу усереднення, що надає інтегруючих властивостей) і порогових рівнів зони нечутливості (надає гістерезисних властивостей). Налаштування встановлюються окремо для кожного нового входження блоків в систему на етапі компіляції.

Отримані блоки дозволяють істотно спростити (позбутися суматорів і помножувачів) структуру цифрової САК «у великому», в якій регулювання відбувається в основному за рахунок контуру швидкості. Ці ж блоки можуть виступати детекторами, оскільки залежно від їх вихідного значення САК перемикається з «грубого» (регулювання швидкості) у «точний» (регулювання положення) режим, і навпаки.

Розроблені блоки використовуються в складі САК стабілізатора напруги ЛПС на основі КРП-ПНС [1; 2; 6] та в прецизійній системі керування електроприводом із високою динамікою, яка працює в режимі ФАПЧ [4, 5]. Крім того, ці блоки можуть бути використані як вузли перетворення вхідного сигналу (ЧІ-демодуляції) для систем, що працюють у частотно-імпульсному домені [8-10; 24].

Список використаних джерел

1. Yershov R. D., Voytenko V. P., Bychko V. A., Kuts Y. V. FPGA-based Frequency and Phase Comparators for Closed-Loop Motor Position Control. *Proc. 2019 IEEE International Conference on Modern Electrical and Energy Systems (MEES'2019)*, IEEE, 23-25 September 2019. P. 290-293.

2. Ревко А. С. Оптимізація за швидкістю електропривода з квазірезонансним імпульсним перетворювачем для систем позиціонування. *Вісник Чернігівського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки*. 2004. № 21. С. 149-156.

3. Денисов А. И., Ревко А. С. Квазирезонансные импульсные преобразователи в системах прецизионного электропривода малой мощности. *Технічна електродинаміка. Тематичний випуск: Проблеми сучасної електротехніки*. 2004. Ч. 2. С. 79-82.
4. Ревко А. С. Цифрова система керування двигуном постійного струму з квазирезонансним імпульсним перетворювачем. *Технічна електродинаміка. Тематичний випуск: Силова електроніка та енергоефективність*. 2001. Ч. 3. С. 37-40.
5. Ревко А. С., Денисов Ю. А. Реверсивный квазирезонансный импульсный преобразователь с цифровой системой управления. *Технічна електродинаміка. тематичний випуск: Проблеми сучасної електротехніки*. 2006. Ч. 6. С. 72-75.
6. Єршов Р. Д., Войтенко В. П. Частотно-імпульсний модулятор з адаптивною корекцією тривалості імпульсу. *Технічні науки та технології*. 2020. № 1 (19). С. 177–190. DOI: 10.25140/2411-5363-2020-1(19)-177-190.
7. Войтенко В., Єршов Р. Моделі елементів системи електроприводів квадрокоптерів та автономних роботів. *Технічні науки та технології*. 2019. № 3 (17). С. 175–187. DOI: 10.25140/2411-5363-2019-3(17)-175-187.
8. Jimenez-Fernandez A., Jimenez-Moreno G., Linares-Barranco A., Dominguez-Morales M.J., Paz-Vicente R., Civit-Balcells A.A. Building blocks for spikes signals processing. *Proc. 2010 International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN'2018)*, IEEE, July 2010. P. 1-8.
9. Denisov Yu., Gorodny O., Gordienko V., Vershniak L., Dymereys A. Estimation of parameters and characteristics of power factor corrector based on pulsed and quasi-resonant converters. *Tekhnichna elektrodynamika*. 2018. No. 6. P. 38-41.
10. Voytenko V. P., Stepenko S. A., Velihorskyi O. A., Chakirov R., Roberts D., Vagapov Y. Digital control of a zero-current switching quasi-resonant boost converter. *Proc. 2015 Internet Technologies and Applications (ITA)*, IEEE, September 2015. P. 365-369.
11. Broadhead S.L., Jr Digital frequency comparator / *United States Patent No. 3 354 398*. Published: 21st November 1967.
12. Chiu H.K. Frequency detector for a phase locked loop system / *United States Patent No. 6 642 747*. Published: 4th November 2003.
13. Chiu H.K. Frequency comparator circuit / *United States Patent No. 6 834 093*. Published: 21st December 2004.
14. Okada T., Endo A. Digital frequency comparator circuit / *United States Patent No. 3 987 365*. Published: 19th October 1976.
15. Abbiate J.C., Cederbaum C. Phase independent frequency comparator / *United States Patent No. 6 563 346*. Published: 13th May 2003.
16. Preslar D.R. Digital phase comparator with improved sensitivity for small phase differences / *United States Patent No. 4 322 643*. Published: 30th March 1982.
17. Cordell R.R. Phase and frequency detector circuits / *United States Patent No. 4 773 085*. Published: 20th September 1988.
18. Guo B. Digital variable in-lock range phase comparator / *United States Patent No. 5 619 148*. Published: 8th April 1997.
19. Minakuchi H. Digital frequency-phase comparator / *United States Patent No. 4 277 754*. Published: July 1981.
20. Sampath P., Vikas C. High speed phase frequency detector / *United States Patent No. 7 940 088*. Published: 10th May 2011.
21. Chen W.H., Inerowicz M.E., Jung B. Phase frequency detector with minimal blind zone for fast frequency acquisition. *IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Express Briefs*. IEEE, 2010. Vol. 57(12). P. 936-940.
22. Zhang C., Syrzycki M. Modifications of a dynamic-logic phase frequency detector for extended detection range. *Proc. 53rd IEEE International Midwest Symposium on Circuits and Systems*, IEEE, August 2010. P. 105-108.
23. Pogliano U., Serazio D., Trinchera B. Wideband phase comparator for high current shunts. *Proc. CPEM'2010*, IEEE, June 2010. P. 135-136.
24. Gorodny A.N., Dymereys A.V. Transistor Switches Quasi-Control in Quasi-Resonant Pulse Converters. *Proc. 2019 IEEE 39th International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO'2019)*, IEEE, April 2019. P. 789-792.

References

1. Yershov, R. D., Voytenko, V. P., Bychko, V. A., Kuts, Y. V. (2019). FPGA-based Frequency and Phase Comparators for Closed-Loop Motor Position Control. *Proc. 2019 IEEE International Conference on Modern Electrical and Energy Systems (MEES'2019)* (pp. 290-293).
2. Revko, A.S. (2004). Optimizatsiya za shvydkodiyeyu electropryvoda z kvazirezonsnym impulsym peretvoryuvachem dlya system pozytsiyuvannya [Rapid Optimization of Electric Drive with Quasi-Resonant Pulse Converter for Positioning Systems]. *Visnyk Chernihivskogo derzhavnogo tekhnologichnogo universytetu – Bulletin of Chernihiv State Technological University. Series: Technical Sciences*, 21, 149-156 [in Ukrainian].
3. Denisov, A. I., Revko, A. S. (2004). Kvarirezonsnyye Impulsnyye Preobrazovateli v sistemakh pretsizionnogo electropivoda maloy moshchnosti [Quasi-Resonant Pulse Converters in Precision Electric Drive Low-Power Systems]. *Tekhnichna elektrodynamika – Technical electrodynamic. Special issue: Problems of modern electrotechnics*, 2, 79-82 [in Russian].
4. Revko, A. S. (2001). Tsyfrova systema keruvannya dvygunom postijnogo strumu z kvazirezonsnym impulsym peretvoryuvachem [Digital Control System of Direct Current Motor with Quasi-Resonant Pulse Converter]. *Tekhnichna elektrodynamika – Technical electrodynamic. Special issue: Problems of modern electrotechnics*, 3, 37-40 [In Ukrainian].
5. Revko, A. S., Denisov, Yu. A. (2006). Reversivniy Kvazirezonsniy Impulsniy Preobrazovatel s Tsifrovoy Sistemoy Upravleniya [Reversible Quasi-Resonant Pulse Converter with Digital Control System]. *Tekhnichna elektrodynamika – Technical electrodynamic. Special issue: Problems of modern electrotechnics*, 6, 72-75 [in Russian].
6. Yershov, R. D., Voytenko, V. P. (2020). Pulse-Frequency Modulator with Adaptive Pulse Duration Correction. *Technical sciences and technologies – Tekhnichni nauky ta tekhnolohii*, 1 (19), 177-190 [in Ukrainian].
7. Voytenko, V. P., Yershov, R. D. (2019). Models of Elements of the Electric Drive System of the Quadcopters and Autonomous Robots. *Technical sciences and technologies – Tekhnichni nauky ta tekhnolohii*, 3 (17), 175-187 [in Ukrainian].
8. Jimenez-Fernandez, A., Jimenez-Moreno, G., Linares-Barranco, A., Dominguez-Morales, M.J., Paz-Vicente, R., Civit-Balcells, A.A. (2010). Building blocks for spikes signals processing. *Proc. 2010 International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN'2018)* (pp. 1-8).
9. Denisov, Yu., Gorodniy, O., Gordienko, V., Vershniak, L., Dymereys, A. (2018). Estimation of parameters and characteristics of power factor corrector based on pulsed and quasi-resonant converters. *Tekhnichna elektrodynamika – Technical electrodynamic*, 6, 38-41.
10. Voytenko, V. P., Stepenko, S. A., Velihorskyi, O. A., Chakirov, R., Roberts, D., Vagapov, Y. (2015). Digital control of a zero-current switching quasi-resonant boost converter. *Proc. 2015 Internet Technologies and Applications (ITA)* (pp. 365-369).
11. Broadhead, S. L., Jr (1967, 21st November) Digital frequency comparator. *United States Patent No. 3 354 398*.
12. Chiu, H. K. (2003, 4th November). Frequency detector for a phase locked loop system. *United States Patent No. 6 642 747*.
13. Chiu, H. K. (2004, 21st December). Frequency comparator circuit. *United States Patent No. 6 834 093*.
14. Okada, T., Endo, A. (1976, 19th October). Digital frequency comparator circuit. *United States Patent No. 3 987 365*.
15. Abbiate, J. C., Cederbaum, C. (2003, 13th May). Phase independent frequency comparator. *United States Patent No. 6 563 346*.
16. Preslar, D. R. (1982, 30th March). Digital phase comparator with improved sensitivity for small phase differences. *United States Patent No. 4 322 643*.
17. Cordell, R. R. (1988, 20th September). Phase and frequency detector circuits. *United States Patent No. 4 773 085*.
18. Guo, B. (1997, 8th April). Digital variable in-lock range phase comparator. *United States Patent No. 5 619 148*.
19. Minakuchi, H. (1981, July). Digital frequency-phase comparator. *United States Patent No. 4 277 754*.
20. Sampath, P., Vikas, C. (2011, 10th May). High speed phase frequency detector. *United States Patent No. 7 940 088*.

21. Chen, W. H., Inerowicz, M. E., Jung, B. (2010). Phase frequency detector with minimal blind zone for fast frequency acquisition. *IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Express Briefs*, 57(12), 936-940.

22. Zhang, C., Syrzycki, M. (2010). Modifications of a dynamic-logic phase frequency detector for extended detection range. *Proc. 53rd IEEE International Midwest Symposium on Circuits and Systems* (pp. 105-108).

23. Pogliano, U., Serazio, D., Trinchera, B. (2010). Wideband phase comparator for high current shunts. *Proc. CPEM 2010* (pp. 135-136).

24. Gorodny, A.N., Dymereys, A.V. (2019). Transistor Switches Quasi-Control in Quasi-Resonant Pulse Converters. *Proc. 2019 IEEE 39th International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO'2019)* (pp. 789-792).

UDC 621.3.07

Roman Yershov

DIGITAL FREQUENCY AND PHASE COMPARATORS AS PARTS OF A MOVABLE PLATFORM POSITION STABILIZATION SYSTEM

Urgency of the research. A dual-range, four-quadrant position stabilization system (PSS) of a brushless direct current motor (BLDC) as a part of movable platform (MP), in which the power stage is based on a quasi-resonant pulse converter (QRPC), has the better speed and accuracy characteristics in comparison with hard-switching PWM-based converters.

Target setting. The BLDC PSS can be built on the basis of the classic multi-loop control system (MLCS), or on the pulse-frequency (PF-) domain. In PF-domain the task of speed control is transformed into the frequency comparing and matching task, and the position control is transformed into the phasecomparing and matching between the reference signal and the feedback signal. The development of specialized digital blocks of a frequency comparator (FK) and a phase comparator (PC) to perform the above tasks is a non-trivial task.

Actual scientific researches and issues analysis. The earliest solutions of the FC, which should be correctly called the 'frequency detector' (FD), were implemented mixed-signal (contained both analog and digital nodes) due to their usage in a high-frequency phase-locked loop (PLL) system. A full-featured FC consists of two counters, comparator, a FD block, control finite-state machine (FSM), and a specialized combinational circuit.

Uninvestigated parts of general matters defining. Existing FC blocks do not return a quantitative relation between measured frequencies, which can be used to predict dynamics, and are insensitive to the detection of small misalignments between frequencies, that, in turn, creates instability of determining the frequencies equality state. Existing PC blocks are unstable when the frequency of one of the measured signals reaches the system clock frequency, and also do not take into account the edges incoming order of the measured signals.

The research objective. The article is devoted to the study and development of the structure of pure-digital FC and PC blocks, which will eliminate the disadvantages of existing solutions and are oriented for integration into PSS with QRPC in the power stage and MLCS operates in a PF-domain.

The statement of basic materials. A novel technical solutions is proposed, developed and tested for pure-digital blocks of the FC and PC built on the basis of the field-programmable gate array (FPGA) by means of the hardware description language (VHDL). They allow not only to measure the sign of the inequality of frequency and phase between two periodic signals, but also to obtain the difference numerical values between them.

Conclusions. The installation of the FC and PC blocks into the BLDC PSS leads to a significant reducing of FPGA hardware resources utilization and to the high reliability and noise immunity of the MLCS through the unruptured (continuously) nature of the signals. Both the proposed blocks are novel and have eliminated the inherent disadvantages of the existing blocks of the FC and PC due to the installation of additional digital nodes – synchronizers (pulse shorters and edge detectors), and also a hysteresis node that leads to increase the stability and solve the problem of detection near-to-equal frequencies and phases.

Keywords: pulse-frequency domain; frequency; phase; detector; comparator; FD; FPD; FC; PC; PFM; FPGA; VHDL.

Fig.: 7. Table: 1. References: 24.

Єршов Роман Дмитрович – старший викладач кафедри електроніки, автоматіки, робототехніки та мехатроніки, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

Yershov Roman – senior lecturer of the Electronics, Automation, Robotics and Mechatronics Department, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: roman.d.yershov@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0267-2906>

ResearcherID: H-1432-2016

Scopus Author ID: 57188719994

РОЗДІЛ IV. ХІМІЧНІ ТА ХАРЧОВІ ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 657.1.01

DOI: 10.25140/2411-5363-2020-2(20)-253-262

Лариса Рибчук

ПЕРСПЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ БОБОВИХ ПАСТ У КОНДИТЕРСЬКОМУ ВИРОБНИЦТВІ

Актуальність теми досліджень. Наукове обґрунтування та розроблення технології бобової пасту як оздоблювального напівфабрикату для кондитерських виробів є актуальним завданням, вирішення якого дозволить розширити асортимент оздоблювальних напівфабрикатів збагаченими біологічно активними речовинами.

Постановка проблеми. Бобові пасту мають високу біологічну та харчову цінність, проте мають низькі сенсорні характеристики за рахунок притаманного специфічного бобового смаку та аромату. Тому актуальним є пошук додаткових рецептурних компонентів для маскування бобового смаку й аромату та створення гармонійної смакової композиції.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. У наукових публікаціях показана перспективність використання молочної сироватки сухої де мінералізованої в технологіях оздоблювальних напівфабрикатів для кондитерських виробів.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Не вивчений вплив молочної сироватки сухої демінералізованої на сенсорні та реологічні характеристики бобових паст.

Постановка завдання. За результатами досліджень підтвердити можливість використання молочної сироватки сухої демінералізованої у складі бобових паст.

Виклад основного матеріалу. Відповідно до розроблених еталонних шкал сенсорних дескрипторів, проаналізовані сенсорні характеристики модельних композицій бобових паст. Запропоновані напрями диференційованого використання бобових паст із різною масовою часткою молочної сироватки сухої демінералізованої в кондитерському виробництві як оздоблювальні напівфабрикати. Експериментально досліджено деформаційні характеристики модельних композицій бобових паст. За результатами досліджень визначено та проаналізовано основні реологічні модульні константи.

Висновки відповідно до статті. Отримані результати аналізу сенсорних та реологічних характеристик дозволяють констатувати, що молочна сироватка суха демінералізована в концентрації 10...30 % у технологіях бобових паст дозволяє отримати бажані споживчі характеристики для оздоблювальних напівфабрикатів, що використовуються в кондитерському виробництві.

Ключові слова: оздоблювальні напівфабрикати; бобова паста; молочна сироватка суха демінералізована.

Рис.: 1. Табл.: 5. Бібл.: 12.

Актуальність теми. Сучасні умови харчування та прискорений ритм життя призвели до погіршення стану організму людини. Висока кількість захворювань, пов'язаних із недостатнім надходженням вітамінів, мінеральних речовин, незамінних амінокислот, поліненасичених жирних кислот, харчових волокон та інших природних біологічно активних речовин, послаблюють організм людини, позбавляють його функцій природного самозахисту. Відповідно, створення інноваційних продуктів оздоровчого, функціонального та лікувально-профілактичного призначення на базі вторинних ресурсів харчових технологій є важливим завданням харчової промисловості України [1-3].

Постановка проблеми. Виробництво кондитерських виробів є одним із найбільших секторів харчової промисловості більшості розвинених країн світу, характеризується стабільністю, низьким рівнем вразливості до негативних спадів в економіці. В умовах ринкової конкуренції все більшої уваги приділяють рівню естетичності кондитерської продукції [4]. Особливе місце серед оздоблювальних напівфабрикатів для кондитерських виробів посідають пластичні маси внаслідок багатофункціональності використання в різних напрямках кондитерського виробництва. Вони здатні не лише покращити зовнішній вигляд та надати певних смакових якостей кондитерським виробам, а і збалансувати їх нутрієнтний склад, вплинути на калорійність та засвоюваність.

Встановлено, що солодка бобова паста, виготовлена шляхом уварювання з цукром будь-якого виду квасолі, широко застосовується в паназіатській кухні (Японія, Китай, Корея). Вона знайшла широке застосування в різних напрямках кондитерського виробництва. Її використовують для склеювання тортів, тістечок, печива, як прошарок для десертів та борошняних кондитерських виробів, для виготовлення цукерок, батончиків та як

пластичну масу для виготовлення квітів та моделювання фігурних декоративних елементів. Бобові пасту мають високу біологічну та харчову цінність, проте мають низькі сенсорні характеристики за рахунок притаманного специфічного бобового смаку та аромату [5; 6]. Тому актуальним є пошук додаткових рецептурних компонентів для маскування бобового смаку й аромату та створення гармонійної смакової композиції.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Важливим резервом для створення інноваційних оздоблювальних напівфабрикатів є вторинна молочна сировина. Перспективність використання молочної сироватки сухої демінералізованої (МССД) зумовлена високою харчовою і біологічною цінністю, низькою калорійністю, прийнятними сенсорними характеристиками та сприятливими функціонально-технологічними властивостями, що дає можливість спрогнозувати отримання високоякісної продукції підвищеної харчової цінності.

Характерною ознакою демінералізації сироватки є зниження рівня титрованої кислотності, вмісту азотистих речовин, органічних кислот і кислих солей, золи. У результаті підвищується розчинність сироватки та її солодкість, покращуються органолептичні властивості [7]. МССД набуває солодкого смаку, без сторонніх присмаків та запахів, що суттєво розширює сферу її застосування і дає можливість включити в рецептурний склад оздоблювальних напівфабрикатів [8].

За результатами попередніх розробок підтверджена ефективність використання МССД у рецептурному складі оздоблювальних напівфабрикатів, зокрема цукрових та марципанових паст [9-11].

Таким чином, наукове обґрунтування та розроблення технології бобової пасту як оздоблювального напівфабрикату для кондитерських виробів на основі МССД є актуальним завданням, вирішення якого дозволить раціонально використовувати вторинну молочну сировину, розширити асортимент оздоблювальних напівфабрикатів із бажаними реологічними та сенсорними характеристиками, збагаченими біологічно активними речовинами.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Не вивчений вплив молочної сироватки сухої демінералізованої на сенсорні та реологічні характеристики бобових паст.

Метою статті є підтвердження можливості використання МССД у складі бобових паст на підставі результатів досліджень сенсорних та реологічних характеристик.

Виклад основного матеріалу. Проектування модельних композицій бобових паст здійснено за принципом харчової комбінаторики: кількісним підбором основної та додаткової сировини, яка в сукупності забезпечує формування заданих сенсорних та реологічних характеристик. У модельних композиціях бобових паст використовували пюре з білої квасолі, що отримували шляхом уварювання цукру та квасолі у співвідношенні 1:1 згідно з прототипом японської технології.

Для досліджень обрано поширений середньостиглий сорт білої квасолі «Мавка», вирощений в Україні, що характеризується такими даними (табл. 1):

Таблиця 1

Товарознавча характеристика зернової квасолі сорту «Мавка»

Господарсько-ботанічний сорт	Характеристика зерен квасолі			
	Розмір зерна (довжина/ширина), мм	Форма	Колір	Маса зерен (1000 зерен/г)
Мавка	14/7	Ниркоподібна	Білий	604.0

З метою визначення раціональної концентрації МССД у рецептурному складі бобових паст, її додавали в концентрації 10...40 % від загальної маси (табл. 2). Модельні композиції виготовлені за технологією згідно патенту WO2011039861A1.

Таблиця 2

Рецептурний склад модельних систем бобових паст, на 100 г

Найменування сировини	Контроль	Зразки з додаванням МССД, %			
		10	20	30	40
Н/ф квасолеве пюре	100,0	90,0	80,0	70,0	60,0
МССД	-	10,0	20,0	30,0	40,0
Вода	-	5,0	10,0	15,0	20,0

За результатами технологічних відпрацювань модельних композицій бобових паст встановлено гранично допустиму концентрацію МССД у кількості 30 % від загальної маси. Підвищення концентрації понад 30 % призводить до суттєвого погіршення показників зовнішнього вигляду, що пов'язано насамперед зі зміною кольору. Як відомо, МССД на 75 % складається з лактози, яка при нагріванні вище за 90 ° викликає побуріння, це пов'язано з реакцією Майяра, яка проходить між лактозою і білками. У результаті утворюються меланоїди – речовини темного кольору з вираженим запахом та смаком. Тому для подальших досліджень обрані модельні композиції бобових паст із концентрацією МССД 10...30 %.

Сенсорний аналіз модельних композицій бобових паст проводили на кафедрі технології та організації ресторанного господарства Київського національного торговельно-економічного університету (КНТЕУ, Україна) дегустаційною комісією у складі п'ятнадцяти дегустаторів, які володіли професійними знаннями, сенсорною здатністю, властивостями оцінюваного продукту й технологією його виробництва.

Сенсорні характеристики модельних композицій бобових паст визначали за розробленими диференційованими еталонними шкалами сенсорних дескрипторів. Враховуючи багатофункціональність оздоблювальних напівфабрикатів, сенсорні характеристики консистенції мають різні коефіцієнти вагомості відповідно до напрямку їх технологічного використання (табл. 3). У результаті математичної обробки даних сенсорного аналізу отримано середнє значення показників якості з урахуванням коефіцієнта вагомості. Коефіцієнти вагомості визначали експертним методом за умов:

$$\sum_{i=1}^n m_{ij} = 1, \quad (1)$$

де m_{ij} – коефіцієнт вагомості i -го показника j -ої групи ($m_i > 0$); n – число показників якості продукції.

Коефіцієнт вагомості m_{ij} визначали за формулою:

$$m_{ij} = \frac{m_{ijcp}}{\sum_{i=1}^n m_{ijcp}}, \quad (2)$$

де m_{ijcp} – середнє арифметичне значення оцінок експертів i -го показника якості j -ої групи.

Середнє значення m_{ijcp} визначали за формулою:

$$m_{ijcp} = \frac{1}{N} \sum_{z=1}^N m_{ijz}, \quad (z=1, 2, 3, \dots, N) \quad (3)$$

де N – кількість експертів; m_{ijz} – оцінка i -го показника якості j -ої групи, даного z -м експертом ($z=1, 2, 3, \dots, N$).

Таблиця 3

Балова шкала органолептичної оцінки якості модельних композицій
бобових паст із МССД

Комплексний показник	Коефіцієнт вагомості			Одиничний показник	Коефіцієнт вагомості			Характеристика	Рівень якості, бали				
	*ПКВ	**ВЦК	***МФВ		*ПКВ	**ВЦК	***МФВ						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10				
Зовнішній вигляд	0,2	0,2	0,2	Інтенсивність забарвлення	0,9	0,1	0,9	Сильна	5				
								Слабка	4				
								Помітна	3				
								Ледь помітна	2				
								Відсутня	1				
				Прозорість	0,1	0,9	0,1	Сильна	5				
								Слабка	4				
								Помітна	3				
								Ледь помітна	2				
								Відсутня	1				
Смак та запах	0,2	0,2	0,2	Виразність (бобового смаку та запаху)	0,4	0,4	0,4	Сильна	1				
								Помірна	2				
								Слабка	3				
								Ледь помітна	4				
				Насиченість (бобового смаку та запаху)	0,3	0,3	0,3	Сильна	1				
								Помірна	2				
								Слабка	3				
								Ледь помітна	4				
				Збалансованість	0,3	0,3	0,3	Відмінна	5				
								Добра	4				
								Задовільна	3				
								Незадовільна	2				
				–	–	–	–	–	–	–	–	–	
				Консистенція	0,4	0,3	0,2	Щільність, міцність	0,1	0,2	0,3	Помірно ущільнена	5
												Ущільнена	4
												Щільна	3
Дуже щільна	2												
Тверда	1												
Липкість	0,1	0,3	0,3					Середня	5				
								Помірна	4				
								Задовільна	3				
								Висока	2				
								Надто висока	1				
М'якість	0,1	0,2	0,2					Помірно м'яка	5				
								М'якувата	4				
								Помірно тверда	3				
								Тверда	2				
								Надто тверда	1				
Розтяжність	0,7	0,3	0,2					Відмінна	5				
				Добра	4								
				Середня	3								
				Слабка	2								
				Дуже слабка	1								
–	–	–	–	–	–	–	–	–					

Закінчення табл. 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Здатність до формування	0,2	0,3	0,4	Ступінь виявлення	1,0	1,0	1,0	Відмінно	5
								Добре	4
								Задовільно	3
								Незадовільно	2
				Погано	1				
				–	1,0	1,0	1,0	1,0	–

*ПКВ – пасти, що використовуються для покриття кондитерських виробів та в як прошарок (основний показник консистенції є розтяжність);

**ВЦК – пасти, що використовуються для виготовлення квітів як декоративного елементу для борошняних та кондитерських виробів (основним показником консистенції є рівноцінне співвідношення розтяжності та формувальної здатності);

***МФВ – пасти, що використовуються для виготовлення цукерок та моделювання фігурних виробів як декоративного елементу для борошняних та кондитерських виробів (основним показником консистенції є формувальна здатність).

Результати сенсорного аналізу модельних композицій бобових паст із МССД наведені в табл. 4.

Таблиця 4

Сенсорні характеристики модельних композицій бобових паст з МССД

(n=5; P<0,05)

Найменування показника	Коефіцієнт вагомості			Характеристика	Номер дескриптора	Коефіцієнт вагомості			Контроль	Зразки з додаванням МССД, %		
	ПКВ	ВЦК	МФВ			ПКВ	ВЦК	МФВ		10	20	30
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Зовнішній вигляд	0,2	0,2	0,2	Інтенсивність забарвлення	1	0,9	0,1	0,9	4,0	4,7	4,8	5,0
				Прозорість	2	0,1	0,9	0,1	5,0	4,8	4,6	4,4
Сумарна оцінка за дескрипторами ПКВ									4,1	4,71	4,78	4,94
Підсумкова оцінка за показником ПКВ									0,82	0,94	0,96	0,98
Сумарна оцінка за дескрипторами ВЦК									4,9	4,79	4,62	4,46
Підсумкова оцінка за показником ВЦК									0,98	0,95	0,92	0,89
Сумарна оцінка за дескрипторами МФВ									4,1	4,71	4,78	4,94
Підсумкова оцінка за показником МФВ									0,82	0,94	0,96	0,98
Смак та запах	0,2	0,2	0,2	Виразність	1	0,4	0,4	0,4	3,0	3,4	3,8	4,2
				Насиченість	2	0,3	0,3	0,3	3,0	3,4	3,8	4,2
				Збалансованість	3	0,3	0,3	0,3	4,0	4,4	4,8	5,0
Сумарна оцінка за дескрипторами ПКВ, ВЦК, МФВ									3,3	3,7	4,1	4,44
Підсумкова оцінка за показником ПКВ, ВЦК, МФВ									0,66	0,74	0,82	0,88
Консистенція	0,4	0,3	0,2	Щільність, міцність	1	0,1	0,2	0,3	4,4	4,6	4,8	5,0
				Липкість	2	0,1	0,3	0,3	4,2	3,8	3,4	3,0
				М'якість	3	0,1	0,2	0,2	4,0	4,2	4,4	4,6
				Розтяжність	4	0,7	0,3	0,2	3,4	4,4	5,0	4,6
Сумарна оцінка за дескрипторами ПКВ									3,64	4,34	4,76	4,42
Підсумкова оцінка за показником ПКВ									1,45	1,73	1,90	1,76
Сумарна оцінка за дескрипторами ВЦК									3,96	4,22	4,36	4,2
Підсумкова оцінка за показником ВЦК									1,18	1,26	1,30	1,26
Сумарна оцінка за дескрипторами МФВ									4,06	4,24	4,34	4,24
Підсумкова оцінка за показником МФВ									0,81	0,84	0,86	0,84
Здатність до формування	0,2	0,3	0,4	Ступінь виявлення	1	1,0	1,0	1,0	4,0	4,6	4,8	5,0

Закінчення табл. 4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Сумарна оцінка за дескрипторами ПКВ									4,0	4,6	4,8	5,0
Підсумкова оцінка за показником ПКВ									0,8	0,92	0,96	1,0
Сумарна оцінка за дескрипторами ВЦК									4,0	4,6	4,8	5,0
Підсумкова оцінка за показником ВЦК									1,2	1,38	1,44	1,5
Сумарна оцінка за дескрипторами МФВ									4,0	4,6	4,8	5,0
Підсумкова оцінка за показником МФВ									1,6	1,84	1,92	2,0
Загальна оцінка ПКВ									3,73	4,33	4,64	4,62
Загальна оцінка ВЦК									4,02	4,33	4,48	4,53
Загальна оцінка МФВ									4,22	4,6	4,72	4,79

Відповідно до розроблених дескрипторів, за результатами аналізу показників зовнішнього вигляду рекомендована концентрація МССД для бобових паст ВЦК становить 10 %, що обґрунтовано максимальним збереженням прозорості бобової пасти при цій концентрації. Така типова прозорість притаманна лише пластичним оздоблювальним напівфабрикатам виготовлених із сортів білої квасолі. Типова прозорість дає змогу виготовити квіти з бобової пасти як декоративний елемент для оздоблення кондитерських виробів максимально реалістично.

З підвищенням концентрації МССД посилюється інтенсивність забарвлення, що наближається до світло-кремового кольору, відповідно зникає типова прозорість притаманна бобовим пастам. Це, у свою чергу, дає змогу розширити напрями технологічного використання, бобова паста стає придатною для покриття кондитерських виробів (ПКВ) та моделювання фігурних виробів (МФВ).

Підвищення концентрації МССД з 10...30 % у рецептурному складі бобових паст сприяє посиленню виразності та насиченості молочного смаку та запаху, що своєю чергою сприяє маскуванню бобового смаку та аромату. МССД у концентрації 10...30 % створюючи гармонійну, збалансовану смакоароматичну композицію.

Внесення МССД у рецептурний склад бобових паст дає змогу покращити їх консистенцію. З підвищення концентрації МССД до 20 % покращуються показники розтяжності. Зростання показників щільності та міцності, зниження м'якості сприяє покращенню формувальної здатності бобових паст. Підвищення концентрації МССД також призводить до суттєвого підвищення показників липкості, що є основним недоліком.

Отже, за результатами сенсорного аналізу відповідно до розроблених дескрипторів диференційованого технологічного використання рекомендована для бобової пасти ПКВ концентрація МССД – 20 %, ВЦК – 10 %, МФВ – 30 %.

На наступному етапі досліджували реологічні характеристики на еластопластомері Толстого, які засновані на визначенні деформації зсуву [12]. За отриманими даними побудовано залежність відносної деформації від тривалості дії напруги, що представлено графіком кінетики плинності модельних композицій бобових паст (рис. 1). Відповідно встановлено, що підвищення концентрації МССД сприяє підвищенню стійкості модельних композицій бобових паст до напруження зсуву.

Регресійний аналіз інтенсивності деформації за тривалістю було виконано окремо у двох часових проміжках. У період інтенсивності деформації паст (0...30 хв). Змінна плинності модельних композицій бобових паст за часом, при різній концентрації МССД описуються рівняннями:

$$\text{Контроль} \quad y = 0,0043 x^3 - 0,6631 x^2 + 29,481 x + 5,5879; R^2 = 0,8571;$$

$$\text{МССД 10 \%} \quad y = 0,0044 x^3 - 0,6882 x^2 + 30,411 x + 5,9108; R^2 = 0,8498;$$

$$\text{МССД 20 \%} \quad y = 0,0045 x^3 - 0,7022 x^2 + 31,324 x + 5,9027; R^2 = 0,8618;$$

$$\text{МССД 30 \%} \quad y = 0,0051 x^3 - 0,7892 x^2 + 35,169 x + 6,8124; R^2 = 0,8562;$$

де y – плинність (10^{-3}), x – тривалість ($\times 60$ с).

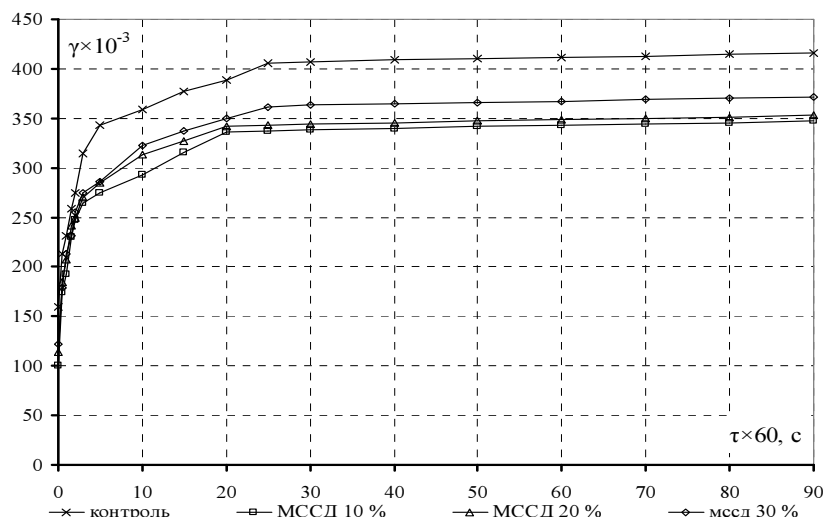


Рис. 1. Кінетика плинності модельних композицій бобових паст із МССД

За часовий проміжок 30...90 хв кінетика плинності модельних композицій бобових паст змінюється лінійно.

За результатами досліджень впливу концентрації МССД на кінетику плинності модельних композицій бобових паст визначені їх основні реологічні характеристики (табл. 5).

Таблиця 5

Реологічні характеристики модельних композицій бобових паст з МССД

($n = 5; P \leq 0,05$)

Найменування показника	Позначення	Контроль	Зразки з додаванням МССД, %		
			10 (ВЦК)	20 (ПКВ)	30 (МФВ)
Зворотна деформація, 10^{-3}	$\gamma_{зв}$	402,8	358,5	340,0	334,2
Незворотна деформація, 10^{-3}	$\gamma_{нез}$	12,8	12,8	12,8	12,8
Загальна деформація, 10^{-3}	$\gamma_{заг}$	415,7	371,4	352,8	347,1
Напруження зсуву Па,	τ	425,1	425,1	425,1	425,1
Піддатливість, Па^{-3}	I	$9,78 \cdot 10^{-4}$	$8,74 \cdot 10^{-4}$	$8,30 \cdot 10^{-4}$	$8,17 \cdot 10^{-4}$
Умовно миттєвий модуль пружності, Па	$G_{пр}$	357,5	317,1	313,3	296,3
Вискоеластичний модуль, Па	$G_{ел}$	206,7	197,2	190,5	184,9
Пластична в'язкість, $\text{Па} \cdot \text{с}$	$\dot{\eta}^*0$	$1,79 \cdot 10^8$	$1,79 \cdot 10^8$	$1,79 \cdot 10^8$	$1,79 \cdot 10^8$
В'язкість пружної післядії, $\text{Па} \cdot \text{с}$	$\dot{\eta}_{пр}$	464,4	396,4	388,2	364,2

Внесення МССД у концентрації 10...30 % призводить до зниження показників загальної деформації до 35 %. Враховуючи, що незворотна деформація є стабільною для всіх дослідних зразків, не залежить від концентрації МССД і становить 12,8, то зворотна деформація знижується у 1,2–1,3 раза в порівнянні з контролем з 371,4 до 347,1 паралельно загальній деформації.

За результатами аналізу встановлено зниження показників високоеластичного модуля ($G_{ел}$) модельних композицій бобових паст із підвищенням МССД з 197 до 184 Па, що на 30 % менше в порівнянні з контролем. Концентрація МССД не має суттєвого впливу на показники умовно миттєвого модуля пружності ($G_{пр}$), з підвищенням концентрації вони поступово знижуються з 317 до 296 Па. Показники в'язкості пружної післядії ($\dot{\eta}_{пр}$) з підвищенням концентрації МССД знижуються в 1,2–1,3 раза в порівнянні з контролем, що становить 396–364 $\text{Па} \cdot \text{с}$ відповідно.

Зниження деформаційних характеристик, що мають зворотній характеристик призводять до зниження піддатливості (I) бобових паст з $8,74 \cdot 10^{-4}$ до $8,17 \cdot 10^{-4}$ $\text{Па} \cdot \text{с}$, при цьому показники пластичної в'язкості ($\dot{\eta}$) не залежать від концентрації МССД, є стабільними для всіх дослідних зразків і становлять $1,79 \cdot 10^8$ $\text{Па} \cdot \text{с}$.

За результатами сенсорного аналізу, що підтверджуються експериментально, встановлено, що МССД у технологіях бобових паст сприяє утворенню більш міцної структури, що зумовлено виникненням і розвитком просторового каркаса в результаті теплової денатурації і коагуляції білків, розчинених у безперервній фазі дисперсійного середовища. При цьому виникають більш міцні дативні зв'язки, надаючи каркасу статичну міцність на зсув. Формування структури бобових паст зумовлено розвитком двох протилежно направлених процесів: ферментативної руйнації залишкової клітинної структури і самовільного агрегування білкових часток у просторовий каркас унаслідок поступового обезводнювання системи. При цьому, крім водневих, виникають і більш міцні ковалентні зв'язки, що загалом призводить до покращення реологічних властивостей бобових паст.

Висновки відповідно до статті. За результатами сенсорного аналізу доведена доцільність використання МССД у технологіях бобових паст для нівелюванню бобового смаку й аромату та створення гармонійної смако – ароматичної композиції прийнятної для оздоблювальних напівфабрикатів. МССД у концентрації 10...30 % створює відповідну кольорову гаму, що дає змогу розширити напрями технологічного використання бобових паст як оздоблювальних напівфабрикатів у кондитерському виробництві.

За результатами досліджень реологічних характеристик встановлено, що МССД у концентрації 10...30 % призводить до змін структурного стану бобових паст покращуючи їх технологічні і функціональні властивості. Експериментально підтверджено зниження деформаційних характеристик, що мають зворотний характер і призводять до зниження піддатливості бобових паст, що, у свою чергу, сприяє підвищенню формувальної здатності й реологічних властивостей загалом.

Список використаних джерел

1. Москаленко В. Ф. Сучасні ризики для здоров'я у ХХІ ст. *Охорона здоров'я України*. 2008. № 4. С. 5–8.
2. Всемирная организация здравоохранения. Глобальные факторы риска для здоровья: смертность и бремя болезней, обусловленные некоторыми основными факторами риска. ВОЗ: Женева, 2015. С. 70.
3. Дзюба О. М. Щодо питання глобального тягаря хвороб в Україні. *Вісник соціальної гігієни та організації охорони здоров'я України*. 2017. № 2 (72). С. 814–818.
4. Назарова О., Чуприна О. Сучасний стан кондитерського виробництва як сегменту харчової промисловості. *Економіка і суспільство*. 2018. № 16. С. 42–49.
5. Characterization of physicochemical and digestive properties of starches from various “dainagon” adzuki beans (*Vigna angularis*) cultivated in Japan / Y. Honda, Y. Saito, T. Mishima, N. Katsumi, K. Matsumoto, T. Enomoto, S. Miwa. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2020. № 26 (1). P. 121–128.
6. Zhihua Li, Junpeng R., Xiangzhen Li, Jiabao Li. Bacterial community succession and metabolite changes during doubanjiang-meju fermentation, a Chinese traditional fermented broad bean (*Vicia faba* L.) paste. *Food Chemistry*. 2017. № 218. P. 534–542.
7. Гондар О., Романчук І. Зміна мінерального складу сухої молочної сироватки за різних методів оброблення. *Збірник наукових праць ВНАУ*. 2015. № 15. С. 94–98.
8. Khramtsov, A. Glycoomics clusters of lactose and its derivatives in nanotechnology of living cultures. *Foods and Raw Materials*. 2015. № 1. P. 37–42.
9. Кравченко М. Ф., Рибчук Л. А. Структурно-механічні властивості цукрових паст. *Товари і ринки*. 2018. № 3 (27). С. 77–90.
10. Кравченко М. Ф., Рибчук Л. А. Оптимізація хімічного складу марципанових паст. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2019. № 3 (19). С. 233–240.
11. Determining the rational concentration of dry demineralized whey in a formulation for marzipan pastes / M. Kravchenko, L. Rybchuk, D. Fedorova, R. Romanenko, V. Pidubnyi, K. Palamarek, T. Marysyak, T. Nezveshchuk – Kohut. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2020. № 11 (103). P. 22–33.
12. Реологічні методи дослідження сировини і харчових продуктів та автоматизація розрахунків реологічних характеристик : навч. посіб. / Горальчук А. Б., Пивоваров П. П., Гринченко О. О., Погожих М. І., Полевич В. В., Гурський П. В. Харків : ХДУХТ, 2006. 63 с.: іл.; табл.

References

1. Moskalenko, V. F. (2008). Suchasni ryzyky dlia zdorovia u XXI st. [Modern Health Risks in the 21st Century]. *Okhorona zdorovia Ukrainy – Health care in Ukraine*, 4, 5–8.
2. Vsemirnaia orhanizatsiia zdavookhraneniia. Globalnye faktore riska dlia zdorovia: smertnost i bremia boleznei, obuslovlennye nekotorymi osnovnymi faktorami riska [World Health Organization. Global health risk factors: mortality and disease burden due to some major risk factors]. (2015). WHO: Geneva.
3. Dziuba, O. M. (2017). Shchodo pytannia hlobalnogo tiaharia khvorob v Ukraini [On the issue of the global burden of disease in Ukraine]. *Visnyk sotsialnoi hihiieny ta orhanizatsii okhorony zdorovia Ukrainy – Bulletin of social hygiene and health organization of Ukraine*, 2 (72), 814–818.
4. Nazarova, O. U., Chuprina, O. A. (2018). Suchasnyi stan kondyterskoho vyrobnytstva yak sehmentu kharchovoi promyslovosti [Current status of confectionery production as of a segment of food industry]. *Ekonomika i suspilstvo – Ekonomika i suspilstvo*, 16, 953–958.
5. Honda, Y., Saito, Y., Mishima, T., Katsumi, N., Matsumoto, K., Enomoto, T., Miwa, S. (2020). Characterization of physicochemical and digestive properties of starches from various “dainagon” adzuki beans (*Vigna angularis*) cultivated in Japan. *International Journal of Biological Macromolecules*, 26, 121–128.
6. Zhihua, Li, Junpeng, R., Xiangzhen, Li, Jiabao, Li. (2017). Bacterial community succession and metabolite changes during doubanjiang-meju fermentation, a Chinese traditional fermented broad bean (*Vicia faba* L.) paste. *Food Chemistry*, 218, 534–542.
7. Hondar, O., Romanchuk, I. (2015). Zmina mineralnogo skladu sukhoi molochnoi syrovatky za riznykh metodiv obroblennia [Changing of mineral composition dry demineralized whey at different processing methods]. *Zbirnyk naukovykh prats VNAU – Zbirnyk naukovykh prats Vinnytskoho natsionalnogo ahrarnoho universytetu*, 1 (1 (89)), 94–99.
8. Khrantsov, A. (2015). Glycoomics clusters of lactose and its derivatives in nanotechnology of living cultures. *Foods and Raw Materials*, 1, 37–42.
9. Kravchenko, M., Rybchuk, L. (2019). Strukturno-mekhanichni vlastyvoli tsukrovnykh past [Structural and mechanical properties of sugar pastes]. *Tovary i rynky – Goods and markets*, 2, 87–97.
10. Kravchenko, M., Rybchuk, L. (2019). Optyimizatsiia khimichnogo skladu martsypanovykh past [Optimization of the chemical composition of marzipan past]. *Pratsi Tavriiskoho derzhavnogo ahrotekhnolohichnogo universytetu – Proceedings of the Tavria State Agrotechnological University*, 3 (19), 233–240.
11. Kravchenko, M., Rybchuk, L., Fedorova, D., Romanenko, R., Piddubnyi, V., Palamarek, K., Marysyak, T., Nezveshchuk – Kohut, T. (2020). Determining the rational concentration of dry demineralized whey in a formulation for marzipan pastes. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 11 (103), 22 – 33.
12. Horalchuk, A. B., Pyvovarov, P. P., Hrynchenko, O. O., Pohozhykh, M. I., Polevych, V. V., Hurskyi, P. V. (2006). *Reolohichni metody doslidzhennia syrovyny i kharchovykh produktiv ta avtomatyzatsiia rozrakhunkiv reolohichnykh kharakterystyk [Rheological methods of research of raw materials and food products and automation of calculations of rheological characteristics]*. Kharkiv: KhDUKht, 63.

UDC 657.1.01

Larysa Rybchuk

THE PROSPECTS OF USE OF BEAN PASTES IN THE CONFECTIONERY MANUFACTURING

Urgency of the research. The scientific substantiation and development of technologies for the production of finished semi-finished products for confectionery products, which make it possible to obtain an assortment of finishing semi-finished products enriched with biologically active substances, is relevant.

Target setting. Confectionery semi-finished products can not only improve the appearance and taste of confectionery products but also balance their nutritional composition, influence calorie content and digestibility, therefore, it is necessary to develop and implement measures to improve the quality and competitiveness of products.

Actual scientific researches and issues analysis. Bean pasta has a special biological and digestive value but has low sensory indicators due to the inherent specific bean taste and aroma. Therefore, it is important to look for additional components of the recipe to emphasize the taste and aroma of beans and create a harmonious flavor composition.

Uninvestigated parts of general matters defining. *The effect of dry demineralized serum on the sensory and rheological characteristics of legumes has not been studied.*

The research objective. *According to research results, the possibility of using a demineralized whey solution in legumes was confirmed.*

The statement of basic materials. *Following the developed standard scales of sensory descriptors, the sensory characteristics of model legume compositions are analyzed. Designed for the differentiated use of legumes and different masses of valleys of whey product, demineralized in the confectionery industry, as a finish for semi-finished products. The deformation characteristics of model compositions of bean pastes have been experimentally investigated. Based on the research results, the main rheological modular constants were identified and analyzed.*

Conclusions. *The results of the analysis of sensory and rheological characteristics indicate that dry whey powder is demineralized in the presence of 10-30% in legumes and allows you to obtain the desired consumer characteristics for finished semi-finished products used in the confectionery industry.*

Keywords: *finishing semi-finished products; legume paste; whey dry demineralized.*

Fig.: 1. Table: 5. References: 12.

Рибчук Лариса Анатоліївна – аспірант кафедри технології і організації ресторанного господарства, Київський національний торговельно-економічний університет (вул. Кіото, 19, м. Київ, 02156, Україна).

Rybchuk Larysa – PhD student of Department of Technology and the Organization of Restaurant Business, Kyiv National University of Trade and Economics (19 Kioto Str., 02156 Kyiv, Ukraine).

E-mail: lorchik88@ukr.net

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6282-7295>

Наталія Денисова, Владислава Карцан, Наталія Буяльська

ДОСЛІДЖЕННЯ ВИКОРИСТАННЯ ЦУКРОЗАМІННИКІВ У ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА ПЛОДОВО-ЯГІДНОГО МОРОЗИВА

Актуальність теми дослідження зумовлена необхідністю введення до раціону населення продукції, що дозволяє знизити ризики виникнення ряду захворювань, пов'язаних із порушенням обмінних процесів.

Постановка проблеми. Розроблення рецептури десертів з вдосконаленим білково-вуглеводним складом є достатньо складним, але перспективним завданням технологів харчових підприємств.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У наукових публікаціях показана перспективність введення в рецептуру заморожених десертів жиру- та цукрозамінників, що дозволяє знизити їх глікемічний індекс.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Не досліджено одночасне використання в технології виготовлення заморожених десертів протеїну та цукрозамінників.

Постановка завдання. Дослідження якісних властивостей зразків плодово-ягідного морозива з удосконаленим білково-вуглеводним складом.

Виклад основного матеріалу. Проведене оцінювання органолептичних, фізико-хімічних та структурно-механічних показників зразків плодово-ягідного морозива з використанням у рецептурі протеїну, знежиреного молока та цукрозамінників – фруктози, стевії, сукралози та інуліну.

Висновки відповідно до статті. Встановлено позитивний вплив фруктози та протеїну на якісні показники заморожених десертів. Розрахована собівартість сировини, що не перевищує базову. Запропоновано використання інших фруктових добавок для поліпшення вітамінно-мінерального складу продуктів.

Ключові слова: цукрозамінники; протеїн; морозиво плодово-ягідне.

Табл.: 3. Рис.: 1. Бібл.: 10.

Актуальність теми дослідження. Погіршення екологічного стану, незбалансованість життєво необхідних нутрієнтів у харчуванні сучасної людини призводить до послаблення захисних сил організму і, як наслідок, до погіршення самопочуття та виникнення багатьох захворювань – надлишкової ваги, ожиріння, цукрового діабету, захворювання щитоподібної залози [1]. Одне з найголовніших завдань у профілактиці та лікуванні таких захворювань є раціональне та збалансоване харчування, що сприяє не лише зниженню ваги тіла та нормалізації показників крові (рівні холестерину, глюкози, сечової кислоти та ін.), але і збільшенню тривалості та якості життя. Основою правильного й дієтичного харчування є включення до раціону «здорових» продуктів.

Постановка проблеми. Аналіз харчування громадян України показує його невідповідність вимогам нутріціології внаслідок недостатнього споживання білків, мінеральних речовин, вітамінів та перевантаження вуглеводами [2]. Сучасний раціон харчування потребує вдосконалення виробництва продукції за пріоритетними напрямками: функціональних харчових продуктів, зі зниженим вмістом цукру або без цукру.

Асортимент морозива з удосконаленим білково-вуглеводним складом в Україні – незначний [3]. Тому розроблення рецептури морозива на основі білкового протеїну та цукрозамінниками є необхідним.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Сучасний стан харчової промисловості України, а особливо в період відкритості кордонів, потребує удосконалення економічно вигідних технологій виробництва продукції, з одного боку, а з іншого – зниження шкідливості та небезпечності використовуваної сировини за рахунок зменшення синтетичних добавок «ідентичних натуральним», що відтворюють структуру, смак та колір продукту.

Виробництво замороженої десертної продукції характеризується багатостадійністю процесу виробництва, використанням спеціального обладнання та застосуванням піно- та структуроутворювальних харчових добавок для утворення збитої та стійкої структури [4]. Спеціалісти харчових виробництв звертають увагу на створення низькокалорійного морозива з використанням рослинних жиру- та цукрозамінників [5]. Поліпшення функціонально-технологічних властивостей дисперсної системи морозива разом зі зниженням глікемічного індексу продукції показано в [6]. Перспективним напрямом є також використання соєвих ізолятів і рослинних білків [7]. Враховуючи наведене, можна вважати вдосконалення рецептур і технологій виготовлення морозива в напрямі створення продукції нового покоління є актуальним та перспективним завданням.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Не досліджено одночасне використання в технології виготовлення заморожених десертів протеїну та цукрозамінників.

Мета роботи. Дослідження впливу цукрозамінників та протеїну на якісні показники плодово-ягідного морозива.

Методи проведення досліджень. У роботі було використано стандартні методики щодо визначення фізико-хімічних, структурно-механічних та органолептичних показників напівфабрикатів та готових виробів [8]: масова частка жиру згідно з ГОСТ 5867; масова частка загального цукру в морозиві з частковою заміною цукрози сухими речовинами глюкози, патоки, сухих глюкозних сиропів і інвертного цукру згідно ГОСТ 3628 (метод Бертрана); масова частка цукрози згідно з ГОСТ 3628 (йодометричний, поляриметричний метод); масова частка сухих речовин ДСТУ ISO 3728, ГОСТ 3626; кислотність за ГОСТ 3624; температура танення та збитість ГОСТ 3622; масова частка вологи ГОСТ 3626-73, густина за ГОСТ 3625-67; піноутворюючу здатність і стійкість піни загально прийнятим методом Лур'є; органолептичні показники – згідно з ТУ–1016.0015.005 та експертних оцінок за ДСТУ ISO 6564:2005 «Дослідження сенсорне. Методологія. Методи створювання спектра флейвору». Статистичне оброблення результатів досліджень, побудову графіків і діаграм виконували з використанням програмного забезпечення MS Office Excel.

Підготовка сировини до виробництва здійснювалась відповідно до технологічної інструкції з морозива плодово-ягідного [9]. Сировина й матеріали, що використовувались під час виробництва морозива, відповідають вимогам діючої нормативної документації: суниці свіжі за ДСТУ 7653:2014, глюкоза кристалічна гідратна за ДСТУ 4464:2005, борошно пшеничне вищого сорту за ДСТУ 46.004-99, цукор білий кристалічний за ДСТУ 4623-2006, вода питна за ДСТУ 4808:2007, молоко коров'яче питне за ДСТУ 2661:2010, протеїн (білок соєвий) за ДСТУ 4595:2006, фруктоза кристалічна – ТУ У 15.6. 21620376-001-2001, стевіозид харчовий згідно з ТУ 9111 – 446 – 46473637 – 98; сукралоза за ДСТУ 4623:2006. Базовий продукт – морозиво плодово-ягідне за ДСТУ 4734:2007.

Виклад основного матеріалу дослідження. Дослідження впливу рецептурних компонентів на якісні, фізико-хімічні та структурно-механічні властивості морозива плодово-ягідного проводилося на базі потужностей Чернігівського національного технологічного університету, кафедри Харчових технологій.

Розроблено рецептуру зразків на основі базової (табл. 1).

Таблиця 1

Рецептура морозива плодово-ягідного, кг

Сировина	Базова рецептура	Розроблені рецептури для проведення досліджень			
		Зразок 1	Зразок 2	Зразок 3	Зразок 4
Суниці	375,0	375,0	475,0	475,53	375,0
Глюкоза моногідрат	27,4	-	-	-	-
Борошно пшеничне, вищого сорту	30,0	-	-	-	-
Протеїн	-	60,0	90,0	90,0	29,7
Фруктоза	-	156	-	-	-
Екстракт стевії	-	-	0,94	-	-
Сукралоза	-	-	-	0,41	-
Інулін	-	-	-	-	360,0
Молоко знежирене	-	55,4	70,46	70,46	50,0
Цукор	234,0	-	-	-	-
Вода питна	333,6	353,6	363,6	363,6	185,3
Всього	1000	1000	1000	1000	1000

Типова технологічна схема виготовлення морозива включає [9]: приймання та оцінювання якості сировини, підготовка сировини, приготування суміші з одночасним одержанням емульсії з рослинних компонентів, очищення та фільтрування суміші, пастеризація, гомогенізація, охолодження та визрівання, фризрування суміші, загартування, пакування та зберігання. Технологічна схема для виготовлення досліджувальних зразків включала типові операції: подрібнення суниць (суниці подрібнюють до однорідної суміші, з утвореної суміші-пюре потрібно злити зайву рідину); змішування сухих інгредієнтів (в окремому посуді змішують всі, заздалегідь зважені, сухі інгредієнти – білковий протеїн, цукрозамінники); змішування всіх інгредієнтів (змішування суміші-пюре ягід та вже змішаних сухих компонентів); охолодження та зберігання.

Оцінка органолептичних показників проведена за допомогою «Методу профілю флейвору» (смакові властивості), що є одним із групи методів, використовуваних для опису сенсорних характеристик і вважається основоположним для описових дегустаційних методів [10]. Зовнішній вигляд і колір продукту визначають візуально, консистенцію, структуру та смак морозива – органолептично за бальною шкалою, де смак та запах від 1 бала (дуже неприємний) до 5 балів (чистий, характерний), структура та консистенція від 1 бала (неоднорідна зі згустками та краплинами) до 5 балів (гладка, однорідна), колір від 1 бала (нерівномірний) до 5 балів (характерний для даного виду морозива, рівномірний за всією формою), зовнішній вигляд від 1 бала (форма не зберігається) до 5 балів (порції різної форми, обумовлені геометрією формуючого пристрою). Результати представлені на рис. 1.

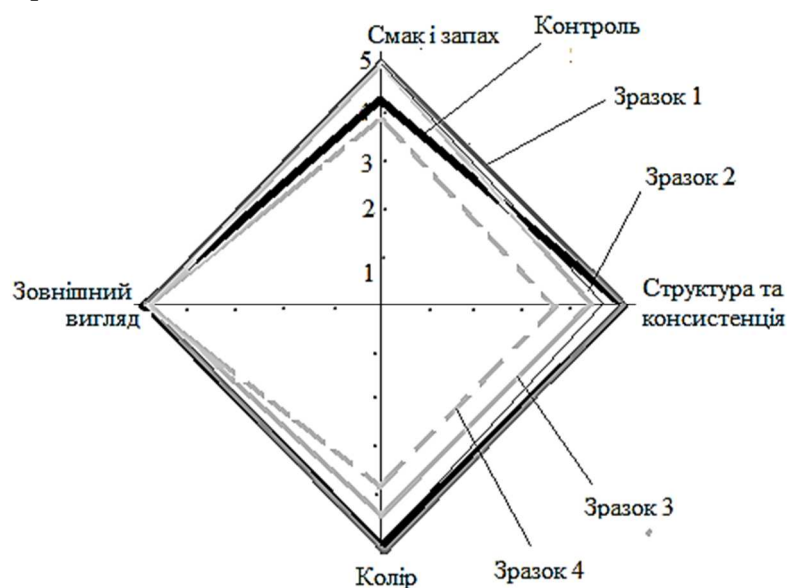


Рис. 1. Циклограма профілю флейвора

З огляду на вищенаведене найліпшими показниками відрізняється зразок 1, до складу якого входить протеїн та фруктоза.

Результати досліджень зразків морозива за фізико-хімічними та структурно-механічними властивостями за представленими методиками наведено в таблиці 2.

Таким чином, найкращим виявився зразок зі вмістом фруктози. Цей зразок мав найкращу збитість, найвищу органолептичну оцінку та інші показники якості.

Розрахунок глікемічного індексу показав, що контрольний базовий зразок має 41 одиницю, зразок 1 – 24, зразок 2 – 24, зразок 3 – 19, зразок 4 – 24 одиниці, що підтверджує ідею щодо перспективності напряму вдосконалення білково-вуглеводного складу заморожених десертів.

Таблиця 2

Розраховані значення якісних показників досліджуваних зразків морозива плодово-ягідного

Показник	Базовий контрольний зразок	Зразок 1	Зразок 2	Зразок 3	Зразок 4
Збитість, %	65,3	64,1	48,8	36,1	45,4
Опір до танення, хв	60	60	53	20	45,4
Вологість, %	70,1	66,6	55,9	60,4	68,5
Масова частка сухих речовин, %	40,4	33,4	44,1	39,6	31,5
Густина г/см ³	1,121	1,123	1,115	1,105	1,11
Титрована кислотність, °Т	18	18	20	26	18

Для економічної оцінки від розробки та впровадження нових видів рецептур плодово-ягідного морозива розрахована приблизна собівартість сировини на порцію 100 г (табл. 3).

Таблиця 3

Результати розрахунків собівартості досліджуваних зразків

Показник	Собівартість сировини на 1 т готової продукції, грн	Собівартість сировини на 1 порцію (100 г) готової продукції, грн
Базовий контрольний зразок	56220,0	5,63
Зразок 1	53123,0	5,32
Зразок 2	64916,0	6,50
Зразок 3	47278,16	4,73
Зразок 4	47277,6	4,73

Таким чином, досліджуваний зразок 1, що містить фруктозу та протеїн та має найліпші органолептичні, фізико-хімічні та структурно-механічні властивості, має собівартість нижче базової на 6%. Це дає можливість отримати певний економічний ефект від впровадження розробки та отримати продукт з поліпшеним білково-вуглеводним складом.

Висновки відповідно до статті. Встановлено позитивний вплив цукрозамінників та протеїну на якісні показники морозива плодово-ягідного. В результаті проведеної порівняльної характеристики експериментальних зразків за органолептичними, фізико-хімічними та структурно-механічними показниками встановлено, що кращим є зразок з фруктозою. Глікемічний індекс найкращого зразка плодово-ягідного морозива з фруктозою та протеїном на 42 % нижчий за контрольний зразок. Результат розрахунку собівартості показав, що заміна інгредієнтів цукру на фруктозу, борошна на протеїн та знежирене молоко, практично не збільшує вартість кінцевого продукту.

Список використаних джерел

1. Показники здоров'я населення та використання ресурсів охорони здоров'я в Україні за 2016-2017 роки / Центр мед. статистики МОЗ України ; уклад. : В. М. Заболотько, Н. Г. Кравчук, І. Є. Стешенко [та ін.]. Київ : Поліум, 2018. С. 17–18.
2. Кисельов К. Ю. Статичне вивчення споживання продуктів харчування, як основного чинника впливу на стан здоров'я населення України. *Прикладна статистика: проблеми теорії і практики* : зб. наук. праць. 2015. № 17. С. 67–74.
3. Осьмак Т. Г. Розроблення технології морозива з цукрозамінниками : автореф. дис. канд. техн. наук : спец. 05.18.04 «Технологія м'ясних, молочних продуктів і продуктів з гідробіонтів» / НУХТ. Київ, 2013. 24 с.
4. Слащева А. В., Никифоров Р. П., Попова С. Ю., Коренець Ю. М. Обґрунтування доцільності використання білково-вуглеводного напівфабрикату в технології продукції з дисперсною структурою. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. 2016. Т. 2/11 (80). С. 24–32.
5. Осьмак Т. Г. Розроблення технології морозива з цукрозамінниками : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Національний університет харчових технологій. Київ, 2012. 18 с.
6. Морозиво, збагачене соєю і чорницею: Пат. UA 104954 C2, МПК А23 G 9/04 (2006.01), МПК А23 G 9/42 (2006.01) / Грек О. В., Осьмак Т. Г., Туркова Т. М., Туркова Г. М. заявник та патентовласник Національний університет харчових технологій (Україна). № а201213583; заявл. 27.11.2012; опубл. 25.03.2014, Бюл. № 6. 3 с.

7. Никифоров Р. П. Обґрунтування та дослідження умов отримання білково-вуглеводного напівфабрикату на основі білків знежиреного молока та дикорослих ягід для збитих десертних страв. *Вісник ДонНУЕТ. Серія: Технічні науки*. 2009. № 1 (41). С. 244–249.

8. Арсеньєва Т. П. Справочник технолога молочного виробництва. Технологія и рецептури. Т. 4. Мороженое. Санкт-Петербург : ГИОРД, 2003. 184 с.

9. Поліщук Г. Є., Гудзь І. С. Технологія морозива. Київ : Фірма «ІНКОС», 2008. 220 с.

10. Сенсорний аналіз харчових продуктів: навч. посіб. / Ф. Ф. Гладкий та ін. Харків : Видавництво та друкарня «Технологічний Центр», 2018. 132 с.

References

1. Zabolotko, V. M., Kravchuk, N. H., Steshenko, I. Ye. et al. (2018). *Pokaznyky zdorovia naseleennia ta vykorystannia resursiv okhorony zdorovia v Ukraini za 2016-2017 roky [Indicators of population health and use of health resources in Ukraine for 2016-2017]* (pp. 17-18). Kyiv: Polium [in Ukrainian].

2. Kyselov, K. Yu. (2015). Statychnе vyvchennia spozhyvannia produktiv kharchuvannia yak osnovnoho chynnyka vplyvu na stan zdorovia naseleennia Ukrainy [Static study of food consumption as a major factor influencing the health of the population of Ukraine]. *Applied statistics: problems of theory and practice – Prykladna statystyka: problemyteorii i praktyky*, 67–74 [in Ukrainian].

3. Osmak, T. H. (2013). *Rozroblennia tekhnolohii morozyva z tsukrozaminnykamy [Development of ice cream technology with sugar substitutes]*. (Candidate's thesis). NUKhT, Kyiv [in Ukrainian].

4. Slashcheva, A. V., Nykyforov, R. P., Popova, S. Yu., Korenets, Yu. M. (2016). Korenets Obhruntuvannia dotsilnosti vykorystannia bilkovo-vuhlevodnoho napivfabrykatu v tekhnolohii produktsii z dyspersnoiui strukturoiu [Substantiation of feasibility of using protein-carbohydrate intermediate in the technology of production with dispersed structure]. *Vostochno-Evropeyskyi zhurnal peredovykh tekhnologii – Eastern European Journal of Enterprise Technology*, 24-32 [in Ukrainian].

5. Osmak, T. H. (2012). *Rozroblennia tekhnolohii morozyva z tsukro zaminnykamy [Development of ice cream technology with sugar substitutes]*. (Candidate's thesis). Natsionalnyi universytet kharchovykh tekhnolohii, Kyiv [in Ukrainian].

6. Hrek, O. V., Osmak, T. H., Turkova, T. M., Turkova, H. M. (2014). Morozyvo, zbahachene soieiu i chornytseiu. Patent № a201213583, MPK A23 G 9/42 [in Ukrainian].

7. Nykyforov, R. P. (2009). Obgruntuvannia ta doslidzhennia umov otrymannia bilkovo-vuhlevodnoho napivfabrykatu na osnovi bilkiv znezhyrenoho moloka ta dykoroslykh yahid dlia zbytykh desertnykh strav. [Substantiation and study of the conditions of obtaining a protein-carbohydrate semi-finished product based on proteins of skim milk and wild berries for whipped dessert dishes]. *Visnyk Don NUET – Bulletin of DonNUET. Series: Technical Sciences*, 1 (41), 244–249 [in Ukrainian].

8. Arseneva, T. P. (2003). *Spravochnik tehnologa molochnogo proizvodstva. Tehnologiia i receptury [Directory of dairy production technologist. Technology and formulations]*. St. Petersburg: GIORD [in Russian].

9. Polishchuk, H. Ye., Gudz, I. S. (2008). *Tekhnolohiia morozyva [Ice cream technology]*. Kyiv: Firma«INKOS» [in Ukrainian].

10. Hladyi, F. F., Tymchenko, V. K., Nekrasov, P. O., Fediakina, Z. P., Kunytsia, K. V., Molchenko, S. M. (2018). *Sensorni analiz kharchovykh produktiv [Sensory Food Analysis]*. Kharkiv: Vydavnytstvo ta drukarnia «Tekhnolohichniy Tsentri» [in Ukrainian].

UDC 663.67:664.168.81

Natalia Denysova, Vladislava Kartsan, Nataliia Buialska

RESEARCH OF THE USE OF SUGAR SUBSTITUTES IN THE TECHNOLOGY OF THE PRODUCTION OF FRUIT AND BERRY ICE CREAM

Urgency of research. *There is a need of introduction into the human diet of products which allow to reduce risks of a number of diseases associated with metabolic disorders.*

Target setting. *The development of dessert recipes with improved protein-carbohydrate composition is a rather complex but promising task for food technologists.*

Actual scientific researchers and issues analysis. *The prospect of using fat and sugar substitutes in the recipe of frozen desserts, which makes it possible to reduce their glycemic index, is shown in scientific publications.*

Uninvestigated parts of general matters defining. *The simultaneous use of protein and sugar substitutes in the technology of the production of frozen desserts has not been investigated.*

The research objective. The aim of the article is to study the qualitative properties of the fruit and berry ice cream samples with an improved protein-carbohydrate composition.

The statement of basic materials. The evaluation of organoleptic, physicochemical and structural-mechanical parameters of the samples of fruit and berry ice cream made with the addition of protein, skimmed milk and sugar substitutes (fructose, stevia, sucralose and inulin) was carried out.

Conclusions. The positive effect of fructose and protein on the quality of frozen desserts has been established. The calculated cost of raw materials does not exceed the based one. The use of other fruit supplements to improve the vitamin and mineral composition of products is proposed.

Keywords: sugar substitutes; protein; fruit and berry ice cream.

Table: 3. Fig.: 1. References: 10.

Денисова Наталя Миколаївна – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри харчових технологій, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

Denysova Natalia – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Department of Food Technology, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: 4386793@gmail.com

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3522-4210>

ResearcherID: G-6068-2016

Карцан Владіслава Дмитрівна – магістрант, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

Kartsan Vladislava – student, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: kartsann@gmail.com

Буяльська Наталія Павлівна - кандидат технічних наук, доцент кафедри харчових технологій, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

Buialska Nataliia – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Department of Food Technology, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: buialska@gmail.com

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6800-5604>

ResearcherID: G-2935-2014

ScopusID: 57196191416

УДК 664.641.2

DOI: 10.25140/2411-5363-2020-2(20)-269-277

Орися Іжевська, Ірина Козяр, Ярина Косінова

МЛИНЦІ ОЗДОРОВЧОЇ ДІЇ ДЛЯ ЗАКЛАДІВ РЕСТОРАННОГО ГОСПОДАРСТВА В УМОВАХ СУЧАСНОСТІ

Актуальність теми дослідження зумовлена необхідністю розробки технологічних рецептур борошняних виробів із використанням продуктів переробки олійних культур для поліпшення якісних характеристик готової продукції.

Постановка проблеми. Борошняні страви є традиційним продуктом споживання більшості відвідувачів закладів ресторанного господарства, тому виникає необхідність розробки та впровадження заходів щодо підвищення якісних та поживних характеристик продукції в умовах конкурентоспроможності.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У наукових публікаціях показана перспективність введення в рецептуру борошняних виробів як збагачувачів та поліпшувачів натуральних добавок рослинного та тваринного походження.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Не досліджено використання в технології млинців добавок продуктів переробки олійних культур та концентрацій, що забезпечують поліпшення якісних показників страв.

Постановка завдання. Метою статті є дослідження хімічного та амінокислотного складу шроту насіння кунжуту та встановлення концентрації в напівфабрикатах, що дозволить підвищити функціональні властивості готових страв.

Виклад основного матеріалу. Проведено дослідження хімічного та амінокислотного складу шроту насіння кунжуту і встановлено концентрації цієї сировини замість пшеничного борошна в напівфабрикатах для оптимальних органолептичних показників готових виробів. Проаналізовано вплив цього шроту на органолептичні показники якості готових млинців за опарного й безопарного способів приготування тіста.

Висновки відповідно до статті. Досліджено хімічний та амінокислотний склад шроту насіння кунжуту. На основі проведених досліджень встановлено оптимальне його дозування в тісто для млинців в кількості 15 % замість пшеничного борошна. Отримані дані можуть бути використанні для розробки і впровадження нових виробів підвищеної харчової цінності.

Ключові слова: хімічний склад; амінокислотний скор; шрот насіння кунжуту; млинці.

Табл.: 4. Бібл.: 12.

Актуальність теми дослідження. За статистичними даними Всесвітньої організації охорони здоров'я, у сучасних екологічних та соціально-економічних умовах стан здоров'я населення в усьому світі має тенденцію до погіршення та характеризується збільшенням кількості осіб, що страждають інфекційними й неінфекційними захворюваннями. Загальна чисельність випадків смерті від неінфекційних захворювань збільшується у зв'язку зі зростанням чисельності населення і його старінням [1].

Харчування є найважливішим фактором, що задовольняє фізіологічні потреби організму людини в енергії та харчових речовинах, які здатні збільшувати протистояння організму людини несприятливому впливу навколишнього середовища та різним захворюванням. Тому у світовій практиці значної актуальності набула проблема забезпечення населення повноцінними білками та сировиною функціональної дії.

Завдяки якісному харчуванню організм людини здатний протистояти несприятливому впливу навколишнього середовища. Отже, однією з важливих задач організації харчування є розробка нових видів продукції з підвищеною харчовою, біологічною цінністю та оздоровчими властивостями.

Постановка проблеми. Пріоритетною функцією діяльності закладів ресторанного господарства являється організація харчування споживачів та правильно вибране кулінарне спрямування. У нашій країні безліч закладів фастфуду, які продають ситну та смачну, але далеко не корисну їжу. У меню значну частку посідають традиційні борошняні страви, зокрема оладки, млинці, млинчики. Ці страви здатні задовільнити найвибагливіші потреби споживача, адже подаються з різноманітними фаршами, мають привабливий зовнішній вигляд та хороші смакові якості. За рахунок складових компонентів млинці мають високу енергетичну та харчову цінності, проте білки традиційного напівфабрикату для млинчиків є незбалансованими за вмістом амінокислот і, як наслідок, засвоюються лише на 75–89 %. Саме тому збагачення функціональними інгредієнтами таких популярних борошняних страв як млинчики, є актуальним завданням в технології продукції ресторанного господарства.

До основних видів функціональних інгредієнтів відносять харчові волокна (розчинні і нерозчинні), вітаміни (А, Е, групи В тощо), мінеральні речовини (такі як Са, Fe, I, Se), ліпіди, що містять ненасичені жирні кислоти (ω_3 , ω_6), антиоксиданти, олігосахариди (як субстрат для корисних бактерій), деякі види корисних мікроорганізмів (біфідобактерії тощо). Нерозчинні харчові волокна, зокрема клітковина (целюлоза, геміцелюлоза, лігнін), сприяють виведенню з організму важких металів та токсичних речовин.

Функціональні властивості страв, що готують у закладах ресторанного господарства, можуть бути покращенні за рахунок включення до їх рецептури продуктів переробки саме олійних культур, зокрема кунжуту.

За даними [3] насіння кунжуту містить до 20 % білка, 54 % жиру, 13,4 % вуглеводів, 3,2 % клітковини, 3,7 % золи. У ньому міститься багато Калію (851,35 мг/на 100 г), Фосфор (647,25 мг/на 100 г), Магній (579,53 мг/на 100 г), Кальцій (415,38 мг/на 100 г), Натрій (122,5 мг/на 100 г), а також ненасичені жирні кислоти: лінолева (48,3-52,0), ліноленова (5,1-6,1 %); вітаміни Е, групи В та інші. 100 г насіння кунжуту покривають добову потребу людини в кальцію. Містить антиоксиданти сезамін, сезамінол, сезамолін, і сезамолінол, що об'єднуються в загальну назву сезамол.

Насіння кунжуту здебільшого використовують для оздоблення хлібобулочних виробів, у той час як на Сході його широко додають у різні страви як спеції і вважають рослиною, що дарує довге життя. Японці, китайці та корейці часто додають насіння кунжуту до різноманітних салатів, овочевих страв, соусів, використовують як основу для солодошів і для пророщування. В Африці, Індії і Середній Азії насіння кунжуту вживають не лише підсмаженим, але й сирим і навіть вареним. В Африці воно є основним інгредієнтом супів [4].

Основний продукт арабської кухні – тахіні (тахін, тахіна, сезамова паста). Це паста з очищеного від оболонки, меленого та обсмаженого кунжуту. Її застосовують самостійно, а також використовують у багатьох рецептах для загущення і ароматизації соусів, підлив, додають до різних страв: хумус, фалафель, солодоші. Хумус або пюре з турецького гороху – одна з найпопулярніших страв арабського світу. До його складу входить тахіні, як другий важливий компонент цієї страви, а також часник, сік лимона, різні приправи та спеції [4].

Солодоші з кунжуту у вигляді тахіної халви або солодких плиток (козинаки) поширені в різних країнах світу, а також в Україні. Широко використовують насіння кунжуту для посипання різної випічки, хлібобулочних і кондитерських виробів.

Велику цінність у харчовому відношенні має макуха кунжуту, яка залишається після отримання олії способом холодного пресування. У середньому вона містить 40 % білка, 8 % жиру, 12 % золи, багатої на фосфор і кальцій. Білок насіння кунжуту має високий рівень метіоніну і низький лізину, що дає змогу використовувати макуху кунжуту як добавку, що містить білок, для покращення амінокислотного профілю інших продуктів. Макуху в суміші з пшеничним борошном використовують у виробництві різноманітних кондитерських і дієтичних виробів [5].

У зв'язку з цим актуальним є проведення досліджень впливу клітковини насіння кунжуту на якість млинців з встановленням оптимального дозування для надання цим борошняним виробам функціональних властивостей та забезпечення при цьому традиційної якості даної страви. Актуальним є також розробка рекомендації щодо параметрів технологічного процесу виготовлення млинців у разі використання кунжутної клітковини, а також покращення смакових якостей цієї страви з урахуванням вимог сучасності.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідження [6] свідчать, що додавання сирого та смаженого кунжутного борошна в рецептуру печива, призводить до збільшення антиоксидантної здатності за рахунок утворення меланоїдів. Вироби, що проходять теплову обробку, показують тенденцію до зменшення кількості фенолів та вмісту

флавоноїдів. Крім цього, значно збільшується енергетична цінність готових виробів. Але поряд з покращенням функціональних та антиоксидантних властивостей, якість готових виробів погіршується. При цьому зі збільшенням дозування кунжутного борошна понад 20 % спостерігалось зниження питомого об'єму, еластичності, печиво набувало світлішого забарвлення, гірше розжовувалось, було липке.

Білки кунжуту є основою для нових перспектив зміцнення здоров'я та профілактики захворювань шляхом виготовлення харчових препаратів та функціональних харчових продуктів. Нині за допомогою хіміметричного підходу [7] проаналізовано фізико-хімічні властивості білків шроту кунжуту. Дослідження показали зниження ризику раку молочної залози серед жінок у передменопаузі, що пов'язано з вищим вмістом у раціоні харчування шроту насіння кунжуту, що містить велику кількість білків та лігнанів. Оскільки зміна хімічного складу сировини призводить до зміни технологічних процесів, то це потребує корегування з боку кількості дозування шроту насіння кунжуту.

Для подолання цієї проблеми в роботі [8] досліджено заміну пшеничного борошна кунжутним шротом у виготовленні печива. Автори стверджують, що збільшення дозування шроту приводить до покращення функціональних та антиоксидантних властивостей печива, оскільки у дослідних зразках збільшується вміст білка, мінеральних речовин, клітковини порівняно з контролем. Дослідження показали, що по мірі збільшення концентрації кунжутного шроту в суміші, печиво набувало світлішого забарвлення і чим більше було дозування, тим світліший ставав колір. Основний аналіз компонентів показав, що найкращі фізико-хімічні та органолептичні показники отримали зразки печива з дозуванням 10 % до маси борошна.

Роботи в цьому напрямку також проводились [9] і аналіз наявних досліджень також підтверджує те, що використання шроту насіння кунжуту і пророщеного насіння кунжуту в розробці кексів підвищує функціональні властивості та харчову цінність виробів. Авторами досліджено різні комбінації додавання знежиреного та пророщеного кунжутного насіння до маси пшеничного борошна у кількостях 5, 10, 15, 20, 25, 30 %. У результаті досліджень встановлено, що збільшення дозування досліджуваних інгредієнтів призводить до збільшення поглинання води як для кунжутного шроту, так і для пророщеного насіння кунжуту. Зі збільшенням дозування продуктів насіння кунжуту авторами спостерігалось зменшення питомого об'єму кексів та текстура. У дослідженнях запропоновано дозування 15 % для шроту і 10 % для пророщеного насіння, що характеризує найкращий рівень органолептичних показників та текстурних властивостей, кекси були стійкішими до зберігання.

Наведені вище приклади використання насіння кунжуту в різних харчових виробництвах, зокрема в закладах ресторанного господарства, свідчать про велику увагу до цієї нетрадиційної сировини. Насіння кунжуту та продукти його перероблення значно відрізняються від продуктів перероблення пшениці.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. У літературних джерелах немає даних щодо застосування продуктів переробки кунжуту у стравах, що готують у закладах ресторанного господарства.

Хімічний склад сировини визначає її технологічні властивості, перебіг технологічного процесу виробництва продукції з використанням цієї сировини, якість виробів, їхні споживчі та фізіологічні властивості, тому доцільно дослідити хімічний та амінокислотний склад шроту насіння кунжуту.

Оскільки млинці є улюбленою стравою найбільш вимогливих гостей закладів ресторанного господарства, тому доцільно встановити оптимальне дозування шроту насіння кунжуту в їх рецептуру для максимально можливого внесення з ним фізіологічно-функціональних інгредієнтів та забезпечення традиційної якості виробів.

Постановка завдання. Метою цієї статті є дослідження хімічного та амінокислотного складу шроту насіння кунжуту (ШНК), який одержують у виробництві кунжутної олії методом холодного пресування в порівнянні з хімічним складом пшеничного борошна.

Специфічність хімічного складу ШНК, а саме великий вміст білків, харчових волокон потребує встановлення оптимального дозування досліджуваного шроту з метою забезпечення традиційної якості продукції.

Виклад основного матеріалу. У роботі було використано методики щодо визначення хімічного та амінокислотного складу борошна й кунжуту, який характеризували за вмістом основних речовин, що впливають на властивості борошна та харчову цінність готових виробів: вміст жиру (метод Сокслета; вміст целюлози (клітковини) (метод Кюршнера і Хафера; загальний вміст вуглеводів (методика [10]); вміст вітаміну В₁ (тіамін), В₂ (рибофлавін), РР (ніацину) (методики [11]); вітамін Е (метод тонкошарової хроматографії (ТШХ), де як сорбент використовували силікагель марки LS 5/40 мк («Сетарол», Чехія) [12]); вміст окремих мікроелементів методом спектроскопії на рентгенофлуорисцентровому аналізаторі.

У дослідженнях використовували шрот насіння кунжуту, одержаний методом «холодного пресування» виробництва ПП «Річойл» (Херсонська область, Україна).

Для досліджень використовували борошно І сорту.

Дослідження проводились у лабораторії клініко-біологічних досліджень Державного науково-дослідного інституту ветеринарних препаратів та кормових добавок (м. Львів), лабораторії біохімії Львівського державного університету фізичної культури ім. І. Боберського (м. Львів).

Порівняльна оцінка хімічного складу шроту насіння кунжуту (ШНК) та борошна пшеничного І сорту свідчить (табл. 1), що у шроті міститься більше білка в 4,2 раза і жирів у 7,3 раза. Вміст харчових волокон у шроті, порівняно з досліджуваним борошном, перевищує майже в 13 разів.

Таблиця 1

Хімічний склад шроту насіння кунжуту та пшеничного борошна І сорту, %

Складові	Борошно	Шрот
Білки, %	11,6±0,3	48,8±0,3
Вуглеводи загальні, %	73,3±0,5	29,0±0,5
харчові волокна, %	1,5±0,3	19,6±0,5
Жири, %	1,35±0,1	9,5±0,1
Мінеральні речовини, мг/100 г		
Калій	176	498
Кальцій	26	1474
Магній	49	540
Фосфор	122	720
Ферум	1,8	16
Вітаміни, мг/100 г		
тіамін (В ₁)	0,16	1,27
рибофлавін (В ₂)	0,08	0,36
ніацин (РР)	2,74	4,13
γ-токоферол	1,8	4,3

Нерозчинні харчові волокна – клітковина ШНК унаслідок пористості структури добре вбирає воду й, безумовно, впливатиме на водопоглинальну здатність напівфабрикатів у процесі їх приготування, тому це потрібно врахувати при замішуванні тіста.

Порівняно з пшеничним борошном у ШНК значно більший вміст Калію – в 2,8 раза; Кальцію – в 56 разів, Магнію – в 11 разів; Феруму – в 8,8 разів.

Дослідженнями встановлено, що шрот кунжуту здатний доповнити пшеничне борошно вітамінами В₁, В₂, РР, яких у ньому міститься значно більше, ніж у пшеничному борошні. Особливо цінним є присутність у шроті кунжуту токоферолу, якого у пшеничному борошні обмаль.

Визначення амінокислотного складу ШНК проводили методом іонообмінної рідинної хроматографії на автоматизованому аналізаторі амінокислот Т 339 (Чехія).

У результаті досліджень було встановлено, що за амінокислотним скором білки шроту насіння кунжуту (ШНК) переважають пшеничні білки й здатні більшою мірою задовольнити добові потреби організму в незамінних амінокислотах, про що свідчить значення показника PDCAAS (табл. 2).

Таблиця 2

Вміст незамінних амінокислот у 100 г шроту насіння кунжуту та борошна і ступінь задоволення ними добової потреби у амінокислотах (PDCAAS)

Амінокислота	Добова потреба для дорослої людини, г	Вміст, г/100 г		Ступінь задоволення добової потреби PDCAAS, % (100 г)	
		шроту	борошна	Для шроту	Для борошна
Лізин	4,1	1,46	0,30	35,6	7,3
Треонін	2,4	1,33	0,29	55,4	12,0
Валін	2,5	1,24	0,27	49,6	10,8
Метіонін + Цистин	1,8	1,36	0,28	75,5	15,5
Лейцин	4,6	2,24	0,67	48,6	14,5
Ізолейцин	2,0	1,06	0,28	53,0	14,0
Тирозин + Фенілаланін	4,4	2,51	0,82	57,0	18,6
Триптофан	0,8	0,78	0,07	97,5	8,7

Лімітуючою амінокислотою в цих білках є лізин, проте амінокислотний скор її кращий і становить 82, тоді як білка пшеничного борошна – 49.

Цінним є великий вміст у ШНК сірководневих (метіонін+цистін) амінокислот, які мають антиоксидантні властивості (їх амінокислотний скор – 115, проти 72 у пшеничному борошні), а також ароматичних амінокислот (фенілаланін + тирозин), які здатні покращувати діяльність нервової системи (амінокислотний скор цих амінокислот на 7,5 % більший, ніж у пшеничному борошні). Загальний вміст у ШНК незамінних амінокислот на 36,3 % більший, ніж у пшеничному борошні.

Білки шроту здатні задовольнити добову потребу організму в незамінних амінокислотах значно більшою мірою, ніж білки пшеничного борошна. Так, показник PDCAAS цих білків за лізином більший в 4,0, метіоніном в 3,7; триптофаном – у 6,1 раза. Ці білки мають більш високий показник PDCAAS за іншими незамінними амінокислотами, що свідчить, що високу здатність білків ШНК покращити якісний склад білків пшеничного борошна.

Водночас, зважаючи на особливості складу білків, велику кількість харчових волокон як нерозчинних, так і розчинних можна передбачити, що додавання ШНК до борошна суттєво впливатиме на перебіг процесів приготування тіста, його структурно-механічні властивості та органолептичні й фізико-хімічні показники якості готових борошняних виробів, зокрема досліджуваних млинців.

У закладах ресторанного господарства млинці випікають із прісного тіста з різними начинками.

Рецептури, що були використані для дослідження наведено у табл. 3. Дозування ШНК здійснювали з урахуванням добової потреби в білку, ступеня його засвоюваності та технологічних втрат при виготовленні млинців.

Таблиця 3

Рецептури млинців прісного тіста, що були використані для дослідження з ШНК

Сировина	Рецептура № 1082	Внесено шроту кунжуту, % до маси борошна		
		15	25	50
Борошно пшеничне	83	73,5	62	41,5
Яйця	16	16	16	16
Цукор	5	5	5	5
Рідина	208	209,4	210,1	210,1
Сіль	1,5	1,5	1,5	1,5
ШНК	-	12,5	21	41,5

З метою визначення оптимального дозування ШНК у прісне тісто проводили пробне смаження.

Під час проведення досліджень тісто готували з борошна вищого сорту. Шрот вносили в кількості 15; 25; 50 % до маси борошна на етапі замішування тіста. Контрольним був зразок тіста без шроту.

У дослідних зразках, що містили 15; 25; 50 % ШНК до маси борошна, порівняно з контролем, підвищували вологість тіста на 0,5–1,0 % проти вологості контрольного зразка.

Тісто готували за традиційною технологією, згідно якої яйця, сіль, цукор перемішували і додавали 50 % води, пшеничне борошно та збивали за допомогою міксера до утворення однорідної маси. Готове рідке тісто проціджували. Млинці випікали з однієї сторони на нагрітій сковороді діаметром 25 см, змащеній жиром.

Визначали закономірності зміни технологічних характеристик тістових напівфабрикатів і якості млинців залежно від дозування ШНК.

У процесі збивання візуально спостерігали значне загущення тістового напівфабрикату порівняно з контролем, в тим більшій мірі, чим більше було внесено ШНК до маси борошна. Це пов'язано з високою водопоглинальною здатністю харчових волокон ШНК.

У процесі смаження тісто зі ШНК було липке, але одночасно крихке.

Установлено, що при доданні в тісто 15 % ШНК до маси борошна млинці за якістю незначно поступалися контролю і відповідали вимогам нормативної документації на млинці з борошна вищого сорту.

У разі внесення шроту 25 та 50 % до маси борошна якість млинців помітно знижувалася, змінювалися органолептичні показники його якості. Зразок з 15,0 % шроту кунжуту мав смак і запах приємний, майже ідентичний контрольному зразку. У разі збільшення дозування шроту кунжуту до 25 та 50 % структура млинців значно погіршувалась, вони ставали липкими, пористість була дуже крупною, нерівномірною, товстостінною, еластичність м'якушки знизилася, чітко відчувалися непропечені луски шроту. Погіршувався смак виробів. Вироби набували нерівномірної форми.

Як показали результати досліджень (табл. 4), кращі показники якості готових млинців були в разі додання ШНК у кількості 15 %.

Таблиця 4

Показники якості готових млинців у разі приготування прісного тіста

Показники якості	Контроль без додання ШНК	Внесено шроту кунжуту, % до маси борошна		
		15	25	50
Зовнішній вигляд	Вироби круглої форми, обсмажені з однієї сторони, товщиною 3 мм, у діаметрі 20 см, добре пропечені	Вироби круглої форми, обсмажені з однієї сторони, товщиною 3 мм, у діаметрі 20 см, гірше пропечені	Вироби нерівномірної форми, обсмажені з однієї сторони, товщиною 4 мм, гірше пропечені	Вироби нерівномірної форми, обсмажені з однієї сторони, товщиною 5 мм, гірше пропечені
Смак і запах	Характерні для смаженого прісного тіста і жиру, на якому смажились, смак у міру солений, солодкуватий, приємний, ніжний	Характерні для смаженого прісного тіста й жиру, на якому смажились, з легким присмаком сирого кунжуту	з присмаком сирого кунжуту, чітко відчуються не пропечені луски шроту	Гіркий присмак, чітко відчуються не пропечені луски шроту
Колір	Поверхня золотиста, рівномірна, зріз жовтуватий	Поверхня світла, більш білаша, зріз світлий	Поверхня дуже світла, сліди не пропечених складових	Поверхня не просмажених виробів
Консистенція	Рівномірна пористість, еластична	Рівномірна, менш еластична	Пористість нерівномірна, дещо липка	Пористість дуже крупна, нерівномірна, грубо дисперсна, дуже липка

Отже, дозування 25 чи 50 % шроту кунжуту погіршує перебіг технологічного процесу та знижує якість виробів. Можна передбачати, що причиною цих змін може бути вплив складових ШНК на перебіг процесів утворення тіста та формування якості готових виробів. Додання 15 % шроту кунжуту до маси борошна практично не впливає на якість млинців. З урахуванням особливостей хімічного складу та вмісту біологічно-активних речовин ШНК можна передбачити, що доцільною кількістю використання даного шроту, з урахуванням максимально можливого збагачення ним готових млинців і забезпечення їх традиційної споживчої якості, може бути 15 %.

Висновки відповідно до статті. Проведені дослідження показали, що шрот насіння кунжуту є перспективною сировиною при виготовленні борошняних страв. За результатами проведених досліджень хімічного складу шроту насіння кунжуту та кількості його дозування до рецептури млинців для визначення органолептичних показників встановлено, що:

– шрот насіння кунжуту, порівняно з пшеничним борошном вищого сорту, містить в 4,2 раза більше білків із кращим амінокислотним скором і жирів у 7,3 раза, ніж у досліджуваному борошні, вміст харчових волокон майже в 13 разів;

– вуглеводи шроту насіння кунжуту представлені в основному харчовими волокнами. Порівняно з пшеничним борошном у ШНК значно більший вміст калію – в 2,8 раза; кальцію – в 56 разів, магнію – в 11 разів; заліза – у 8,8 разів. Шрот кунжуту здатний доповнити пшеничне борошно вітамінами В₁, В₂, РР, яких у ньому міститься значно більше, ніж у пшеничному борошні;

– у результаті досліджень було встановлено, що за амінокислотним скором білки шроту насіння кунжуту (ШНК) переважають пшеничні білки і здатні більшою мірою задовольнити добові потреби організму в незамінних амінокислотах, про що свідчить значення показника PDCAAS;

– результати дослідження хімічного складу шроту насіння кунжуту свідчать, що ця сировина, внаслідок особливостей її хімічного складу, поряд зі здатністю надати виробам фізіологічно-функціональних (оздоровчих) властивостей, впливає на технологічний процес і якість виробів. Дослідження показали, що додання в тісто 15 % ШНК до маси борошна практично не впливає на показники якості, а дозування його у кількості 25–50 % зумовлює погіршення органолептичних показників якості готових виробів.

Отримані результати можуть бути використані для розробки і впровадження нових виробів підвищеної харчової цінності.

Список використаних джерел

1. Доклад о состоянии здравоохранения в Европе 2012: Курс на благополучие. *ВООЗ Европейское региональное бюро*, 2013. 168 с. URL: <http://www.euro.who.int/en/home>.
2. Концепція державної науково-технічної програми «Біофортифікація та функціональні продукти на основі рослинної сировини на 2012-2016 роки». URL: <http://www1.nas.gov.ua>.
3. Johnson L.A., Suleiman T.M., Lucas E.M. Sesame protein: A review and prospectus. *Journal Am Oil Chem Soc.* 1979. Vol. 56, № 1. P. 463–468.
4. Namiki M. The chemistry and physiological functions of sesame. *Food Rev. Int.* 1995. Vol. 11. P. 281 – 329.
5. Gandhi A.P., Taimini V. Organoleptic and nutritional assessment of sesame (Sesame indicum, L.) biscuits. *Journal Food AgWInd.* 2009. Vol. 2(02). P. 8 –92.
6. Kaur P., Sharma P., Kumar V., Panghal A., Kaur J. Effect of addition of flaxseed flour on phytochemical, physicochemical, nutritional, and textural properties of cookies. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences.* 2017. Vol. 5. DOI: 10.1016/j.jssas.2017.12.004.
7. Pilkington L. I. Lignans A. Chemometric Analysis. *Molecules. Journal of Cereal Science.* 2017. Vol. 5. P. 23-29. DOI: 10.3390/molecules2017.10.010.
8. Kaur M., Singh V., Kaur R. Effect of partial replacement of wheat flour with varying levels of flaxseed flour on physicochemical, antioxidant and sensory characteristics of cookies. *Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre.* 2017. Vol. 9. P. 14-20. DOI: 10.1016/j.tifs.2017.07.003.

9. Bhise S. Baking and sensory quality of germinated and ungerminated flaxseed muffins prepared from wheat flour and wheat atta. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*. 2017. Vol. 46. P.41-47. DOI: 10.1016/j.jssas.2018.07.002.
10. Плешков Б. П. Практикум по биохимии растений : учеб. пособие. Москва : Колос, 1976. 256 с.
11. Ермаков А. И., Арасимович Н. П. Методы биохимического исследования растений. Ленинград : Агропромиздат, 1987. 430 с.
12. Донченко Г. В. Биохимия убихинона. Киев : Наукова думка, 1988. 240 с.

References

1. Doklad o sostoyanii zdravookhraneniya v Yevrope 2012: Kurs na blagopoluchiye. [European Health Report 2012: A Wellness Path]. (2013). *WHOR Office for Europe*, 168. URL: <http://www.euro.who.int/en/home>.
2. Kontseptsiiia derzhavnoi naukovo-tekhnichnoi prohramy «Biofortyfikatsiia ta funktsionalni produkty na osnovi roslynnoi syrovyny na 2012-2016 roky» [The concept of the state scientific and technical program "Biofortification and functional products based on plant raw materials for 2012-2016]. URL: <http://www1.nas.gov.ua>.
3. Johnson, L. A. (1979). Sesame protein: A review and prospectus. *Journal Am Oil Chem Soc*, 56 (1), 463–468.
4. Namiki, M. (1995). The chemistry and physiological functions of sesame. *Food Rev. Int.*, 11, 281–329.
5. Gandhi, A.P. (2009). Organoleptic and nutritional assessment of sesame (Sesame indicum) biscuits. *Journal Food AgWInd*, 2(02), 8–92.
6. Kaur, P. (2017). Effect of addition of flaxseed flour on phytochemical, physicochemical, nutritional, and textural properties of cookies. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 5. DOI: 10.1016/j.jssas.2017.12.004.
7. Pilkington, L.I. (2017). Chemometric Analysis. Molecules. *Journal of Cereal Science*, 5, 23-29. DOI: 10.3390/molecules2017.10.010.
8. Kaur, M. (2017). Effect of partial replacement of wheat flour with varying levels of flaxseed flour on physicochemical, antioxidant and sensory characteristics of cookies. *Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre*, 9, 14-20. DOI: 10.1016/j.tifs.2017.07.003.
9. Bhise, S. (2017). Baking and sensory quality of germinated and ungerminated flaxseed muffins prepared from wheat flour and wheat atta. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 46, 41-47. DOI: 10.1016/j.jssas.2018.07.002.
10. Pleshkov, B.P. (1976). *Praktikum po biokhimii rasteniy [Workshop on Plant Biochemistry]*. Moscow: Kolos [in Russian].
11. Ermakov, A. I., Arasimovich, N. P. (1987). *Metody biokhimicheskogo issledovaniya rasteniy [Methods of biochemical study of plants]*. Leningrad: Agropromizdat [in Russian].
12. Donchenko, G. V. (1988). *Biokhimiya ubikhinona [Biochemistry of ubiquinone]*. Kiev: Naukova Dumka [in Russian].

UDC 664.641.2

Orysia Izhevsk, Iryna Kozyar, Yaryna Kosinova

HEALTHCARE PANCAKES FOR RESTAURANT ESTABLISHMENTS IN MODERN CONDITIONS

This topic of research is actual because of necessity to develop technological recipes for flour products using oil products to improve the quality characteristics of finished products.

Target setting. Flour dishes are a traditional product of consumption of most customers of restaurants, so there is a necessity to develop and implement measures to improve the quality and nutritional characteristics of products in a competitive environment.

Analysis of recent research and publications. Scientific publications show the prospects of introduction into the recipe of flour products as enrichments and improvers of natural additives of plant and animal origin.

Uninvestigated parts of general matters defining. The use of additives in oilseed products and concentrations that improve the quality of dishes in the technology of pancakes has not been studied.

The research objective. The aim of the article is to study the chemical and amino acid composition of sesame seed meal and to establish the concentration in semi-finished products, which will increase the functional properties of finished meals.

The statement of basic materials. Chemical and amino acid composition of sesame seed meal and the concentration of this raw material instead of wheat flour in semi-finished products for optimal organoleptic characteristics of finished products were researched. The influence of this meal on the organoleptic indicators of the quality of finished pancakes by steamed and steamless methods of dough preparation was analyzed.

Conclusions according to the article. The chemical and amino acid composition of sesame seed meal was studied. On the basis of the conducted researches its optimum dosage in dough for pancakes in the amount of 15% instead of wheat flour is established. The obtained data can be used for the development and implementation of new products of high nutritional value.

Keywords: chemical composition; amino acid score; sesame seed meal; pancakes.

Table: 4. References: 12.

Іжевська Орися Петрівна – кандидат технічних наук, доцент кафедри готельно-ресторанного бізнесу, Львівський державний університет фізичної культури ім. І. Боберського (вул. Костюшка, 11, м. Львів, 79007, Україна).

Izhevskia Orisia – PhD in Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Hotel and Restaurant Business, Lviv State University of Physical Culture named after Ivan Bobersky (11 Kostyushka Str., 79007 Lviv, Ukraine).

E-mail: orisyaiz@ukr.net

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1700-4676>

Козяр Ірина Вікторівна – здобувачка вищої освіти, Львівський державний університет фізичної культури ім. І. Боберського (вул. Костюшка, 11, м. Львів, 79007, Україна).

Kozyar Iryna – Applicant for higher education, Lviv State University of Physical Culture named after Ivan Bobersky (11 Kostyushka Str., 79007 Lviv, Ukraine).

E-mail: irakozap845@gmail.com

Косінова Ярина Романівна – здобувачка вищої освіти, Львівський державний університет фізичної культури ім. І. Боберського (вул. Костюшка, 11, м. Львів, 79007, Україна).

Kosinova Yaryna – Applicant for higher education, Lviv State University of Physical Culture named after Ivan Bobersky (11 Kostyushka str., 79007 Lviv, Ukraine).

E-mail: yarynakosinova@ukr.net

РОЗДІЛ V. БУДІВНИЦТВО ТА ГЕОДЕЗІЯ

УДК 528.1

DOI: 10.25140/2411-5363-2020-2(20)-278-285

Сергій Крячок

ВИЗНАЧЕННЯ ВЕЛИЧИНИ Й ТОЧНОСТІ СТАЛОЇ ВІДДАЛЕМІРА ЕЛЕКТРОННОГО ТАХЕОМЕТРА ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ПРИВ'ЯЗКИ ДО ПОДВІЙНОГО СТІННОГО ГЕОДЕЗИЧНОГО ЗНАКУ

Актуальність теми дослідження. Нині виробники геодезичних приладів поставляють на ринок різноманітне геодезичне обладнання. Важливе місце в цьому асортименті належить електронним світловіддалемірам. Вони поєднують у своїй конструкції кутомірний пристрій, електронний віддалемір та процесор, який дозволяє вирішувати різноманітні геодезичні завдання на основі виконаних вимірювань.

Постановка проблеми. Для забезпечення достовірних даних про виміряні відстані необхідно періодично визначати сталу віддалемір електронного тахеометра. Особливо це актуально у випадку вимірювання відстані з використанням відбивача від електронного тахеометра іншої марки.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Спосіб визначення сталої віддалеміра електронного тахеометра за результатами прив'язки до подвійного стінного геодезичного знаку висвітлено в роботі [1]. Наведено технологію виконання вимірювань та формулу для визначення сталої.

Виділення недосліджених раніше частин загальної проблеми. У продовження тематики, наведеної в [1], доцільно виконати практичну реалізацію способу визначення сталої та встановити її точність.

Мета статті. Головною метою цієї статті є визначення сталої віддалеміра електронного тахеометра на основі даних, отриманих під час прив'язки до подвійного стінного геодезичного знаку, а також виконати розрахунок її точності.

Вклад основного матеріалу. Наведено апробацію технології визначення сталої віддалеміра електронного тахеометра за результатними вимірювань, виконаних під час прив'язки до подвійного стінного знаку міської полігонометрії м. Чернігова. Використано електронний тахеометр Trimble 3305 DR та відбивач для прив'язки до стінних знаків, розроблений на кафедрі геодезії, картографії та землеустрою Чернігівського національного технологічного університету. У результаті отримано значення сталої $+22,6$ мм. Виведено формули для обчислення середньої квадратичної похибки сталої для різних варіантів прив'язки до подвійного стінного знаку та виконано розрахунки за цими формулами.

Висновки відповідно до статті. Виконано апробацію розробленої технології визначення сталої віддалеміра електронного тахеометра за результатами вимірювань, отриманих під час прив'язки до подвійного стінного знаку. Отримано формули та виконані розрахунки для визначення середньої квадратичної похибки сталої віддалеміра електронного тахеометра

Ключові слова: електронний тахеометр; стала електронного віддалеміра; стінні знаки.

Табл.: 3. Рис.: 3. Бібл.: 10.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Спосіб визначення сталої віддалеміра електронного тахеометра за результатами прив'язки до подвійного стінного геодезичного знаку висвітлено в роботі [1]. Наведено технологію виконання вимірювань та формулу для визначення сталої.

Постановка проблеми. Для забезпечення достовірних даних про виміряні відстані необхідно періодично визначати сталу віддалемір електронного тахеометра. Особливо це актуально у випадку вимірювання відстані з використанням відбивача від електронного тахеометра іншої марки.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Спосіб визначення сталої віддалеміра електронного тахеометра за результатами прив'язки до подвійного стінного геодезичного знаку висвітлено в роботі [1]. Наведено технологію виконання вимірювань та формулу для визначення сталої.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. У продовження теми, наведеної в [1], доцільно виконати практичну реалізацію способу визначення сталої та встановити її точність.

Мета статті. Головною метою цієї статті є визначення сталої віддалеміра електронного тахеометра на основі даних, отриманих під час прив'язки до подвійного стінного знаку, а також виконати розрахунок її точності.

Виклад основного матеріалу. На рис. 1 зображені марки 1, 3 подвійного стінного знаку та геодезичний пункт 2, центр якого прив'язується в плані до стінного знаку [1]. Під час прив'язки корпуси відбивачів 4 встановлюються конусоподібними наконечниками 5 на центри марок 1 та 3 і приводяться у вертикальне положення з використанням круглих рівнів 6. За допомогою електронного тахеометра 7 виконується вимірювання похилих відстаней S_{21} та S_{23} чи горизонтальних прокладень D_{21} , D_{23} та кутів нахилу вимірюваних ліній ν_{21} і ν_{23} на середини відбивачів 8. Горизонтальний кут β вимірюється електронним тахеометром на шпильки чи сірники, встановлені в отвори центрів марок 1 та 3 стінного знаку.

Стала c віддалеміра електронного тахеометра обчислюється за формулою [1]

$$c = \frac{1}{a} \{ b \cdot D_{21} + d \cdot D_{23} + [a \cdot D_{13}^2 - (D_{21} \cdot \cos \nu_{23} - D_{23} \cdot \cos \nu_{21})^2 \cdot \sin^2 \beta]^{\frac{1}{2}} \}, \quad (1)$$

де $a = \cos^2 \nu_{21} + \cos^2 \nu_{23} - 2 \cos \nu_{21} \cdot \cos \nu_{23} \cdot \cos \beta$, $b = \cos \nu_{23} \cdot \cos \beta - \cos \nu_{21}$,

$d = \cos \nu_{21} \cos \beta - \cos \nu_{23}$.

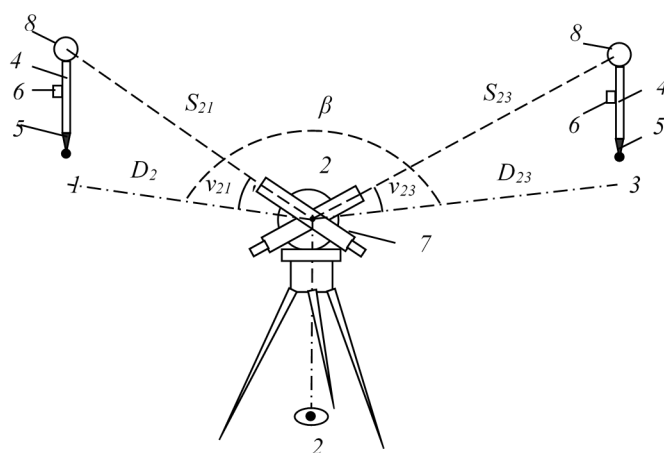


Рис. 1. До виконання прив'язки до подвійного стінного знаку з використанням електронного тахеометру та для визначення сталої

Для апробації розробленої технології була виконана прив'язка до подвійного стінного знаку № 4787 міської полігонометричної мережі м. Чернігова з координатами його центрів: $x_1 = 7343,009$ м; $y_1 = 4673,751$ м – позиція центру 1 на рис. 1; $x_3 = 7334,284$ м; $y_3 = 4671,849$ м – позиція центру 3 на рис. 1. Вимірювання виконувались з використанням електронного тахеометра Trimble 3305 DR.

Для вимірювання відстаней до центрів марок стінного знаку та вертикальних кутів було використано спеціальний відбивач, розроблений на кафедрі геодезії, картографії та землеустрою Чернігівського національного технологічного університету [2] (рис. 2).

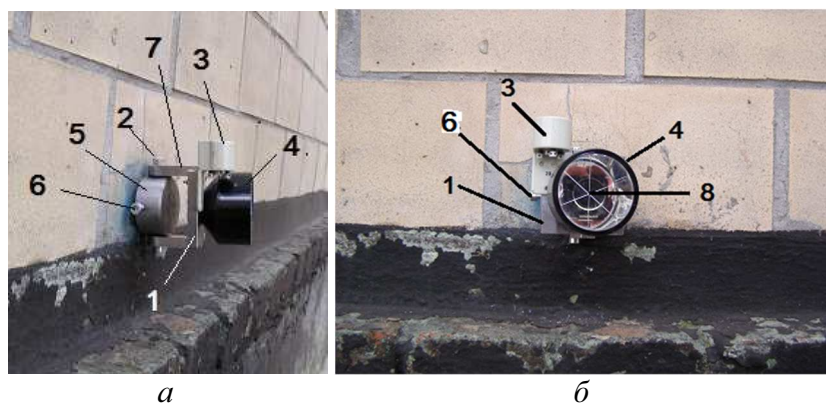


Рис. 2. Зовнішній вигляд віддалемірного пристрою, встановленого на стінний знак: а – вигляд з боку; б – вигляд з переду

Пристрій містить корпус 1 із закріпним гвинтом 2, який має конусоподібний наконечник, що вгвинчується в отвір центра стінного знаку, та круглий рівень 3. Відбивач виготовлено у вигляді тріпель-призми 4 з комплекту світловіддалеміра СТ5 «Блеск». Насадка 5 містить усередині порожнину, якою накриває корпус стінного знаку. Закріпні гвинти 6, які містяться з обох боків насадки, загвинчуються та утримують пристрій на стінному знаці в робочому положенні. Рухомі важелі 7 дозволяють орієнтувати тріпель-призму 4 у напрямку тахеометра в секторі 180°. Вертикальні кути та відстань вимірюються на центр 8 тріпель-призми 4, утворений перетином граней оптичних елементів призми.

Результати вимірювань наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Виміряні величини

$S_{21, м}$	v_{21}	$D_{21, м}$	$S_{23, м}$	v_{23}	$D_{23, м}$	β
7,9531	-0°50'42"	7,9522	7,8347	-0°42'29"	7,8341	68°16'33"

У результаті обчислень за формулою (1) отримано значення сталої $c = + 62,6$ мм. Під час вимірювань в пам'яті тахеометра залишалось введеною значення постійної призми – 40 мм, оскільки тахеометр до цього використовувався з іншим типом відбивача. Тому фактичне значення сталої складе +22,6 мм.

Для оцінки точності визначення сталої були виконані підготовчі обчислення за умови, що [3]:

- середня квадратична похибка (СКП) вимірювання вертикального кута за допомогою електронного тахеометра Trimble 3305 DR складає $m_v = 5''$;

- СКП вимірювання відстані

$$m_S = 2_{мм} + 2_{мм} \cdot S_{км}.$$

(2)

Оскільки в якості візирних цілей для вимірювання горизонтального кута β використовувались шпильки, наведення на які сітки ниток тахеометра виконувалось з коротких дистанцій, то було виконано 6 прийомів його вимірювання та виконано оцінку точності (табл. 2).

Таблиця 2

До розрахунку СКП вимірювання горизонтального кута β

№ прийому	β_i	v_i	v_i^2
1	68°16'34"	+ 1"	1
2	20"	- 13"	169
3	42"	+ 9"	81
4	34"	+ 1"	1
5	35"	+ 2"	4
6	33"	0	0
Середнє / сума	68°16'33"	0	256

$$\text{СКП визначення кута } \beta - m_\beta = 7,16''$$

СКП вимірювання горизонтального кута β одним прийомом визначалась за відомою формулою [4]

$$m_\beta = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n v_i^2}{n-1}}, \quad (3)$$

де n – число прийомів, v_i – відхилення величин β_i від середнього значення в прийомі.

СКП визначення відстаней від тахеометра до стінних знаків (табл. 1) $S \approx 8$ м = 0,008 км становила за формулою (2): $m_S = 2_{\text{мм}} + 2_{\text{мм}} \cdot 0,008_{\text{км}} = 2,02$ мм.

Відстань D_{13} між центрами марок визначена за координатами цих центрів, а саме

$$D_{13} = \sqrt{(x_3 - x_1)^2 + (y_3 - y_1)^2} . \quad (4)$$

Після знаходження часткових похідних за формулою (4) та за умови, що точність визначення ординат і абсцис однакова, вираз для визначення СКП D_{13} має вигляд

$$m_{D_{13}} = \sqrt{2} m_{x,y} , \quad (5)$$

де $m_{x,y}$ - СКП визначення абсцис або ординат центрів подвійного стінного знаку. Координування центрів подвійних стінних знаків після їх закладки повинно виконуватись відносно тимчасових робочих центрів з СКП $m_{x,y} = 2$ мм [5]. Тому згідно з (5)

$$m_{D_{13}} = \sqrt{2} \cdot 2_{\text{мм}} = 2,83 \text{ мм}.$$

У табл. 3 наведено вихідні дані для розрахунку СКП сталої віддалеміра електронного тахеометра Trimble 3305 DR у комплекті з розробленим відбивачем.

Таблиця 3

Вихідні дані для розрахунку СКП сталої

a	b	d	B	$D_{13}, \text{ м}$	$m_S, \text{ мм}$	$m_{D_{13}}, \text{ мм}$	m_ν	m_β
+ 1,2595	- 0,62978	- 0,62938	10,0213	8,930	2,02	2,83	5"	7",16

Були знайдені часткові похідні формули (1) за аргументами: $S_{21}, S_{23}, S_{13}, \nu_{21}, \nu_{23}, \beta$ та виконані розрахунки для визначення впливу складових вказаних похідних на СКП визначення сталої віддалеміра електронного тахеометра.

У підсумку отримана формула для розрахунку СКП визначення сталої віддалеміра електронного тахеометра у вигляді

$$m_c = \frac{1}{a} \sqrt{\left(\frac{a \cdot D_{13}}{B}\right)^2 m_{D_{13}}^2 + (b \cdot \cos \nu_{21})^2 m_{S_{21}}^2 + (d \cdot \cos \nu_{23})^2 m_{S_{23}}^2} , \quad (6)$$

де $B = [a \cdot D_{13}^2 - (D_{12} \cos \nu_{23} - D_{23} \cos \nu_{21})^2 \sin^2 \beta]^{\frac{1}{2}}$; $m_{D_{13}}$ – СКП визначення горизонтального прокладення D_{13} ; $m_{S_{21}}, m_{S_{23}}$ - СКП вимірювання відстаней S_{21} та S_{23} , відповідно.

У формулі (6) відсутні члени, пов'язані з СКП вимірюванням горизонтального кута та кутів нахилу вимірюваних ліній, оскільки їхніми значеннями можна знехтувати в порівнянні зі значеннями СКП вимірювання відстаней.

Якщо врахувати короткі відстані до подвійних стінних знаків S_{21} та S_{23} (в декілька метрів чи до пари десятків метрів), то згідно з (2) $m_{S_{21}} \approx m_{S_{23}} = m_S$ і формула (6) набуде вигляду

$$m_c = \frac{1}{a} \sqrt{\left(\frac{a \cdot D_{13}}{B}\right)^2 m_{D_{13}}^2 + [(b \cdot \cos \nu_{21})^2 + (d \cdot \cos \nu_{23})^2] m_S^2} . \quad (7)$$

Коли ж відстані до марок стінного знаку близькі за значенням $S_{21} \approx S_{23} = S$ та з урахуванням того, що марки подвійного стінного знаку знаходяться в цоколі споруди чи на її стіні практично на одній висоті, то $\nu_{21} \approx \nu_{23} = \nu$. У цьому випадку: $b = d = \cos \nu (\cos \beta - 1)$

, $a = 2 \cos^2 \nu (1 - \cos \beta)$, $B = [2D_{13}^2 \cos^2 \nu (1 - \cos \beta)]^{\frac{1}{2}}$, і підстановка наведених значень у вираз (7) дозволяє отримати більш спрощену формулу

$$m_c = \sqrt{\left(\frac{m_{D_{13}}}{2 \cos \nu \cdot \sin \frac{\beta}{2}} \right)^2 + \frac{m_S^2}{2}}. \quad (8)$$

За даними табл. 3 згідно з формулами (7) та (8), які підпадають до застосування, та за даними табл. 1 і для середнього значення кутів нахилу вимірних ліній $V = -0^\circ 46' 36''$, СКП визначення сталої складе $m_c = 2,90$ мм.

Необхідно уточнити розбіжності у поняттях «стала віддалеміра» та «постійна призма». Так в джерелі [6] надано таке пояснення «приладова поправка віддалеміра» (приборная поправка дальномера – рос.): виникає тому, що половина шляху електромагнітних хвиль, який визначають віддалеміром, не дорівнює віддалі між вертикальними осями обертання прийомопередавача та відбивача світловіддалеміра. Цю поправку називають також *постійною*. Визначення її зводиться до вимірювання відрізків базису взірцевого, довжина яких відома з вищою у 2–4 рази точністю від точності вимірювання відстаней віддалеміром». Наведене наглядно ілюструє рис. 3 [7]. З рис. 3 видно, що відстань між точками A та B , яку потрібно визначити та на які центрують електронний віддалемір (приймодопередавач) і відбивач своїми осями обертання, дорівнює

$$S = \frac{c \cdot \tau}{2} + K_1 + K_2 = S_B + K_1 + K_2 \quad (9)$$

де S_B – безпосередньо виміряна відстань електронним віддалеміром за відомою швидкістю електромагнітних хвиль c та вимірним часом τ знаходження сигналу на дистанції, K_1 – відстань між віссю обертання та поверхнею віддалеміра, яка безпосередньо випромінює електромагнітні хвилі на дистанцію, K_2 – відстань між віссю обертання та поверхнею відбивача, яка відбиває електромагнітні хвилі в напрямку віддалеміра. Тоді K – називають *постійною світловіддалеміра* [7]

$$K = K_1 + K_2. \quad (10)$$

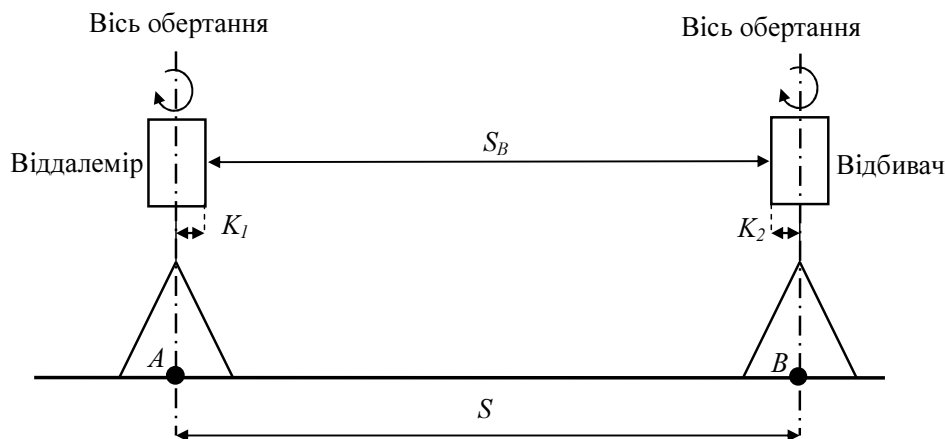


Рис. 3. До поняття «постійна (стала) електронного віддалеміра»

Отже, «приладова поправка віддалеміра» – калька з російської «приборная поправка дальномера», а тому в [6] її називають «постійною» та яку також можна називати «сталою». Зрозуміло, що треба вказати, до якої категорії приладів вона належить, а тому «постійна світловіддалеміра» або «стала світловіддалеміра» чи врешті «стала віддалеміра електронного тахеометра», коли мова йде про електронний тахеометр, в якому вбудовано світловіддалемір. Крім того, як вказано у наведених джерелах [6; 7] та згідно з формули (10), стала містить обидві складові K_1 та K_2 .

Термін «постійна призми» або «константа призми» [3] конкретно вказує на складову K_2 , що входить до сталої світловіддалеміра K та стосується лише відбивача, яким є призма у випадку світловіддалеміра. Це стосується конкретних типів електронних тахеометрів, в яких складова K_1 конструктивно зведена до нуля, або яка хоч і існує, але введена в пам'ять процесора тахеометра, який автоматично враховує її значення у виміряну відстань. Ця ситуація стосується і електронного тахеометра Trimble 3305 DR та відбивача, які було використано для прив'язки до стінних знаків в даній статті. Однак, згідно з джерелом [8], хоча стала самого світловіддалеміра конструктивно зведена до нуля під час виготовлення приладу, але потребує періодичних уточнень оскільки може змінюватись.

Для визначення значення сталої віддалеміра, як наведено в джерелі [6], необхідно мати взірцевий базис з кількома відрізками, точність яких у 2 – 4 вище точності вимірювання відстаней самим світловіддалеміром. Такий взірцевий базис існує в місті Києві, але не існує, наприклад, в місті Чернігові. Отже, для польових визначень сталої світловіддалеміра і застосовують методики, наведені в працях, наприклад, [1], [8], [9] та керівництві користувача [3]. Щоб підвищити точність отримання сталої, можна виконати N прийомів з її визначення, число яких обчислюються за формулою [4]

$$n = \left(\frac{m_c}{m'_s} \right)^2, \quad (11)$$

де m'_s - підвищена точність вимірювання лінії.

Щоб підвищити точність визначення сталої віддалеміра хоча б 2 рази, в порівнянні з точністю вимірювання короткої лінії, то в даному випадку для мінімальної відстані у кілька метрів можна прийняти за формулою (2) $m_s = 2$ мм, а $m'_s = 2$ мм / 2 = 1 мм. Число прийомів у цьому випадку за формулою (11) складе $n = (2,9$ мм / 1 мм)² = 8,4 ≈ 8.

Відомо, що точність вимірювання лінії світловіддалеміром з урахуванням точності визначення сталої віддалеміра дорівнює [9]

$$M_s = \sqrt{m_s^2 + m_c^2}. \quad (12)$$

Тому для наведених вище значень $M_s = \sqrt{2^2 + 1^2} = 2,2$ мм. Залишок в 0,2 мм становить 1/10 частку від точності вимірювання короткої відстані цим електронним тахеометром, отже, не є суттєвим.

Такої високої точності вимірювань відстаней потребує переважно геодезичний супровід будівництва. Для вимірювання ліній у геодезичних мережах згущення та знімання місцевості точність вимірювання відстаней дещо зменшується. Наприклад, згідно з [10] максимальна відстань між пунктами полігонометрії другого розряду 500 м повинна бути виміряна з СКП 1 см. Якщо визначити сталу електронного тахеометра Trimble 3305 DR у комплекті з відбивачем двома прийомами, що необхідно для контролю визначення сталої та координат пункту прив'язки, то середнє значення сталої з двох прийомів підвищить її точність на $\sqrt{2} \approx 1,41$. Таким чином, СКП визначення сталої складатиме $2,90 / 1,41 = 2,1$ мм. Відстань 500 м даним тахеометром, згідно з (2), буде виміряна з точністю 3 мм, а з врахування точності визначення сталої двома прийомами згідно з формулою (12) $M_s = \sqrt{3^2 + (2,1)^2} = 3,7$ мм, що значно менше нормативного значення 1 см.

Крім того, аналіз складових формули (8) показує, що підвищити точність визначення сталої можна, якщо горизонт інструменту електронного тахеометра практично співпадає з горизонтами центрів марок стінного знаку ($v \approx 0$), а тахеометр встановлюється якнайближче до створу центрів марок (β прямує до 180°). Останнє не суперечить прив'язці до

стінних знаків, виконаної оберненою лінійно-кутовою засічкою, яка відповідає схемі, наведеній на рис. 1, що підтверджується дослідженнями, опублікованим в джерелі [5]. За попередніх умов, але для $\beta = 120^\circ$ за формулою (8) $m_c = 2,17$ мм, а з двох прийомів $m_c = 2,17/1,41 = 1,5$ мм. Тоді результуюча точність вимірювання короткої відстані становитиме $M_s = \sqrt{2^2 + (1,5)^2} = 2,5$ мм.

Таким чином, в залежності від вимог щодо точності вимірювання ліній і точності їх вимірювання конкретним типом електронного тахеометра, розраховують і необхідне число прийомів з визначення сталої віддалеміра, користуючись наведеними формулами.

Висновки відповідно до статті. Виконано апробацію розробленої технології визначення сталої віддалеміра електронного тахеометра за результатами вимірювань, отриманих під час прив'язки до подвійного стінного знаку. Отримано формули та виконані розрахунки для визначення середньої квадратичної похибки сталої віддалеміра електронного тахеометра

Список використаних джерел

1. Крячок С., Мамонтова Л., Беленок В. Визначення сталої віддалеміра електронного тахеометра під час прив'язки до стінних знаків. *Технічні науки та технології*. 2019. № 2 (16). С. 197-202.
2. Пристрій для прив'язки до стінних знаків: пат. 115048 Україна: МПК 2017.01 G01C 3/00, G03B. № u 2016 11780; заявл. 21.11.16; опубл. 27.03.17, Бюл. № 6.
3. Trimble 3305 DR. Руководство пользователя. Программное обеспечение «ТОРО»: вебсайт. URL: <chrome-extension://mhjfbmdgcfjbbpaeojfohoefgiehjai/index.html>.
4. Войтенко С. П. Математична обробка геодезичних вимірів. Теорія похибок вимірів : навчальний посібник. Київ : КНУБА, 2003. 216 с.
5. Тревого И. С., Шевчук П. М. Городская полигонометрия. Москва : Недра, 1986. 199 с.
6. Геодезичний енциклопедичний словник / за ред. В. Літинського. Львів : Євро світ, 2001. 668 с.
7. Островський А. Л., Мороз О. І., Тарнавський В. Л. Геодезія : підручник для вузів. Львів : НУ «Львівська політехніка», 2007. Ч. II. 508 с.
8. Бронштейн Г. С. Комбинированные способы измерения расстояний. Москва : Недра, 1991. 92 с.
9. Ворошилов, А. П. Определение постоянной поправки дальномера электронного тахеометра. *Геопрофи*. 2005. № 4. С. 46-47.
10. Інструкція з топографічного знімання у масштабах 1:5000.-1:500 (ГКНТА-2.04-02-98): затв. наказом Головн. управління геодезії, картографії та кадастру від 9 квітн. 1998 р. №. 56.

References

1. Kryachok, S. D., Mamontova, L. S., Belenok V. Yu. (2017). Vyznachennya staloyi peredachi elektronnoho takheometra pid sazheyu do stinnykh znakov [A device for binding to wall signs]. *Tekhnichni nauky ta tekhnolohiyi – Technical sciences and technologies*, 2 (16), 197-202 [in Ukrainian].
2. Kryachok, S. D., Mamontova, L. S., Belenok V. Yu., Horlova H. M. (2018). Пристрій для прив'язки до стінних знаків [A method for determining the remote distance meter of an electronic station]. Patent Ukrainian No. 115048.
3. Trimble 3305 DR. Rukovodstvo polzovatelya. Programmnoe obespechenie «TORO» [Trimble 3305 DR. User's manual. Software "TORO"]. Retrieved from <chrome-extension://mhjfbmdgcfjbbpaeojfohoefgiehjai/index.html>.
4. Voytenko, S. P. (2003). *Matematychna obrobka heodezychnykh vymiriv. Teoriya pokhybok vymiriv [Mathematical processing of geodetic measurements. Measurement error theory]*. Kyiv: KNUBA [in Ukrainian].
5. Trevogo, I. S., Shevchuk, P. M. (1986). *Gorodskaiia poligonometriia [City polygonometry]*. Moscow: Nedra [in Russian].
6. Litynskyi, V. (Ed.). (2001). *Heodezychnyy entsyklopedychnyy slovnyk [Geodetic encyclopedic dictionary]*. Lviv: Yevro svit [in Ukrainian].

7. Ostrovskiy, A. L., Moroz, O. I., Tarnavskiy, V. L. (2007). *Heodeziia [Geodesy]. (Vol. II)*. Lviv: Lviv Polytechnic National University [in Ukrainian].

8. Bronshteyn, G. S. (1991). *Kombinirovannyye sposoby izmereniya rasstoyaniy. [Combined methods of measuring distances]*. Moscow: Nedra [in Russian].

9. Voroshilov, A. P. (2005).. *Opredeleniye postoyannoy popravki dalnomera elektronnoy takheometra [Determination of the constant correction of the range finder of an electronic total station]*. *Geoprofi. – Geoprofi*, 4, 46-47 [in Russian].

10. *Instruktsiya z topografichnoho znimannya v masshtabi 1: 5000.-1: 500. HKNTA-2.04-02-98 [Instructions for topographical scans on a scale of 1: 5000.-1: 500. GKNTA-2.04-02-98]*. № 56 (April 9, 1992). [in Ukrainian].

UDC 528.1

Serhiy Kryachok

DETERMINATION OF THE MAGNITUDE AND ACCURACY OF THE RANGE FINDER CONSTANT CORRECTION OF AN ELECTRONIC TOTAL STATION FROM THE RESULTS OF BINDING TO A DOUBLE GEODETIC WALL SIGN

Urgency of the research. Now manufacturers of geodetic instruments supply a variety of geodetic equipment to the market. An important place in this assortment belongs to electronic range finders. They combine in their design a goniometer, an electronic rangefinder and a processor that allows to solve various geodetic tasks based on the measurements.

Target setting. To ensure reliable data on the measured distance, it is necessary to periodically determine the constant correction of the range finder of the electronic total station. This is especially true in the case of measuring distance using a reflector from an electronic total station of a different brand.

Actual scientific researches and issues analysis. The method for determining the constant correction of the range finder of an electronic total station based on the results of binding to a double geodetic wall sign is described in [1]. The technology of measurements and the formula for determining the constant are shown.

An unexplored parts of a common problem. In continuation of the topics given in [1], it is advisable to carry out a practical implementation of the method for determining the constant correction and establish its accuracy.

The research objective. The main goal of this article is to determine the constant correction of the range finder of an electronic total station based on the data obtained from the results of binding to a double geodetic wall sign, and also to calculate its accuracy.

The statement of basic materials. The approbation of the technology for determining the constant correction of the range finder of an electronic total station for the results of measurements made during binding to the double wall sign of the city polygonometry of Chernihiv is presented. The Trimble 3305 DR total station and reflector for binding to wall signs, developed at the Department of Geodesy, Cartography and Land Management of the Chernihiv Polytechnic National University, were used. As a result, a constant correction value of +22.6 mm was obtained. Formulas for calculating the mean square error of the constant correction for various options for binding to a double wall sign are derived and calculations are performed using these formulas.

Conclusions. The developed technology was tested for determining the constant correction of the range finder of an electronic total station according to the measurement results obtained during binding to a double wall sign. Formulas are obtained and calculations are performed to determine the mean square error of the constant correction of the range finder of an electronic total station

Keywords: electronic total station; constant correction of the range finder of the electronic total station; wall sign.

Table: 3. Fig.: 3. References: 10.

Крячок Сергій Дмитрович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри геодезії, картографії та землеустрою, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

Kryachok Serhiy – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of geodesy, cartography and land management, Chernihiv national University of Technology (95 Shevchenko Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: geodesist2015@gmail.com

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5633-1501>

ResearcherID: N-3061-2016

УДК 697.1

DOI: 10.25140/2411-5363-2020-2(20)-286-296

Євгеній Сахно, Олексій Терещук, Станіслав Федорцов, Віктор Сипливець

**ТЕРМОМОДЕРНІЗАЦІЯ ОГОРОДЖУВАЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ
БУДІВЕЛЬ І СПОРУД**

Актуальність теми дослідження. Загальновідомо, що більшу частину огороджувальних конструкцій будинку займають зовнішні стіни, тому їхній вплив на втрати теплоти будівлею є основними. При використанні фасадних систем утеплення забезпечується не тільки високий показник опору теплопровідності, але й нормальний вологостійкий режим конструкцій при експлуатації, а отже, комфортні умови для проживання людей. Для теплоізоляції зовнішніх огороджувальних конструкцій здебільшого застосовують теплоізоляційні матеріали, і в багатошарових огороджувальних конструкціях теплоізоляційні матеріали застосовують як теплоізоляційний шар.

Постановка проблеми. При проведенні будівельних робіт треба враховувати, що термомодернізація будівель – це цілий комплекс робіт, спрямованих на раціоналізацію теплотехнічних показників огороджувальних конструкцій, показників споживання енергетичних ресурсів інженерними системами та забезпечення енергетичної ефективності будівель на рівні, не нижчому, ніж встановлено мінімальними вимогами щодо енергетичної ефективності.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У роботі були розглянуті останні публікації з цієї теми, які представлені у відкритому доступі, включаючи чинні нормативні документи.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Значна частка наявних нині будівель характеризується дуже низьким рівнем теплозахисту та неприпустимо високими витратами тепла на підтримання необхідних параметрів мікроклімату. Серед основних причин малої енергоефективності будівель є низький рівень термоопору основних будівельних конструкцій. Тому в даній науковій роботі ставиться завдання передбачити влаштування тепловідвідної теплоізоляції між приладами опалення та зовнішньою стіною (зарадіаторного екрана), а також вибору теплоізоляційного матеріалу для огороджувальних конструкцій.

Постановка завдання. Метою цієї наукової роботи є формування заходів з модернізації огороджувальних конструкцій будівель та споруд на основі комплексного аналізу об'ємно-планувальних, конструктивних та інженерно-технічних рішень, а також для планування, організації і проведення енергоаудиту існуючих будівель із розробкою рекомендацій щодо підвищення енергоефективності відповідних об'єктів.

Виклад основного матеріалу. Теплоізоляційний шар залежно від типу та густини теплоізоляційних виробів, що використовують, може виконуватись різними методами. Для проведення робіт з енергозахисту будівлі було визначено геометричні параметри 22 корпусу ЧНТУ, на основі яких проводився розрахунок теплотехнічних показників будівлі з подальшим експериментальним визначенням тепловісійних діаграм та їх обробкою в програмному комплексі.

Висновки відповідно до статті. У результаті проведених досліджень отримані характеристики будівлі, які дозволяють оцінити її енергоефективність. При цьому коли будівля має високий клас енергозбереження, це дозволяє виділяти на неї менше теплове навантаження, і як наслідок, зменшуються витрати на опалення. Запропонована методика оцінки енергоефективності будівлі та вибору теплоізоляційних матеріалів, яка включає розрахункові умови функціонування будівлі, геометричні та теплотехнічні показники, а також коефіцієнти енергоефективності та комплексні показники дозволяє раціонально підібрати схему термомодернізації огороджувальних конструкцій. Використання цієї методики для оцінювання енергоефективності навчального корпусу ЧНТУ дозволяє підвищити енергоефективність будівельного об'єкту та зменшити витрати на його опалення.

Ключові слова: енергоощадність; тепловізор; огороджувальні конструкції.

Рис.: 7. Бібл.: 5.

Актуальність теми. Загальновідомо, що більшу частину огороджувальних конструкцій будинку займають зовнішні стіни, тому їхній вплив на втрати теплоти будівлею є основними. Відомо, що фасадні системи утеплення будівель є одним із найкращих конструктивних засобів збільшення теплоізоляційних характеристик огороджувальних конструкцій. При використанні фасадних систем утеплення забезпечується не тільки високий показник опору теплопровідності, але й нормальний вологостійкий режим конструкцій при експлуатації, а звідси комфортні умови для проживання людей [1-3]. Для теплоізоляції зовнішніх огороджувальних конструкцій зазвичай застосовують теплоізоляційні матеріали, і в багатошарових огороджувальних конструкціях теплоізоляційні матеріали застосовують як теплоізоляційний шар.

Постановка проблеми. У процесі проведення будівельних робіт треба враховувати, що термомодернізація будівель – це цілий комплекс робіт, спрямованих на раціоналізацію теплотехнічних показників огороджувальних конструкцій будівель, показників споживання енергетичних ресурсів інженерними системами та забезпечення енергетичної ефективності будівель на рівні, не нижчому, ніж встановлено мінімальними вимогами щодо енергетичної ефективності. Тому заходи, що здійснюються під час виконання робіт із реконструкції, капітального чи поточного ремонту будівель різними ізоляційними матеріалами, необхідно виконувати після ретельного аналізу теплотехнічних характеристик огороджувальних конструкцій.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У роботах [1-3] наведено нормативно-правові аспекти та вимоги щодо енергозахисту, рекомендації з енергозбереження і заходи з підвищення енергоефективності, а також проаналізовано державні стандарти, державні будівельні норми та інший керівний матеріал. У [4] визначено роль моніторингу в будівництві, головною метою якого є отримання інформації про статистичні й динамічні характеристики об'єктів будівництва, технологічні процеси й засоби будівельного виробництва з питань енергозахисту. У роботі [5] розглянуто питання створення експрес-оцінки енергоефективності будівель та споруд, що набуває першочергового значення.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Значна частка наявних нині будівель характеризується дуже низьким рівнем теплозахисту, неприпустимо високими витратами тепла на підтримання необхідних параметрів мікроклімату. Серед основних причин малої енергоефективності будівель є низький рівень термоопору основних будівельних конструкцій. Тому в цій науковій роботі ставиться завдання передбачити влаштування тепловідбивної теплоізоляції між приладами опалення й зовнішньою стіною (радіаторного екрана), а також вибору теплоізоляційного матеріалу для огорожувальних конструкцій.

Постановка завдання (цілей статті). Метою цієї наукової роботи є формування заходів із модернізації огорожувальних конструкцій будівель та споруд на основі комплексного аналізу об'ємно-планувальних, конструктивних та інженерно-технічних рішень, а також для планування, організації і проведення енергоаудиту існуючих будівель із розробкою рекомендацій щодо підвищення енергоефективності відповідних об'єктів.

Виклад основного матеріалу. Теплоізоляційний шар залежно від типу та густини теплоізоляційних виробів, що використовують, може виконуватись [1; 2]:

- одношаровим – на основі теплоізоляційних виробів одного типу та густини;
- багатошаровим – на основі двох або більше теплоізоляційних виробів різної густини та типу;
- комбінованим – на основі багатошарових теплоізоляційних виробів одного типу виконаних з шарів різної густиною, що сполучені між собою за рахунок як хімічних, так і фізичних властивостей.

Вибір теплоізоляційного матеріалу здійснюють для таких типів непрозорих конструкцій будівлі:

- заглиблені конструкції будівлі, цокольні конструкції;
- підлоги по ґрунту;
- зовнішні стіни;
- перекриття (цокольні, міжповерхові, горищні);
- покриття.

Термомодернізація будівель здійснюється без розроблення проєктної документації, отримання документів, що дають право на виконання будівельних робіт, та прийняття такого об'єкта в експлуатацію лише при виконанні робіт із:

1. Існуючими заповненнями віконних, балконних та дверних блоків або інженерними системами (крім робіт із реконструкції або капітального ремонту інженерних систем).
2. Огорожувальними конструкціями об'єктів із незначними наслідками.
3. Заміни покриття покрівель будівель, які не передбачають втручання в огорожувальні та несучо-огорожувальні конструкції.
4. Приєднання та підключення індивідуальних (садибних) житлових будинків, садових, дачних будинків до інженерних мереж.

При цьому фундаментальним поняттям теплового контролю (ТК) є температурний сигнал, який визначається як різниця температур у досліджуваній точці й у зоні, прийнятої за бездефектну: $\Delta T(x, y, \tau) = T(x, y, \tau) - T_{\text{до}}(x, y, \tau)$ (в англійській літературі для позначення ΔT часто використовують некоректний термін «температурний контраст»).

При цьому теплопередача крізь стіну може розглядатись стаціонарною або нестаціонарною [4]. Стаціонарність є обов'язковою умовою якщо використовуються формули, рекомендовані зарубіжними стандартами, тоді щільність теплового потоку крізь огорожуючу конструкцію складає:

$$Q_{cur_av} = Q_{cur_ref} \frac{T_{outav}^w - T_{out}^{air}}{T_{outref}^w - T_{out}^{air}}, \quad (1)$$

де Q_{cur_ref} – це наявне значення щільності теплового потоку у вибраній еталонній точці на внутрішній поверхні стіни; $T_{outref}^w - T_{out}^{air}$ – різниця температур зовнішньої поверхні стін у еталонній точці та зовнішнього повітря; T_{outav}^w – середня температура зовнішньої стіни, розрахована шляхом усереднення результатів тепловізійної зйомки.

Приймається, що за рахунок лінійного характеру теплопередачі щільність потужності теплового потоку в різних точках пропорційна різниці температур зовнішньої стіни та зовнішнього повітря. При цих розрахунках не розглядаються тепловтрати за рахунок вентиляції. Рівняння (1) дозволяє перетворити звичайну термограму зовнішньої стіни в зображення з калібруванням потужності теплового потоку. Тоді загальні тепловтрати можливо оцінити формулою:

$$W = Q_{cur_ref} \iint_S \frac{T_{outav}^w - T_{out}^{air}}{T_{outref}^w - T_{out}^{air}} \frac{T_{air}^{in} - T_{air}^{out}}{T_{airnorm}^{in} - T_{airnorm}^{out}}, \quad (2)$$

де S – область, у якій здійснено усереднення результатів тепловізійних замірів.

Величина Q_{cur_ref} залежить від опору теплопередачі стіни, а інші параметри коректують тепловтрати по всій поверхні огорожувальної конструкції згідно нормативам. Розглянемо стаціонарну теплопередачу через плоску стінку (рис. 1, а), оскільки відповідні завдання виникають при тепловізійній діагностиці огорожувальних конструкцій будівель і споруд, а також димових труб.

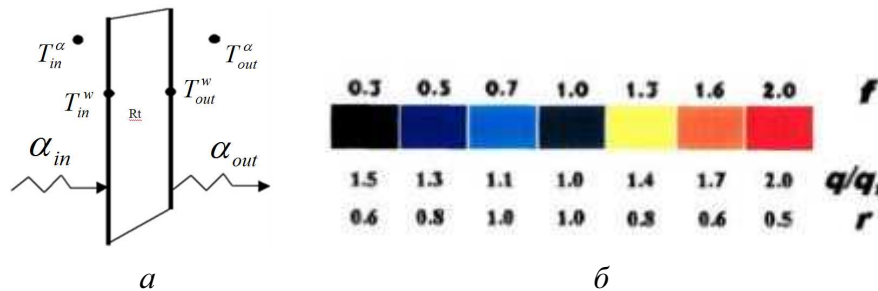


Рис. 1. Термографічні вимірювання:

а – теплопередача теплопровідністю через плоску стінку; б – шкала значень $f(t)$ та відповідних величин термічного опору r ($m^2C/Kcal$) і відносної щільності теплового потоку q/q_{norm}

Розглянемо плоску стінку, що розділяє два середовища з різною температурою T_{in}^a і T_{out}^a (рис. 1, а), теплообмін на поверхнях пластини характеризується коефіцієнтами α_{in} і α_{out} . Одношарова пластина має термічний опір $R_t = L / \lambda$, багатошарова - $R_t = \sum_{i=1}^N L_i / \lambda_i$.

Тепловий потік крізь стінку дорівнює: $Q = \frac{T_{in}^w - T_{out}^w}{R_t}$, або $Q = \frac{T_{in}^a - T_{out}^a}{R}$, де

$R = 1 / \alpha_{in} + R_t + 1 / \alpha_{out}$ – повний тепловий опір стінки з урахуванням опорів прикордонних шарів, що залежать від відповідних коефіцієнтів теплообміну. Це визначення відповідає

тепловізійній діагностиці якості теплоізоляції димових труб або огорожувальних конструкцій будівельних споруд. При цьому за допомогою тепловізора вимірюють температурне поле на зовнішній поверхні ствола труби (стіни будівлі) T_{out}^w і за його амплітудою або текстурі судять про наявність прихованих дефектів і оцінюють їх параметри. Визначення термічного опору стінки являє собою типову зворотну задачу технічної діагностики.

Для визначення теплотехнічних параметрів досліджуваних будівель використовується відносна характеристика теплообміну між поверхнею стіни й зовнішнім середовищем $f(t)$, яка дорівнює відношенню різниці температури поверхні конструкції і повітря для базового ділянки:

$$f(t) = [T(O, t) - T_b(t)] / [T^{\bar{o}}(O, t) - T_b(t)] \quad (3)$$

Це характеристика еквівалентна співвідношенню для значень термодинамічної температури за умови рівності коефіцієнтів теплового випромінювання та лінійності апаратного перетворення радіаційної температури. При рівності коефіцієнтів теплообміну (K) для обох точок поверхні характеристика $f(t)$ дорівнює відношенню густини теплових потоків у цих точках. Відповідно, при лінійному зв'язку термодинамічної температури і яскравості на тепловому знімку (J): $T(O, t) = aJ(t) + b$; $T_b(t) = a + J_b(t) + b$, і параметр $f(t)$ безпосередньо виражається через відповідні значення яскравості:

$$f(t) = [J(t) - J_b(t)] / [J^{\bar{o}}(t) - J_b(t)] \quad (4)$$

Теплове зображення поверхні конструкції потрібно відкоригувати на геометричні викривлення і на показники від найближчих об'єктів, які беруть участь в теплообміні випромінюванням. За тепловим зображенням розраховується «зображення» $f(t)$ (масив значень $f(t)$) окремо для всіх ділянок поверхні конструкції з різко несхожими значеннями коефіцієнта теплообміну і коефіцієнта випромінювання. Залежність температури атмосферного повітря від часу апроксимується виразом: $T_b(t) = T_b(O) + \sum_{m=1}^M \{ \alpha_m \sin(m\omega t) + \beta_m \cos(m\omega t) \}$, де коефіцієнти $T_b(O)$, α_m і β_m обчислюються за значеннями $T_b(t)$. Залежність температури зовнішньої поверхні огорожувальної конструкції від часу в цьому випадку буде визначатися виразом:

$$T(O, t) = T_b(t) + [T_s - T_b(t)] / (K_r + 1) + Z(t, r, K), \quad (5)$$

де $Z(t, r, K)$ – коефіцієнт залежності добутку щільності речовини оболонки будинку на його теплоємність – pC .

За даними опорних вимірів у базових точках можна визначити (оцінити) значення коефіцієнта теплообміну $K^{\bar{o}} = q^{\bar{o}} / [T^{\bar{o}}(O, t) - T_b(t)]$ і визначити (оцінити) термічне опір V за формулою (5), знаючи виміряне значення $T^{\bar{o}}(O, t)$, $T_s^{\bar{o}}$.

Якщо неможливо виміряти $T_s^{\bar{o}}$, то як базові вибираються візуально нормальні (без видимих дефектів) зони огорожувальної конструкції, які характеризуються найбільш представницькими середніми значеннями яскравості на тепловому знімку. Для таких зон величини V і pC покладаються відповідно проектним. Подальша обробка здійснюється за масивом значень (зображення) $f(t)$. Припускаємо, що відмінність $f(t)$ визначає зміну температури внутрішньої поверхні конструкції T_s , тоді: $T_s - T_s^{\bar{o}} = [f(t) - 1]S(t)$, $S(t) = [T^{\bar{o}}(O, t) - T_b(t)](K^{\bar{o}}r^{\bar{o}} + 1)$.

Побудоване «зображення» (масив) $\{Ts - Ts^b\}$ характеризуватиме зміну температури внутрішньої поверхні огорожувальної конструкції, яка може бути визнана відповідним дійсності на основі апріорних (зокрема модельних) уявлень. Будемо позначати різницю температури внутрішньої поверхні захисної конструкції імовірно відповідної дійсності – ΔTs . Розрахунки й конкретна практика показують, що величина $f(t)$ слабо залежить від зміни температури внутрішньої поверхні стіни. Проте висока точність вимірювань і обчислення величини $f(t)$ у «вдалих» час дозволяють фіксувати зміну температури внутрішньої поверхні стіни порядку 1°K .

Шкала значень теплотехнічних характеристик, визначених величиною $f(t)$ має змінну характеристику (рис. 1, б). Так, наприклад, наведена шкала значень γ при $f(t) \phi 1$ дана з урахуванням можливої зміни K у діапазоні від 10 до 20 $\text{Вт}/\text{м}^2\text{K}$, а шкала значень $q_{cp}/q_{cp}^{норм}$ в області $f(t)\pi 1$ дана, зважаючи на те, що зменшення $f(t)$ пов'язане зі зростанням K через тріщини, пористості й вологості зовнішнього шару стіни, а також викликаним ними зменшенням термічного опору таким чином: $\gamma = 1,0; 0,8; 0,6$ $\text{Вт}/\text{м}^2\text{K}$ для $f(t) = 0,7; 0,5; 0,3$.

Величина $f(t)$ найбільше залежить від термічного опору поверхневого шару. Відповідно зміна $f(t)$ через зміну K - в 20 разів менше. Зміна величини добутку щільності матеріалу шару на його теплоємність ρC на $1 \cdot 10^6$ $\text{Дж}/\text{м}^3\text{K}$ призводить до зміни значення $f(t)$ приблизно на 0,4. Переважно при обстеженні будівель впливом можливої зміни величини ρC можна знехтувати. Величина $f(t)$ в різних зонах оболонки будівлі може бути як більше, так і менше одиниці. Область значень $f(t)$, більше одиниці, при обліку можливого зменшення K та збільшення Ts , відповідає зменшенню термічного опору шару. Значення $f(t)$, менші одиниці, при обліку можливого зменшення Ts (і можливого збільшення r), як правило пов'язані з істотним зростанням K і зменшенням $T(O, t)$ крізь тріщини, пористості, вологості шару і пов'язаним з ними зменшенням термічного опору і збільшення відносних теплових втрат. Тому необхідно передбачити влаштування тепловідбивної теплоізоляції між приладами опалення й зовнішньою стіною (зарадіаторного екрану). Встановлення тепловідбиваючих екранів значно сприяє поліпшенню комфорту в приміщенні, оскільки енергія, яка раніше витрачалась на прогрів стіни, буде використана корисно для підняття температури в приміщенні

Об'єктом дослідження в цій науковій роботі було обрано триповерховий корпус № 22 Чернігівського національного технологічного університету, що розташований на вулиці Белова, 4 м. Чернігова. У дослідях брали участь представники підприємства «Теплопар+» та магістри ННІБ ЧНТУ (рис. 2). Було проведено заміри втрат тепла як із зовнішньої сторони будівлі, так і всередині приміщення за допомогою тепловізора Testo 875-1i, серійний номер 60470428.



а



б



в

Рис. 2. Проведення моніторингу енергоефективності будівлі магістрами ННІБ ЧНТУ:
а – загальний вигляд тепловізора; б, в – проведення вимірів

Для проведення експериментальних досліджень було обрано такі теплоізоляційні матеріали [4]:

Пінополістирол – універсальний утеплювач, який завжди був лідером вітчизняного ринку теплоізоляційних матеріалів. Популярність цього утеплювача зумовлюється оптимальним співвідношенням вартості й функціональних характеристик – за цим параметром пінополістирол перевершує всі відомі матеріали для утеплення. Пінополістирол широко використовується як основний теплоізоляційний матеріал у приватному і промисловому будівництві. Основним фактором, який обумовлює затребуваність пінополістирольних утеплювачів, є їхня мінімальна вартість, яка значно менша, наприклад, від ціни мінеральної вати або інших представлених на ринку теплоізоляційних матеріалів.

Деревностружкова плита є дешевим листовим матеріалом, виробленим гарячим пресуванням деревинних частинок, переважно стружки, із введенням спеціальних добавок (6-18 % від маси стружок). Пресування виконують на одно- та багатоповерхових періодичних пресах за тиску 0,2-5 МПа та температури 100–140 °С або в безперервних стрічкових, гусеничних або екструзійних агрегатах.

Фольгоізол – фольгопергамін гідроізоляційний матеріал, виготовлений згідно з ДСТУ Б.В.2.7. 272-2011 являє собою рулонний гідроізоляційний матеріал, зроблений на основі рельєфною фольги покритої спіненою основою. Цей матеріал покликаний мінімізувати первинні втрати тепла, відбивши його від своєї поверхні назад (тепло паркан), легкий у монтажі й витримує практично будь-які температурні навантаження.

На рис. 3 представлено схему утеплення за радіаторної ділянки різними матеріалами.

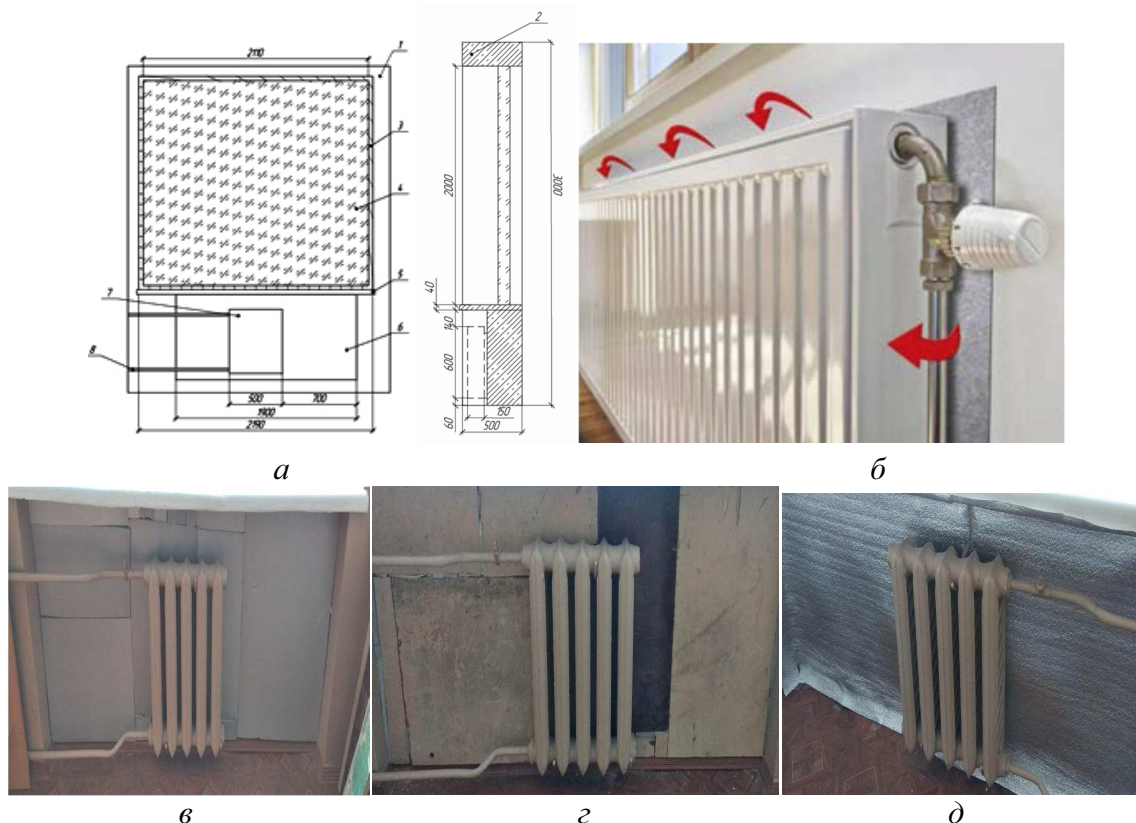
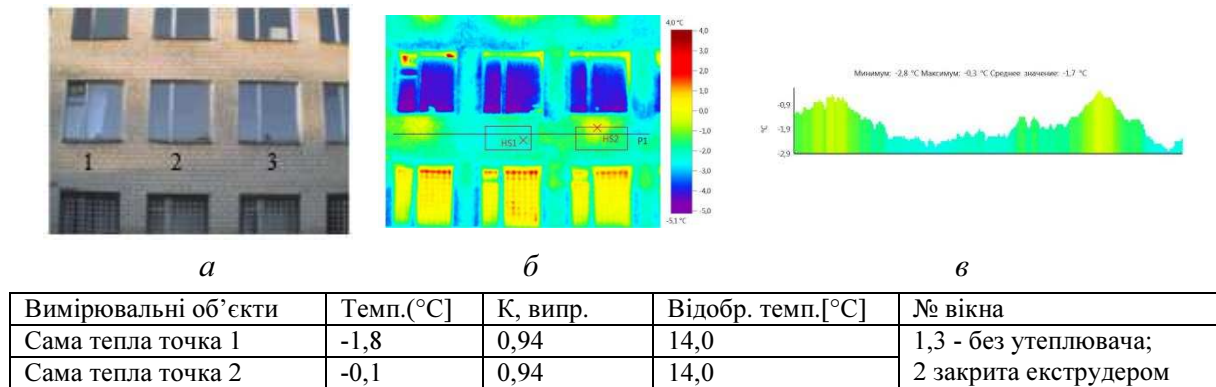


Рис. 3. Схема утеплення стіни:

а – креслення вікна та підвіконного простору; 1 – фрагмент стіни; 2 – плита перекриття; 3 – віконна рама; 4 – скло; 5 – підвіконня; 6 – підвіконна ніша; 7 – батарея; 8 – труби опалення;

б – вихід тепла з радіатора; в, г, д – утеплення стіни відповідно пінополістиролом, деревностружковою плитою та фольгоізолом

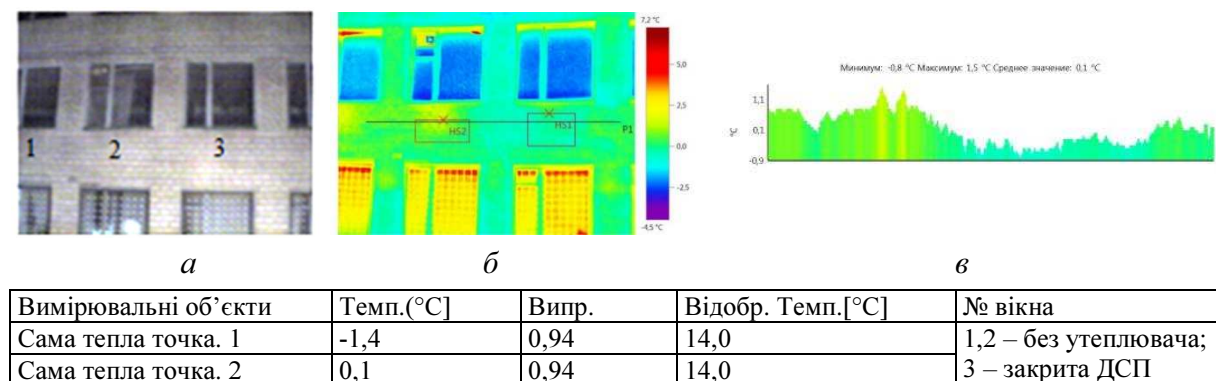
На рис. 4-6 показано результати вимірів енергоефективності утеплення за радіаторного простору різними матеріалами. На рис. 4 представлено результати експериментальних досліджень з утеплення стіни екструдером товщиною 20 мм. Можемо спостерігати що ділянка стіни 2 (рис. 4, а), яка була утеплена, практично не має втрат енергії, що яскраво видно в порівнянні зі стінами 1, 3, де утеплювача немає.



г

Рис. 4. Утеплення стіни корпусу № 22 ЧНТУ за допомогою екструдера:
а – фотографія стіни; б – термограма; в – зміна температури уздовж лінії профілю;
г – теплотехнічні параметри

На рис. 5 представлено результати експериментальних досліджень з утеплення стіни за допомогою ДСП товщиною 20 мм. З рис. 5 видно, що ділянка 3 стіни, яка була утеплена, має нижчі втрати тепла, ніж стіна під першим та другим вікном, де утеплювача немає.



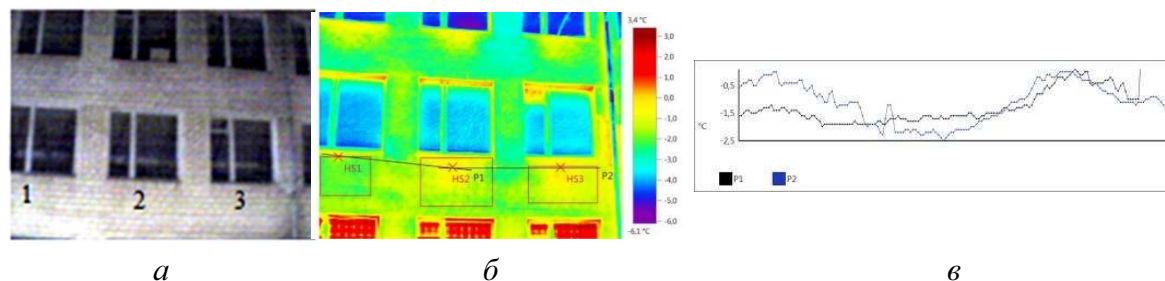
г

Рис. 5. Утеплення стіни корпусу №22 ЧНТУ за допомогою ДСП:
а – фотографія стіни; б – термограма; в – зміна температури уздовж лінії профілю;
г – теплотехнічні параметри

На рис. 6 можна спостерігати експеримент з утеплення стіни двома різними матеріалами: ДСП, і фольгаізол. З рис. 6 видно, що ділянка стіни 1 яка була утеплена ДСП, має нижчі втрати тепла, ніж стіни під другим та третім вікнами. При цьому утеплення стіни за допомогою фольгаізолу 2 практично ні дає ні якого позитивного ефекту, зміна температури практично відповідає ділянці стіни без утеплювача 3.

При цьому програмне забезпечення для термографії IR Soft дозволяє з легкістю обробляти інфрачервоні зображення та проводити їх аналіз на ПК. Функції всебічного аналізу призначені для професійної обробки термограм. Так, наприклад можлива подальша коректування коефіцієнтів випромінювання різних матеріалів для певних ділянок зображення аж до окремих пікселів. Крім того, можна задавати необмежену кількість точок вимірю-

вання, відображати гарячі і холодні точки і робити голосові коментарі до термограми. Після обробки отриманих даних за допомогою програмного забезпечення «Testo Soft ware» було виявлено основні «точки холоду» в будівлі, які показують, що основні втрати тепла припадають на стики панелей перекриття з фасадами будівлі, вікна та опалювальні батареї, які світяться яскраво червоним світлом на фасаді споруди [4].



Вимірювальні об'єкти	Темп.(°C)	К, Випр	Відобр. темп.[°C]	№ вікна
Сама тепла точка 1	-1,4	0,94	14,0	1 -закрита ДСП; 2 - закрита фольгаізолем;
Сама тепла точка 2	0,4	0,94	14,0	3 -без утеплювача

2

Рис. 6. Утеплення стіни корпусу № 22 ЧНТУ за допомогою ДСП і фольгаізола:

а – фотографія стіни; б – термограма; в – зміна температури уздовж лінії профілю;

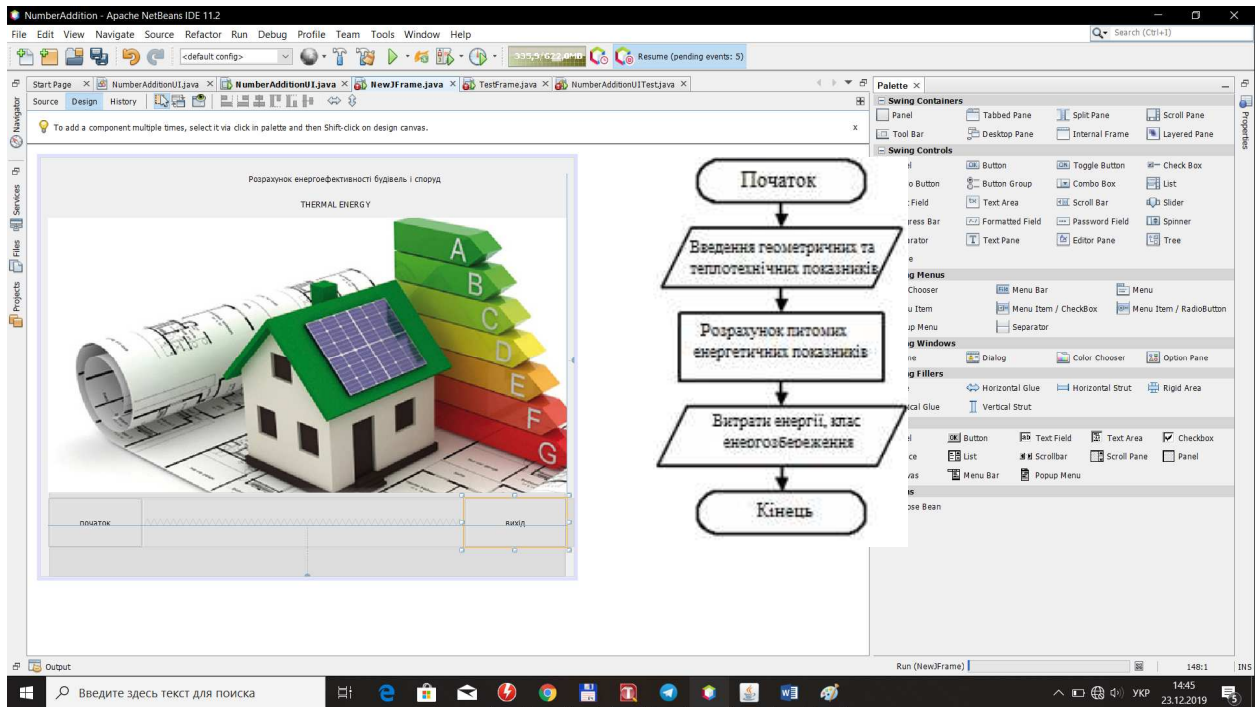
г – теплотехнічні параметри

Для визначення енергоефективності будівель та споруд за методикою, що наведена в роботі [5], було створено програмний комплекс «THERMAL ENERGY» (рис. 7), який дозволяє визначати сумарні втрати теплової енергії. Для програмування було обрано типізовану об'єктно-орієнтовану мову програмування Java, яку розроблено компанією Sun Microsystems (у подальшому придбаній компанією Oracle). Програми Java зазвичай транслюються у спеціальний байт-код, тому вони можуть працювати на будь-якій комп'ютерній архітектурі за допомогою віртуальної Java-машини. На рисунку 7, б, в представлено введення даних та результати розрахунку параметрів енергоефективності.

У результаті здійснення запропонованих заходів та проведення розрахунків у програмному комплексі «THERMAL ENERGY» інженер-енергоаудитор повинен здійснювати такі технологічні операції:

- розробляти й реалізовувати енерго- та ресурсозберігаючі заходи при проектуванні та експлуатації теплоенергетичного обладнання з використанням новітніх досягнень;
- інтегрувати знання з різних сфер інженерної діяльності для вирішення комплексних практичних задач;
- розробляти і впроваджувати екологічно безпечні, енерго- та ресурсозберігаючі технології;
- виконувати технічні розрахунки за проектами техніко-економічного і функціонально-вартісного аналізу ефективності проектних рішень, з використанням прикладного програмного забезпечення для розрахунку параметрів і вибору серійного та розробки нового теплоенергетичного та теплотехнологічного обладнання;
- приймати проектні рішення при проектуванні систем тепло- та електропостачання, обирати тип та конструкції установок, які використовують нетрадиційні джерела енергії;
- оцінювати вартість та технікоекономічну доцільність використання відновлюваних джерел енергії в системах опалення та гарячого водопостачання житлових будівель.

При цьому слід мати на увазі, що кожна будівля унікальна, тому кожний проект повинен розглядатись індивідуально, щоб визначити специфічні можливості підвищення енергоефективності.



а

б

	тепловий опір	теплові втрати	сумарні втрати
вікна	0.598	616	2415
зовнішня стіна	0.940	1034	2415
стіна сходового м.	0.783	724	2415
двері	2.123	41	2415

в

Рис. 7. Програмний комплекс «THERMAL ENERGY»: а – інтерфейс програми; б – введення даних; в – результати розрахунку

Висновки відповідно до статті. У результаті проведених досліджень отримані характеристики будівлі, які дозволяють оцінити її енергоефективність. При цьому коли будівля має високий клас енергозбереження, це дозволяє виділяти на неї менше теплове навантаження, і як наслідок, зменшуються витрати на опалення. Запропонована методика оцінки енергоефективності будівлі та вибору теплоізоляційних матеріалів, яка включає розрахункові умови функціонування будівлі, геометричні та теплотехнічні показники, а також коефіцієнти енергоефективності та комплексні показники дозволяє раціонально підібрати схему термомодернізації огорожувальних конструкцій Використання цієї методики при оцінці енергоефективності навчального корпусу ЧНТУ дозволяє підвищити енергоефективність будівельного об'єкта та зменшити витрати на його опалення.

Список використаних джерел

1. ДБН В.2.6-31:2006. Конструкції будинків і споруд. Теплова ізоляція будівель. [Чинний від 2006-09-09]. Київ : Мінбуд України, 2006. 65 с.
2. Цибулько А. Інформаційний посібник Новий освітній простір (енергоефективність) станом на 1 березня 2019 року. URL: <http://www.minregion.gov.ua/uncategorized/informatsiyniy-posibnik-noviy-osvitniy-prostir-energoefektivnist-standom-na-1-bereznya-2019-roku/>.

3. Перегуда Є. В. Інноваційний потенціал енергозбереження та енергоефективності у житловому секторі: політичні аспекти. *Наукові праці МАУП*. 2017. Вип. 52(1). С. 75–84.
4. Терещук О. І., Сахно Є. Ю., Маргасов Д. В., Корзаченко М. М. Моніторинг енергоефективності малоповерхових будівель : монографія. Чернігів : ЧНТУ, 2018. 356 с.
5. Терещук О. І., Сахно Є. Ю., Щербак Ю. В., Зимовець Д. В. Проведення тепловізійного моніторингу енергоощадності будівель і споруд. *Технічні науки та технології*. 2019. № 1(15). С. 278-288.

References

1. Konstruktsii budynkiv i sporud. Teplova izoliatsiia budivel. [Structures of buildings and structures. Thermal insulation of buildings]. DBN V.2.6-31:2006. (Chynnyi vid 2006-09-09) [in Ukrainian].
2. Tsibulko, A. (2019). *Informatsiyni posibnyk. Novyi osvittii prostir (enerhoefektyvnist) stanom na 1 bereznia 2019 roku* [Informatsiyni posibnyk. Novyi osvittii prostir (enerhoefektyvnist) stanom or 1 bereznia 2019 roku]. Retrieved from <http://www.minregion.gov.ua/uncategorized/informatsiyniy-posibnyk-noviy-osvittiy-prostir-energoefektivnist-stanom-na-1-bereznia-2019-roku/>.
3. Pereguda, E. V. (2017). *Innovacijnij potencial energozberezhennya ta energoefektivnosti u zhitlovomu sektori: politichni aspekti* [Innovative potential of energy saving and energy efficiency in the residential sector: political aspects]. *Naukovi praci MAUP – Scientific works of the MAUP*, 52(1), 75-84 [in Ukrainian].
4. Tereshchuk, O. I., Sakhno, Ye. Iu., Marhasov, D. V., Korzachenko, M. M. (2018). *Monitorynh enerhoefektyvnosti malopoverkhovykh budivel* [Monitoring energy efficiency of low-rise buildings]. Chernihiv: ChNTU [in Ukrainian].
5. Tereshchuk, O. I., Sakhno, N. Yu., Shcherbak, Yu. V., Zimovets, D. V. (2019). *Provedennia teploviziinoho monitorynhu enerhooshchadnosti budivel i sporud* [Conducting thermal imaging monitoring of energy saving of buildings and structures]. *Tekhnichni nauky ta tekhnolohii – Technical Sciences and technologies*, 1(15), 278-288 [in Ukrainian].

UDC 697.1

Yevgenii Sakhno, Oleksii Tereshchuk, Stanislav Fedortsov, Victor Siplevich

THERMAL MODERNIZATION OF PROTECTING CONSTRUCTIONS OF BUILDINGS AND STRUCTURES

Urgency of the research. It is well known that most of the building envelopes are occupied by external walls, so their influence on the loss of heat by the building is the main one. Therefore, when using facade insulation systems, not only a high rate of thermal conductivity is ensured, but also a normal moisture-resistant mode of structures during operation, and hence comfortable conditions for people to live. As a rule, heat-insulating materials are used for thermal insulation of exterior walling, and in multilayer walling, heat-insulating materials are used as a heat-insulating layer.

Target setting. When carrying out construction work, it should be borne in mind that the thermal modernization of buildings is a whole range of works aimed at rationalizing the heat engineering indicators of building envelopes, indicators of energy consumption by engineering systems and ensuring the energy efficiency of buildings at a level not lower than that established by the minimum requirements for energy efficiency.

Actualscientific researches and issues analysis. The work reviewed the latest publications on this topic, which are presented in the public domain, including existing regulatory documents.

Uninvestigated parts of general matters defining. A significant proportion of the currently existing buildings is characterized by an extremely low level of thermal protection and unacceptably high heat costs to maintain the necessary microclimate parameters. Among the main reasons for the low energy efficiency of buildings, there is a low level of thermal resistance of the main building structures. Therefore, in this scientific work, the task is to provide for a device of heat-reflecting thermal insulation between the heating devices and the outer wall and also the choice of heat-insulating material for building envelopes.

The research objective. The purpose of this scientific work is to formulate measures for the modernization of building envelopes of buildings and structures based on a comprehensive analysis of space-planning, structural and engineering solutions, as well as for planning, organizing and conducting energy audits of existing buildings with the development of recommendations for improving the energy efficiency of relevant facilities.

The statement of basic materials. The thermal insulation layer can be performed by various methods, depending on the type and density of the thermal insulation products. The geometrical parameters of the 22 building of the CNUT for energy protection of the building were determined, and on their basis the thermal engineering parameters of the building were calculated with the subsequent experimental determination of thermal imaging diagrams and their processing in the software package.

Conclusions. As a result of the research, the characteristics of the building were obtained, which allow to evaluate its energy efficiency. Moreover, when the building has a high energy saving class, this allows to allocate less heat load to it, and as a result, heating costs are reduced. A methodology for assessing the energy efficiency of the building and the choice of heat-insulating materials has been proposed, and it includes the estimated conditions for the functioning of the building, geometric and heat

engineering indicators, as well as energy efficiency coefficients and complex indicators that allow rational selection of the thermal modernization scheme for building envelopes. The use of this technique in assessing the energy efficiency of the educational building of CNUT allows increasing the energy efficiency of the construction site and reducing the cost of heating it.

Keywords: energysaving; thermal imager; fencing structures.

Fig.: 7. **References:** 5.

Сахно Євгеній Юрійович – доктор технічних наук, професор кафедри геодезії, картографії та землеустрою, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

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

E-mail: evsakhno@ukr.net

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

ResearcherID: M-3987-2016

Терещук Олексій Іванович – кандидат технічних наук, доцент, директор навчально-наукового інституту будівництва, професор кафедри геодезії, картографії та землеустрою, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Белова, 4, м. Чернігів, 14000, Україна).

Tereshchuk Oleksii – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Director of the Educational and Scientific Institute of Construction, Professor of the Department of Geodesy, Cartography and Land Management, Chernihiv National Technological University (4 Bielova Str., 14000 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: olexter1957@gmail.com

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6433-9351>

ResearcherID: M-3987-2016

Федорцов Станіслав Олександрович – здобувач вищої освіти, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

Fedortsov Stanislav – Applicant for higher education, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: stas19980777@gmail.com

Сипливець Віктор Володимирович – здобувач вищої освіти, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

Siplevich Victor – Applicant for higher education of, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: viktorsyp@gmail.com

Віктор Мовенко

МОНІТОРИНГ РАДІАЦІЙНОГО ЗАБРУДНЕННЯ ТЕРИТОРІЇ ЧОРНОБІЛЬСЬКОЇ ЗОНИ

Актуальність теми дослідження. Минуло тридцять п'ять років після аварії на Чорнобильській АЕС. За цей час у навколишньому середовищі відбувалися постійні зміни під впливом природних і зумовлених діяльністю людини факторів. Пізнання цих змін неможливе без відокремлення антропогенних процесів від природних, для чого й організують спеціальні спостереження за різноманітними параметрами біосфери, які змінюються внаслідок людської діяльності. Саме в спостереженні за довкіллям, оцінюванні його фактичного стану, прогнозуванні його розвитку полягає сутність моніторингу радіаційного забруднення території Чорнобильської зони в сучасних умовах.

Постановка проблеми. Дослідження сучасних технологічних процедур та технічних засобів проведення моніторингу, для подальшого створення системи комплексного радіологічного контролю навколишнього середовища, забезпечить попередження та усунення негативних змін стану навколишнього середовища на території як Чорнобильської зони відчуження (ЧЗВ), так і всієї України.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Були розглянуті останні публікації та звіти у відкритому доступі, присвячені проблемам моніторингу радіаційного забруднення території Чорнобильської зони в сучасних умовах.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Ведення комплексного радіоекологічного моніторингу навколишнього середовища в районах розташування об'єктів радіаційної небезпеки потребує постійного контролю і спостереження за радіаційною ситуацією в навколишньому середовищі з метою визначення рівня його забруднення та швидкого реагування на надзвичайні події та попередження можливих радіаційних аварій, а також зменшення їх наслідків для населення і навколишнього природного середовища.

Постановка завдання. Проведення комплексного моніторингу радіаційного забруднення потребує адаптування системи RODOS для умов Чорнобильської зони відчуження та потенційних специфічних джерел викиду в ЧЗВ, створення повного реєстру зібраних даних для адаптації системи RODOS до умов території ЧЗВ, систематизованого опису джерел викиду при лісових пожежах, смерчах, затопленнях у ЧЗВ та під час робіт зі зняття з експлуатації ЧАЕС.

Виклад основного матеріалу. У статті розглянуто питання ведення комплексного радіоекологічного моніторингу навколишнього середовища в районах розташування об'єктів радіаційної небезпеки, використання автоматизованої системи контролю радіаційної обстановки (АСКРО), впровадження системи підтримки прийняття рішень у реальному часі при реагуванні на ядерні аварії – RODOS в Чорнобильській зоні відчуження.

Висновки відповідно до статті. Впровадження систем АСКРО та RODOS в Чорнобильській зоні дозволило створити цілісну систему радіоекологічного моніторингу навколишнього природного середовища державного, регіонального й локального рівнів, яка призначена для вирішення основних завдань управління екологічною безпекою, зокрема й на об'єктах підвищеної небезпеки.

Ключові слова: Чорнобильська зона відчуження (ЧЗВ); система контролю за радіаційною ситуацією (АСКРО); автоматизована система RODOS.

Рис.: 4. Бібл.: 12.

Актуальність теми дослідження. Минуло тридцять п'ять років після аварії на Чорнобильській АЕС. За цей час у навколишньому середовищі відбувалися постійні зміни під впливом природних і зумовлених діяльністю людини факторів. Пізнання цих змін неможливе без відокремлення антропогенних процесів від природних, для чого і організують спеціальні спостереження за різноманітними параметрами біосфери, які змінюються внаслідок людської діяльності. Саме в спостереженні за довкіллям, оцінюванні його фактичного стану, прогнозуванні його розвитку полягає сутність моніторингу радіаційного забруднення території Чорнобильської зони в сучасних умовах [1].

Постановка проблеми. Дослідження сучасних технологічних процедур та технічних засобів проведення моніторингу, для подальшого створення системи комплексного радіологічного контролю навколишнього середовища, забезпечить попередження та усунення негативних змін стану навколишнього середовища на території як Чорнобильської зони відчуження (ЧЗВ), так і всієї України [2; 3].

Аналіз останніх досліджень та публікацій. При підготовці статті були розглянуті нормативні документи, дослідження та публікації у відкритому доступі [4; 5; 6; 7; 8], присвячені проблемам моніторингу радіаційного забруднення території Чорнобильської зони в сучасних умовах.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Ведення комплексного радіоекологічного моніторингу навколишнього середовища в районах розташування об'єктів радіаційної небезпеки потребує постійного контролю і спостереження за радіаційною ситуацією

в навколишньому середовищі з метою визначення рівня його забруднення та швидкого реагування на надзвичайні події та попередження можливих радіаційних аварій, а також зменшення їхніх наслідків для населення і навколишнього природного середовища.

Постановка завдання. Проведення комплексного моніторингу радіаційного забруднення потребує адаптування системи RODOS для умов Чорнобильської зони відчуження та потенційних специфічних джерел викиду в ЧЗВ, створення повного реєстру зібраних даних для адаптації системи RODOS до умов території ЧЗВ, систематизованого опису джерел викиду при лісових пожежах, смерчах, затопленнях у ЧЗВ та під час робіт зі зняття з експлуатації ЧАЕС.

Виклад основного матеріалу. Моніторинг системи радіаційного контролю Чорнобильської АЕС здійснюється відповідно до вимог проєктної та нормативної документації для етапу експлуатації атомних електростанцій. Такий контроль на Чорнобильській АЕС був реалізований шляхом створення системи радіаційного (радіоекологічного) моніторингу [9].

Комплексна система радіаційного моніторингу й раннього попередження (КСРМіРП) у Чорнобильській зоні відчуження розроблена з метою розширення функцій модернізованої автоматизованої системи контролю за радіаційною ситуацією (АСКРО) та удосконалення процесів постійного контролю та моніторингу радіаційного (радіоекологічного) стану навколишнього природного середовища в Чорнобильській зоні відчуження (ЗВ) і зоні безумовного (обов'язкового) відселення, а також за її межами.

КСРМіРП об'єднує мережу з автоматизованих постів контролю, які безперервно здійснюють моніторинг навколишнього середовища і передають отримані дані за допомогою радіоканалу, використання якого найбільш доцільно на території Чорнобильської зони відчуження. Загальна площа покриття мережі КСРМіРП становить понад 2000 км².

Державною інспекцією ядерного регулювання України виданий Наказ «Про затвердження загальних положень безпеки при поводженні з радіоактивними відходами до їх захоронення», де одним із пунктів є ведення радіаційно-дозиметричного контролю суб'єктів, які проводять свою діяльність у сфері поводження з радіоактивними відходами (РАВ) [4].

Суб'єкт РАВ забезпечує ведення радіаційно-дозиметричного контролю, моніторингу навколишнього природного середовища та індивідуального дозиметричного контролю персоналу під час провадження діяльності з поводження з РАВ до їх захоронення.

Суб'єкт РАВ:

- призначає з числа керівництва особу, відповідальну за ведення радіаційно-дозиметричного контролю та моніторингу, збереження та аналіз отриманих результатів;
- затверджує положення про службу радіаційної безпеки (особу або підрозділ, відповідальну(ий) за радіаційний контроль);
- встановлює контрольні рівні.

Суб'єкт РАВ забезпечує ведення бази даних результатів радіаційно-дозиметричного контролю, моніторингу навколишнього природного середовища та індивідуального дозиметричного контролю персоналу, збереження відповідних даних, а також аналіз отриманих результатів. Аналіз отриманих результатів враховується при переоцінках рівня безпеки об'єкта, призначеного для поводження з РАВ, розробці і впровадженні заходів із підвищення безпеки діяльності та оптимізації радіаційного впливу на персонал, населення та навколишнє природне середовище.

Зона відчуження і зона безумовного (обов'язкового) відселення (далі – зона відчуження) є частиною території, що зазнала найбільшого радіоактивного забруднення внаслідок Чорнобильської катастрофи, з особливою формою управління, землі якої виведені з господарського обігу й відмежовуються від суміжної території.

На території зони відчуження розміщені радіаційно-ядерні об'єкти, система радіаційно-екологічного контролю та моніторингу, об'єкти інфраструктури, які потребують зняття з експлуатації, переведення в екологічно безпечний стан та забезпечення розвитку з урахуванням інтересів держави, зокрема ядерно-енергетичного комплексу.

Земельні, водні та лісові ресурси зони відчуження, які виконують функцію природного бар'єру на шляху розповсюдження радіоактивного забруднення за її межі, потребують постійного контролю, обслуговування і використання з дотриманням вимог радіаційної безпеки.

Сьогодні діяльність у зоні відчуження здійснюється за такими напрямками:

- підтримка бар'єрної функції та забезпечення функціонування об'єктів інфраструктури;

- зняття Чорнобильської АЕС з експлуатації та перетворення об'єкта «Укриття» на екологічно безпечну систему;

- безпечне поводження з радіоактивними відходами, зокрема тими, що утворилися внаслідок Чорнобильської катастрофи, та відпрацьованим ядерним паливом;

- підтримання в безпечному стані побудованих після Чорнобильської катастрофи об'єктів локалізації радіоактивних відходів;

- очищення та дезактивація забрудненої території.

Широке використання ядерної енергії в Україні, що почалося в 50-х роках ХХ сторіччя, супроводжується утворенням радіоактивних відходів, різних за активністю, ізотопним та агрегатним станом. Безпечне поводження з цими відходами є важливою складовою загальної системи забезпечення безпеки при використанні ядерної енергії. Україна успадкувала від колишнього СРСР інфраструктуру поводження з радіоактивними відходами, яка відповідала підходу, особливостями якого були мінімізація витрат на переробку й захоронення відходів і недооцінка масштабу проблем, вирішення яких покладалося на майбутні покоління.

Ситуація з радіоактивними відходами набагато ускладнилася після Чорнобильської катастрофи, у результаті якої утворилися сотні тисяч кубічних метрів радіоактивних відходів різних категорій та типів.

Радіоактивні відходи чорнобильського походження знаходяться нині на пунктах захоронення радіоактивних відходів, пунктах тимчасової локалізації радіоактивних відходів, на об'єкті «Укриття» і поза зоною відчуження. Велика кількість радіоактивних відходів чорнобильського походження є довгоіснуючими. Значна їх частина зберігається в умовах, які не повністю відповідають нормам, правилам і стандартам радіаційної безпеки.

За час незалежності в Україні підходи щодо забезпечення безпеки поводження з радіоактивними відходами були переглянуті на основі рекомендацій МАГАТЕ та інших міжнародних організацій, що акумулювали досвід країн, які мають значний практичний досвід і розвинули інфраструктуру для безпечного поводження з радіоактивними відходами.

Нові підходи знайшли відображення в національних законодавчих і нормативно-правових актах України. Однак залишається необхідність у подальшому їх впровадженні і застосуванні в практичній діяльності.

На рис. 1 наведені кругові діаграми щодо загальних обсягів радіоактивних відходів, накопичених в Україні станом на 01.01.2018.

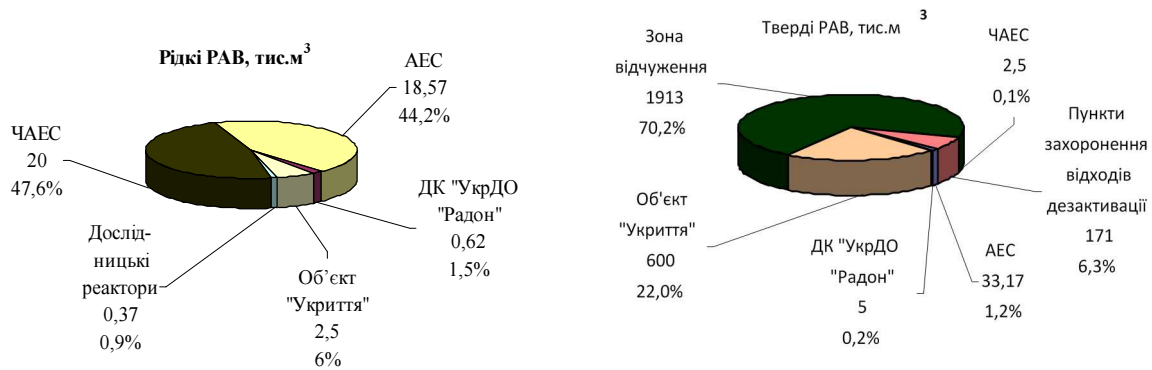


Рис. 1. Діаграми загального обсягу рідких і твердих радіоактивних відходів, накопичених в Україні

Контроль зняття з експлуатації здійснюється відповідно до Програми радіаційно-екологічного моніторингу зняття з експлуатації (ПРЕМ). При цьому визначені основні напрями спостережень:

- моніторинг за рівнем води у водоймищі;
- метеорологічні спостереження;
- моніторинг радіаційного забруднення ґрунтів;
- моніторинг якості повітря (радіоактивне забруднення в приземному шарі атмосфери на прилеглих територіях і додаткове забруднення територій);
- моніторинг підземних вод;
- моніторинг поверхневих вод;
- моніторинг екосистемних змін, проведення гідробіологічних спостережень.

Спорудження нового безпечного конфайнмента (НБК) над об'єктом «Укриття» не припускає організації нових джерел викиду тепла або вологи в навколишнє середовище. Тому для нормальних умов будівництва НБК, а також при аварійних ситуаціях і аваріях при будівництві будь-які істотні зміни мікроклімату не прогноуються.

Після завершення будівництва НБК його вплив на мікроклімат проявляється у вигляді змін:

- відбитої і поглинутої сонячної радіації;
- повітряних потоків на прилеглий до НБК частини промайданчика ЧАЕС;
- температури й вологості навколишнього середовища в безпосередній близькості до НБК;
- вітрових навантажень на найближчі об'єкти ДСП ЧАЕС.

При експлуатації НБК будь-які істотні зміни існуючих нерадіаційних впливів на повітряне середовище не прогноуються.

При нормальних умовах експлуатації НБК сумарна активність організованих і неорганізованих викидів з НБК за рахунок викидів об'єкта «Укриття» буде зменшена на кілька порядків в порівнянні з такими викидами, що відбуваються нині.

Додаткові нерадіаційні впливи на ґрунти при експлуатації НБК теж не прогноуються. Оскільки при будівництві та експлуатації НБК радіаційний вплив на повітряне середовище не прогноується, то додаткове забруднення ґрунтів за рахунок радіоактивних випадінь буде на багато менше наявного фонового забруднення чорнобильського походження, навіть з урахуванням накопичення протягом усього проектного періоду експлуатації НБК (100 років).

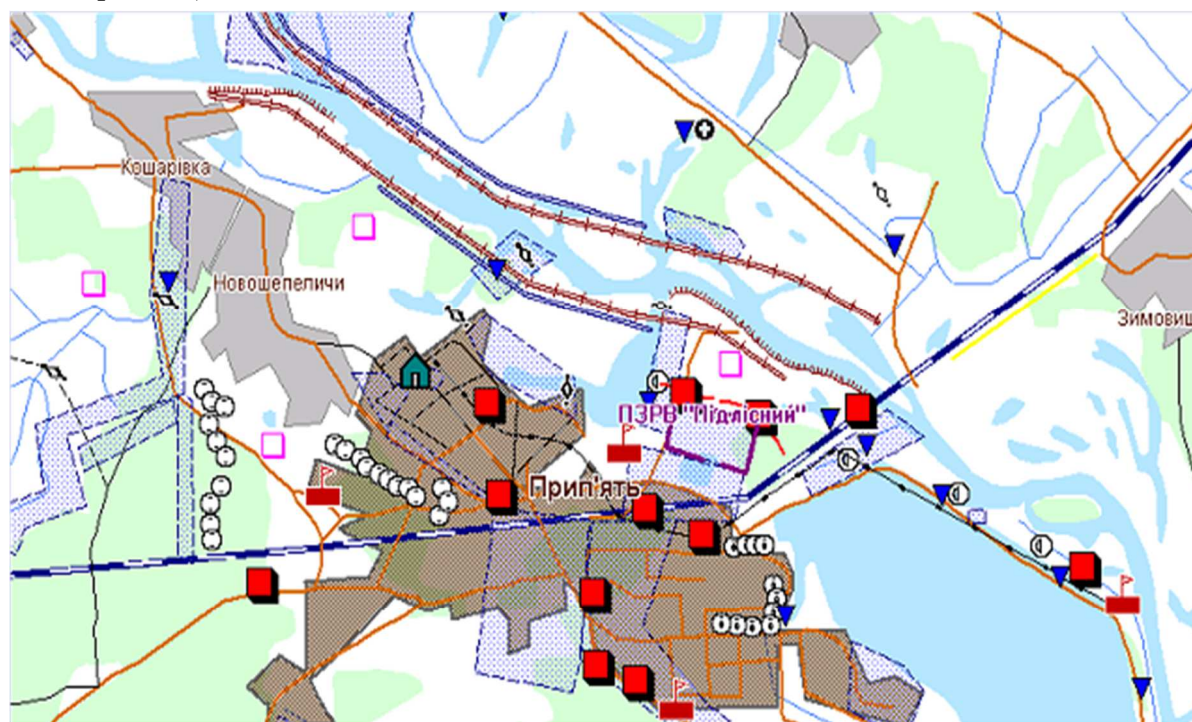
Жоден із можливих джерел радіаційних впливів (забруднення повітряного середовища і територій у результаті викидів, додаткове опромінення персоналу) не приведе до якого-небудь значущого додаткового негативного впливу на техногенні об'єкти ЗВ за нормальних умов будівництва і експлуатації НБК на тлі впливів чорнобильського походження.

Моніторинг забруднення радіонуклідами приземного шару атмосфери (на висоті 1 м від поверхні землі) в ЗВ здійснюється за такими параметрами:

- концентрація радіонуклідів в приземному шарі атмосфери (виконується в 4 пунктах спостережень у ближній зоні ЧАЕС і 9 пунктах в далекій зоні ЧАЕС, а також на двох виробничих підприємствах (рис. 2);

- інтенсивність атмосферних радіоактивних випадінь (виконується в 29 пунктах спостережень);

- змісту «гарячих» частинок в приземному шарі атмосфери (виконується в 9 пунктах спостережень).



- - пости розміщення контролю радіоактивного забруднення повітря Чорнобильської зони
- ▼ - пости розміщення контролю радіоактивного забруднення водоймищ Чорнобильської зони

Рис. 2. Розміщення постів радіаційного контролю радіоактивного забруднення приземного шару повітря та водоймищ Чорнобильської зони

Регламентні роботи з контролю радіаційного забруднення приземного шару атмосфери в далекій зоні спостереження виконуються на пунктах контролю АСКРО (рис. 3). Сюди відносяться також місця найбільш тривалого перебування персоналу зони відчуження – м. Чорнобиль і КДМ «Дитятки».

Протягом всього часу моніторингу зони відчуження спостерігається стійка тенденція до зменшення концентрації радіонуклідів «чорнобильського» походження в повітрі і як, наслідок, зменшення загального радіоактивного забруднення приземного шару атмосфери як у ближній, так і в далекій зоні ЧАЕС.

Радіаційно-екологічний моніторинг на ЧАЕС організований відповідно до нормативних документів, що повинно забезпечити екологічну безпеку персоналу і населення, раціональне використання природних ресурсів, дотримання встановлених нормативів шкідливого впливу на навколишнє природне середовище. Для виконання вимог законодавства на ЧАЕС створені системи контролю викидів, скидів, поводження з відходами.

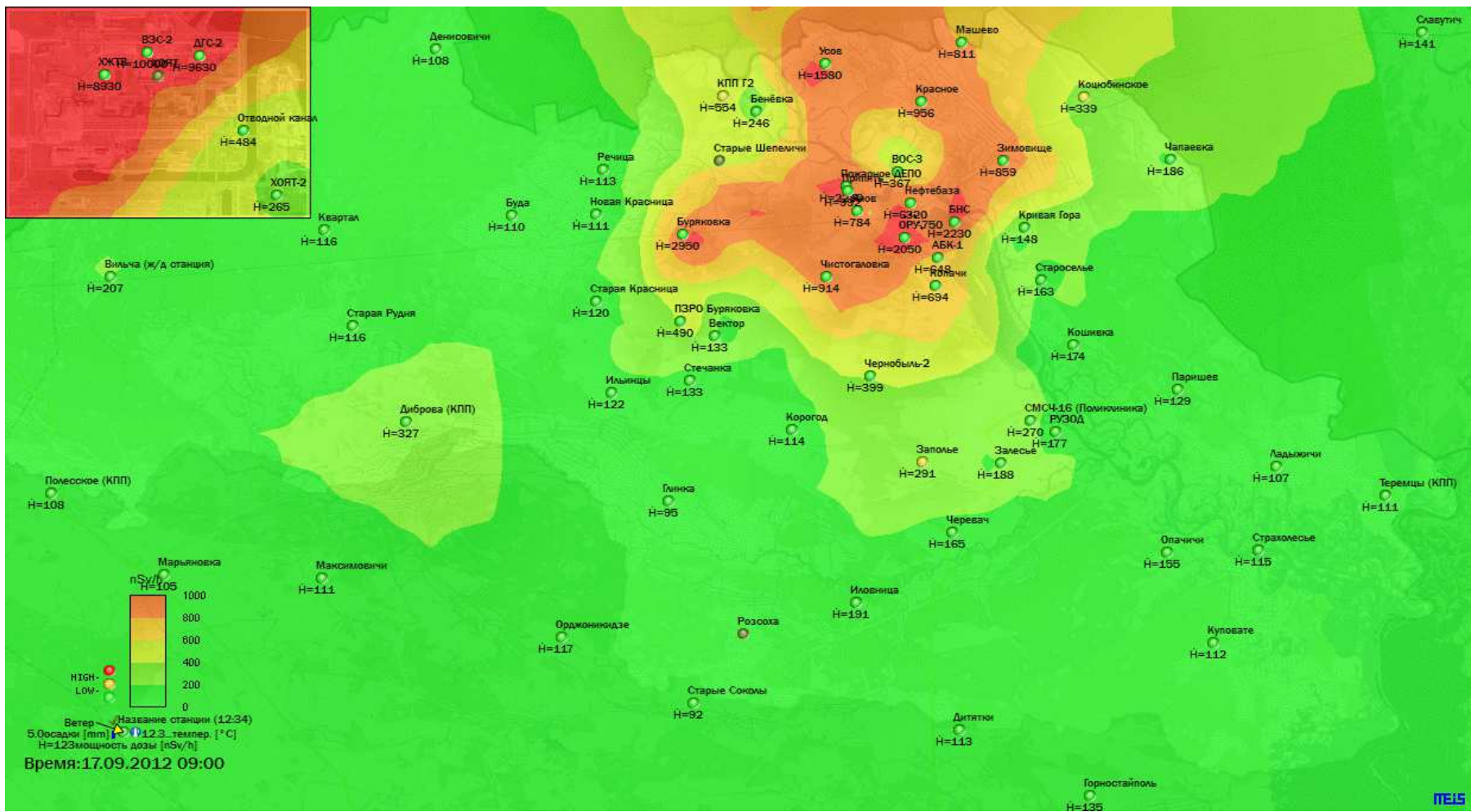


Рис. 3. Карта розподілу потужності доз радіації на території зони відчуження

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

У межах проекту ТАСІS U4.01/03S корпорацією «Укратомприлад» була впроваджена нова, модернізована Автоматизована система контролю радіаційної обстановки (АСКРО) в Чорнобильській зоні відчуження (рис. 4) [7].

Система АСКРО ДСП ЧАЕС призначена для:

- контролю радіаційної обстановки на промисловому майданчику ДСП ЧАЕС;
- визначення перевищення значень параметрів потужності експозиційної дози (ПЕД) над контрольними рівнями.

Склад обладнання системи АСКРО ДСП ЧАЕС:

- установка СРРМ-2 (система радіаційної розвідки місцевості);
- модем;
- персональний комп'ютер;
- монітор;
- клавіатура.

АСКРО виконана на датчиках «RADIO-Gamma TRACER - Basic». Усього в зоні встановлено 39 датчиків для визначення потужності дози на місцевості. Місця розташування та установки датчиків «RADIO-Gamma TRACER» наведені на рис. 3. Одиниці виміру – мкЗв/год. RADIO-Gamma TRACER – це зонд «Gamma TRACER», обладнаний радіо модулем «Sky Link», який передає вимірювані дані. Крім регулярного вимірювання і запису рівня доз радіації, «RADIO-Gamma TRACER» транслює дані на базову станцію по лінії радіозв'язку. Енергозберігаюча електронна технологія забезпечує постійне використання «Gamma TRACER» протягом п'яти років без будь-якого технічного обслуговування.

Основними функціями АСКРО є:

- автоматизований контроль радіаційної обстановки в зоні контролю і передача інформації на центральний пост у Чорнобильській зоні відчуження;
- збір, відображення та зберігання інформації у вигляді карт, таблиць, баз даних про вимірюваних радіаційних, метеорологічних і інших параметрах з можливістю їх відтворення, повторного деталізованого аналізу;
- контроль зміни параметрів контролю, відхилення від встановлених контрольних рівнів та прогнози радіаційної ситуації при погодних і техногенних аномаліях у контрольованій зоні;
- видача вихідних даних для моделювання розвитку радіаційної ситуації в зоні контролю і за її межами для попередження радіоактивного опромінення працюючого персоналу й населення;
- порівняння поточних значень контрольованих параметрів із заданими граничними рівнями і видача попереджувальних і аварійних сигналів перевищення значень параметрів оператору.

Завдяки сучасній технології цифрової обробки сигналу, споживання передавача мінімально і становить 10 мВт, забезпечуючи автономну роботу «RADIO-Gamma TRACER» протягом декількох років.

У зоні відчуження і безумовного (обов'язкового) відселення введена в дію модернізована автоматизована система контролю радіаційної обстановки АСКРО «Sky Link». Модуль «Sky Link» це УКХ (ультра коротко хвильовий) передавач, спеціально сконструйований для «Gamma TRACER». Модуль дозволяє здійснювати передачу вимірюваних «Gamma TRACER» значень по радіо на відстань до 100 км. Модуль «Sky Link» включає в себе антену, розташовану в спеціальній насадці на корпусі. Вона щільно закріплена на верхньому кінці «Gamma TRACER» і утворює з корпусом постійно закритий герметичний блок. З боку центрального поста аналізуються сигнали, послані модулем «Sky Link», приймаються приймачем з високими характеристиками. Тут сигнали декодуються з використанням цифрових методів обробки сигналу. Після цього отримані з

«Gamma TRACER» виміряні значення можуть бути використані для поточного представлення результатів. Вид уявлення і обробка поточних даних можуть бути модифіковані відповідно до вимог користувача.

Переваги даної системи:

- унікальна система бездротового зв'язку SkyLINK з передачею даних із незалежного радіоканалу на відстань до 100 км;
- датчики GammaTRACER: повна автономність, живлення від вбудованих батарей до 5 років, пам'ять вимірювань до трьох років.

Принципи, закладені при створенні АСКРО в Чорнобильській зоні відчуження (автономність, інформативність, надійність, низькі експлуатаційні витрати) актуальні не тільки для зони відчуження, але і при створенні інших подібних територіальних і регіональних систем радіаційного екологічного моніторингу.

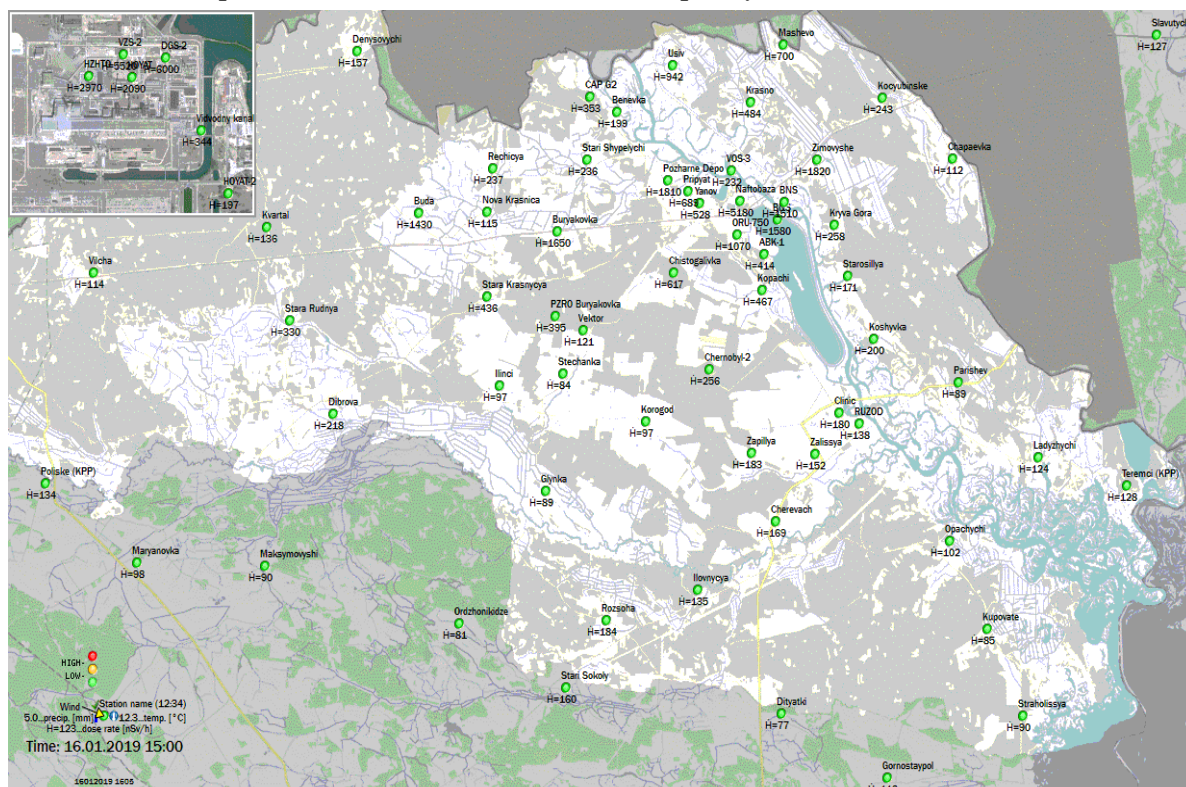


Рис. 4. Комплексна система радіаційного моніторингу Чорнобильської зони відчуження

Європейський Союз у межах програми «TACIS» паралельно з системою ГАММА розробив і впровадив систему підтримки прийняття рішень в реальному часі при реагуванні на ядерні аварії – RODOS [10]. Основними завданнями системи є забезпечення засобами для оброблення і управління великими об'ємами інформації метеорологічного та радіаційного характеру, оцінювання і прогнозування радіаційної ситуації, а також моделювання використання контрзаходів і варіантів дій у випадку аварії.

Таким чином, основним завданням ядерно-радіаційного моніторингу є контроль за станом ядерно-радіаційних об'єктів і напрацювання заходів щодо зниження ступеня їх шкідливості, оцінювання і прогнозування радіаційної обстановки на об'єктах природного середовища.

Впроваджена у більшості країн ЄС та інших країнах світу як інструментарій підвищення аварійної готовності, підтримки тренувань і розробки планів аварійного реагування, і - найважливіше - для використання в кризових центрах для прогнозування у випадку аварії на АЕС (інших ядерних об'єктах), наслідків таких аварій на основі даних

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

оперативного моніторингу радіаційного стану довкілля, прогнозу погоди і водності річок, радіоактивного забруднення і доз для населення, а також прогнозу ефективності після аварійних контрзаходів [11].

RODOS створено як комплексну систему, що включає моделі і бази даних для моделювання і оцінок наслідків протягом всього після аварійного періоду.

RODOS забезпечує прогнозування: розповсюдження радіонуклідів в повітрі та випадках на поверхню; забруднення поверхневих вод і продуктів харчування; доз зовнішнього і внутрішнього опромінювання, а також забезпечує підтримку прийняття управлінських рішень з аварійного реагування на основі деталізованого аналізу переваг і недоліків різних стратегій і дозволяє проводити їх ранжирування з урахуванням вимог нормативно-правових та санітарно-гігієнічних актів особам, які приймають рішення.

RODOS дає можливість оцінювати ситуацію від моменту загрози аварії протягом всього терміну довгострокових заходів, що впроваджуються місяці і роки після аварії.

Завдання розробки RODOS – це система підтримки прийняття рішень і управління при надзвичайних ситуаціях на ядерних об'єктах на урядовому і регіональному рівнях; пропонує інструменти та засоби, що можуть бути ефективно застосовані на стадії доаварійної підготовки.

Таким чином, впровадження RODOS в Україні дозволить гармонізувати систему аварійного реагування в Україні з сусідніми європейськими країнами і підніме рівень аварійного реагування в Україні до європейських стандартів [12].

Висновки і пропозиції. Впровадження системи RODOS в Чорнобильській зоні дозволило створити цілісну систему радіоекологічного моніторингу навколишнього природного середовища державного, регіонального й локального рівнів, яка призначена для вирішення основних завдань управління екологічною безпекою, зокрема на об'єктах підвищеної небезпеки.

У процесі моніторингів, які проводяться в Чорнобильській зоні відчуження, отримані результати можна сформулювати таким чином:

- комплексний радіоекологічний моніторинг ґрунтується на інформації, отриманій внаслідок здійснення базових видів радіаційного моніторингу;
- ядерно-радіаційний моніторинг забезпечує система спостережень і контролю за станом потенційно небезпечних радіаційних об'єктів, до яких належить АЕС, а також об'єкт «Укриття».

Необхідно розширити систему RODOS так, щоб вона мала змогу опрацьовувати наступну інформацію:

- збирати дані щодо Чорнобильської зони відчуження. (передбачити збирання всіх відповідних даних, специфічних для території Чорнобильської зони відчуження);
- встановити спеціалізоване програмне забезпечення для детального розрахунку на майданчику в ЧЗВ;
- організувати передачу даних від станцій моніторингу в ЧЗВ до бази даних в Українському гідрометцентру;
- визначити джерела викиду для класів пожеж та смерчів, які повинні бути включені до бази даних RODOS. Ці джерела викиду можуть ґрунтуватись на емпіричному підході;
- інтегрувати Чорнобильську АЕС у список АЕС системи RODOS з поточним переліком радіонуклідів;
- інтегрувати джерела викиду від можливих сценаріїв аварій для нового безпечного конфайнмента.

Достовірність і точність отриманої у процесі радіологічного контролю інформації забезпечує використання методів радіаційного контролю.

Така система, побудована на основі передових сучасних науково-технічних досягнень у галузі радіаційної безпеки та радіоекології, здатна визначати критичні джерела й фактори радіаційного впливу на персонал, населення й навколишнє середовище як у штатному режимі роботи об'єктів, так і у випадку аварій на них; оперативно оцінювати процеси первинного та вторинного радіаційного забруднення довкілля; прогнозувати дози та ризики опромінення персоналу та населення, суттєво підвищувати рівень готовності до реагування на важкі радіаційні аварії на об'єктах атомної енергетики і промисловості України; забезпечити пріоритетність та підвищити оперативність контрзаходів у випадку можливої радіаційної аварії, в першу чергу на її початковій стадії, і може стати невід'ємною частиною державної системи моніторингу.

Список використаних джерел

1. Про використання ядерної енергії та радіаційну безпеку : Закон України від 08.02.1995 № 39/95-ВР.
2. Про захист людини від іонізуючого випромінювання : Закон України від 14.01.1998 № 15/98-ВР.
3. Про охорону навколишнього середовища : Закон України від 25.06.1991 № 1264-ХІІ.
4. Про затвердження Загальних положень безпеки при поводженні з радіоактивними відходами до їх захоронення : Наказ Державної інспекції ядерного регулювання України від 01.08.2017 № 279.
5. Маренець А. О. Моніторинг радіаційного забруднення території Чорнобильської зони відчуження в сучасних умовах : автореф. випускної кваліфікаційної роботи на здобуття освітнього рівня магістра за спеціальністю 193 «Геодезія та землеустрій» / ЧНТУ. Чернігів, 2019. 16 с.
6. Іванов Є. А. Радіоекологічні дослідження. Радіоекологічний моніторинг в Україні : навч. посіб. Львів : Видавничий центр ЛНУ імені Івана Франка, 2004. 149 с.
7. Інструкція із експлуатації АСКРО ДСП ЧАЕС.
8. Моніторинг довкілля та охорона навколишнього середовища : навч. посіб. / уклад. канд. техн. наук, доц. О. В. Булгакова. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2017.
9. Норми радіаційної безпеки України. Доповнення: радіаційний захист від джерел потенційного опромінення НРБУ-97/Д-2000 (ДГН 6.6.1.-6.5.061-2017).
10. Програма тестування RODOS, що встановлюється в окремих користувачів системи. // Технічний проект системи підтримки прийняття рішень ДП «НАЕК «Енергоатом» і ВП АЕС для ефективного і скоординованого аварійного реагування, заснованої на програмному забезпеченні RODOS, 2018.
11. Стандарти безпеки МАГАТЕ. Система управління для установок і робіт. (Вимоги безпеки). GS-R-3.
12. Технічне завдання: Розширення системи підтримки рішень RODOS в Україні на Чорнобильську зону відчуження. Контракт 2016/374-667.

References

1. Pro vykorystannia yadernoi enerhii ta radiatsiinu bezpeku [On the Use of Nuclear Energy and Radiation Safety]. № 39/95-VR (08.02.1995).
2. Pro zakhyst liudyny vid ionizuiuchoho vyprominiuvannia [On protection of man from ionizing radiation]. № 15/98-VR (14.01.1998).
3. Pro okhoronu navkolyshnoho seredovyscha [On Environmental Protection]. № 1264-XII (25.06.1991).
4. Pro zatverdzhennia Zahalnykh polozhen bezpeky pry povodzhenni z radioaktyvnymy vidkhodamy do yikh zakhoronennia [On approval of the General safety regulations for the management of radioactive waste before disposal]. № 279 (01.08.2017).
5. Marenets, A. O. (2019). *Monitorynh radiatsiinoho zabrudnennia terytorii Chornobylskoi zony vidchuzhennia v suchasnykh umovakh* [Monitoring of radiation pollution of the Chernobyl Exclusion Zone in modern conditions]. (Author's abstract of the final qualifying work for the master's degree in specialty 193 "Geodesy and Land Management"). ChNTU. Chernihiv [in Ukrainian].
6. Ivanov, Ye. A. (2004). *Radioekolohichni doslidzhennia. Radioekolohichni monitorynh v Ukraini* [Radioecological research. Radioecological monitoring in Ukraine]. Lviv: Vydavnychiy tsentr LNU imeni Ivana Franka [in Ukrainian].

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

7. Instruksiiia iz ekspluatatsii ASKRO DSP ChAES [Operating instructions ASKRO ChSP NPP].
8. Bulhakova, O. V. (2017). *Monitorynh dovkillia ta okhorona navkolyshnoho seredovyscha [Environmental monitoring and environmental protection]*. Kharkiv: KhNUMH im. O. M. Beketova [in Ukrainian].
9. Normy radiatsiinoi bezpeky Ukrainy. Dopovnennia: radiatsiinyi zakhyst vid dzherel potentsiinoho oprominennia NRBU-97/D-2000 (DHN 6.6.1.-6.5.061-2017) [Radiation safety standards of Ukraine. Additions: radiation protection from potential radiation sources NRBU-97 / D-2000].
10. Prohrama testuvannia RODOS, shcho vstanovliuietsia v okremykh korystuvachiv systemy. // Tekhnichniy proekt systemy pidtrymky pryiniattia rishen DP «NAEK «Enerhoatom» i VP AES dlia efektyvnoho y skoordynovanoho avariinoho reahuvannia, zasnovanoi na prohramnomu zabezpechenni RODOS, 2018 r. [RODOS testing program installed in individual system users // Technical design of the decision support system of NNEGEC Energoatom and NPP for effective and coordinated emergency response based on RODOS software] (2018).
11. Standarty bezpeky MAHATE. Systema upravlinnia dlia ustanovok i robit. (Vymohy bezpeky). GS-R-3 [IAEA safety standards. Control system for installations and works. (Security requirements)].
12. Tekhnichne zavdannia: Rozshyrennia systemy pidtrymky rishen RODOS v Ukraini na Chornobylsku zonu vidchuzhennia. Kontrakt 2016/374-667 [Terms of reference: Expansion of the RODOS decision support system in Ukraine to the Chernobyl Exclusion Zone].

UDC 502.504

Victor Movenko

**MONITORING OF RADIATION POLLUTION
OF THE TERRITORY OF THE CHORNOBYL ZONE**

Urgency of the Research. *Thirty-five years have passed since the Chernobyl accident. During this time, the environment has undergone constant changes under the influence of natural and human factors. Knowledge of these changes is impossible without the separation of anthropogenic processes from natural, which is why they organize special observations on various parameters of the biosphere, which change as a result of human activity. It is in the observation of the environment, the assessment of its actual state, and the forecasting of its development, that the essence of monitoring of radiation pollution of the territory of the Chernobyl zone is under the present conditions.*

Target setting. *Investigation of modern technological procedures and technical means of monitoring to further create a system of integrated radiological control of the environment will ensure the prevention and elimination of negative changes in the state of the environment in the territory of both the Chernobyl Exclusion Zone (ChEZ) and throughout Ukraine.*

Actual scientific researches and issues analysis. *Recent publications and reports on open access concerning the problems of monitoring of radiation pollution of the Chernobyl zone in the current conditions have been considered.*

Uninvestigated parts of general matters defining. *Maintaining integrated radio-ecological environmental monitoring in areas where radiation hazards are located requires constant monitoring and monitoring of the radiation environment in the environment in order to determine its level of contamination and respond quickly to emergencies and prevent possible radiation accidents, as well as to prevent their occurrence. and the environment.*

The research objective. *Comprehensive monitoring of radiation pollution requires the adaptation of the RODOS system to the conditions of the Chernobyl Exclusion Zone and potential specific sources of emissions in the ChEZ, the creation of a complete register of collected data for the adaptation of the RODOS system to the conditions of the ChEZ, a systematic description of sources of emissions from forest fires, fires, during the decommissioning of the ChNPP.*

The statement of basic materials. *The article deals with the issues of integrated radio-ecological monitoring of the environment in the areas of radiation hazard objects, the use of an automated radiation monitoring system (ASCRO), the implementation of a real time decision support system in response to nuclear accidents - RODOS in Chernobyl.*

Conclusions. *The implementation of ASCRO and RODOS systems in the Chernobyl zone has allowed to create a comprehensive system of radio-ecological environmental monitoring of the state, regional and local levels, which is intended to solve the main tasks of environmental safety management, including, at high risk objects.*

Keywords: *Chernobyl Exclusion Zone (ChEZ); radiation monitoring system (ASCRO); automated RODOS system.*

Fig.: 4. References: 12.

Мовенко Віктор Іванович – старший викладач кафедри геодезії, картографії та землеустрою, Національний університет Чернігівська політехніка (вул. Белова 4, м. Чернігів, 14027, Україна).

Movenko Victor – senior lecturer of Department of Geodesy, Cartography and Land Management, Chernihiv National University of Technology (4 Bielova Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: viktor.movenko@gmail.com

ORCID: orcid.org/0000-0003-3395-3476

ResearcherID: <http://www.researcherid.com/rid/H-2364-2016>

Google Scholar: <https://scholar.google.com.ua/citations?user=YNglHagAAAAJ&hl=uk>

УДК 332.2

DOI: 10.25140/2411-5363-2020-2(20)-308-314

Олег Качановський

ЕКОЛОГО-ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА ВПЛИВУ НЕЗАКОННОГО ВИДОБУВАННЯ БУРШТИНУ НА СТАН ДОВКІЛЛЯ РІВНЕНСЬКОЇ ОБЛАСТІ

Актуальність теми дослідження. Сучасний стан навколишнього природного середовища північно-західної частини Українського Полісся характеризується величезними масштабами зміни агроландшафтів. Причинами порушення структури природних ландшафтів є самовільне видобування коштовного каміння – бурштину.

Постановка проблеми. Для України дана проблема набула особливої актуальності, адже екологічні наслідки від незаконного видобутку бурштину є катастрофічними, оскільки порушені біотопи не можуть відновитися в первісному стані природним шляхом, без втручання людини, вони потребують рекультивациі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У роботах присвячених цій проблемі розглянуті питання моніторингу та визначенню локацій порушених земель унаслідок незаконного видобування бурштину, використання та класифікація земель порушених видобувною промисловістю.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Запровадження економіко-правового механізму відшкодування порушником збитків, що завдані внаслідок незаконного видобутку бурштину, невиконанням робіт із рекультивациі земель після завершення експлуатації родовищ корисних копалин, забезпечить більш ефективний захист інтересів держави та територіальних громад, прав власників та користувачів земельних ділянок, позитивно вплине на зменшення правопорушень у сфері землекористування.

Мета роботи. Метою дослідження є оцінка впливу на екологічний стан території Рівненської області та економічна оцінка розміру шкоди, заподіяної незаконним видобуванням коштовного каміння.

Виклад основного матеріалу. Встановлено наявні ознаки негативного антропогенного впливу, які пов'язані з самовільним використанням надр, а саме: самовільно знятий родючий шару ґрунту, порушено цілісну структуру ґрунтового покриву, гідрологічного режиму, геологічну структуру території надр, знищено рослинність. При цьому порушенні землі як лісгосподарського, так сільськогосподарського призначення різної форми власності.

Після проведених досліджень визначено розмір заподіяної шкоди і відшкодування збитків, нанесених державі внаслідок незаконного видобутку дорогоцінного каміння.

Висновки відповідно до статті. На теренах Українського Полісся інтенсивно формуються техногенні піщані масиви та бедленди, площа яких постійно збільшується. Поширення подібних утворень на землях лісгосподарського й сільськогосподарського призначення, створює в регіоні загрози екологічну та економічну ситуацію.

Ключові слова: незаконний видобуток бурштину; бурштин; Landsat; порушені землі; рекультивациія; розмір відшкодування збитків.

Рис.: 3. Табл.: 1. Бібл.: 12.

Актуальність теми дослідження. Сучасний стан навколишнього природного середовища північно-західної частини Українського Полісся характеризується величезними масштабами зміни агроландшафтів. Причинами порушення структури природних ландшафтів є самовільне видобування коштовного каміння – бурштину.

Постановка проблеми. В Україні земля є особливо цінним видом природних ресурсів. Згідно зі ст. 14 Конституції України земля є основним національним багатством, що перебуває під особливою охороною держави [1].

В умовах фінансово-економічної кризи в нашій державі значного поширення набула проблема незаконного видобування бурштину. У Рівненській області відсутні відомості про обсяги матеріальної шкоди, заподіяної державі внаслідок незаконної діяльності з використання надр, також не досліджується оцінка впливу незаконного видобутку на екологічний стан, тому актуальним є вивчення цього питання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Згідно з результатами досліджень порушення ґрунтового покриву є наслідком нераціональної, логічно необумовленої діяльності людини. Для регламентування питань із подальшого використання земель, порушених видобувною промисловістю, Л. В. Моторіна, В. О. Овчінніков запропонували детальну класифікацію та рекомендували заходи з рекультивациі [2]. В. І. Прокопенко, В. І. Фененко, О. О. Кириченко розкривають питання розвитку еколого-економічної оцінки природного потенціалу й удосконалення механізму управління землекористуванням [3]. Проблема використання даних дистанційного зондування для виявлення місць незаконного видобування бурштину висвітлена в наукових працях В. Є. Філіповича [4], С. С. Ковалевського [5].

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Механізм відшкодування збитків, що завдані невиконанням робіт із рекультивації земель, після завершення експлуатації родовищ корисних копалин залишається недостатньо дослідженим. Тому важливим залишається питання розробки нового та вдосконалення чинного законодавства щодо діяльності з видобування бурштину та рекультивації порушених земель.

Постановка завдання. Дослідження екологічних та економічних засад охорони земель. Оцінка впливу незаконної діяльності використання надр на екологічний стан території Рівненської області та економічна оцінка розміру шкоди, заподіяної незаконним видобуванням коштовного каміння.

Виклад основного матеріалу. За даними Держгеокадастру в Рівненській області земель лісогосподарського призначення, порушених унаслідок незаконного видобутку бурштину, близько 4,16 тис. га, що становить 92 % від загальної кількості земель державної власності, порушених унаслідок незаконного видобутку бурштину, або 73 % від загальної кількості земель області державної та приватної власності, порушених унаслідок незаконного видобутку бурштину [6]. У зв'язку з тим, що площі порушених земель постійно збільшуються, постає необхідність проведення інвентаризації цих земель та розроблення робочих проєктів землеустрою щодо їх рекультивації.

Об'єктом дослідження слугував масив на території Каноницької сільської ради поблизу с. Дубівка Володимирецького району Рівненської області (рис. 1). Відповідно до методики застосування матеріалів багатозональних космічних зйомок, яка дозволяє з великою достовірністю визначити й локалізувати місця незаконного видобутку та реально оцінити масштаби екологічного лиха [7], проаналізовано космічні знімки за період з 2011 по 2019 роки.

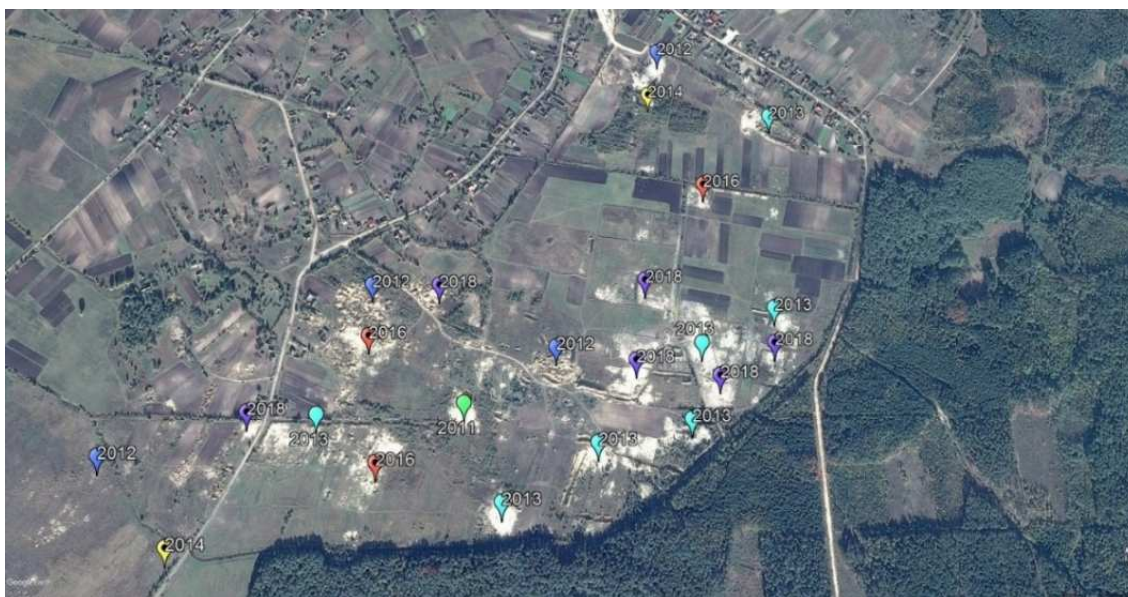
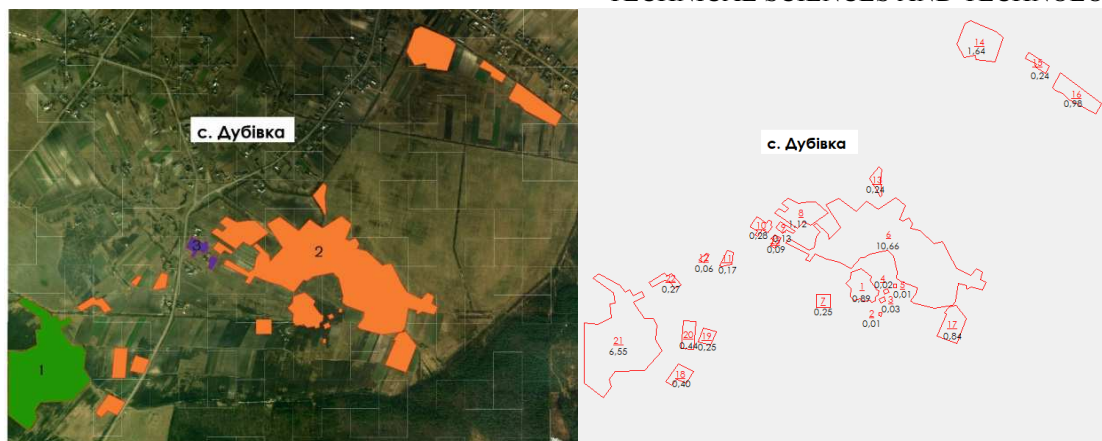


Рис. 1. Схема ідентифікації ділянок нелегального видобутку бурштину за роками з 2011–2019 рр. с. Дубівка Володимирецький район Рівненська область
Джерело: Google maps.

Після проведеної інвентаризації земель визначено загальну площу порушених земель, яка становить 25,57 га з них землі сільськогосподарського призначення 18,65 га, землі лісогосподарського призначення 6,55 га, землі житлової та громадської забудови 0,37 га (рис. 2).



*Рис. 2. Ідентифікація ареалів нелегального видобутку бурштину.
с. Дубівка Володимирецький район Рівненська область:*

*1 – землі лісогосподарського призначення; 2 – землі сільськогосподарського призначення;
3 – землі житлової та громадської забудови*

При здійсненні діяльності, пов'язаної з порушенням поверхневого шару ґрунту, роботи з рекультиватії земель є обов'язковими, відповідно до статті 168 Земельного кодексу України. Власники земельних ділянок та землекористувачі повинні здійснювати зняття, складування, зберігання поверхневого шару ґрунту та нанесення його на ділянку, з якої він був знятий (рекультиватія), або на іншу земельну ділянку для підвищення її продуктивності та інших якостей [8].

Вилучення з господарського обігу земель та проведення їх рекультиватії тягне за собою для відповідного власника або землекористувача додаткові фінансові витрати, що створює незацікавленість вище зазначених суб'єктів у проведенні рекультиватії.

Відповідно до статті 166 Земельного кодексу України від 25.10.2001 № 2768-III [8], **рекультиватія порушених земель** – це комплекс організаційних, технічних і біотехнологічних заходів, спрямованих на відновлення ґрунтового покриву, поліпшення стану та продуктивності порушених земель.

Порушені землі прийнято поділяти на дві групи: землі з насипаним ґрунтом – промислові відходи, відвали пустої породи (терикони), та землі, порушені внаслідок видобування корисних копалин – кар'єри, провали, виїмки і просідання земної поверхні [9]. Обґрунтування виду рекультиватії необхідно здійснювати в кожному конкретному випадку на основі оцінки комплексу чинників (ціна землі та її призначення, агрохімічний склад розкритих порід, географічне розташування, соціально-економічні чинники тощо).

Оцінити, яким чином при мінімальних капіталовкладеннях можна повністю відновити порушену поверхню, ландшафтну цілісність – це комплексне та непросте економічне завдання.

На території Рівненської області, в зонах проведення незаконного видобутку бурштину, рекультиватії потребують переважно вироблені та покинуті кар'єри, в яких здійснювалось видобування ручним і гідромеханічним способами з використанням мотопомп. Дорогоцінне каміння вимивають з ґрунтів та порід потужним напором води, у результаті чого розмивається ґрунт та материнська порода [10].

За результатами досліджень встановлено наявні ознаки негативного антропогенного впливу, які пов'язані із самовільним використанням надр, а саме: самовільно знятий родючий шару ґрунту, порушено цілісну структуру ґрунтового покриву, гідрологічного режиму, геологічну структуру території надр, знищено рослинність. При цьому порушенні землі як лісогосподарського, так сільськогосподарського призначення різної форми власності.

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

Кар'єри, які утворюються внаслідок помпового методу видобутку, – це постійне джерело та осередок розповсюдження водної ерозії, що призводить до зниження родючості ґрунту, порушення дренажну підземних вод; зміни мікроклімату; загибелі деревної рослинності та знищення трав'яного покриву (рис. 3).



Рис. 3. Порушені землі в наслідок незаконного видобутку бурштину

Джерело: фото із сайту «С Новина». URL: <https://www.ednist.info/news/38371>.

Для розрахунків заподіяних збитків використовуємо методику визначення розмірів відшкодування збитків, заподіяних державі внаслідок самовільного користування надрами від 29.08.2011 № z1097-11 [11], методику визначення розміру шкоди, заподіяної внаслідок самовільного зайняття земельних ділянок, використання земельних ділянок не за цільовим призначенням, зняття ґрунтового покриву (родючого шару ґрунту) без спеціального дозволу від 05.08.2016 № 963-2007-п [13].

Розмір збитків (**З**), встановлених за фактом самовільного користування надрами, визначається шляхом встановлення обсягу самовільно видобутих надр (**Д**), помноженого на базову ставку відшкодування збитків (**Р**) та величину мінімальної заробітної плати (**Н**), за формулою (1) [12]:

$$З = \sum_{i=1}^K (P_i \times N \times D_i) . \quad (1)$$

Згідно з проведеними розрахунками розмір заподіяної шкоди й відшкодування збитків, нанесених державі, представлений у табл. 1.

Загальний розмір збитків, заподіяних внаслідок незаконного видобутку бурштину, а саме самовільне користування надрами, самовільного зайняття земельних ділянок, використання земельних ділянок не за цільовим призначенням, зняття ґрунтового покриву (родючого шару ґрунту) без спеціального дозволу складає 1 298 791,28 грн, і це без врахування вартості видобутого дорогоцінного каміння.

*Розмір заподіяної шкоди й відшкодування збитків, нанесених державі
внаслідок незаконного видобутку бурштину*

№	Категорії земель	Площа, га	Сума, грн
Самовільне користування надрами			
1	Загальна площа порушених земель, га	25,57	711079,00
Розмір шкоди, заподіяної внаслідок самовільного зайняття земельної ділянки			
2	Землі сільськогосподарського призначення	18,65	13912,9
	Землі лісогосподарського призначення	6,55	18444,8
	Землі житлової та громадської забудови	0,37	2085,32
Разом			34443,02
Розмір шкоди, заподіяної внаслідок використання земельної ділянки не за цільовим призначенням			
3	Землі сільськогосподарського призначення	18,65	116629,25
	Землі лісогосподарського призначення	6,55	36318,560
	Землі житлової та громадської забудови	0,37	1077,849
Разом			154025,66
Розмір шкоди, заподіяної внаслідок зняття ґрунтового покриву без спеціального дозволу			
4	Землі сільськогосподарського призначення	18,65	295471,95
	Землі лісогосподарського призначення	6,55	103771,65
Разом			399243,6
Загальна сума, грн			1 298 791,28

За даними супутникових зніманих площі порушених земель постійно збільшуються, збитки нанесені державі катастрофічні, тому постає необхідність:

- прийняття Закону України «Про бурштин»;
- проведення супутникового моніторингу, інвентаризації земель та розробки проєктів землеустрою щодо їх рекультивації;
- посилення кримінальної відповідальності за незаконне видобування бурштину.

Висновки відповідно до статті. Економічним виразом збитків, що завданні невиконанням робіт із рекультивації порушених земель власнику земельної ділянки або землекористувачу є упущена вигода, яка не може бути менше (прирівнюється) до доходу, одержаного правопорушником.

Не проведення рекультивації порушених земель належать до правопорушень, що завдають збитків власникам та користувачам земельних ділянок, територіальній громаді та державі.

Отже, бурштинове протистояння потребує значних технічних і людських ресурсів, які повинні бути спрямовані, насамперед, на боротьбу з незаконним видобуванням.

Список використаних джерел

1. Конституція України : офіц. текст. Київ : КМ, 2013. 96 с.
2. Моторина Л. В., Овчинников В. А. Рекомендации по рекультивации земель, нарушенных открытыми горными работами. Москва, 1975. 240 с.
3. Прокопенко В. І., Фененко В. І., Кириченко О. О. Технологія і економіка гірничого землекористування. Дніпропетровськ : Наука і освіта, 2006. 270 с.
4. Філіпович В. Є. Оперативний контроль поширення нелегального видобутку бурштину та оцінка збитків заподіяних державі за матеріалами багатозональної космічної зйомки. *Екологічна безпека та природокористування*. 2015. Вип. 20 (4). С. 71–78.
5. Ковалевський С. С. Виявлення осередків добування бурштинових копалин на території лісових масивів України. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2019. Т. 29, № 6. С. 40–44.
6. Документ Рівненської обласної державної адміністрації від 10.05.2017. URL: <https://ror.gov.ua/upload/content/15941/482.pdf>.

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

7. Філіпович В. Є. Супутниковий моніторинг територій незаконного видобутку бурштину. *Український журнал дистанційного зондування Землі*. 2015. № 6. С. 4–7.
8. Земельний кодекс України : Закон України від 25.10.2001. № 2768-III. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2768-14>.
9. Моторина Л. В. Промышленность и рекультивация земель. Москва, 1975. 240 с.
10. Качановський О. І. Методика ідентифікації порушених земель внаслідок видобування бурштину з використанням мультиспектральних супутникових знімків Landsat. *Вчені записки Таврійського Національного університету ім. В. І. Вернадського. Серія Технічні науки*. 2020. Т. 31(70), № 1. Ч. 2. С. 153–159.
11. Про затвердження Методики визначення розмірів відшкодування збитків, заподіяних державі внаслідок самовільного користування надрами : Наказ Міністерства екології та природних ресурсів України від 29.08.2011 № з1097-11. *Офіційний вісник України*. 2011. № 73. С. 160.
12. Про затвердження Методики визначення розміру шкоди, заподіяної внаслідок самовільного зайняття земельних ділянок, використання земельних ділянок не за цільовим призначенням, зняття ґрунтового покриву (родючого шару ґрунту) без спеціального дозволу : Наказ Міністерства екології та природних ресурсів України від 05.08.2016 № 963-2007-п. *Офіційний вісник України*. 2007. № 55. С. 31.

References

1. *Konstytutsiia Ukrainy [The Constitution of Ukraine]*. (2013). Kyiv.
2. Motorina, L. V., Ovchinnikov, V. A. (1975). *Rekomendatsii po rekultivatsii zemel, narushenykh otrkrytymi gornymi robotami [Recommendations on reclamation of lands disturbed by open mining operations]*. Moscow [in Russian].
3. Prokopenko, V. I., Fenenko, V. I., Kyrychenko, O. O. (2006). *Tekhnolohiia i ekonomika hirnychoho zemlekorystuvannia [Technology and economy of mountainous land use]*. Dnipropetrovsk: Nauka i osvita [in Ukrainian].
4. Filipovych, V. Ye. (2015). Operatyvnyi kontrol poshyrennia nelegalnoho vydobutku burshtynu ta otsinka zbytkiv zapodiianykh derzhavi za materialamy bahatozonalnoi kosmichnoi ziomky [Operational control over the distribution of illegal amber extraction and assessment of damage caused to the state by materials of multizone space shooting]. *Ekolohichna bezpeka ta pryrodokorystuvannia – Environmental safety and nature management*, 4, 91–97 [in Ukrainian].
5. Kovalevskyi, S. S. (2019). Vyiavlennia osередkiv dobuyannia burshtynovykh kopalyn na terytorii lisovykh masyvivv Ukrainy [Detection of circuit focus of amber minerals on the territory of forests of Ukraine]. *Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy - Scientific Bulletin of UNFU*, 29 (6), 40-44 [in Ukrainian].
6. *Dokument Rivnenskoï oblasnoï derzhavnoï administratsii [Document of Rivne Regional State Administration]* (10.05.2017).
7. Filipovych, V. Ye. (2015). Suputnykovyi monitorynh terytorii nezakonnoho vydobutku burshtynu [Satellite monitoring for the areas of illegal extraction of amber]. *Ukrainskyi zhurnal dystantsiinoho zonduvannia Zemli – Ukrainian Journal of Remote Sensing*, 5, 4-7 [in Ukrainian].
8. Zemelnyi kodeks Ukrainy: Zakon Ukrainy [Land code of Ukraine]. № 2768-III (25.10.2001).
9. Motorina, L. V., Ovchinnikov, V. A. (1975). *Promyshlenost i rekultivatsiia zemel [Land industry and reclamation]*. Moscow [in Russian].
10. Kachanovskyi, O. I. (2020). Metodyka identyfikatsii porushenykh zemel vnaslidok vydobuvannia burshtynu z vykorystanniam multyspektralnykh suputnykovykh znimkiv Landsat. [Identification method of broken lands because of amber production by using multispectral satellite images Landast]. *Vcheni zapysky Tavriiskoho Natsionalnoho universytetu im. V.I. Vernadskoho. Seriiia Tekhnichni nauky – Scientific notes of Taurida National V. I. Vernadsky University series «Technical Sciences»*, 1, 153-159 [in Ukrainian].
11. Про затвердження Методики визначення розмірів відшкодування збитків, заподіяних державі внаслідок самовільного користування надрами: наказ Міністерства екології та природних ресурсів України [On approval of the Methodology for determining the amount of compensation for losses caused to the state due to unauthorized use of subsoil]. № з1097-11 (29.08.2011).
12. Про затвердження Методики визначення розміру шкоди, заподіяної внаслідок самовільного зайняття земельних ділянок, використання земельних ділянок не за цільовим призначенням, зняття ґрунтового покриву (родючого шару ґрунту) без спеціального дозволу:

nakaz Ministerstva ekolohii ta pryrodnykh resursiv Ukrainy [On approval of the Methodology for determining the amount of damage caused by unauthorized occupation of land plots, use of land plots not for the intended purpose, removal of soil cover (fertile soil layer) without special permission]. № 963-2007 (05.08.2016).

UDC 332.2

Oleh Kachanovskyi

ECOLOGICAL AND ECONOMIC ASSESSMENT OF THE IMPACT OF ILLEGAL AMBER MINING ON THE ENVIRONMENT OF RIVNE OBLAST

Research rationale. *The current state of the natural environment in the northwestern part of Ukrainian Polissia is characterized by a huge-scale changes in cultivated lands. The reasons for the disturbance of the structure of natural landscapes are the unauthorized extraction of gemstones, in particular, amber.*

Problem statement. *For Ukraine, this issue has become particularly acute as the environmental consequences of illegal mining are quite disastrous as far as the disturbed biotopes cannot be restored to their original state in a natural way without human intervention, thus they need to be recultivated.*

Analysis of recent studies and publications. *The researches that cover the agenda include the issues of monitoring and determination of locations of lands disturbed due to illegal amber mining as well as the use and classification of lands disturbed as a result of mining industry's activities.*

Uninvestigated parts of general matters defining. *The introduction of an economic and legal mechanism for compensating by the violator for damage caused by illegal amber mining and the failure to carry out land reclamation after the completion of mining operations will ensure more effective protection of the interests of the state and territorial communities as well as the rights of owners and exploiters of land plots, and will have a positive impact on reducing breaches of law in the area of land utilization.*

Objective of the research. *The purpose of the study is to assess the impact on the environmental condition of the Rivne oblast as well as economic assessment of the extent of damage caused by illegal gemstones mining.*

Statement of basic materials. *Obvious signs of negative anthropogenic impact related to unauthorized use of subsurface resources have been established, namely: the unauthorized removal of the fertile soil layer, excitation of the entire structure of the soil cover, hydrological regime, geological structure of the subsoil area, destroyed vegetation. At the same time, disturbance of land, both for forest and agricultural purposes of various forms of ownership.*

Following the researches, the extent of damage and compensation to the state resulting from the illegal mining of gemstones was determined.

Conclusions under the article. *On the territory of the Ukrainian Polissia the technogenic sand massifs and badlands are being intensively formed, which area is constantly increasing. The spread of such formations on the lands of forestry and agricultural purposes creates a threatening ecological and economic situation throughout the region.*

Keywords: *illegal amber mining; amber; Landsat; disturbed soil; recultivation; measure of damages.*

Качановський Олег Ігорович – заступник директора з виробничої роботи ВСП «Рівненський коледж Національного університету біоресурсів і природокористування України» (вул. Коперника, 44, м. Рівне, 33001, Україна).

Kachanovskyi Oleh – deputy director Rivne College of National University of Bioresources and Nature Management of Ukraine (44 Kopernyka Str., 33001 Rivne, Ukraine)

E-mail: myzv2014@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2322-8089>

Андрій Бідаков, Оксана Пустовойтова, Євген Распопов, Богдан Страшко

МІЦНІСТЬ ПКД ПАНЕЛЕЙ ПРИ ЗСУВІ ТА КРУЧЕННІ

Актуальність теми дослідження Позитивний досвід використання ПКД панелей у будівництві спостерігається протягом тривалого періоду в Східній Європі та вважається за необхідне дослідження міцності та чинників, що впливають на несучу здатність цього типу конструкцій із поперечної клеєної деревини (ПКД або CLT).

Постановка проблеми Невід'ємною важливою проблематикою для ПКД панелей є міцність при крученні, яке має схему руйнування шляхом сколювання шарів дошок і потребує встановленню основних чинників впливу для оцінки несучої здатності за цим видом напруженого стану.

Аналіз останніх досліджень і публікацій Міцність при зсуві та крученні є одним з основних питань міцності ПКД панелей як ортотропної пластини, яке цікавило багато дослідників з різних країн серед яких Blaß, Görlacher (2002) [1], Bosl (2002) [4], Jeitler (2004) [11], Jöbstl, Bogensperger, Schieckhofer [12], Wallner (2004) [18], Bogensperger, Moosbrugger (2007) [3], Silly (2010) [14; 15], Hirschmann (2011), Blaß, Flaig (2012) [2], Dröscher, Brandner, Kreuzinger, Sieder (2013), Dietsch (2017), Serrano (2018).

Виділення недосліджених частин загальної проблеми Не вирішено питання виявлення чинників, що впливають на несучу здатність ПКД панелей при зсуві та крученні.

Постановка завдання. Встановлення основних чинників впливу для оцінки несучої здатності ПКД панелей при зсуві та крученні.

Виклад основного матеріалу Поперечна клеєна деревина, як листовий будівельний матеріал на основі шарів дошок зі взаємно перпендикулярним розташуванням дошок у суміжних шарах, має багато вагомих факторів, що впливають на величини міцності ПКД панелей при зсуві та крученні. Тридцятирічний світовий досвід використання ПКД панелей у багатопверховому будівництві доводить важливість розглядання різних моделей роботи панелей як діафрагм та жорстких елементів каркасів з панельно-каркасних будівель. Особливу увагу при цьому приділяють характеру руйнування панелі на сколювання як у площині панелі, так і з площини. Важливість цього виду напруженого стану додатково підсилюється групою різних схем випробувань на зсув або сколювання відповідно до стандарту EN16351, зокрема випробування на міцність при роликівому зсуві. Остання величина міцності є новою феноменологічною особливістю ПКД панелей.

Висновки відповідно до статті. Величина міцності ПКД панелей на зсув є важливою характеристикою шаруватого матеріалу та багатоскладовою характеристикою, яка має декілька схем руйнування, та залежить від складових поперечного перерізу і технології виробництва ПКД панелей, що потребує їх комплексного розгляду.

Ключові слова: міцність при зсуві; поперечна клеєна деревина; ПКД; CLT; методика розрахунку; деформація зсуву; кручення; жорсткість при зсуві.

Рис.: 6. Бібл.: 18.

Актуальність теми дослідження. Позитивний досвід використання ПКД панелей у будівництві спостерігається протягом тривалого періоду в Східній Європі та вважається за необхідне дослідження міцності та чинників, що впливають на несучу здатність цього типу конструкцій із поперечної клеєної деревини (ПКД або CLT).

Постановка проблеми. Невід'ємною важливою проблемою для ПКД панелей є міцність при крученні, яке має схему руйнування шляхом сколювання шарів дошок і потребує встановленню основних чинників впливу для оцінки несучої здатності за цим видом напруженого стану.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Міцність при зсуві та крученні є одним з основних питань міцності ПКД панелей як ортотропної пластини, яке цікавило багато дослідників із різних країн, з-поміж яких Blaß, Görlacher (2002) [1], Bosl (2002) [4], Jeitler (2004) [11], Jöbstl, Bogensperger, Schieckhofer [12], Wallner (2004) [18], Bogensperger, Moosbrugger (2007) [3], Silly (2010) [14, 15], Hirschmann (2011), Blaß, Flaig (2012) [2], Dröscher, Brandner, Kreuzinger, Sieder (2013), Dietsch (2017), Serrano (2018). Усі три можливі моделі руйнування (рис. 1), а саме нетто-зсув (1), повний зсув (2) та кручення (3) Brandner та Dietsch (2017) [5], повинні визначатися за передбаченими методами випробувань та враховуватись при проектуванні.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Не вирішено питання виявлення чинників, що впливають на несучу здатність ПКД панелей при зсуві та крученні.

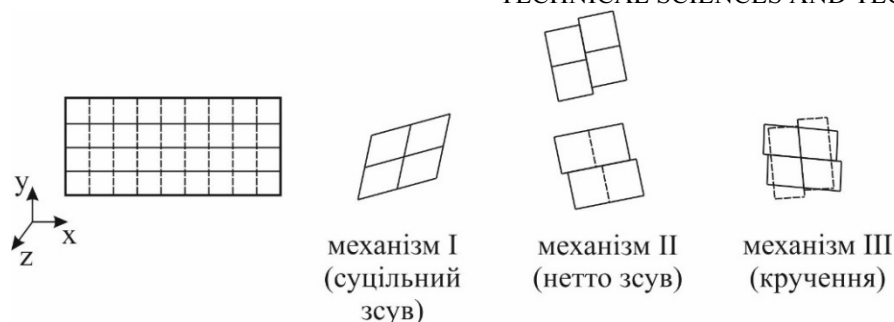


Рис. 1. Три моделі руйнування ПКД панелей при зсуві (E. Serrano)

Модель руйнування (1) розглядає варіант руйнування ПКД панелі при зсуві як монолітного суцільного матеріалу, дошки якого мають склеювання по бокових гранях і всі беруть участь у роботі на сколювання. Модель (2) допускає руйнування ПКД панелей із щілинами, між якими відбувається руйнування дошок середніх шарів. Таким чином, у роботі на зсув беруть участь лише поперечні дошки, або поперечний переріз нетто. Модель руйнування (3) розглядає руйнування ПКД панелі в результаті кручення дошок суміжних шарів. Також у роботі (Brandner та Dietsch (2017) [5]) зазначено, що робота балки та панелі на зсув відрізняється та потрібно розділяти параметри міцності від характеру роботи ПКД елемента. Наприклад, при розгляданні ПКД панелі як стінової діафрагми існує три механізми: механізм 1 – Casagrande [6], механізм 2 – Hummel [10] та механізм 3 – Flatscher, Schichhofer [9], що зображені на рис. 2.

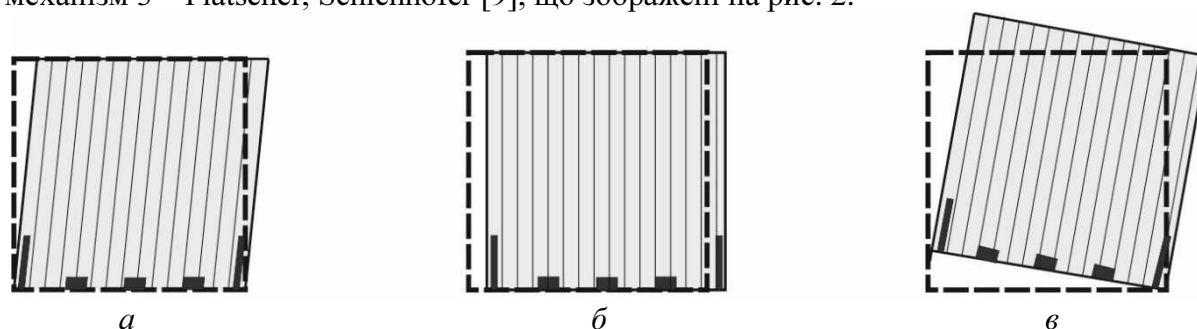


Рис. 2. Механізми роботи ПКД панелі при зсуві як стінової діафрагми:
а – деформація у площині ; б – переміщення жорсткого елемента; в – поворот жорсткого елемента

Мета статті. Мета дослідження, полягає в критичному аналізі моделей роботи (ПКД) або CLT панелей при зсуві у їх площині та з урахуванням методів експериментальних випробувань, дозволяють встановлювати характеристичні значення міцності при зсуві на різних типах зразків. Невідомою важливою проблемою для ПКД панелей є міцність при крученні, яке має схему руйнування шляхом зколювання шарів дошок і потребує встановленню основних чинників впливу для оцінки несучої здатності за цим видом напруженого стану.

Виклад основного матеріалу. Відповідно до праці Wallner-Novak (2013) робота ПКД панелей як діафрагм або стін які сприймають значні навантаження зсуву описана за різними механізмами. Механізм (1) передбачає аналіз роботи ПКД панелі з боковим склеюванням дошок та без пропилів, що забезпечує суцільну роботу на зсув усієї панелі. Механізм (2) враховує особливості роботи ПКД панелі з невеликими щілинами між дошками та припускається, що поперечні шари дошок виконують роль підсилення повздовжніх шарів дошок. Це призводить до того, що міцність при зсуві або сколюванні перевищує міцність дошок на зсув. Міцність при зсуві в площині ПКД панелі за результатами Jöbstl (2008) становить $f_{v,x,y,k} = 10 \text{ Н/мм}^2$. При деяких структурах поперечних перерізів величина міцності при зсуві у площині може становити $f_{v,x,y,k} = 5,5 \text{ Н/мм}^2$, як це показано на рис. 3.

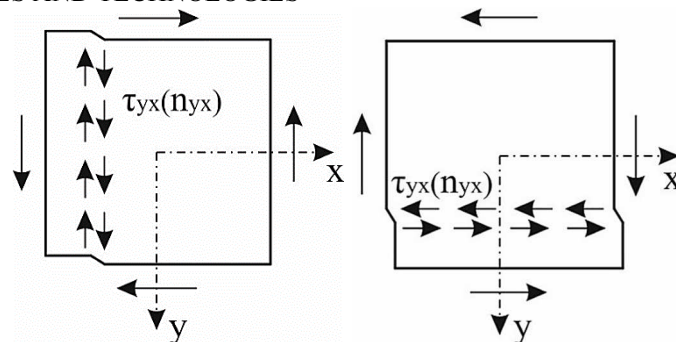


Рис. 3. Схема руйнування ПКД панелі при зсуві в площині згідно з механізмом 2, запропонованого Wallner-Novak (2013)

Механізм (3) розглядає роботу ПКД панелі при зсуві у площині як систему окремих вузлів, що працюють на кручення (рис. 4), за умови великих щілин між дошками у шарах панелі.

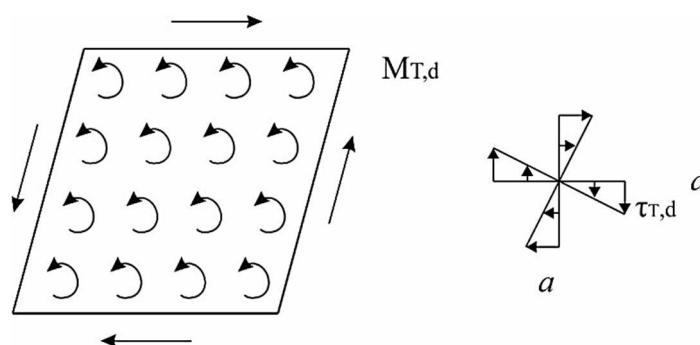


Рис. 4. Зсув як робота окремих вузлів ПКД панелі на кручення згідно з механізмом 3

Результати досліджень. Розрахунок міцності балок з ПКД панелей потребує врахування величин ефективного та повного поперечного перерізів згідно з дослідженнями Flaig M. Та Blaß H.J. [7; 8]. Для ПКД панелей які мають щілини між дошками у шарах ПКД панелі необхідно перевіряти напруження від крутильного зсуву та роликового зсуву між дошками суміжних шарів. Напруження кручення у площі вузла при крученні слід визначати за методикою M. Flaig.

$$\tau_{tor,node,d} = \frac{3 \cdot V_{xy,d}}{w_{l,x}^2 \cdot n_{CA}} \left(\frac{1}{n_{1,x}} - \frac{1}{n_{l,x}^3} \right) k_b \tag{1}$$

де

$$k_b = \frac{2 \cdot w_{l,max} \cdot w_{l,x}}{w_{l,x}^2 + w_{l,y}^2} \tag{2}$$

Коефіцієнт k_b враховує різну ширину дошок у напрямку x та y. Для трьохшарової ПКД панелі де 2 клейових шари $n_{CA} = 2$ та $n_{1,x} = 2$, а ширина дошок становить $w_{l,x} = w_{l,y} = 80$ мм, вираз (1) може мати такий вигляд

$$\tau_{tor,node,d} = \frac{3 \cdot V_{xy,d}}{w_{l,min}^2 \cdot 2} \left(\frac{1}{2} - \frac{1}{2^3} \right) \cdot 1 \approx 0,56 \cdot \frac{V_{xy,d}}{w_{l,min}^2} = 8,75 \cdot 10^{-5} \frac{1}{mm^2} \cdot V_{xy,d} \tag{3}$$

Також M. Flaig пропонує визначати міцність при роликовому зсуві площі вузла перетинаючихся дошок визначається за таким виразом

$$\tau_{xy,d} = \frac{6 \cdot V_{xy,d}}{w_{l,\min}^2 \cdot n_{CA}} \left(\frac{1}{n_{l,x}^2} - \frac{1}{n_{l,x}^3} \right). \quad (4)$$

Враховуючі аналогічні параметри, як це зазначено вище, можливо отримати спрощений вираз

$$\tau_{xy,d} = \frac{6 \cdot V_{xy,d}}{w_{l,\min}^2 \cdot 2} \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{2^3} \right) \approx 0,375 \frac{V_{xy,d}}{w_{l,\min}^2} \approx 0,6 \cdot 10^{-5} \frac{1}{\text{mm}^2} V_{xy,d}. \quad (5)$$

Коефіцієнт k_{cr} , який враховує можливу появу тріщин у цільній та клеєній деревині через зволоження та усушку при розрахунках міцності на зсув або сколюванні, для ПКД панелей не враховується, оскільки можливе лише тріщиноутворення у дошках зовнішніх шарів ПКД панелі та через допустиму наявність щілин та компенсаційних пропилів за технологією виробництва ПКД панелей.

Варто відзначити, що метод експериментальних випробувань для визначення міцності на зсув або сколюванні для цільної та клеєної деревини виконується відповідно до стандарту EN 408:2010, де зразки для випробувань показані на рис. 5, а), які мають наступні геометричні параметри: $l = (300 \pm 2)$ мм; $b = (32 \pm 1)$ мм; $h = (55 \pm 1)$ мм. Товщина металевих пластин повинна бути (10 ± 1) мм, які приклеюються до зразків. На рис. 5, б-г) зображені схеми випробувань ПКД панелей на різні види зсуву та кручення, які є вимогами стандарту EN16351. У роботі Р. Mestek [13] розглядався важливий випадок стиснутого сколювання або комбінація одночасної дії сколювання та стиску поперек площини ПКД панелі по всій її площі, при цьому кут нахилу зразка складав 10° .

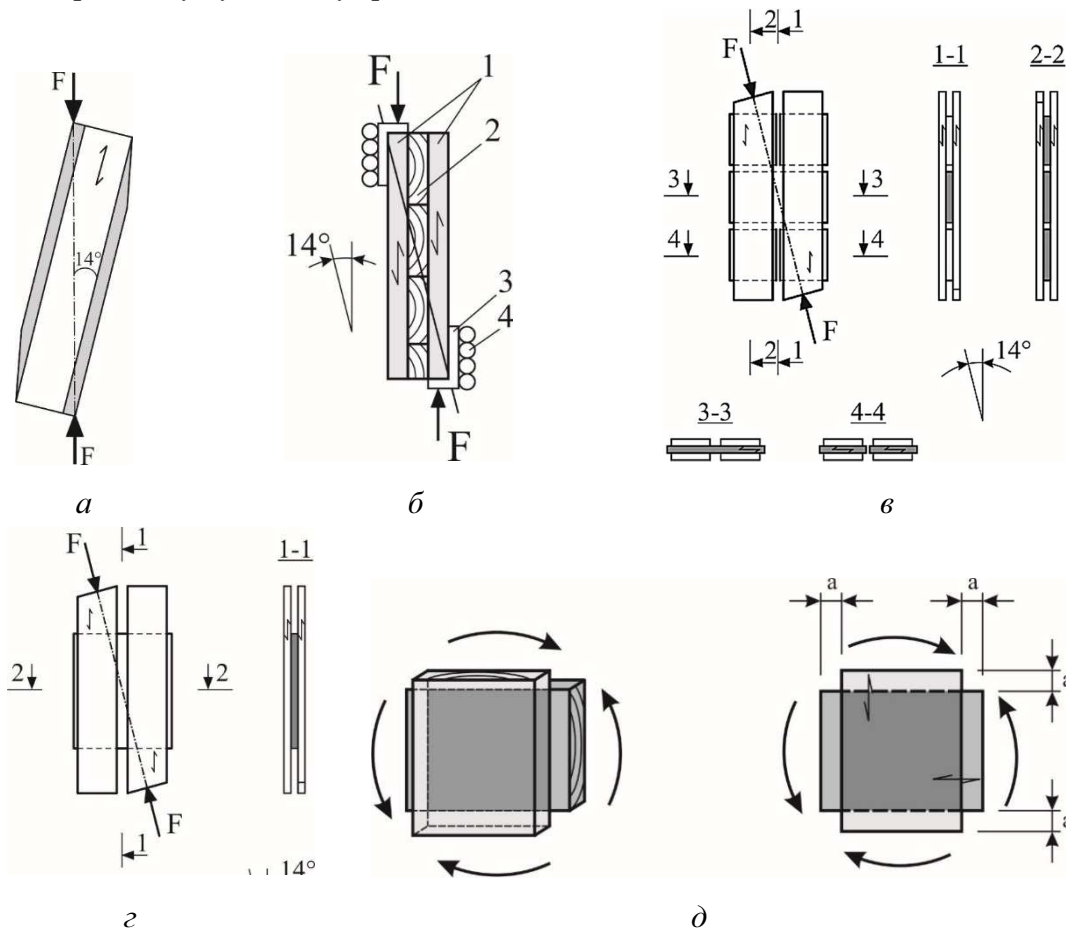


Рис. 5. Схема навантаження зразків при випробуваннях на зсув для цільної деревини (а), параметри зразків на зсув ПКД панелей (б-г) та на кручення (д).

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

Крутильну жорсткість гнучких ПКД балок можливо вивести прирівнюючи крутильний момент пластини з крутильним моментом гнучких балок згідно теорії Сен-Венана (Moosbrugger T., Krenn H., Bogensperger T.), яка допускає, що крутильний момент діючий вздовж граней панелі або пластини вздовж прольота можуть бути заміщеними парою сил діючих у напрямі z обох кінців балки, як показано на рис. 6.

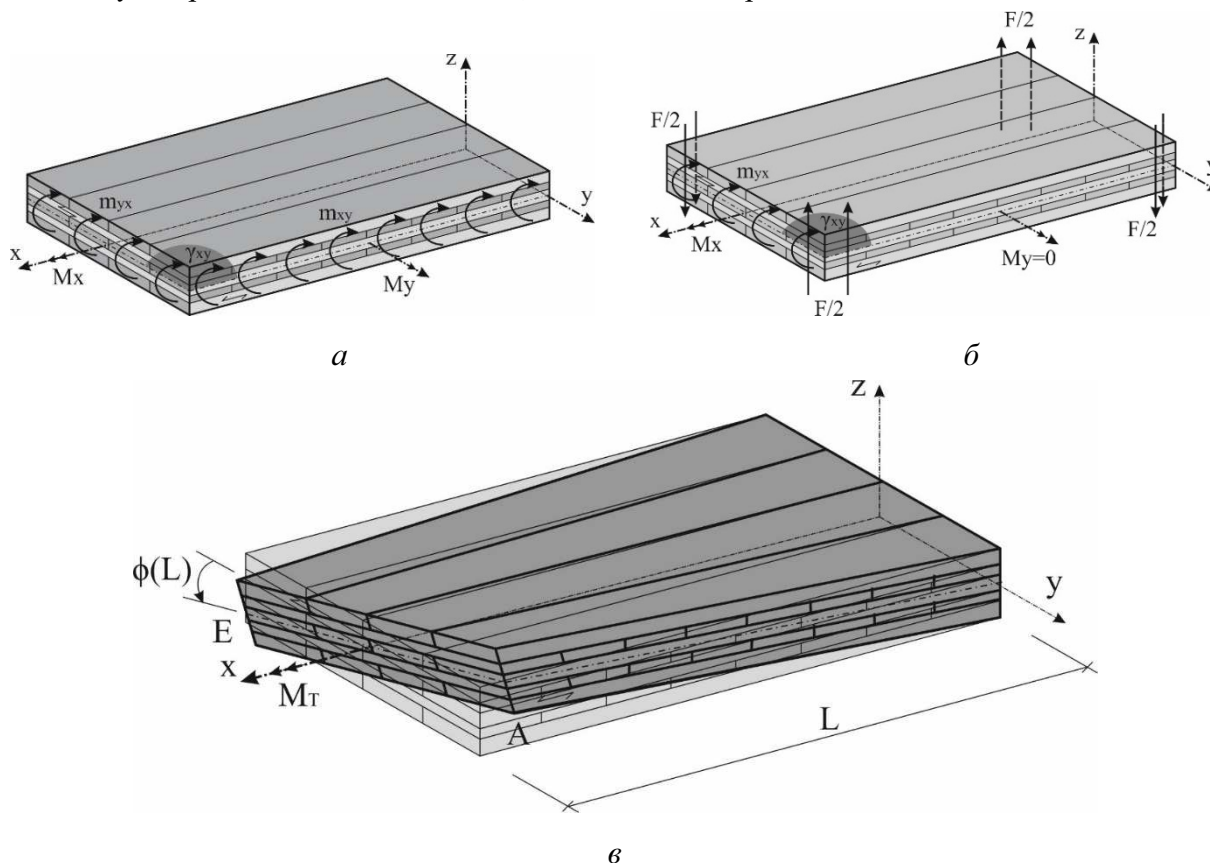


Рис. 6. Заміщення крутильного моменту діючого по гранях пластини парою сил

Крутильний момент інерції ПКД діаграм, стін та балок враховується при визначенні крутильної жорсткості $D_{x,y}^*$ при розгляданні ПКД як полоси шириною 1 м за методикою Silly G. [17], яка має такий вид:

$$D_{xy}^* = \frac{G_{xz,mean} \cdot \frac{t_{xlam}^3}{12}}{1 + 6 \cdot p_D \cdot \left(\frac{t_{l,max}}{w_{l,max}} \right)^{q_D}} \cdot "I", \tag{6}$$

- де $G_{xz,mean}$ – середнє значення модуля зсуву у площині, у Н/мм²;
- t_{xlam} – товщина дошки ПКД панелі, у мм;
- $t_{l,max}$ – максимальна товщина дошки ПКД панелі, у мм;
- $w_{l,mean}$ – середня ширина дошки ПКД панелі, у мм;
- p_D, q_D – параметри запропоновані Silly G. 2010 [16];
- h_{xlam} – загальна висота ПКД елемента.

Модуль пружності та модуль зсуву для дошок у клеєній деревині також статистично незалежні та $(EG)_{05}$ можливо спростити як $(EG)_{05} = 1,4 E_{05} G_{05} \approx E_{mean} G_{mean}$, що також можливо використовувати для ПКД панелей згідно рекомендації ВІаВ 2015 [2] при визначенні критичного моменту інерції:

$$M_{crit} = \frac{\pi}{l_{ef}} \sqrt{(EG)_{05} I_z I_{tor}} \quad (7)$$

Використання ПКД панелей комбінованих класів міцності дошок, з розташуванням дошок високих класів міцності в зовнішніх шарах дозволить значно зменшити деформативність панелей при зсуві та крученні.

Висновки відповідно до статті. Величина міцності ПКД панелей на зсув є важливою характеристикою шаруватого матеріалу та багатоскладовою характеристикою, яка має декілька схем руйнування, та залежать від складових поперечного перерізу і технології виробництва ПКД панелей, що потребує їх комплексного розгляду.

Список використаних джерел

1. Blaß H. J., Görlacher R. Bemessung im Holzbau – Brettsper Holz. Berechnungsgrundlagen. *Holzbaukalender*. Bruderverlag, 2003. P. 580-598.
2. Blaß, Hans Joachim; Sandhaas, Carmen. Ingenieurholzbau - Grundlagen der Bemessung. KIT Verlag, 2016. 658 s.
3. Bogensperger T., Moosbrugger T., Schickhofer G. New Test Configuration for CLT-Wall-Elements under Shear Load." *CIB W-18*, Bled, Slovenia, 2007.
4. Bosl R. Zum nachweise des Trag- und Verformungsverhaltens von Wandscheiben aus Brettsper Holz. Military University Munich, 2012.
5. Brandner R., Dietsch P., Dröschner J., Schulteßwrede M., Kreuzinger H., Sieder M. Cross laminated timber (CLT) diaphragms under shear: Test configuration, properties and design. *Constructions and Building Materials*. 2017. Vol. 147. P. 312-327.
6. Casagrande D., Rossi S., Sartori T., Tomasi R. Proposal of an analytical procedure and a simplified numerical model for elastic response of single-storey timber shear-walls. *Construction and Building Materials*. 2016. Vol. 102. P. 1101–1112.
7. Flaig M., Blaß H. J. Shear Strength and Shear Stiffness of CLT-beams Loaded in Plane. *CIB W-18*, Bath, Vancouver, Canada, 2013.
8. Flaig M., Blass H.J. Keilgezinkte Rahmenecken und Satt eldachträger aus Brett sperrholz. *Karlsruher Berichte zum Ingenieurholzbau 29, KIT Scientific Publishing*, Karlsruhe, 2015. 180 s.
9. Flatscher G., Schickhofer G. Displacement-based determination of laterally loaded cross-laminated timber (CLT) wall systems. *INTER/49-12-1*, 2016.
10. Hummel J., Seim W., Otto, S. Steifigkeit und Eigenfrequenzen im mehrgeschossigen Holzbau. *Bautechnik* 93, 2016, Hef 11 (781-794).
11. Jeitler G. Versuchstechnische Ermittlung der Verdrehungskenngrößen von orthogonal verklebten Brett lamellen (in German), Diploma Thesis, Graz University of Technology, Graz, 2004.
12. Jöbstl R. A., Bogensperger T., Moosbrugger T., Schickhofer G. A contribution to the Design and System Effect of Cross Laminated Timber (CLT). *CIB-W18*, 39-12-4, Florence, Italy, 2006.
13. Mestek, P., Punktgestützte Flächentragwerke aus Brettsper Holz (BSP) - Schub bemessung unter Berücksichtigung von Schubverstärkungen, Dissertation, Technische Universität München, 2011.
14. Silly G., Schubfestigkeit der BSP-Scheibe – numerische Untersuchung einer Prüfkfiguration. Forschungsbericht. Graz. 2014.
15. Silly G., Thiel A., Augustin M., "Options for the Resource Optimized Production of Laminar Load Carrying Members Based on Wood Products", in Proceedings of WCTE, 2016.
16. Silly G. Numerische Studie zur Drill- und Schubsteifigkeit von Brettsper Holz (BSP), Diploma Thesis at Institut für Holzbau und Holztechnologie, Technische Universität Graz, 2010.
17. Silly G., Thiel A. Analyse und numerische Simulation zur Entwicklung einer Prüfkfiguration für die Ermittlung der Rollschubkenngrößen von BSP-Elementen, Präsentation beim COMET area meeting, holz.bau forschung gmbh, Graz, 15 Oktober 2013.
18. Wallner G. Versuchstechnische Ermittlung der Verschiebungskenngrößen von orthogonal verklebten Brett lamellen, Diploma Thesis, Graz University of Technology, Graz, 2004.

References

1. Blaß, H. J., Görlacher, R. (2003). Bemessung im Holzbau – Brettsper Holz. Berechnungsgrundlagen. In *Holzbaukalender*. Bruderverlag, 580-598.

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

2. Blaß, Hans Joachim; Sandhaas, Carmen (2016). *Ingenieurholzbau - Grundlagen der Bemessung*. KIT Verlag.
3. Bogensperger, T., Moosbrugger, T., and Schickhofer, G. (2007). *New Test Configuration for CLT-Wall-Elements under Shear Load*. *CIB W-18*, Bled, Slovenia.
4. Bosl R., (2012). *Zum nachweise des Trag- und Verformungsverhaltens von Wandscheiben aus Brettsperrholz*. Military University Munich.
5. Brandner, R., Dietsch, P., Dröscher, J., Schulteßwrede, M., Kreuzinger, H., Sieder, M. (2017). *Cross laminated timber (CLT) diaphragms under shear: Test configuration, properties and design*. *Constructions and Building Materials*, 147, 312-327.
6. Casagrande, D., Rossi, S., Sartori, T., and Tomasi, R. (2016). *Proposal of an analytical procedure and a simplified numerical model for elastic response of single-storey timber shear-walls*. *Construction and Building Materials*, 102, 1101–1112.
7. Flaig, M., Blaß, H. J. (2013). *Shear Strength and Shear Stiffness of CLT-beams Loaded in Plane*. *CIB W-18*, Bath, Vancouver, Canada.
8. Flaig, M., Blass, H. J. (2015). *Keilgezinkte Rahmenecken und Satteldachträger aus Brettsperrholz*. *Karlsruher Berichte zum Ingenieurholzbau 29*, KIT Scientific Publishing, Karlsruhe.
9. Flatscher, G., Schickhofer, G. (2016). *Displacement-based determination of laterally loaded cross-laminated timber (CLT) wall systems*. *INTER/49-12-1*.
10. Hummel, J., Seim, W., Otto, S. (2016). *Steifigkeit und Eigenfrequenzen im mehrgeschossigen Holzbau*. *Bautechnik* 93, Hef 11 (781-794).
11. Jeitler, G. (2004). *Versuchtechnische Ermittlung der Verdrehungskenngrößen von orthogonal verklebten Brett lamellen (in German)*, Diploma Thesis, Graz University of Technology, Graz.
12. Jöbstl, R. A., Bogensperger, T., Moosbrugger, T., Schickhofer, G. (2006). *A contribution to the Design and System Effect of Cross Laminated Timber (CLT)*. *CIB-W18*, 39-12-4, Florence, Italy.
13. Mestek, P., *Punktgestützte Flächentragwerke aus Brettsperrholz (BSP) - Schubbemessung unter Berücksichtigung von Schubverstärkungen*, Dissertation, Technische Universität München, 2011.
14. Silly G., *Schubfestigkeit der BSP-Scheibe – numerische Untersuchung einer Prüfkonfiguration*. Forschungsbericht. Graz. 2014.
15. Silly, G., Thiel, A., Augustin, M. (2016). *Options for the Resource Optimized Production of Laminar Load Carrying Members Based on Wood Products*. *In Proceedings of WCTE*.
16. Silly G. (2010). *Numerische Studie zur Drill- und Schubsteifigkeit von Brettsperrholz (BSP)*, Diploma Thesis at Institut für Holzbau und Holztechnologie, Technische Universität Graz.
17. Silly, G., Thiel, A. (2013). *Analyse und numerische Simulation zur Entwicklung einer Prüfkonfiguration für die Ermittlung der Rollschubkenngrößen von BSP-Elementen*, Präsentation beim COMET area meeting, holz.bau forschung gmbh, Graz, 15 Oktober 2013.
18. Wallner, G. (2004). *Versuchstechnische Ermittlung der Verschiebungskenngrößen von orthogonal verklebten Brett lamellen*, Diploma Thesis, Graz University of Technology, Graz.

UDC 624.011

Andrii Bidakov, Oksana Pustovoitova, Ievgenii Raspopov, Strashko Bogdan

STRENGTH OF CLT PANELS BY SHEAR AND TORSION

Urgency of the research. *Positive experience with the use of CLT panels in distress has been observed for a long time in Eastern Europe and is considered necessary to study the strength and factors affecting the load-bearing capacity of this type of structures made of transverse glued wood (CLT).*

Target setting. *An integral important issue for CLT panels is torsional strength, which has a scheme of destruction by chipping layers of boards and requires the establishment of the main factors of influence to assess the load-bearing capacity of this type of stress.*

Actual scientific researches and issues analysis. *Shear and torsional strength is one of the main issues in the strength of CLT panels as an orthotropic plate, which has interested many researchers from different countries, including Blaß, Görlacher (2002) [1], Bosl (2002) [4], Jeitler (2004) [11], Jöbstl, Bogensperger, Schickhofer [12], Wallner (2004) [18], Bogensperger, Moosbrugger (2007) [3], Silly (2010) [14, 15], Hirschmann (2011), Blaß, Flaig (2012) [2], Dröscher, Brandner, Kreuzinger, Sieder (2013), Dietsch (2017), Serrano (2018).*

Uninvestigated parts of general matters defining. *The issue of identifying factors influencing the bearing capacity of PKD panels during shear and torsion has not been resolved.*

The purpose of the article. *Establishment of the main factors of influence for an estimation of bearing capacity of CLT of panels at shift and torsion.*

The presentation of the main material. Cross laminated timber, as a sheet building material based on layers of boards with mutually perpendicular arrangement of boards in adjacent layers, has a number of important factors that affect the strength of CLT panels in shear and torsion. Thirty years of world experience in the use of CLT panels in multi-storey construction proves the importance of considering different models of panels as diaphragms and rigid frame elements from panel-frame buildings. Particular attention is paid to the nature of the destruction of the panel for chipping, both in the plane of the panel and from the plane. The importance of this type of stress state is further enhanced by a group of different shear or group of test schemes according to EN16351, including rolling shear strength tests. The latter value of strength is a new phenomenological feature of CLT panels.

Conclusions and suggestion. Based on experimental studies of the strength of the glued rods in the cross section of CLT panel, the change in strength depending on the diameter of the metal rod and its location in the cross section, which is characterized by alternation of mutually transverse layers of boards.

Keywords: shear strength; cross laminated timber; CLT, calculation method; shear deformation; torsion; shear stiffness.

References: 18.

Бідаков Андрій Миколайович – кандидат технічних наук, доцент кафедри будівельні конструкції Харківського національного університету міського господарства ім. О. М. Бекетова. (вул. Бажанова, 26, м. Харків, 61000, Україна).

Bidakov Andrii – PhD in Technical Sciences, Associate Professor of «Building construction» department, O. M. Beketov National University of Urban Economy (26 Bazhanova Str., 61000 Kharkiv, Ukraine).

E-mail: bidakov@kname.edu.ua

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6394-2247>

Пустовойтова Оксана Михайлівна – кандидат технічних наук, доцент кафедри будівельні конструкції Харківського національного університету міського господарства ім. О. М. Бекетова. (вул. Бажанова, 26, м. Харків, 61000, Україна).

Pustovoitova Oksana – PhD in Technical Sciences, Associate Professor of «Building construction» department, O. M. Beketov National University of Urban Economy (26 Bazhanova Str., 61000 Kharkiv, Ukraine).

E-mail: oksana_pustov@ukr.net

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4078-4834>

Распопов Євген Анатолійович – аспірант кафедри будівельні конструкції Харківського національного університету міського господарства ім. О. М. Бекетова (вул. Бажанова, 26, м. Харків, 61000, Україна).

Raspopov Ievgenii – PhD student of «Building construction» department, O. M. Beketov National University of Urban Economy (26 Bazhanova Str., 61000 Kharkiv, Ukraine).

E-mail: raspopovkm@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5084-5533>

Страшко Богдан Олександрович – аспірант кафедри будівельні конструкції Харківського національного університету міського господарства ім. О.М. Бекетова. (вул. Бажанова, 26, м. Харків, 61000, Україна).

Bogdan Strashko – PhD student of «Building construction» department, O.M.Beketov National University of Urban Economy (26 Bazhanova Str., 61000 Kharkiv, Ukraine).

E-mail: bogdanstrashko@outlook.com

**ОСНОВНІ ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ ТА ПОДАЧІ РУКОПИСІВ
НАУКОВИХ СТАТЕЙ ДО НАУКОВОГО ЖУРНАЛУ
«ТЕХНІЧНІ НАУКИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ»**

Шановні дописувачі!

Для подання статті необхідно спочатку надіслати на електронну адресу tst.technical.sj@gmail.com Вашу статтю, рецензію та довідку про автора (ів) для попереднього розгляду редакційною колегією журналу «Технічні науки та технології».

Після отримання позитивного відгуку прохання сплатити вартість публікації і відправити весь пакет документів.

Для публікації статті у журналі «Технічні науки та технології» необхідно в обов'язковому порядку подати:

- електронний варіант статті, оформленої за зразком;
- рецензію на статтю за підписом доктора наук;
- довідку про авторів;
- квитанцію (скановану) про сплату вартості публікації наукової статті.

Опублікування наукових статей у журналі «Технічні науки та технології» є платним. Вартість публікації 1 сторінки наукової статті становить **55 грн** (прохання обов'язково уточнювати вартість публікації). Оплата підтверджується квитанцією.

**УМОВИ ПУБЛІКАЦІЇ, ВИМОГИ ЩОДО ОФОРМЛЕННЯ СТАТЕЙ, РЕКВІЗИТИ
ОПЛАТИ ТА ОСТАННІ НОМЕРИ НАУКОВОГО ЖУРНАЛУ «ТЕХНІЧНІ НАУКИ
ТА ТЕХНОЛОГІЇ» РОЗМІЩЕНО НА САЙТІ ЧЕРНІГІВСЬКОГО
НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ:**

<http://tst.stu.cn.ua/>

Контактна інформація.

Матеріали необхідно надсилати на адресу: 14035, м. Чернігів, вул. Шевченка, 95, корп. 1, к. 242 (науково-дослідна частина).

Контактна особа: Кормило Ірина Миколаївна.

Тел. роб.: (0462) 66-51-15

Тел. моб.: (093) 592-78-12

E-mail: tst.technical.sj@gmail.com

**Відповідальність за матеріали, наведені у статті, несе автор.
Неправильно оформлені автором стаття та супровідні документи,
що не відповідають зазначеним вимогам, розглядатися не будуть.**

Редакція розглядає надходження публікації та супровідних документів (рецензії, довідки про авторів тощо) як згоду дописувача (ів) щодо передачі авторського права на використання твору (тиражування, розповсюдження тощо).

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

ТЕХНІЧНІ НАУКИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ

НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ

№ 2 (20)

Відповідальний за випуск
Редактор
Комп'ютерне складання та верстання

С. П. Сапон
О. С. Смелова
Т. М. Колот

Підписано до друку 30.06.2020. Формат 60×84/8. Друк різнографія.
Ум. друк. арк. – 37,67. Тираж 100 пр. Замовлення № 514/20.

Редакційно-видавничий відділ Чернігівського національного технологічного університету
14035, Україна, м. Чернігів, вул. Шевченка, 95.

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до Державного реєстру видавців,
виготівників і розповсюджувачів видавничої продукції
серія ДК № 4802 від 01.12.2014 р.