

ISSN 2307-5732

DOI 10.31891/2307-5732

НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ

6.2022

ВІСНИК

**Хмельницького
національного
університету**

Том 1

Технічні науки

Technical sciences

SCIENTIFIC JOURNAL

HERALD OF KHMELNYTSKYI NATIONAL UNIVERSITY

2022, Issue 6, Volume 315, Part 1

Хмельницький

**ВІСНИК
ХМЕЛЬНИЦЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
серія: Технічні науки**

Затверджений як фахове видання категорії «Б»,
РІШЕННЯ АТЕСТАЦІЙНОЇ КОЛЕГІЇ № 1643 ВІД 28.12.2019 та №409 від 17.03.2020

Засновано в липні 1997 р.

Виходить 6 разів на рік

Хмельницький, 2022, № 6, Том 1 (315)

**Засновник і видавець: Хмельницький національний університет
(до 2005 р. – Технологічний університет Поділля, м. Хмельницький)**

Наукова бібліотека України ім. В.І. Вернадського http://nbuv.gov.ua/j-tit/Vchnu_tekh

Включено до науково-метричних баз:

Google Scholar	http://scholar.google.com.ua/citations?hl=uk&user=aUP9OYAAAAJ
Index Copernicus	http://jml2012.indexcopernicus.com/passport.php?id=4538&id_lang=3
Polish Scholarly Bibliography	https://pbn.nauka.gov.pl/journals/46221
CrossRef	http://doi.org/10.31891/2307-5732

Головний редактор	Скиба М. Є. , д.т.н., професор, заслужений працівник народної освіти України, член-кореспондент Національної академії педагогічних наук України, професор кафедри машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем Хмельницького національного університету
Заступник головного редактора	Синюк О. М. , д.т.н., професор кафедри машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем Хмельницького національного університету
Відповідальний секретар	Горященко С. Л. , к.т.н., доцент кафедри машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем Хмельницького національного університету

Ч л е н и р е д к о л е г і ї
Технічні науки

Березненко С.М., д.т.н., Бойко Ю.М., д.т.н., Говорушенко Т.О., д.т.н., Гордєєв А.І., д.т.н., Горященко С. Л., к.т.н., Грабко В.В., д.т.н., Диха О.В., д.т.н., Защепкіна Н.М., д.т.н., Рубаненко О. О., д.с.н., Захаркевич О.В., д.т.н., Злотенко Б.М., д.т.н., Зубков А.М., д.т.н., Каплун П.В., д.т.н., Карташов В.М., д.т.н., Кичак В.М., д.т.н., Любош Хес, д.т.н., (Чехія), Мазур М.П., д.т.н., Мандзюк І.А., д.т.н., Мартинюк В.В., д.т.н., Мельничук П.П., д.т.н., Місяць В.П., д.т.н., Мясіщев О.А., д.т.н., Нелін Є.А., д.т.н., Павлов С.В., д.т.н., Параска О.А., д.т.н., Рогатинський Р.М., д.т.н., Горошко А.В., д.т.н., Сарібекова Ю.Г., д.т.н., Семенко А.І., д.т.н., Славінська А.Л., д.т.н., Харжевський В.О., д.т.н., Шинкарук О.М., д.т.н., Шклярський В.І., д.т.н., Щербань Ю.Ю., д.т.н., Бубулєс Альгімантас, доктор наук (Литва), Елсаєд Ахмед Ельнашар, доктор наук (Єгипет), Кальчиньскі Томаш, доктор наук (Польща), Лунтовський Андрій, д.т.н. (Німеччина), Матушевський Мацей, доктор наук (Польща), Мушлевський Лукаш, доктор наук (Польща), Мушля Януш, доктор наук (Польща), Натріашвілі Тамаз Мамієвич, д.т.н., (Грузія), Попов Валентин, доктор природничих наук (Німеччина)

<i>Технічний редактор</i>	Горященко К. Л., к.т.н.
<i>Редактор-коректор</i>	Броженко В. О.

**Рекомендовано до друку рішенням вченої ради Хмельницького національного університету,
протокол № 6 від 29.12.2022 р.**

Адреса редакції: редакція журналу "Вісник Хмельницького національного університету"
Хмельницький національний університет
вул. Інститутська, 11, м. Хмельницький, Україна, 29016

	(038-2) 67-51-08	http://journals.khnu.km.ua/vestnik
e-mail:	visnyk.khnu@khmnu.edu.ua	web: http://lib.khnu.km.ua/visnyk_tup.htm

Зареєстровано Міністерством України у справах преси та інформації.
Свідоцтво про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації
Серія КВ № 24922-14862ПР від 12 липня 2021 року

© Хмельницький національний університет, 2022
© Редакція журналу "Вісник Хмельницького національного університету", 2022

ЗМІСТ

АНДРЕЄВ В., СЛУЧАК О., СЛУЧАК О., АЛЕКСЄЄВА А., КРИСІНСЬКА Д. РОЗРОБКА МЕТОДИКИ МОДЕЛЮВАННЯ СТАНУ ВОДНОЇ ЕКОСИСТЕМИ НА ОСНОВІ МЕТОДІВ ЕКОЛОГІЧНОЇ СТЕХІОМЕТРІЇ З УРАХУВАННЯМ ЕНЕРГЕТИЧНОГО ПІДХОДУ	10
БАРНА А., КАМІНСЬКИЙ Р. АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ МЕТОДІВ РОЗБИТТЯ ПОТОКУ ДАНИХ ДЛЯ СИСТЕМ ДЕДУБЛІКАЦІЇ ДАНИХ	24
БЕЗВЕСІЛЬНА О., ГРИНЕВИЧ М. ОСОБЛИВОСТІ ГРАВІМЕТРІВ У СУЧАСНИХ ГРАВІМЕТРИЧНИХ СИСТЕМАХ	28
БРЕДУН В., МИКОЛАЙЧИК Т. АНАЛІЗ ВІДПОВІДНОСТІ ДОРОЖНЬОЇ МЕРЕЖІ ОПІШНЯНСЬКОЇ ТЕРИТОРІАЛЬНОЇ ГРОМАДИ ТЕНДЕНЦІЯМ РОЗВИТКУ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ВІДХОДАМИ В РЕГІОНІ	33
КАСІЯНЕНКО В., БУРДЕЙНИЙ В. ОПТИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ І АДГЕЗІЙНА ЗДАТНІСТЬ ГІБРИДНИХ ВІРУС-НЕОРГАНІЧНИХ КОМПЛЕКСІВ BTM-Au	37
ВАСИЛЬКІВСЬКИЙ М., КОЛОМІЄЦЬ А., ГРАБЧАК Н. ДОСЛІДЖЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ ІНФОКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖ 6G	46
ВАСИЛЬКІВСЬКИЙ М., КОЛОМІЄЦЬ А., БУДАШ М. ОЦІНЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ РАДІОТРАКТІВ ІНФОКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМ 5G/6G	53
ГАРАНИНА О., РЕДЬКО Я., КАМЕНЕЦЬ С., ВАТАН Р. ВСТАНОВЛЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ПАКЕТІВ ТЕКСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ КУРТКИ СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ	61
ГЕВЛИЧ І., НЕСКОРОДСЬКА Т. ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ДИСТАНЦІЙНОГО НАВЧАННЯ В СУЧАСНОМУ ОСВІТНЬОМУ ПРОЦЕСІ	66
ГІЛЬОРМЕ Т., НАКАШИДЗЕ Л. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ СПОСОБУ ЕЛЕКТРОТЕПЛООВОГО ЗАХИСТУ СОНЯЧНИХ БАТАРЕЙ В ЕНЕРГОУСТАНОВКАХ КОСМІЧНИХ АПАРАТІВ	69
ДЗЮРБАН Е., ЯШИНА О. МЕТОД ОЦІНКИ ОБ'ЄКТНО-ОРІЄНТОВАНИХ ПРОГРАМНИХ СИСТЕМ НА ОСНОВІ АНАЛІЗУ ЗМІНИ ВИМОГ ДО ПРОГРАМНОЇ СИСТЕМИ	77
ЗАЛЮБОВСЬКИЙ М., ПАНАСЮК І., КОШЕЛЬ О. ВИЗНАЧЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ МІЖ ЗМІНОЮ РЕЖИМІВ РУХУ РОБОЧОГО МАСИВУ ТА КОНСТРУКТИВНИМИ ОСОБЛИВОСТЯМИ ГАЛТУВАЛЬНОЇ МАШИНИ ТИПУ «TURBULA»	82
ЗАСПА Ю ГІДРОДИНАМІЧНО-ХВИЛЬОВЕ КАЛІБРУВАННЯ ПОТЕНЦІАЛІВ В РІВНЯННЯХ МАКСВЕЛЛА: НЕЛІНІЙНА ДИНАМІКА ТА КОГЕРЕНТНІСТЬ, КОЛАПС, РОЗШИРЕННЯ ТА ОБМІННА ВЗАЄМОДІЯ ІНЕРЦІЙНИХ ДИСИПАТИВНО-КОЛЕКТОРНИХ ЗБУРЕНЬ В НЕРІВНОВАЖНИХ СЕРЕДОВИЩАХ У КОМПЛЕКСНОМУ ПРОСТОРІ. СПІРАЛЬНА ТУРБУЛЕНТНІСТЬ ТА КОГЕРЕНТНІ СТРУКТУРИ ТРИВИМІРНОГО ЧАСУ	89
КАПІТАНЕЦЬ С., РАДЕЛЬЧУК Г. ОСОБЛИВОСТІ ЛОГУВАННЯ ДАНИХ ТА ВПЛИВ ТИПУ ДОДАТКА НА ВИБІР МЕТОДОЛОГІЇ ЛОГУВАННЯ	98
КАПТЮРОВА Д., ЧЕРТЕНКО Л., БОНДАР О., НОС О. ВДОСКОНАЛЕННЯ ВНУТРІШНЬОЇ ФОРМИ ВЗУТТЯ З ВИКОРИСТАННЯМ СУЧАСНИХ ПРОГРЕСИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ	102

КРИВЕНЧУК Ю., ПЕТРЕНКО Д. СИСТЕМА СТАБІЛІЗАЦІЇ ПОЛОЖЕННЯ ДРОНУ З ВИКОРИСТАННЯМ НАВЧАННЯ З ПІДКРІПЛЕННЯМ	111
КРИВЕНЧУК Ю., ЩУР Г. ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ НАВЧАННЯ ПЕРСОНАЛУ ПІДПРИЄМСТВ ЗАСОБАМИ ВІРТУАЛЬНОЇ РЕАЛЬНОСТІ	115
ЛАТАНСЬКА Л., МАКАРОВА Л., КОЛЬЦОВ А., ДАВЛАТОВА Д. НЕЛІНІЙНА РЕГРЕСІЙНА МОДЕЛЬ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ РОЗМІРУ ВЕБ-ЗАСТОСУНКІВ, ЩО СТВОРЮЮТЬСЯ З ВИКОРИСТАННЯМ PHP ФРЕЙМВОРКУ SYMFONY	119
ЛИТВИН О., МАКАТЬОРА Д., ДЖІКІЯ Н. РОЗРОБКА АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ВИЗНАЧЕННЯ «ID КОНКУРСНОЇ ПРОПОЗИЦІЇ» СПЕЦІАЛЬНОСТІ (ОСВІТНЬОЇ ПРОГРАМИ)	125
МЕЛЬНИЧЕНКО О. МЕТОДИ ЗБОРУ ТА ОБРОБКИ ЗОБРАЖЕНЬ ОТРИМАНИХ З ВИКОРИСТАННЯМ БПЛА ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ ЗАДАНИХ ОБ'ЄКТІВ	131
МІШАН В., КАРПОВА Л., ЛОБАЧОВА І. АНТЕННА РЕШІТКА МІМО З РОЗНЕСЕННЯМ ДІАГРАМ СПРЯМОВАНOSTІ ДЛЯ СМАРТФОНІВ 5G	139
МІШАН В., КАРПОВА Л., ЦІМАР В. МЕТОД ПРОЕКТУВАННЯ АНТЕН ШЛЯХОМ СИНТЕЗУ СМУГОВОГО ФІЛЬТРА	143
ОБЕЛЬОВСЬКА К., ПЕЛЕХ Х., ПЕЛЕХ Ю., СНАЙЧУК Я. АНАЛІЗ СХЕМИ CSMA/CA БЕЗПРОВІДНИХ ЛОКАЛЬНИХ МЕРЕЖ	148
ОЛЕКСАНДРЕНКО В., СВІДЕРСЬКИЙ В., КИРИЧЕНКО Л., ДАНІЛЕНКО І., ЄФІМЕНКО В. РОЗРОБКА І ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ НАНОМОДИФІКОВАНИХ ФТОРОПЛАСТОВИХ ПОКРИТТІВ, НАНЕСЕНИХ НА МЕТАЛЕВІ ПОВЕРХНІ	153
ПАВЛЮК А., КЕРНЕС В. ВИКОРИСТАННЯ ЦИФРОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ В ДИЗАЙНІ ЖІНОЧОГО КОСТЮМУ	163
ПАШКЕВИЧ О., ВАЩИЩАК С., БОЙЧУК А., СТИСЛО Т., ДЕМЧИНА М. ЗАСТОСУВАННЯ МОДЕЛЕЙ МАШИНОГО НАВЧАННЯ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ ЦІН НА РИНКУ НЕРУХОМОСТІ	170
ПЕТРУШАК В. РЕАЛІЗАЦІЯ ЧАСТОТОМІРА КОІНЦИДЕНЦІЇ НА ПЛІС	179
ПУКАЧ П. ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ ОСНОВНИХ КАРКАСНИХ МЕРЕЖ ВИЯВЛЕННЯ ОЗНАК ДЛЯ КЛАСИФІКАЦІЇ ЗОБРАЖЕНЬ МРТ В МОДЕЛЯХ ГЛИБИННОГО НАВЧАННЯ	183
РУБАНКА М., ДВОРЖАК В., РУБАНКА А., ПОЛІЩУК О., ГОРЯЩЕНКО С. ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ПРИ ВИГОТОВЛЕННІ ШВЕЙНИХ ВИРОБІВ: ОБЛАДНАННЯ РОЗКРІЙНОГО ВИРОБНИЦТВА	188
САПОЖНИК Д., ПЕЛИК Л. ПОСТАНОВКА ПИТАНЬ ЩОДО ПРИЗНАЧЕННЯ МИТНОЇ ЕКСПЕРТИЗИ З МЕТОЮ КОНТРОЛЮ ПРАВИЛЬНОСТІ КЛАСИФІКАЦІЇ ТОВАРІВ ЗА ТН ЗЕД	198
ФРИШЕВ С., ЛУКАЧ В., ІКАЛЬЧИК М., ВАСИЛЮК В. УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ТРАНСПОРТУВАННЯ ЗЕРНА ВІД КОМБАЙНІВ	203
МАЛАЙКО А., ПАСІЧНИК О., СКРИПНИК Т. МЕТОД ПОБУДОВИ ОПТИМАЛЬНОЇ ОСВІТНЬОЇ ТРАЄКТОРІЇ ЗДОБУВАЧІВ ВИЩОЇ ОСВІТИ	208

СОКУРЕНКО В., КРИЖНІЙ А. АВТОМАТИЗОВАНИЙ ПАРАМЕТРИЧНИЙ СИНТЕЗ ШИРОКОКУТНИХ ОКУЛЯРІВ З ПОЛЕМ ЗОРУ 90°	213
СОКУРЕНКО В., ХУТОРОВИЙ І., СОКУРЕНКО О. РОЗРОБЛЕННЯ ОПТИЧНИХ СИСТЕМ 16-ЛІНЗОВИХ ОРТОСКОПІЧНИХ ТЕЛЕОБ'ЄКТИВІВ	219
СТЕБЕЛЕЦЬКИЙ М., МАНЗЮК Е., СКРИПНИК Т., БАГРІЙ Р.О. МЕТОД ПОБУДОВИ АНСАМБЛІВ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ КЛАСИФІКАЦІЇ ДАНИХ НА ОСНОВІ КОРЕЛЯЦІЙНИХ ЗВ'ЯЗКІВ РІШЕНЬ	224
ГОМЕЛЯ М., ТРУС І., ТВЕРДОХЛІБ М., РУДЕНКО О. ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ СОРБЕНТІВ-КАТАЛІЗАТОРІВ ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ ВОДИ ВІД СПОЛУК МАНГАНУ	234
ТИМОШЕНКО П., ЗАСОБА Є., О КОВАЛЬЧУК., ПШЕНИЧНИЙ О. НЕЙРОЕВОЛЮЦІЙНІ АЛГОРИТМИ ДЛЯ ГЕНЕРУВАННЯ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ	240
ТРАЧ О. МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ ІНФОРМАЦІЙНО-РЕКЛАМНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ ПІДРОЗДІЛІВ УНІВЕРСИТЕТУ В СОЦІАЛЬНИХ СЕРЕДОВИЩАХ ІНТЕРНЕТУ	245
ХАВАЛКО В., ЦАП В., ЯРЧАК А. АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ ВИЯВЛЕННЯ ГРАНИЦЬ ОБ'ЄКТІВ В МЕДИЧНИХ ЗОБРАЖЕННЯХ	251
ХАРЖЕВСЬКИЙ А., ГОРЯЩЕНКО С., ХАРЖЕВСЬКИЙ В. ОБґРУНТУВАННЯ КОНСТРУКЦІЇ ТА ПАРАМЕТРІВ КОЛІС ПРИ ПРОЄКТУВАННІ ШАСІ РОБОТИЗОВАНОЇ ПЛАТФОРМИ ЗАСОБАМИ SOLIDWORKS SIMULATION	255
ХОДЯЧИЙ В., НІКІТІН О. СЕНСОРИ ПОТОКІВ СИПКИХ МАТЕРІАЛІВ	263
ЩЕРБАНЬ В., ІЩЕНКО В., КОЛИСКО О., МЕЛЬНИК Г., ЩЕРБАНЬ Ю. СТРУКТУРА КОМП'ЮТЕРНОЇ ПРОГРАМИ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОГО ШЛЯХУ ОРІЄНТОВАНОГО ГРАФА ПРИ ВИКОРИСТАННІ АЛГОРИТМУ ДЕЙКСТРИ	270
ЯЦЕНКО Д., ПОПОВ В., ЗАМУЛКО А., ЯРМОЛЮК О., АДАНІКОВ О. ЗАСТОСУВАННЯ ІНДИКАТИВНОГО ЯКІСНОГО ПОКАЗНИКА ПРИ ДИНАМІЧНОМУ КЕРУВАННІ ТОПОЛОГІЄЮ РОЗПОДІЛЬНОЇ МЕРЕЖІ З ЛОКАЛЬНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ ЕНЕРГІЇ З МЕТОЮ МІНІМІЗАЦІЇ ВТРАТ ЕНЕРГІЇ	274
БОЙКО С., КОТОВ О. ВИШНЕВСЬКИЙ С., МЕЛЬНИК О., ПОДГОРНИХ Н. АНАЛІЗ ПЕРСПЕКТИВ ВПРОВАДЖЕННЯ ВОДНЕВОЇ ЕНЕРГЕТИКИ В ЕНЕРГЕТИЧНИЙ БАЛАНС ПІДПРИЄМСТВ АВІАЦІЙНОЇ ГАЛУЗІ	282
МАТЮХ С., СКИБА М., СИНЮК О., ГОРЯЩЕНКО С. ВИКОРИСТАННЯ ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЙ У ЗАКЛАДАХ ВИЩОЇ ОСВІТИ	287

CONTENT

ANDREEV VIACHESLAV, SLUCHAK OLEKSANDR, SLUCHAK OLENA, ALEKSEEVA ANNA, KRYSHINSKA DIANA DEVELOPMENT OF A METHODOLOGY FOR MODELING THE STATE OF THE WATER ECOSYSTEM BASED ON THE METHODS OF ECOLOGICAL STOICHIOMETRY, TAKING INTO ACCOUNT THE ENERGY APPROACH.....	10
BARNA ANDRII, KAMINSKY ROMAN ANALYSIS OF THE EFFICIENCY OF DATA CHUNKING METHODS FOR DATA DEDUBLICATION SYSTEMS	24
BEZVESILNA OLENA, GRYNEVYCH MARIIA FEATURES OF GRAVIMETERS IN MODERN GRAVIMETRIC SYSTEMS	28
BREDUN VIKTOR, MYKOLAICHYK TARAS ANALYSIS OF THE CORRESPONDENCE OF THE ROAD NETWORK OF THE OPISHNIAN TERRITORIAL COMMUNITY TO THE DEVELOPMENT TENDENCIES OF THE WASTE MANAGEMENT SYSTEM IN THE REGION	33
KASIYANENKO VASUL, BURDEYNYY VOLODYMYR OPTICAL PROPERTIES AND ADHESIVE ABILITY OF HYBRID VIRUS NONORGANIC COMPLEXES TMV-Au	37
VASYLKYVSKYI MYKOLA, KOLOMIETS ALYONA, HRABCHAK NAZARII RESEARCH OF FUNCTIONAL PARAMETERS OF INFOCOMMUNICATION NETWORKS 6G	46
VASYLKYVSKYI MYKOLA, KOLOMIETS ALYONA, BUDASH MYKHAILO EVALUATION OF RADIO PATH PARAMETERS OF INFOCOMMUNICATION SYSTEMS 5G/6G	53
HARANINA OLHA, RED'KO YANA, KAMENETS SERHIY, VATAN RAISA DETERMINATION OF THE EFFICIENCY OF APPLICATION OF PACKAGES OF TEXTILE MATERIALS FOR THE PRODUCTION OF A SPECIAL PURPOSE JACKET	61
HEVLYCH IVAN, NESKORODIEVA TETIANA USE OF DISTANCE LEARNING TECHNOLOGIES IN THE MODERN EDUCATIONAL PROCESS.....	66
HILORME TETIANA, NAKASHYDZE LILIYA TECHNICAL AND ECONOMIC SUBSTANTIATION FOR SELECTION OF THE METHOD OF ELECTRO-THERMAL PROTECTION OF SOLAR PANELS IN THE SPACECRAFT POWER PLANTS	69
DZIURBAN EDUARD, YASHYNA OKSANA METHOD OF EVALUATION OF OBJECT-ORIENTED SOFTWARE SYSTEMS BASED ON THE ANALYSIS OF CHANGES IN THE SOFTWARE SYSTEM REQUIREMENTS	77
ZALYUBOVSKYI MARK, PANASYUK IGOR, KOSHEL OLEXANDR DETERMINATION OF THE RELATIONSHIP BETWEEN THE CHANGE OF THE MOTION MODES OF THE WORKING ARRAY AND THE DESIGN FEATURES OF THE "TURBULA" TYPE TURNING MACHINE.....	82
ZASPA YURII HYDRODYNAMIC-WAVE CALIBRATION OF POTENTIALS IN MAXWELL'S EQUATIONS: NON- LINEAR DYNAMICS AND COHERENCE, COLLAPSE, EXPANSION AND EXCHANGE INTERACTION OF INERTIAL DISSIPATIVE-COLLECTOR DISTURBANCES IN NON-EQUILIBRIUM MEDIA IN THE COMPLEX SPACE. SPIRAL TURBULENCE AND COHERENT STRUCTURES OF THREE-DIMENSIONAL TIME.....	89
KAPITANETS STEPAN, RADELCHUK GALINA PECULIARITIES OF DATA LOGGING AND INFLUENCE OF APPLICATION TYPE ON THE CHOICE OF LOGGING METHODOLOGY	98

KAPTIUROVA DARIA, CHERTENKO LILIA, BONDAR OLEXANDR., NOS OLEXANDRA IMPROVEMENT OF THE INTERNAL FORM OF SHOES USING MODERN PROGRESSIVE TECHNOLOGIES	102
KRYVENCHUK YURI, PETRENKO DMYTRO CREATION OF DRONE STABILIZATION SYSTEM USING REINFORCEMENT LEARNING	111
KRYVENCHUK YURI, SHCHUR HLIB INFORMATION TECHNOLOGY FOR TRAINING THE PERSONNEL OF ENTERPRISES BY MEANS OF VIRTUAL REALITY	115
LATANSKA LIUDMYLA, MAKAROVA LIDIJA, KOLTSOV ANDRII, DAVLATOVA DIANA A NONLINEAR REGRESSION MODEL FOR ESTIMATING THE SIZE OF WEB APPLICATIONS CREATED USING SYMFONY FRAMEWORK	119
LYTVYN OLEG, MAKATORA DMYTRO, DZHIKIYA NELLIE DEVELOPMENT OF AN AUTOMATED SYSTEM FOR DETERMINING THE "ID OF THE COMPETITIVE PROPOSAL" OF THE SPECIALTY (EDUCATIONAL PROGRAM)	125
MELNYCHENKO OLEKSANDR METHODS OF COLLECTING AND PROCESSING IMAGES OBTAINED USING UAVs TO DETECT SPECIFIED OBJECTS	131
MISHAN VIKTOR, KARPOVA LESIA, LOBACHOVA INNA MIMO ANTENNA ARRAY WITH DIRECTIONAL DIAGRAM SPREAD FOR 5G SMARTPHONES	139
MISHAN VIKTOR, KARPOVA LESIA, TSIMAR VALERII METHOD OF DESIGNING ANTENNAS BY SYNTHESIS OF A BAND FILTER	143
OBELOVSKA KVITOSLAVA, PELEKH KHRYSTYNA, PELEKH YURY. SNAICHUK YAROMIR ANALYSIS OF THE CSMA/CA SCHEME FOR WIRELESS LOCAL AREA NETWORKS	148
OLEKSANDRENKO VICTOR., SVIDERSKYI VLADISLAV, KIRICHENKO LUDMILA, DANILENKO IGOR, YEFYMENKO VALERIJ DEVELOPMENT AND RESEARCH OF THE NANOMODIFIED FLUOROPLASTIC COVERAGES INFLECTED ON METALLIC SURFACES	153
PAVLIUK ANNA, KERNESH VICTORIA USE OF DIGITAL TECHNOLOGIES IN WOMEN'S DRESS DESIGN	163
PASHKEVYCH OLEH, VAHSCHYSHCHAK SERHII, BOICHUK ADRII, STYSLO TARAS, DEMCHYNA MYKOLA APPLICATION OF MACHINE LEARNING MODELS FOR PREDICTING PRICES ON THE REAL ESTATE MARKET	170
PETRUSHAK VOLODYMYR IMPLEMENTATION OF THE COINCIDENCE FREQUENCY METER ON FPGA	179
PUKACH PAVLO REVIEW AND ANALYSIS OF BASIC FEATURE DETECTION NETWORKS FOR CLASSIFICATION OF MRI IMAGES IN DEEP LEARNING MODELS	183
RUBANKA MYKOLA, DVORZHAK VOLODYMYR, RUBANKA ALLA POLISHCHUK OLEH, HORIASHCHENKO SERHIY INNOVATIVE TECHNOLOGIES IN THE PRODUCTION OF SEWING PRODUCTS: CUTTING PRODUCTION	188
SAPOZHNYK DMYTRO, PELYK LESIA RAISING QUESTIONS ABOUT THE APPOINTMENT OF CUSTOMS EXPERTISE IN ORDER TO CONTROL THE CORRECT CLASSIFICATION OF GOODS UNDER HS	198

FRYSHEV SERGI, LUKACH VASYL, IKALCHYK MYKOLA, VASYLYUK VOLODYMYR IMPROVEMENT OF GRAIN TRANSPORTATION TECHNOLOGY FROM COMBINES	203
MALAIIKO ANDRII., PASICHNYK OLEXANDER, SKRYPNYK TETANA THE METHOD OF BUILDING THE OPTIMAL EDUCATIONAL TRAJECTORY OF HIGHER EDUCATION ACQUISITIONERS	208
SOKURENKO VYACHESLAV, KRYZHIY ANDRIY АВТОМАТИЗОВАНИЙ AUTOMATED PARAMETRIC SYNTHESIS OF WIDE-ANGLE EYEPIECES WITH 90-DEG FIELD OF VIEW	213
SOKURENKO VYACHESLAV, KHUTOROVYI IVAN, SOKURENKO OLEG DEVELOPMENT OF OPTICAL SYSTEMS OF 16-LENS ORTHOSCOPIC TELEPHOTO LENSES	219
STEBELETSKYI MYROSLAV, MANZIUK EDUARD, SKRYPNYK TETYANA, BAHRIY RUSLAN METHOD OF BUILDING ENSEMBLES OF MODELS FOR DATA CLASSIFICATION BASED ON DECISION CORRELATIONS	224
MUKOLA GOMELYA, INNA TRUS, MARIIA TVERDOKHLIB, OLEKSANDRA RUDENKO EVALUATION OF THE EFFICIENCY OF SORBENTS-CATALYSTS FOR THE PURIFICATION OF WATER FROM MANGANESE COMPOUNDS	234
TYMOSHENKO PAVLO, ZASOBA YEVGEN, KOVALCHUK OLEXANDER, PSHENYCHNYI OLEXANDER NEUROEVOLUTIONARY ALGORITHMS FOR NEURAL NETWORKS GENERATING	240
TRACH OLHA METHODS AND MEANS OF INFORMATION AND ADVERTISING ACTIVITIES OF UNIVERSITY DEPARTMENTS IN SOCIAL INTERNET ENVIRONMENTS	245
KHAVALKO VIKTOR, TSAP VLADYSLAV, YARCHAK ANDRII EFFICIENCY ANALYSIS OF APPLICATION OF OBJECT BUNDARIS DETECTION METHODS IN MEDICAL IMAGES	251
KHARZHEVSKYI ANTON, HORIASHCHENKO SERHIY, KHARZHEVSKYI VIACHESLAV JUSTIFICATION OF THE DESIGN AND PARAMETERS OF THE WHEELS DURING THE DESIGN PROCESS OF THE CHASSIS OF A ROBOTIC PLATFORM USING SOLIDWORKS SIMULATION	255
KHODIACHYI VLADISLAV, NIKITIN OLEXANDER SENSORS OF FLOWS OF BULK MATERIALS	263
SHCHERBAN VOLODYMYR, ISHCHENKO VALENTIN, KOLISKO OKSANA, MELNIK GENADIJ, SHCHERBAN YURYJ STRUCTURE OF A COMPUTER PROGRAM FOR DETERMINING THE OPTIMAL PATH DIRECTED GRAPH USING DIJKSTRA'S ALGORITHM	270
DMYTRO YATSENKO, VLADIMIR POPOV, ANATOLII ZAMULKO, OLENA YARMOLIUK, OLEKSANDR ADANIKOV APPLICATION OF INDICATIVE QUALITY INDICATOR IN DYNAMIC MANAGEMENT OF THE TOPOLOGY OF A DISTRIBUTION NETWORK WITH LOCAL ENERGY SOURCES WITH THE PURPOSE OF MINIMIZING ENERGY LOSSES	274
BOYKO SERHIY, KOTOV OLEKSIY, VYSHNEVSKY SVYATOSLAV, MELNYK OLGA, PODHORYNH NADIA ANALYSIS OF THE PROSPECTS OF THE IMPLEMENTATION OF HYDROGEN ENERGY IN THE ENERGY BALANCE OF COMPANIES IN THE AVIATION INDUSTRY	282
MATIUKH SERHII, SKYBA MYKOLA, SYNYUK OLEH., HORIASHCHENKO SERHIY USE OF ENERGY-SAVING TECHNOLOGIES IN HIGHER EDUCATION INSTITUTIONS	287

АНДРЕЄВ Вячеслав

Чорноморський національний університет імені Петра Могили

<https://orcid.org/0000-0003-1143-8043>e-mail: avi@chmnu.edu.ua**СЛУЧАК Олександр**

Чорноморський національний університет імені Петра Могили

<https://orcid.org/0000-0001-5051-0648>e-mail: slu4ok@gmail.com**СЛУЧАК Олена**

Чорноморський національний університет імені Петра Могили

<https://orcid.org/0000-0002-4065-7707>e-mail: ill69mill@gmail.com**АЛЕКСЕЄВА Анна**

Чорноморський національний університет імені Петра Могили

<https://orcid.org/0000-0003-0345-8538>e-mail: anna.aleksyeyeva@chmnu.edu.ua**КРИСІНСЬКА Діана**

Чорноморський національний університет імені Петра Могили

<https://orcid.org/0000-0002-3117-6039>e-mail: d_krysinska@chmnu.edu.ua

РОЗРОБКА МЕТОДИКИ МОДЕЛЮВАННЯ СТАНУ ВОДНОЇ ЕКОСИСТЕМИ НА ОСНОВІ МЕТОДІВ ЕКОЛОГІЧНОЇ СТЕХІОМЕТРІЇ З УРАХУВАННЯМ ЕНЕРГЕТИЧНОГО ПІДХОДУ

Авторами статті представлено розробку методики моделювання стану харчового ланцюга водної екосистеми в аспекті приросту біомаси продуцентів за екологічною енергетичною стехіометрією. В основі дослідження лежить ряд функцій-синусоїд, розроблених в ході моделювання помісячного надходження сонячної енергії на одиницю площі за широтою. На етапі аналізу харчового ланцюга пропонується додатково використовувати виведену закономірність впливу солоності на ріст макролітів та поправочні коефіцієнти рибопродуктивності для різних ґрунтів. Закладено основу для автоматизації та локального моделювання.

Ключові слова: екологічна стехіометрія, моделювання біоценозів, ККД фотосинтезу, альbedo водойм, енергетика водної екосистеми, біопродуктивність риб.

ANDREEV Viacheslav, SLUCHAK Oleksandr,

SLUCHAK Olena, ALEKSEEVA Anna, KRYSINSKA Diana

Petro Mohyla Black Sea National University

DEVELOPMENT OF A METHODOLOGY FOR MODELING THE STATE OF THE WATER ECOSYSTEM BASED ON THE METHODS OF ECOLOGICAL STOICHIOMETRY, TAKING INTO ACCOUNT THE ENERGY APPROACH

The article develops a methodology for modeling the state of the food chain of the aquatic ecosystem in terms of biomass growth of producers based on ecological energy stoichiometry. The research is based on a number of sinusoidal functions developed during the simulation of the monthly solar energy arrival per unit area by latitude. The average forecast indicator of energy input for southern Ukraine of 2518 MJ/m² is very close to the results of similar applied measurements in Odesa. For modeling, the average latitude for Ukraine is 48°23', the average inclinations of the sun for each of the 8 months according to the astronomical calendar (about 14), as well as the average duration of a sunny day, and the angle of incidence and reflection of the sun's rays on water are determined based on them, taking into account only the angle of incidence at noon, and changes during the day (the angle of reflection ranges from 17.5 in June to 29.26 in September). Correction coefficients for latitude were derived, the percentage ratio of days with cyclonic weather, due to which there is an increase in reflection due to cloudiness and waves, was calculated - 638 hours and 30 minutes. The efficiency of photosynthesis for the main groups of phytoplankton organisms was calculated, which is 1.98 % for Chlorophyta, 2.38 % for Cyanophyta, 1.96 % for Euglenophyta and 1.65 % for all others. The overall average efficiency of photosynthesis was thus 1.83 %. Taking into account the area of the water mirror, the arrival of energy, reflection, scattering and absorption. Taking into account the efficiency of photosynthesis, a stoichiometric simulation of the increase in biomass of producers was carried out. The potential of carbon dioxide deposition is 2.6 kg/m² per year, oxygen release is 1.92 kg/m², and biomass growth is 1.8 kg/m². This is the maximum potential. The study is supplemented by derived correction factors based on energy and toxicological indices of environmental safety, ORP and the Redfield ratio. This gives a real total energy per square meter of 12335.66473 kJ, biomass growth of 773.1266184 g/m². The predictive model yields 577.6 kg/ha per year of fish, which is close to the value of natural bioproductivity for herbivorous fish (505 kg/ha). At the stage of food chain analysis, it is proposed to additionally use the deduced regularity of the effect of salinity on the growth of macroliths and correction coefficients of fish productivity for different soils. The basis for automation and local modeling is laid.

Keywords: ecological stoichiometry, modeling of biocenoses, efficiency of photosynthesis, albedo of water bodies, energetics of water ecosystem, bioproductivity of fish.

Постановка проблеми. Проблема оцінювання стану харчового ланцюга водних біоценозів є особливо актуальною в аспектах оцінки безпечних лімітів відбору природних біоресурсів, потенціалу депонування вуглецю та можливостей асиміляції забрудників водною екосистемою. Загалом подібні дослідження базуються на методах ловів та біоіндикації за шкалами сапробності, трофічності та рядом інших ознак.

Основною складністю в даному випадку є фрагментарність отримуваних даних, що вимагає створення чіткої прогнозової моделі та корегування господарювання в межах її показників.

Одним з відносно новітніх підходів в даному напрямку стала екологічна стехіометрія [1]. Особливо актуальною її зробило зосередження зусиль на депонуванні вуглецю, монетизація якого дозволила провести чітку фінансову оцінку витрат на даний напрям діяльності людини (або оцінку екосистемної послуги такого типу) [2].

В даному дослідженні екологічна стехіометрія тісно переплітається з екологічною енергетикою – значно більш розвиненою, ще з 1800-х років наукою [3], так як реакція фотосинтезу, на якій базується асиміляція енергії сонця та депонування вуглецю, дозволяє робити чіткі оціночні прогнози потенційної вигоди від діяльності природних екосистем.

Крім того, на основі розробленої моделі передачі енергії харчовим ланцюгом, можна встановлювати безпечні ліміти відбору біоресурсів та оцінювати вплив таких виловів на екосистему на основі даних по погодним умовам.

Метою даного дослідження стала розробка методики комплексного моделювання стану водної екосистеми на основі методів екологічної стехіометрії, з урахуванням енергетичного підходу.

Відповідно, об'єктом даного дослідження є міграція енергії харчовим ланцюгом водних екосистем, в рамках моделі, розробленої на базі екологічної стехіометрії.

Предметом дослідження виступає екостехіометрично-енергетична модель водних біоценозів України, з урахуванням лімітуючих факторів, включаючи аварійні.

Основні завдання дослідження:

- розробити модель надходження прямої енергії сонячного випромінювання на водне дзеркало водойми з урахуванням: прямої сонячної радіації в певну пору року; хмарності, кута падіння та відбиття, хвилювання, тривалості сонячного дня, площі водного дзеркала, прозорості води;
- на основі формули фотосинтезу вивести формулу для розрахунку реально використаної сонячної енергії без урахування ККД фотосинтезу;
- на основі літературних даних про дослідження водної біоти України визначити: концентрації основних таксонів фітопланктону у відсотковому співвідношенні та знайти дані про їх біопродуктивність, біопродуктивність зоопланктонних організмів (також за групами), біопродуктивність та потребу в кормах трав'янистих та всеїдних риб, на основі яких вивести ККД використання сонячної енергії на різних рівнях харчової піраміди;
- вдосконалити модель водних біоценозів за допомогою лімітуючих факторів: активність риб за прогнозами клювання риби (вплив погоди), санітарний пропуск та швидкість течії для проточних водойм, сапробність та трофічність водойми;
- створити підґрунтя для доповнення моделі за рахунок концепції водойми як відкритої системи (надходження енергії з зовнішніх екосистем разом з поживними речовинами, харчування водоплаваючої птиці, змиви гранту дощами, виніс біомаси людиною та ін.).

Актуальність дослідження. В умовах значного антропогенного забруднення водних екосистем, що ускладнюється аварійними скидами та витоками шкідливих речовин внаслідок пошкодження критичної інфраструктури, спричиненого військовими діями, особливої актуальності набувають напрямки розробки та цифровізації комплексної моделі харчових ланцюгів водних біоценозів, яка б дозволила оцінити нанесену екосистемі шкоду, для включення компенсації по даному аспекту до загальної суми репарацій та розробки заходів з рекультивації постраждалої території.

Мета дослідження – розробка методик моделювання стану водної екосистеми на основі методів екологічної стехіометрії з ухилом в бік міграції енергії харчовим ланцюгом.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Дослідження проводилось на базі науково-дослідної частини та кафедри екології Чорноморського національного університету імені Петра Могили в рамках теми «Науково-практичне обґрунтування та визначення стенобіонтного підходу щодо забезпечення національної екологічної безпеки водних екосистем України» (№ держреєстрації 0120U101959).

Робота спрямована на вирішення завдань, визначених Урядом України у сфері зміцнення екологічної безпеки України та Законом України, а саме:

- Законом України «Про Пріоритетні напрями інноваційної діяльності в Україні» № 3715-VI (Пріоритет 6: широке застосування технологій більш чистого виробництва та охорони навколишнього природного середовища);
- Законом України «Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року» від 28.02.2019 №2697-VIII та постановою Кабінету Міністрів України від 18 травня 2017 року №336 «Про затвердження Порядку розроблення плану заходів управління річковим басейном».
- Основні засади дослідження визначено пунктами Водної Рамкової Директиви ЄС 2000/60/ЄС.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Дослідження в напрямку екологічної стехіометрії поверхневих вод, в основному базуються на CNP-підході, тобто обчисленні біодоступності карбону, нітрогену та фосфору для первинної ланки продуцентів [4, 5]. Рідше [6] приділяється увага бактеріальним угрупованням редуцентів та анаеробних продуцентів.

При цьому часто відмічається два основні фактори – сезонна динаміка [7] та антропогенний вплив [8].

Відповідно, в ході формування моделей [9] трофічних ланцюгів для водних екосистем формується

модель фонового значення (зазвичай на основі вмісту нітратів, нітритів, фосфатів), що є природним для даних умов та антропогенного навантаження.

Основним джерелом надходження енергії до річкової екосистеми є сонячне випромінювання, поглинуте в ході фотосинтезу. Автори [10] наводять таблицю з середніми показниками активної фотосинтетичної радіації на квадратний метр за періоди 1961-1970, 1971-1980, 1981-1990, 1991-2000, 2001-2006 та хронологією її зміни, в інформаційному джерелі [11] здійснюють районування за показниками геліоресурсів.

Проте, лише в першій з них є аналітика по порам року, і лише для пунктів вимірювання, проте цієї інформації недостатньо для повноцінного моделювання. В даному аспекті формула, яку наводять автори [12] дає змогу дещо краще зрозуміти особливості помісячного розподілу енергії сонячного випромінювання.

Все це корелює з моделями, виведеними нами [13] на основі таблиці помісячних вимірювань прямої сонячної радіації в різних широтах для кожного з місяців [14]. Так було отримано сумарне надходження енергії на м^2 в районі 2518 МДж/м^2 для Миколаївщини та півдня України, в той час як середній показник з таблиці джерела [10] для Одеси – 2510 МДж/м^2 .

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим, присвячується означена стаття.

Дана стаття присвячується вирішенню питань моделювання річного приросту біомаси на основі надходження сонячної енергії в рамках проблеми екологічної стехіометрії в харчовому ланцюзі водного біоценозу, CNP-стехіометрія також розглядається в рамках лімітуючих умов росту фітопланктону за закономірністю Редфілда [15].

Новизна дослідження базується на інноваційній концепції енергетичної стехіометрії, що закладає базу для автоматизації моделювання приростів біоресурсів прісних (а за певних корегувань і солоних) водойм для встановлення лімітів вилову, та визначення їх потенційної здатності до депонування вуглецю. Використання погодних факторів, показників надходження сонячної енергії, що можуть вимірюватись люксометрами, та лімітуючих факторів, які також підлягають моніторингу, робить модель динамічною та дозволяє не тільки прогнозувати можливості біоценозу в тривалій перспективі, а й оцінювати її в реальному часі, встановлюючи відповідні риболовні обмеження, проводячи рекультиваційні заходи та оцінюючи завдану їй шкоду.

Методологічне та загальнонаукове значення. Екоенергетична стехіометрія водойм є перспективним напрямком для отримання детальної, науково обґрунтованої інформації про функціонування харчових ланцюгів водних екосистем. Результати дослідження можна використовувати в процесі навчання студентів та аспірантів екологічних спеціальностей, для кращого розуміння особливостей формування складних динамічних моделей екосистем.

З наукової точки зору, моделі такого рівня – це запит на контроль над природною екосистемою, тобто розуміння принципів її функціонування на рівні всієї системи та окремого організму, окрім того, це важливе доповнення до системи моніторингу реального часу, крок до майбутніх заходів з локального коригування нанесеної антропогенним впливом шкоди екологічним системам.

Виклад основного матеріалу. Розроблена авторами методика включає таку послідовність дій:

Визначення площі водного дзеркала та об'єму водойми.

Визначення річного надходження прямої сонячної радіації на метр квадратний площі на основі закономірностей, виведених для кожного з місяців вегетаційного періоду за тривалістю світлового дня (без урахування біологічної зими).

Коригування показників по отриманій середовищем енергії на основі даних про кількість днів з циклонною погодою (впливає на хмарність, хвилювання), прозорість води (якщо менше метра), зміни кута падіння сонячних променів протягом дня (за схиленьям).

Визначення відсоткового складу фітопланктонної біомаси по відділам з розрахунком ККД фотосинтезу для кожного з них та обсягів потенційного депонування вуглецю, виділення кисню, фітоекстракції забрудників та нарощування біомаси.

Корегування вказаних показників за допомогою коефіцієнтів, що визначають лімітуючі фактори: санітарний стік, ORP, співвідношення Редфілда, рівень забрудненості за індексом сапробності.

Розрахунок проходження енергії харчовим ланцюгом з урахуванням норм кормів та посадки для аквакультури та визначення безпечних лімітів відбору біоресурсів з урахуванням плодючості визначених видів.

Вимірювання площі водойми можна реалізувати шляхом обведення водойми в середовищі Google Maps (не можна зберігати, тому великі об'єкти обводити не рекомендуємо), Google Earth, або векторизувати карту в середовищі Mapinfo. По ряду штучних водойм та озер дані про площі водного дзеркала є в довідниках [16], а по річкам таких вимірювань окремо не проводиться, враховуючи складність ідентифікації приток. Маючи дані про площу, середню глибину та довжину річки, можемо розрахувати її приблизний об'єм за методикою [17]. По штучним водоймам дані про об'єм є в тих же довідниках.

Було створено прогнозу модель приходу енергії сонячного випромінювання на площу біля поверхні землі питому енергію сонячного випромінювання для визначених координат [13].

Отримані синусоїди (таблиця 1) відрізняються між собою коефіцієнтами та коефіцієнтом кореляції показників, але мають досить високу для використання в прогнозах репрезентативність.

Далі необхідно розрахувати тривалість світлового дня, щоб використати узагальнені дані для отримання надходження сонячної енергії. В таблиці 2 зазначено показники розраховані для півдня України, але через один часовий пояс розбіжності будуть невеликими (дані після коми показано саме в хвилинах).

Проте для більш точних досліджень в алгоритмі автоматичного оцінювання для окремої водойми пропонується використовувати дані калькулятору тривалості сонячного дня.

Таблиця 1

Функції приходу енергії сонця на метр квадратний площі

№	Функція	R
1	$E = 121.77 + 144.08 \cdot \cos(0.032 \cdot L - 0.283)$,	0,9994
2	$E = 174.44 + 99.04 \cdot \cos(0.037 \cdot L - 0.8099)$,	0,9991
3	$E = 239.595 + 45.788 \cdot \cos(0.055 \cdot L - 1.774)$,	0,9976
4	$E = 244.243 + 41.52 \cdot \cos(0.058 \cdot L - 1.957)$,	0,9956
5	$E = 191.744 + 81.367 \cdot \cos(0.041 \cdot L - 1.029)$,	0,9956
6	$E = 123.396 + 139.727 \cdot \cos(0.032 \cdot L - 0.433)$,	0,9997
7	$E = 102.213 + 160.82 \cdot \cos(0.029 \cdot L - 0.9385)$,	0,9997
8	$E = 129.195 + 133.909 \cdot \cos(0.036 \cdot L - 0.3826)$,	0,9998

де E (Energy) – енергія, що надходить до екосистеми на 1 м² за годину; L (Latitude) – широта в північній півкулі

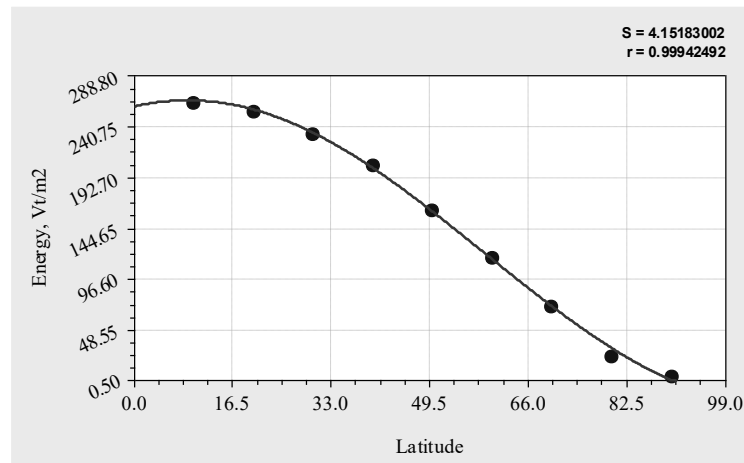


Рис. 1. Кореляція щільності теплового потоку сонячного випромінювання з широтою для Квітня

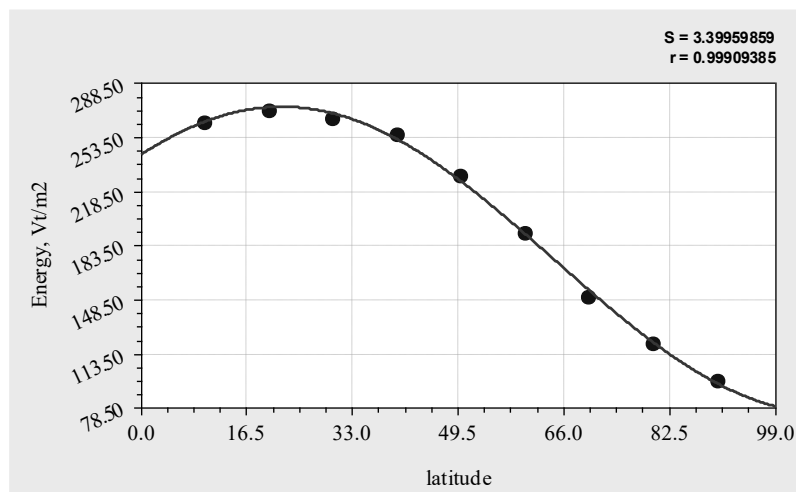


Рис. 2. Кореляція щільності теплового потоку сонячного випромінювання з широтою для Травня

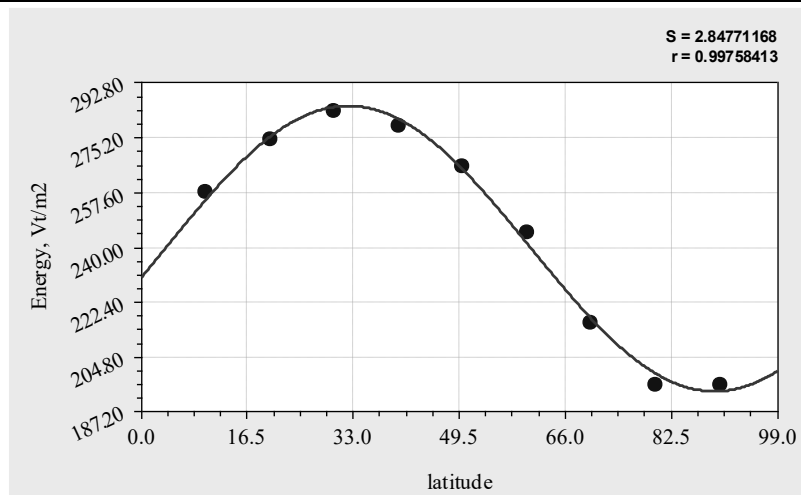


Рис. 3. Кореляція щільності теплового потоку сонячного випромінювання з широтою для Червня

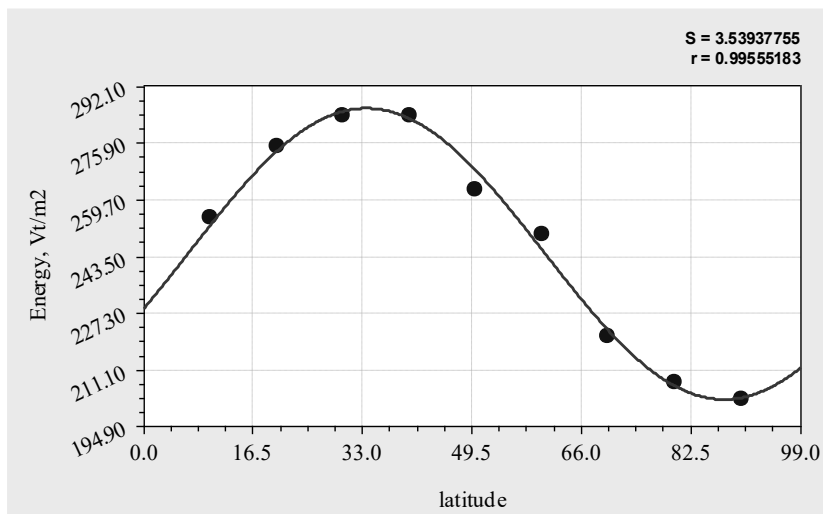


Рис. 4. Кореляція щільності теплового потоку сонячного випромінювання з широтою для Липня

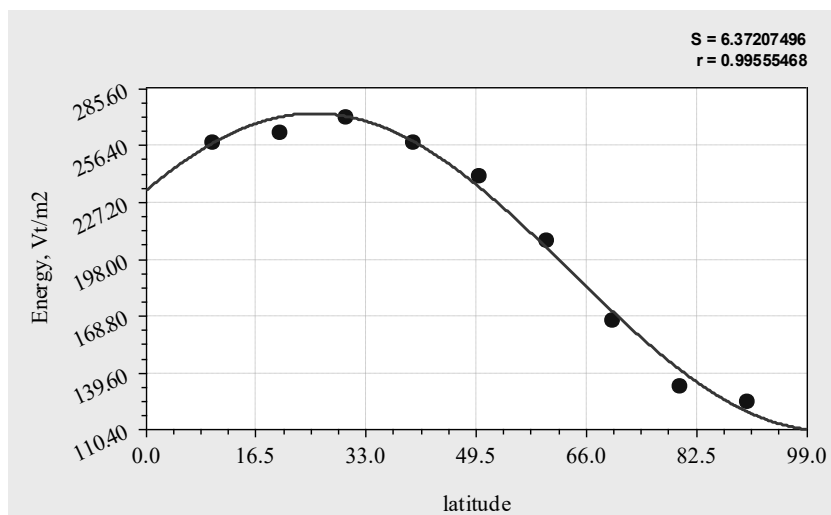


Рис. 5. Кореляція щільності теплового потоку сонячного випромінювання з широтою для Серпня

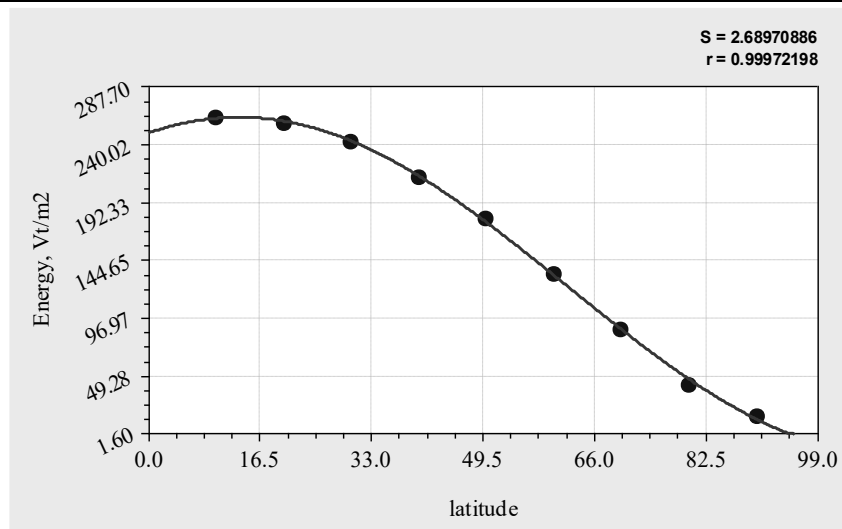


Рис. 6. Кореляція щільності теплового потоку сонячного випромінювання з широтою для Вересня

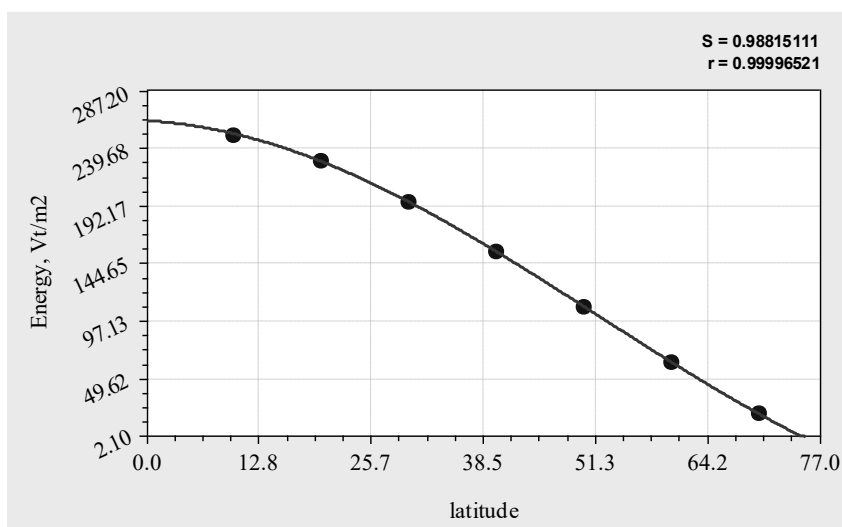


Рис. 7. Кореляція щільності теплового потоку сонячного випромінювання з широтою для Жовтня

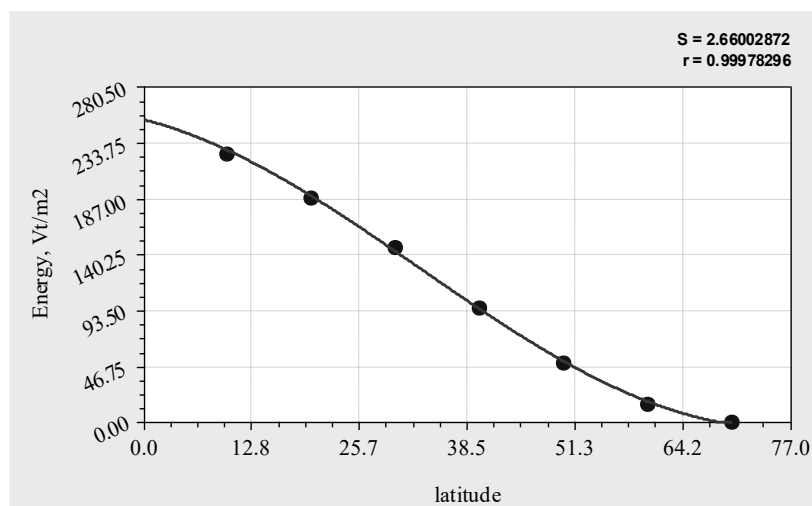


Рис. 8. Кореляція щільності теплового потоку сонячного випромінювання з широтою для Листопада

Дані по куту падіння сонячного світла опівдні, а також тривалість світлового дня розраховуємо стандартно за схиленням [18] на основі формули 1 та формули 2.

$$h = 90 - \varphi \pm \delta, \quad (1)$$

де φ – широта, δ – схилення.

$$h = 24 - \frac{24}{180} \arccos(tg\lambda + tg(\arcsin(\sin \alpha \sin \delta))), \quad (2)$$

де λ – широта точки, δ – схилення, α – широта тропіків $23^{\circ}27'2''$.

Таблиця 2

Тривалість сонячного дня в вегетаційний період

Дата	Квітень	Травень	Червень	Липень	Серпень	Вересень	Жовтень
1	12,51	14,28	15,43	15,55	14,58	13,23	11,42
2	12,54	14,31	15,44	15,54	14,55	13,2	11,38
3	12,58	14,34	15,46	15,53	14,52	13,16	11,35
4	13,01	14,37	15,47	15,52	14,49	13,13	11,31
5	13,04	14,4	15,48	15,51	14,47	13,1	11,28
6	13,08	14,43	15,5	15,5	14,44	13,06	11,25
7	13,11	14,46	15,51	15,48	14,41	13,03	11,21
8	13,15	14,49	15,52	15,47	14,38	13	11,18
9	13,18	14,52	15,53	15,46	14,35	12,56	11,14
10	13,21	14,54	15,54	15,44	14,32	12,53	11,11
11	13,25	14,57	15,55	15,43	14,29	12,49	11,08
12	13,28	15	15,55	15,41	14,26	12,46	11,04
13	13,31	15,02	15,56	15,4	14,23	12,43	11,01
14	13,34	15,05	15,57	15,38	14,2	12,39	10,58
15	13,38	15,08	15,57	15,36	14,17	12,36	10,54
16	13,41	15,1	15,58	15,34	14,14	12,32	10,51
17	13,44	15,13	15,58	15,32	14,11	12,29	10,48
18	13,47	15,15	15,58	15,3	14,08	12,26	10,44
19	13,51	15,17	15,59	15,28	14,05	12,22	10,41
20	13,54	15,2	15,59	15,26	14,01	12,19	10,38
21	13,57	15,22	15,59	15,24	13,58	12,16	10,35
22	14	15,24	15,59	15,22	13,55	12,12	10,32
23	14,04	15,26	15,59	15,2	13,52	12,09	10,28
24	14,07	15,28	15,58	15,18	13,49	12,05	10,25
25	14,1	15,3	15,58	15,15	13,46	12,02	10,22
26	14,13	15,32	15,58	15,13	13,42	11,59	10,19
27	14,16	15,34	15,57	15,1	13,39	11,55	10,16
28	14,19	15,36	15,57	15,08	13,36	11,52	10,12
29	14,22	15,38	15,56	15,05	13,33	11,48	10,09
30	14,25	15,39	15,55	15,03	13,29	11,45	10,06
31		15,41		15	13,26		10,03
Усього	404,07	463,11	466,36	475,26	434,1	371,44	331,17

Середнє схилення в вегетаційний період становить 14° [19]. Його зміна відображена на графіку (рис. 9).

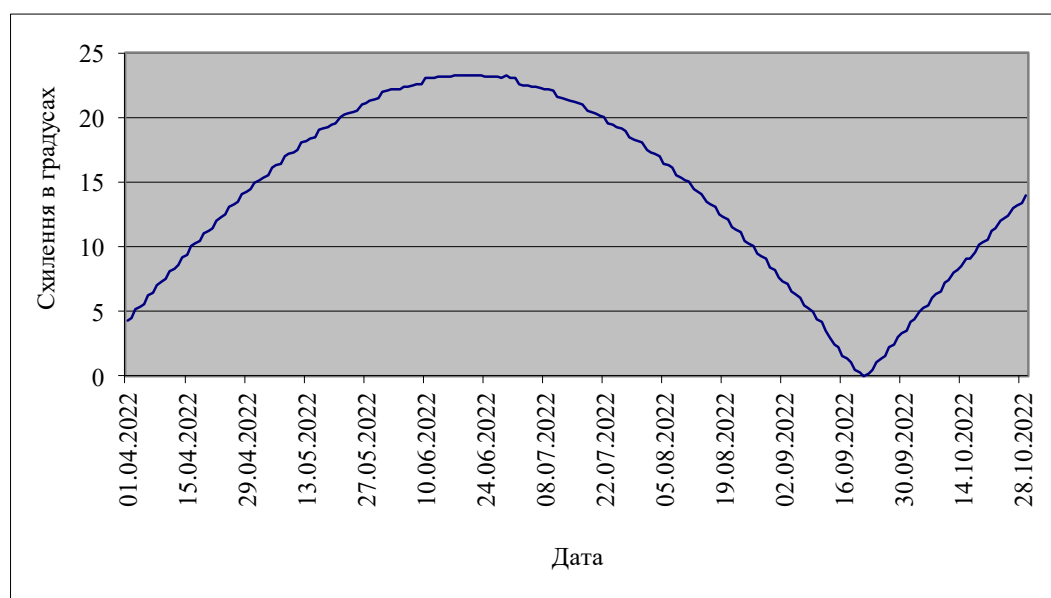


Рис. 9. Графік зміни схилення

Наклавши дані на розроблені моделі було отримано графік помісячного приросту енергії в водоймі (рис. 10).

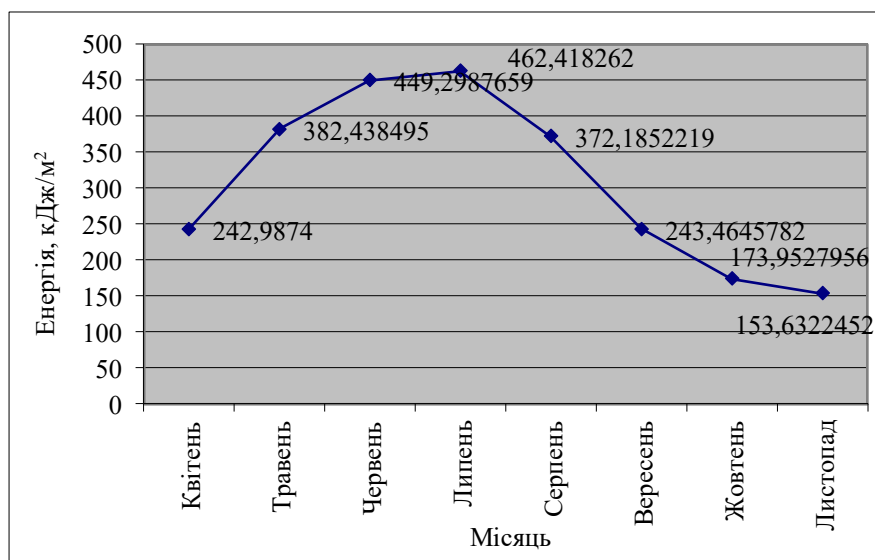


Рис. 10. Помісячний надходження енергії сонця в середньому для України (Дж/м²)

Наступний крок – визначення ступеню впливу лімітуючих факторів на потрапляння світла в воду. Для цього враховуємо, що при прямому падінні променів на водну поверхню відбиття становить не більше 2 %, тому при наступних розрахунках ККД за біопродуктивністю треба домножувати на 0,98. В той же час, при зниженні кута падіння променів до 30°-5°, відбиття збільшується до 25-40% відповідно [20]. Якщо спиратись на лінійність даної функції, то отримуємо формулу (3):

$$y = 43 - 0,6x. \quad (3)$$

Після цього розраховуємо кути падіння протягом дня, враховуючи, що кожну годину кут змінюється на 15 градусів відносно висоти сонця опівдні. Так для України в вегетаційний період середня тривалість дня становитиме 13 годин 18 хвилин для середньої розрахункової широти 48°23'.

Таким чином, кути падіння сонячних променів коливатимуться в межах визначених в таблиці 3.

Таблиця 3

Кути падіння сонячних променів опівдні

Місяць	4	5	6	7	8	9	10	11
День	13,469	14,93903	15,54533	15,31806	13,99032	12,38133	10,6829	13,92
Схилення	9,56	18,55	23	21	13,46935	3,4	8,520355	18,376
Кут	51,56	60,55	65	63	55,46935	45,4	50,52035	66,606

Тоді середні кути падіння сонячних променів протягом доби визначаються за коливаннями в межах значень, менших за пікові з кроком в 15 градусів. Це дає нам результати, наведені в таблиці 4.

Таблиця 4

Кути падіння сонячних променів та відсоток відбиття протягом доби

Кути	Квітень	Травень	Червень	Липень	Серпень	Вересень	Жовтень	Листопад
Падіння	29,06	38,05	42,5	40,5	32,96935	22,9	28,02035	23,394
Відбиття	25,564	20,17	17,5	18,7	23,21839	29,26	26,18779	28,9636

Відповідно, отримуємо таблицю поправочних коефіцієнтів для відбиття сонячних променів (таблиця 5):

Таблиця 5

Поправочні коефіцієнти відбиття γ сонячного випромінювання

Квітень	Травень	Червень	Липень	Серпень	Вересень	Жовтень	Листопад
0,74436	0,7983	0,825	0,813	0,767816	0,7074	0,738122	0,710364

Для хвилювання ступінь відбиття також збільшується. Наприклад, при легкому хвилюванні відбиття збільшується до 15%, при сильному - до 30%. Тут за основу беремо показник в 130 днів на рік, що становить 35,6% від всього часу, що враховуватиметься в вимірюваннях. Подібні ж дані наводять автори [21] для хмарності, що дозволяє здійснити потрібний розрахунок в середньому, а для конкретних об'єктів краще використовувати місцеві дані по клімату.

Враховуючи, що хмарність та вітер є ознаками циклональної погоди, вважаємо, що дані по хмарності корелюють з циклонами, а тому влітку стає вдвічі менше хмарних днів близько 30 % (40 % для півночі, 30% центр та частина півдня і 20 % Крим), взимку їх близько 60%. Це означає, що за 244 дні вегетаційного періоду, що становить 3218 годин та 34 хвилини з 5856 тобто близько 54,95 %, віднявши зимові 70 %, отримуємо 72,6 з 130 днів з циклональною погодою, тобто на вегетаційний період лишилось 48,4 доби, з яких лише 54,95 % припадуть на світлий час. Це 638 годин та 30 хв. Це дає 19,83 % хмарного та вітряного часу. Вважатимемо, що вони впливають на поглинання сонячного світла в середньому на 20 % тільки в зазначений період.

Період хвилювання та хмарності ми позначимо додатковим коефіцієнтом $\mu = 0,8$.

Відповідно реально доступна ФАР (фотосинтетична активна радіація) визначається через окремий розрахунок з використанням поправочних коефіцієнтів відбиття γ до даних рисунку 10, але з урахуванням, що дані величини розраховуються для 80,17 % часу (використовуємо коефіцієнт 0,8017 разом з ними) (4):

$$\Phi AP_{\text{яси}} = 0,8017 \gamma E, \quad (4)$$

Для циклональної погоди використовуємо коефіцієнт γ разом з коефіцієнтами хмарності $\mu = 0,8$ та часткою від загального часу 0,1983 (5):

$$\Phi AP_{\text{хмарн}} = 0,1983 \gamma \mu E, \quad (5)$$

Їх сума і визначатиме загальне надходження енергії в водойму після поправки на погодні чинники (6).

$$\Phi AP = 0,8017 \gamma E + 0,1983 \gamma \mu E, \quad (6)$$

Таким чином отримано результати надходження енергії під дією погодних чинників (рис. 11).

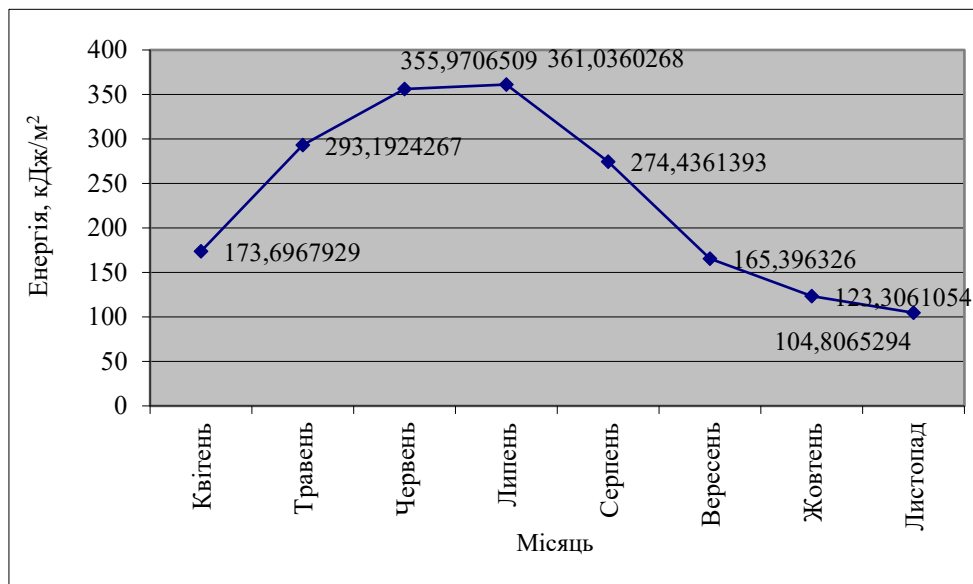


Рис. 11. Надходження енергії після дії погодних чинників

Отримана загальна сума становить близько 0,75 від первинного значення, що є дещо вищим, ніж ми розраховували.

Наступним кроком є стехіометрія реакції фотосинтезу [13]. Для початку варто внести ще один поправочний коефіцієнт, що характеризує поглинання випромінювання товщею води. Для поглинання світла прозорою водою основою є поглинання на глибині 1 м 36 % червоного спектру (620-760 нм), 23 % помаранчевого (585-620 нм), 7 % жовтого (575-585 нм), 1,6 % зеленого (510-550 нм) та 0,5 % синього (450-480 нм). Глибину літоралі використовуємо як поправочний коефіцієнт для цих значень. Середня прозорість води для річок України 1-1,5 м за диском Секкі, але забруднені річки можуть мати набагато нижчу прозорість. Вважаємо, що поправочних коефіцієнтів потребують лише водойми з глибиною літоралі менше 1 м, а фотосинтез відбувається в цьому верхньому шарі.

Для фотосинтезу використовується випромінювання з довжиною хвилі 400-700 нм, що автоматично встановлює верхню планку ККД фотосинтезу в 11 % [22], а також робить актуальними поправочні коефіцієнти вказані вище. Середній показник поглинутого світла в такому випадку становитиме 13,62 %, що потребуватиме введення додаткового коефіцієнту 0,8638 при розрахунку використаної в фотосинтезі енергії. Сумарно це дає 1567,628 МДж енергії на метр квадратний на рік.

Далі, при оцінюванні обсягів засвоєння сонячної енергії автотрофами, необхідно визначити відсоткове співвідношення в біомасі їх основних відділів – Cyanophyta (ціанобактерії) 14 %; Bacillariophyta (діатомові водорості) 43 %; Chlorophyta (зелені водорості) 16 %; Euglenophyta (евгленіди) 7 %; Dinophyta

(динофлагеляти) 1 7% [23]; Cryptophyta (криптофіти), Chrysophyta (хризоліти, золоті водорості) та інші – сумарно 3 %. Тепер необхідно визначити їх ККД фотосинтезу за біопродуктивністю в біореакторах [24].

Визначаємо, що при надходженні енергії в 4,5 Вт/л (або 16200 Дж) в умовно ідеальному середовищі (пам'ятаємо про 2 % поглинання, що дає 15860 Дж) отримано продуктивність найпоширеніших груп Chlorophyta в 0,525 г/добу, або 0,021875 г/год, що при калорійності 4,72 ккал/г дає 0,10325 ккал/год в літрі води, або 432,2871 Дж. Це дає нам ККД фотосинтезу біля 2,73 %. Нормальне значення в 0,38 г/добу аналогічним чином дає ККД фотосинтезу 1,98 % і буде вважатись основним при розрахунках.

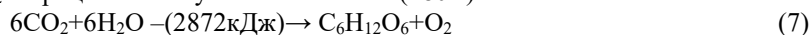
Для Cyanophyta такий приріст становив близько 0,49 г/добу, або 0,02042 г/год, що при калорійності 4,41 ккал/г дає 0,0901 ккал, або 377,23068 Дж. Це дає ККД фотосинтезу близько 2,38 %.

Euglenophyta дала приріст 0,81 г/добу при подвоєному освітленні, тобто 9,44 Вт/л, або 33984 Дж. При калорійності, аналогічній до зелених водоростей, та прирості 0,03375 г/год, дає 0,1593 ккал або 666,96 Дж. Це означає ККД 1,96 %.

ККД для всіх інших видів за відсутності даних вважатимемо в районі 1,65 % відповідно до даних на яких базувалась попередня модель.

Таким чином отримуємо загальний ККД 1,83 %.

Рух енергії через стехіометрію кисню виражається за допомогою еквівалентної величини затрат 2872 кДж енергії на генерацію 192 г O₂ в процесі синтезу 1 моль глюкози (180 г).



Враховуючи те, що на рік за нашим розрахунком до 1 м² площі водойми потрапляє 1567,628 МДж/м², ми можемо розрахувати ФАР з урахуванням ККД фотосинтезу 28687,5924 кДж, що супроводжується виділенням 1917,833 48 г (біля 1,92 кг) кисню та депонування 2637,02103 г (біля 2,6 кг) вуглекислого газу (0,2729 цієї величини це вуглець, що дає за депонування вигоду 0,0698 долара з м²) та приросту 1797,96888 г (біля 1,8 кг) біомаси.

Проте, цей розрахунок необхідно також доповнити лімітуючими факторами для біоти, що визначаються солоністю, перемішуванням, ORP, впливом забруднюючих речовин та рядом інших факторів, які системно впливають на організми. Всі ці фактори можна об'єднати в формулі розрахунку індексу екологічної безпеки водойми [25].

Окисно-відновний (редокс) потенціал є величиною, яка відображає баланс між постачанням йонів відновника (водню) водоймою та приходом кисню як окисника з атмосфери. Разом з показником pH, ORP дозволяє скласти уявлення про так званий «поживний клімат» у воді через розрахунок показника rH (8) – десяткового логарифму, що визначає тиск йонів водню в редокс-системі.

$$rH = \frac{E}{28,9} + 2pH, \quad (8)$$

де E – редокс потенціал.

Величина rH встановлює шкалу окисного потенціалу води:

40-42 – атмосфера кисню з максимальним окисненням; 35 – сильне окислення; 30 – помірне окислення; 25 – слабе окислення; 20 – слабе відновлення; 15 – помірне відновлення; 10 – сильне відновлення; 0-5 – атмосфера водню.

Для водних істот оптимумом є показник 16-36, а для водних рослин 27-36.

Оскільки узагальнених даних в літературі не знайдено, спиратимемось на результати власних вимірювань для річки Південний Буг. В таблиці 5 наведено результати аналізу даних, отриманих в ході експедиції 2021 року.

Таблиця 5

Результати вимірювань Редокс-потенціалу вод річки Південний Буг

ORP	pH	rH
-37,4	7,7	14,10588
-56	8,02	14,10228
-67,5	8,18	14,02436
-67	8,13	13,94166
-67,8	8,2	14,05398
-81,6	8,45	14,07647
-96,7	8,71	14,07398

Отримані величини rH дозволяють констатувати, що середовище не є оптимальним і в цілому показник близько 14, є вдвічі нижчим за оптимум для водних рослин. Відповідно, треба застосовувати поправочний коефіцієнт 0,5 для отриманих раніше результатів.

Разом з тим необхідно визначати достатність будівельного матеріалу для фітопланктону за закономірністю Редфілда. Це важливий показник для NCP-стехіометрії. Така величина 106(C):16(N):1(P) є оптимумом.

За запитом на підприємство «Спіруліна ЛТД» було отримано дані про споживання добрив на одиницю маси за вирощування в резервуарах – 200 мг/г сухої речовини спіруліни азоту. Відповідно, розрахунок за закономірністю Редфілда демонструє, що споживання фосфору становитиме 12,5 мг/г сухої маси а поглинання вуглецю 1325 мг/г сухої маси. В нашому випадку в більшості водойм наявний надлишок сполук азоту та фосфору, спричинений антропогенним впливом, тому тут скоріше йдеться саме про біоекстракцію забрудників. Поправочний коефіцієнт не вводиться.

Окрім того, було розроблено методики оцінки токсикологічного та енергетичного відгуку для водойми, що також є частиною тих самих лімітуючих коефіцієнтів [26].

$$IEB_T = \frac{1}{1 + \sum_{i=1}^n k_i}, \quad (9)$$

де k_i – показник смертності стенобіонтів при перевищенні i -ї концентрації забруднювача у природному середовищі.

$IEB_T = 0,1294e^{0,031x}$, представлена експоненціальною функцією по віддаленості від гирла. Її розрахунок ведеться на основі відповідності санітарного пропуску. Швидкість течії має бути не менше 0,29 м/с. Для Південного Бугу цей показник становить 0,14 м/с і це означає потребу в введенні коефіцієнту IEB_T , що становитиме 0,48.

Паралельно з цим за смертністю та видовим різноманіттям стенобіонтів розраховується другий IEB_e – енергетичний індекс екологічної безпеки (10).

$$IEB_e = \frac{1}{n} \left(\frac{E_1}{E_{01}} + \frac{E_2}{E_{02}} + \dots + \frac{E_n}{E_{0n}} \right), \quad (10)$$

де величини від E_1 до E_n характеризують сучасні показники чисельності або щільності живих компонентів певного виду в екосистемі;

E_{01} до E_{0n} – історично зафіксовані та прийняті за «еталонні» значення показників чисельності (щільності) живих компонентів певного виду в екосистемі. Для Бугу він становить 0,31. Це вказує на помірний рівень забрудненості водойми (III клас), що в цілому відповідає оцінкам за ІЗВ.

Ще одним лімітуючим фактором, визначеним в процесі дослідження був вплив солоності на ріст макролітів, що визначається формулою (11)

$$y = -11x + 361,7 \quad (11)$$

Цей коефіцієнт застосовується залежно від умов водойми при моделюванні відповідного рівня трофічної піраміди.

Виведені коефіцієнти необхідно усереднювати, а не використовувати кожен окремо, тому чим більше факторів враховано, тим точніша модель в прикладному аспекті, але для загальної картини достатньо і одного з них.

В нашому випадку – це буде поправочний коефіцієнт 0,43, що є усередненим від усіх попередніх.

Це дає реальну сумарну енергію на метр квадратний в 12335,66473 кДж, приріст біомаси 773,1266184 г з квадратного метра поверхні водойми і 30 \$ за депонування вуглецю.

Мірою Прозорості води служить висота стовпа води, при якій можна спостерігати білий диск-прозоромір (диск Секкі) певних розмірів, що його занурюють у воду, або розрізняти на білому папері стандартний шрифт певного розміру і типу. Прозорість одночасно є і глибиною літоралі.

Формула для визначення евтрофікації (12):

$$C_{fit} = 0,1 \sqrt[3]{\left(\frac{\frac{1}{h} - 0,04}{0,158} \right)^3}, \quad (12)$$

Це дає можливість розрахувати значення прозорості води, яке стане поправочним коефіцієнтом для моделювання масо-об'ємної стратифікації продуцентів в водоймі (13).

$$h = \frac{2}{0,04 + 0,158 \cdot \sqrt[3]{(10 \cdot C)_{fit}^2}}. \quad (13)$$

Концентрацію фітопланктону C_{fit} розраховуємо за насиченістю киснем, за співвідношенням 1 г органічної речовини фітопланктону, що є рівним 21,35527 кДж енергії або 1,5 г кисню та дає біомасу 5776,40389 г/м² або C_{fit} в обсязі 332,43 г/м³ на рік, 332,43 мг/л (водні ресурси поверхневих вод України близько 12074 км² водного дзеркала та 209,8 км³ об'єму). Враховуючи розподіл на 8 місяців вегетаційного періоду, то концентрації теоретично можуть коливатись від 1,38 до 41,6 мг/л.

За правилом трофічного ланцюга це означає, що макрозообентос та фільтратори матимуть

теоретичний приріст біомаси 577,64 г/м², риби 57,76 г/м², хижі риби – 5,76 г/м².

Враховуючи те, що індексування сапробності водойм відбувається саме за щільністю посадки та видовим різноманіттям організмів з даної групи, ці норми можуть бути використані як еталонні значення. Тобто не здійснення визначення сапробності за біотою, а прогнозування стану біоти на визначеному рівні за сапробністю водойми.

Враховуючи те, що попередня ланка є кормовою базою наступної, можемо прогнозувати відновлювані ресурси у вигляді рибних запасів. Це означатиме потенційні відновлювані ресурси риби в 577,6 кг/га на рік. Проте, в практиці аквакультури є дані, на які можна орієнтуватись – чіткі норми по природній рибопродуктивності для ставків, що становить в середньому 505 кг/га для рослинодних видів риб та 340 кг/га для коропа. При цьому застосовуються поправочні коефіцієнти для різних ґрунтів вирощувальних ставів: галькові, піщані та солончакові, торф'яні та чорноземи відповідно – 0,4; 0,6; 0,5; 1,2 [27]. Їх використання в прогнозуванні для біоресурсів в харчовому ланцюзі є обов'язковим.

Крім того, для природних екосистем варто також враховувати погодні явища, що визначаються багатьма ресурсами у вигляді прогнозів клювання різних порід риб. Дані прогнози від 1 до 5 балів відображають інтенсивність харчування, а відповідно і приросту біомаси риб. Їх можна відображати у вигляді коефіцієнтів з кроком в 0,2 за бал.

Винос біомаси може бути визначений за статистичними даними про вилов водних ресурсів, а також у вигляді прогнозу на основі даних про потреби в харчуванні водоплавної птиці та про її чисельність.

Висновки та перспективи використання результатів дослідження. Відповідно, отриманий алгоритм дозволяє створити базу для динамічного точкового прогнозування біопродуктивності водних біоценозів на першому рівні – продуцентів. Це дозволяє характеризувати водні екосистеми, як відкриті системи, в які відбувається занесення енергії сонця та виніс біомаси. Використання астрономічних даних та динамічних показників дозволяє створити автоматизований алгоритм, що аналізуватиме біопродуктивність водойм, спираючись на дані про їх розмір, координати, погодні умови та ряд інших динамічних факторів.

В результаті проведеного дослідження отримано:

- функції надходження сонячної енергії на одиницю площі в вегетаційний період (8 синусоїд);
- метод розрахунку поправочних коефіцієнтів на основі широтності, з урахуванням зміни кута падіння сонячних променів протягом дня та циклональної погоди;
- метод розрахунку ККД фотосинтезу основних груп мікробіодоростей за їх біопродуктивністю в біореакторах;
- лімітуючі коефіцієнти визначені перемішуванням, токсико-екологічним відгуком, NCP-співвідношенням Редфілда та солоністю;
- модель екологічної стехіометрії фотосинтезу продуцентів водойм з отриманням для прикладу середнього результату для України.

Отримана методика дозволить в ГІС-пакетах накладати на векторне зображення водойми сітку з кроком в 1 м² та за означеними формулами визначати локальну потенційну біопродуктивність потенційно за розробленою моделлю та реально за NDVI-індексом з супутникових знімків. Для більш точного моделювання необхідно провести прикладні дослідження біопродуктивності найпоширеніших в українських водоймах видів фітопланктонних організмів та моніторинг динаміки їх сезонних коливань чисельності. Крім того, необхідно створити векторну карту водойм, де кожна з них була б обведена окремо.

Отримана модель є базою для розробки програмного забезпечення, здатного здійснювати поточні розрахунки для прогнозування стану екосистеми водойми в реальному часі. Автоматичний розрахунок для кожного метру квадратного поверхні водного дзеркала з урахуванням його точних координат, погодних умов, дна, швидкості течії та найпоширеніших угруповань фітопланктону, макрозообентосу та риб дозволить створити детальну динамічну модель стану водного біоценозу.

Завдяки чому можна буде з високою точністю оцінювати прогнозні ресурси біомаси, можливості з депонування вуглецю та інші властивості водойми.

В перспективі буде проведено ряд робіт з оцифрування карт водойм, визначення ККД фотосинтезу основних фітопланктонних культур та налаштування програми, що здійснюватиме моделювання на основі даних з відкритих джерел. Отримані результати буде доповнено новими даними власних польових вимірювань, подальшою розробкою послідовної стратегії досліджень річок півдня України, в рамках проведення подальших наукових робіт та виконання практики студентами екологами ЧНУ ім. Петра Могили.

Література

1. Sterner R. W. and Elser J. J. (2002) Ecological Stoichiometry: The Biology of Elements from Molecules to the Biosphere. Princeton University Press. P.584. ISBN 069107491.
2. UNSD (2020): Using the SEEA EA for Calculating Selected SDG Indicators, United Nations Statistics Division, Department of Economic and Social Affairs, New York, 2020. URL: https://seea.un.org/sites/seea.un.org/files/documents/Indicators/3._using_the_seea_ea_for_calculating_selected_sdg_indicators.pdf
3. Lindeman R. L. The Trophic-Dynamic Aspect of Ecology (PDF): Ecology. 23 (4). P. 399–417. URL: <https://doi.org/10.2307/1930126>.

4. Ling Meng, Fanzhu Qu, Xiaoli Bi, Jiangbao Xia, Yunzhao Li, Xuehong Wang, Junbao Yu, Elemental stoichiometry (C, N, P) of soil in the Yellow River Delta nature reserve: Understanding N and P status of soil in the coastal estuary. *Science of The Total Environment*, Volume 751, 2021. P. 141737, ISSN 0048-9697. URL: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141737>
5. Лакуста О. Н., Руденко С. С. CNP-стехиометрия трансграничных рек – Днестра, Прута и Сирета – на выходе из Украины. *Наукові доповіді НУБіП України*, № 5 (69), 2017. URL: <http://dx.doi.org/10.31548/dopovidi2017.05.002>.
6. Yong Li, Enze Kang, Bing Song, Jinsong Wang, Xiaodong Zhang, Jinzhi Wang, Meng Li, Liang Yan, Zhongqing Yan, Kerou Zhang, Haidong Wu, Xiaoming Kang, Soil salinity and nutrients availability drive patterns in bacterial community and diversity along succession gradient in the Yellow River Delta. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, Volume 262, 2021. P. 107621, ISSN 0272-7714. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2021.107621>.
7. Qiongqiong Lu, Junhong Bai, Guangliang Zhang, Qingqing Zhao, Jianjun Wu, Spatial and seasonal distribution of carbon, nitrogen, phosphorus, and sulfur and their ecological stoichiometry in wetland soils along a water and salt gradient in the Yellow River Delta, China. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, Volume 104, 2018, Pages 9-17, ISSN 1474-7065. URL: <https://doi.org/10.1016/j.pce.2018.04.001>.
8. Руденко С. С. Вплив антропогенних чинників на CNP-стехіометрію води річкових екосистем. *Біологічні системи*. Т. 10, Вип. 2, 2018. С. 169-175. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/biolist_2018_10_2_12.
9. Annette B.G. Janssen, Sven Teurlinx, Arthur H.W. Beusen, Mark A.J. Huijbregts, Jasmijn Rost, Aafke M. Schipper, Laura M.S. Seelen, Wolf M. Mooij, Jan H. Janse, PCLake+: A process-based ecological model to assess the trophic state of stratified and non-stratified freshwater lakes worldwide. *Ecological Modelling*, Volume 396, 2019, Pages 23-32, ISSN 0304-3800. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2019.01.006>
10. Рибченко Л. С., Ревера Т. О. Сумарна сонячна радіація та альbedo підстильної поверхні в Україні. *Наукові праці Українського науково-дослідного гідрометеорологічного інституту*. Вип. 256, 2007. С. 99–111. URL: <http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/51523>
11. Дмитренко Л. В., Барандіч С. Л. Оцінка кліматичних ресурсів сонячної енергії в Україні. *Наукові праці Українського науково-дослідного гідрометеорологічного інституту*. Вип. 256, 2007. С. 121–129. URL: <http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/51525>
12. Jaromír Petřáala. Simple analytic formula for the light. URL: <https://doi.org/10.1016/j.solener.2019.10.032>
13. Андреев В.І., Случак О.І., Случак О.І. Енергетика водної екосистеми. Збір. тез доп. конф. Ольвійський форум – 2022: стратегії країн Причорноморського регіону в геополітичному просторі. Екологія та раціональне природокористування. Миколаїв : Вид-во ЧНУ ім. Петра Могили, 2022. С. 5-10.
14. Кондратьев К. Я. Радиационные факторы современных измерений глобального климата. Л., 1980. 279 с.
15. Redfield, A.C. On the Proportions of Organic Derivatives in Sea Water and Their Relation to the Composition of Plankton. *James Johnstone Memorial Volume*, University Press of Liverpool. pp. 176-192. URL: [https://www.scirp.org/\(S\(351jmbntvnsjtladkposzje\)\)/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID= 1883475](https://www.scirp.org/(S(351jmbntvnsjtladkposzje))/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID= 1883475)
16. Водний фонд України. Штучні водойми – водосховища і ставки : довідник / за ред. В. К. Хільчевського, В. В. Гребеня. Київ : Інтерпрес, 2014. 164 с.
17. Han J., Lee D., Lee S., Chung S.-W., Kim S., Park M., Lim K., Kim J. (2019). Evaluation of the Effect of Channel Geometry on Streamflow and Water Quality Modeling and Modification of Channel Geometry Module in SWAT: A Case Study of the Andong Dam Watershed. *Water*. Volume 11. P. 718. URL: <https://doi:10.3390/w11040718>
18. Схилення : астрономічний енциклопедичний словник / за заг. ред. І. А. Климишина та А. О. Корсунь. Львів : Голов. астроном. обсерваторія НАН України, Львів. нац. ун-т ім. Івана Франка, 2003. С. 465.
19. Астрономічний календар / ред. кол. : А. П. Відьмаченко (гол. ред.) та ін. ; ГАО НАН України. Київ : Академперіодика, 2021. 214 с. URL: https://www.mao.kiev.ua/docs/artid080_calendar-2022.pdf
20. Давыдов Л.К., Дмитриева А.А., Конкина Н.Г. Общая гидрология. Л., 1973. 462 с.
21. Краковська С. В., Паламарчук Л. В., Білозерова А. К., Шпиталь Т. М. Загальна хмарність в Україні до середини XXI ст. за даними ансамблю регіональних кліматичних моделей. *Геоінформатика*. 2017. № 3. С. 56-66. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/geoinf_2017_3_9
22. Miyamoto, K. (1997). *Renewable Biological Systems for Alternative Sustainable Energy Production*. Issue 128 of FAO Agricultural Services Bulletin, Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations. URL: <https://www.fao.org/3/w7241e/w7241e05.htm#1.2.1>
23. Мінаєва Г. М. Структурно-функціональні характеристики фітопланктону водотоків нижнього Дніпра. *Природничий альманах (біологічні науки)*. 2021, (30). С. 75-83. URL: <http://na.kspu.edu/index.php/na/article/view/653>
24. Урмыч Е. М., Бердыкулов Х. А., Эшпулатова М. Б. Продуктивность микроводорослей в интенсивных условиях культивирования. *Альгология*. 2008, Т. 18, № 3. С. 347-352. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/algol_2008_18_3_14
25. Mitryasova O., Pohrebennyk V., Bezsonov Y., Mats A. Environmental Risk and State of Surface Water Resources. *Climate Change & Sustainable Development: New Challenges of the Century: Monograph*. Mykolaiv: PMBSNU. Rzeszow: RzUT, 2021. P. 279-288. URL: <https://chmnu.edu.ua/wp-content/uploads/MONOGRAPH-2.pdf>

26. Bezsonov Y., Andreev V. Justification and formalization of approach to regional environmental safety evaluation. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2016. URL: <https://doi.org/2.9.10.15587/1729-4061.2016.64843>

27. Андрющенко А. І., Алімов С. І. Ставові рибництво. Київ : НАУ, 2008. 636 с. URL: <https://uteka.ua/ua/publication/agro-4-gospodarski-operacii-v-agrosektori-35-praktichni-rekomendacii-shhodo-zaribleniya-viroshhuvalnix-staviv>

References

1. Sterner R. W. and Elser J. J. (2002) Ecological Stoichiometry: The Biology of Elements from Molecules to the Biosphere. Princeton University Press. P.584. ISBN 069107491.
2. UNSD (2020): Using the SEEA EA for Calculating Selected SDG Indicators, United Nations Statistics Division, Department of Economic and Social Affairs, New York, 2020. URL: https://seea.un.org/sites/seea.un.org/files/documents/Indicators/3_using_the_seea_ea_for_calculating_selected_sdg_indicators.pdf
3. Lindeman R. L. The Trophic-Dynamic Aspect of Ecology (PDF): Ecology. 23 (4). P. 399–417. URL: <https://doi.org/10.2307/1930126>.
4. Ling Meng, Fanzhu Qu, Xiaoli Bi, Jiangbao Xia, Yunzhao Li, Xuehong Wang, Junbao Yu, Elemental stoichiometry (C, N, P) of soil in the Yellow River Delta nature reserve: Understanding N and P status of soil in the coastal estuary. Science of The Total Environment, Volume 751, 2021. R. 141737, ISSN 0048-9697. URL: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141737>
5. Lakusta O. N., Rudenko S. S. CNP-stehiometriya transgranichnyh rek – Dnestra, Pruta i Sireta – na vyhode iz Ukrainy. Naukovi dopovidi NUBiP Ukrainy, № 5 (69), 2017. URL: <http://dx.doi.org/10.31548/dopovidi2017.05.002>.
6. Yong Li, Enze Kang, Bing Song, Jinsong Wang, Xiaodong Zhang, Jinzhi Wang, Meng Li, Liang Yan, Zhongqing Yan, Kerou Zhang, Haidong Wu, Xiaoming Kang, Soil salinity and nutrients availability drive patterns in bacterial community and diversity along succession gradient in the Yellow River Delta. Estuarine, Coastal and Shelf Science, Volume 262, 2021. R. 107621, ISSN 0272-7714. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2021.107621>.
7. Qiongqiong Lu, Junhong Bai, Guangliang Zhang, Qingqing Zhao, Jianjun Wu, Spatial and seasonal distribution of carbon, nitrogen, phosphorus, and sulfur and their ecological stoichiometry in wetland soils along a water and salt gradient in the Yellow River Delta, China. Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C, Volume 104, 2018, Pages 9-17, ISSN 1474-7065. URL: <https://doi.org/10.1016/j.pce.2018.04.001>.
8. Rudenko S. S. Vplyv antropohennykh chynnykiv na CNP-stekhiometriyu vody richkovykh ekosystem. Biologichni systemy. T. 10, Vyp. 2, 2018. S. 169-175. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/biolsist_2018_10_2_12.
9. Annette B.G. Janssen, Sven Teurlincx, Arthur H.W. Beusen, Mark A.J. Huijbregts, Jasmijn Rost, Aafke M. Schipper, Laura M.S. Seelen, Wolf M. Mooij, Jan H. Janse, PCLake+: A process-based ecological model to assess the trophic state of stratified and non-stratified freshwater lakes worldwide. Ecological Modelling, Volume 396, 2019, Pages 23-32, ISSN 0304-3800. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2019.01.006>
10. Rybchenko L. S., Revera T. O. Sumarna soniachna radiatsiia ta albedo pidstylnoi poverkhni v Ukraini. Naukovi pratsi Ukrainiskoho naukovo-doslidnoho hidrometeorologichnoho instytutu. Vyp. 256, 2007. S. 99–111. URL: <http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/51523>
11. Dmytrenko L. V., Barandich S. L. Otsinka klimatychnykh resursiv soniachnoi enerhii v Ukraini. Naukovi pratsi Ukrainiskoho naukovo-doslidnoho hidrometeorologichnoho instytutu. Vyp. 256, 2007. S. 121–129. URL: <http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/51525>
12. Jaromir Petržala. Simple analytic formula for the light. URL: <https://doi.org/10.1016/j.solener.2019.10.032>
13. Andrieiev V.I., Sluchak O.I., Sluchak O.I. Enerhetyka vodnoi ekosystemy. Zbir. tez dop. konf. Olviiskiy forum – 2022: stratehii krain Prychornomorskoho rehionu v heopolitychnomu prostori. Ekolohiia ta ratsionalne pryrodokorystuvannia. Mykolaiv : Vyd-vo ChNU im. Petra Mohyly, 2022. S. 5-10.
14. Kondratev K. Ya. Radiacionnye faktory sovremennykh izmerenij globalnogo klimata. L., 1980. 279 s.
15. Redfield, A.C. On the Proportions of Organic Derivatives in Sea Water and Their Relation to the Composition of Plankton. James Johnstone Memorial Volume, University Press of Liverpool. rr. 176-192. URL: [https://www.scirp.org/\(S\(351jmbntvnsjtladkposzje\)\)/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=1883475](https://www.scirp.org/(S(351jmbntvnsjtladkposzje))/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=1883475)
16. Vodnyi fond Ukrainy. Shtuchni vodoimy – vodoskhovyshcha i stavky : dovidnyk / za red. V. K. Khilchevskoho, V. V. Hrebenia. Kyiv : Interpres, 2014. 164 s.
17. Han J., Lee D., Lee S., Chung S.-W., Kim S., Park M., Lim K., Kim J. (2019). Evaluation of the Effect of Channel Geometry on Streamflow and Water Quality Modeling and Modification of Channel Geometry Module in SWAT: A Case Study of the Andong Dam Watershed. Water. Volume 11. R. 718. URL: <https://doi.org/10.3390/w11040718>
18. Skhylennia : astronomichnyi entsyklopedychnyi slovnyk / za zah. red. I. A. Klymyshyna ta A. O. Korsun. Lviv : Holov. astronom. observatoriia NAN Ukrainy, Lviv. nats. un-t im. Ivana Franka, 2003. S. 465.
19. Astronomichnyi kalendar / red. kol. : A. P. Vidmachenko (hol. red.) ta in. ; HAO NAN Ukrainy. Kyiv : Akademperiodyka, 2021. 214 s. URL: https://www.mao.kiev.ua/docs/artid080_calendar-2022.pdf
20. Davtydov L.K., Dmytryeva A.A., Konkyna N.H. Obschchaia hydrologiya. L., 1973. 462 s.
21. Krakovska S. V., Palamarchuk L. V., Bilozero A. K., Shpytal T. M. Zahalna khmarist v Ukraini do seredyiny KhKhI st. za danymy ansamblu rehionalnykh klimatychnykh modelei. Heoinformatyka. 2017. № 3. S. 56-66. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/geoinf_2017_3_9
22. Miyamoto, K. (1997). Renewable Biological Systems for Alternative Sustainable Energy Production. Issue 128 of FAO Agricultural Services Bulletin, Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations. URL: <https://www.fao.org/3/w7241e/w7241e05.htm#1.2.1>
23. Minaieva H. M. Strukturno-funktsionalni kharakterystyky fitoplanktonu vodotokiv nyzhnoho Dnipra. Pryrodnychiy almanakh (biologichni nauky, 2021, (30). S. 75-83. URL: <http://na.kspu.edu/index.php/na/article/view/653>
24. Urmich E. M., Berdyukov H. A., Eshpulatova M. B. Produktivnost mikrovdoroslej v intensivnykh usloviyakh kultivirovaniya. Algologiya. 2008, T. 18, № 3. S. 347-352. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/algol_2008_18_3_14
25. Mitryasova O., Pohrebennyk V., Bezsonov Y., Mats A. Environmental Risk and State of Surface Water Resources. Climate Change & Sustainable Development: New Challenges of the Century: Monograph. Mykolaiv: PMBSNU. Rzeszow: RzUT, 2021. R. 279-288. URL: <https://chmnu.edu.ua/wp-content/uploads/MONOGRAPH-2.pdf>
26. Bezsonov Y., Andreev V. Justification and formalization of approach to regional environmental safety evaluation. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2016. URL: <https://doi.org/2.9.10.15587/1729-4061.2016.64843>
27. Andriushchenko A. I., Alymov S. I. Stavove rybnytstvo. Kyiv : NAU, 2008. 636 s. URL: <https://uteka.ua/ua/publication/agro-4-gospodarski-operacii-v-agrosektori-35-praktichni-rekomendacii-shhodo-zaribleniya-viroshhuvalnix-staviv>

БАРНА Андрій

Національний університет «Львівська політехніка»

<https://orcid.org/0000-0002-6692-7496>e-mail: andrii.o.barna@lpnu.ua

КАМІНСЬКИЙ Роман

Національний університет «Львівська політехніка»

<https://orcid.org/0000-0002-0563-5748>e-mail: kaminsky.roman@gmail.com

АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ МЕТОДІВ РОЗБИТТЯ ПОТОКУ ДАНИХ ДЛЯ СИСТЕМ ДЕДУБЛІКАЦІЇ ДАНИХ

В роботі наведено результати порівняння ефективності методів розбиття потоку даних: класичного TTTD та нового CB-TTTD, які використовуються в системах дедублікації даних.

Ключові слова: дедублікація, фрагментування, хешування.

BARNA Andrii, KAMINSKY Roman

Lviv Polytechnic National University

ANALYSIS OF THE EFFICIENCY OF DATA CHUNKING METHODS FOR DATA DEDUPLICATION SYSTEMS

There is a significant increase in the amount of data that needs to be stored worldwide. More and more companies are turning their attention to deduplication systems, which effectively increase data warehouse volume and reduce storage costs. Deduplication not only reduces the overall amount of information in storage but also reduces the load on networks by eliminating the need to retransmit duplicate data. In this work, we considered the stages that any deduplication system includes, namely chunking, hashing and indexing, mapping. The effectiveness of deduplication systems primarily depends on the choice of the method of dividing the data stream at the chunking stage. We considered the classic Two Threshold Two Divisor (TTTD) method, which is widely used in modern deduplication systems. This method uses Rabin's fingerprint to find the hash of the substring value. The formula for calculating the hash for the first substring and the formula for calculating the rest of the substring are given. Another method we investigated is Content Based Two Threshold Two Divisor (CB-TTTD) - it uses new hash functions to fragment the data stream, and the corresponding formulas for calculating the first and each subsequent substring are given. To test the effectiveness of these two methods, we developed a test deduplication system, implemented these two fragmentation methods, and tested their performance on two sets of text data. We have modified these methods with the addition of a new string-splitting condition based on the content specification of the data we tested. The results of a comparison of the work of classical and modified methods are given. Using metrics to compare the efficiency of data fragmentation methods, we obtained experimental data, based on which we can make conclusions about the feasibility of using CB-TTTD as an alternative to TTTD in new deduplication systems. The obtained data can be used in the development of new highly efficient data deduplication systems and to improve old solutions

Keywords: deduplication, chunking, hashing.

Постановка проблеми

Зараз у світі спостерігається вибух обсягу цифрових даних, про що свідчить значне зростання вимірюваного обсягу збережених даних. Для прикладу, у 2010 та 2011 роках з 1,2 петабайта до 1,8 петабайта 1 відповідно [1], у 2020 році, становило вже 44 зетабайти [2, 3]. Тож управління сховищем, яке є економічно ефективним, стало важливим завданням в епоху великих даних. Дослідження робочого навантаження, проведені американською транснаціональною корпорацією Dell, EMC (Richard Egan, Roger Marino & John Curly the E, M&C in EMC) та Microsoft, свідчать про те, що приблизно 50% і 85% даних є надлишковими в основних і резервних сховищах даних.

Згідно з недавнім дослідженням Міжнародної корпорації даних (IDC), майже 80% опитаних корпорацій зазначили, що вони використовують технології дедублікації у своїх системах зберігання даних, які ефективно збільшують обсяг зберігання даних та скорочують витрати на їх зберігання [4]. Дедублікація даних не тільки робить збереження даних більш ефективним, але й зменшує навантаження в мережі, усуваючи зайві дані в мережових середовищах з низькою пропускну здатністю.

Загалом будь-яка система дедублікації включає в себе три етапи: (фрагментація, хешування та індексування і етап зіставлення).

Система дедублікації розбиває вхідний потік даних на безліч «фрагментів» даних, для яких обчислюється хеш-сигнатура (наприклад, SHA-1), і виявляє повторювані за допомогою певного методу порівняння. Системи дедублікації видаляє повторювані фрагменти та зберігає або передає лише одну копію з них для досягнення мети економії місця на сховищі або пропускну здатності мережі. З іншого боку, використання такої системи зменшує швидкість резервного копіювання та задіює багато ресурсів центрального процесора.

Ефективність ж самої системи дедублікації найбільше залежить саме від вибору методу фрагментації, що безпосередньо впливає на загальний об'єм переданої та збереженої інформації.

Аналіз останніх джерел

Автори роботи [5] провели опитування щодо різних алгоритмів фрагментації даних для дедублікації. Було визначено, що найпоширенішим алгоритмом фрагментації був Two Threshold Two Divisor (TTTD), вони оцінили цей алгоритм за допомогою трьох різних функцій хешування; Rabin Fingerprint, Adler і SHA1, а саме визначили коефіцієнт дедублікації та швидкість роботи кожного з них в тестовій системі.

Найефективніше себе показав TTTD з використанням функції Rabin Fingerprint

TTTD — це алгоритм фрагментації змінного розміру [6], який використовує відбиток Рабіна, щоб знайти хеш-значення підрядка з попередньо визначений розміром вікна (48 байт). Якщо хеш цього підрядка задовольняє умову TTTD, це буде розглядатися як точка зупинки, інакше збільшить розмір вікна на один байт [7].

Нижче наведено формула(1) обчислення відбитка Рабіна для першого підрядка. Потім формула (2), яка використовується для решти підрядка. Вона працює шляхом видалення першого символу з рядка та додавання нового [1].

$$Rabin(B_1, B_2, \dots, B_\alpha) = \left\{ \sum_{i=0}^{\alpha} (B_i * P^{\alpha-i-1}) \right\} \text{Mod } D \quad (1)$$

$$\left\{ \left[Rabin(B_i, B_{i+1}, \dots, B_{i+\alpha-1}) - B_i * P^{\alpha-1} \right] * P + B_{i+\alpha} \right\} \text{Mod } D \quad (2)$$

Тут D — середній розмір блоку [5], Bx — ASCII код для символів підрядка, P — просте число, α — це розмір зсувного вікна.

В іншій роботі [8] наведено новий експериментальний метод фрагментування потоку даних Content Based Two Threshold Two Divisor (CB-TTTD) на основі алгоритму TTTD та запропоновано покращити техніку дедублікації шляхом прискорення операція дедублікації та збільшення її коефіцієнта стиснення.

CB-TTTD використовує нові хеш-функції для фрагментування потоку даних. Для кожного символу в першому рядку вікна розміром (36 байт) значення хешу обчислюється за допомогою формули 3. Тоді для кожного з наступних підрядків значення хешу розраховується за допомогою формули 4.

$$FingerPrint(B_0, B_2, \dots, B_\alpha) = \left\{ \sum_{i=0}^{\alpha-1} Val[B_i] * 2^{i+1} \right\} \quad (3)$$

$$New FingerPrint(B_{i+1}, \dots, B_{i+\alpha+1}) = \left\{ \left[FingerPrint(B_i, \dots, B_{i+\alpha}) - Val[B_i] \right] \div 2 \right\} + Val[B_{i+\alpha+1}] * 2^{i+1} \quad (4)$$

Тут α — розмір підрядка, B1 ... B α : — символи підрядка, Val[Bi]: це значення індексу [Bi] у масиві відбитків. Значення символу, взяте з масиву розміром 256, яке представляє друковані символи та заповнене випадковими числами з (1, 2), щоб створити масив, як на таблиці 1:

Таблиця 1

Масив відбитків

Array[0]	Array[1]	Array[2]	Array[3]	Array[4]		Array[255]
1	2	1	2	1	2

Метою нашої роботи є дослідження нового методу фрагментування даних CB-TTTD для покращення коефіцієнта дедублікації та порівняння його ефективності з методом TTTD.

Виклад основного матеріалу

Для перевірки ефективності методів TTTD та CB-TTTD нами було розроблено тестову систему дедублікації даних та імплементовано обидва методи для етапу фрагментування даних. Для тестування роботи системи ми обрали два набори даних, які містять текстові файли із загальним розміром 580 Мб та 2329 Мб відповідно.

Оскільки метод CB-TTTD під час роботи оцінює «вагу» символу в потоці текстових даних, нами було вирішено додати нову умову в систему: символ крапки (‘.’) розглядається як нова умова в додаток до головної та другорядної умови дільника рядка в TTTD. Коли символ крапки знайдено в рядку і за ним слідує символ пробілу чи кінця рядка, той цей параграф розглядається як окремий фрагмент даних. Переваги такої умови проявляються у випадку коли два параграфи тексту розглядаються системою як один фрагмент. Тоді будь які зміни в одному з параграфів будуть мати вплив і на інший. Проте з використанням додаткової умови, ці два параграфи будуть розділені в різні фрагменти, а отже і внесені зміни будуть мати вплив лиш на один з них. Додавання такої умови збільшило коефіцієнт дедублікації та не вплинуло на швидкість розбиття потоку даних на фрагменти, тому що кількість кроків для обчислення межі фрагмента даних не змінилося. На рис.1 зображено вихідний розмір даних після дедублікації з використання оригінального методу TTTD для фрагментування даних та методу CB-TTTD для однакових наборів даних. Отримані результати порівняння роботи методів TTTD та CB-TTTD з використання додаткової умови поділу фрагментів на основі даних з першої вибірки наведені в таблиці 2.

Тестова система дедублікації була запущена на сервері з наступною конфігурацією: Intel I7 CPU, 8 GB RAM, 64 бітна операційна система. Щоб визначити ефективність кожного з методів фрагментування даних були використані наступні метрики:

- розмір даних після дедублікації: показує скільки даних залишилося після того як система видалила повторювані елементи;
- коефіцієнт дедублікації: вказує на ефективність методу дедублікації та обчислюється як відношення розміру даних до дедублікації, до розміру після дедублікації;
- час фрагментування: загальний час за який система розділила потік даних на фрагменти;

- час дедублікації: загальний час роботи системи;
- середній розмір фрагменту: обчислюється як відношення загального розміру даних до кількості фрагментів.

Експериментальні дані наведені в таблиці 3. Вони демонструють що метод СВ-ТТТД є більш ефективним для фрагментування потоку даних. З використанням цього методу підвищився коефіцієнт дедублікації для малих та великих наборів даних. Час розбиття потоку даних на фрагменти також скоротився.

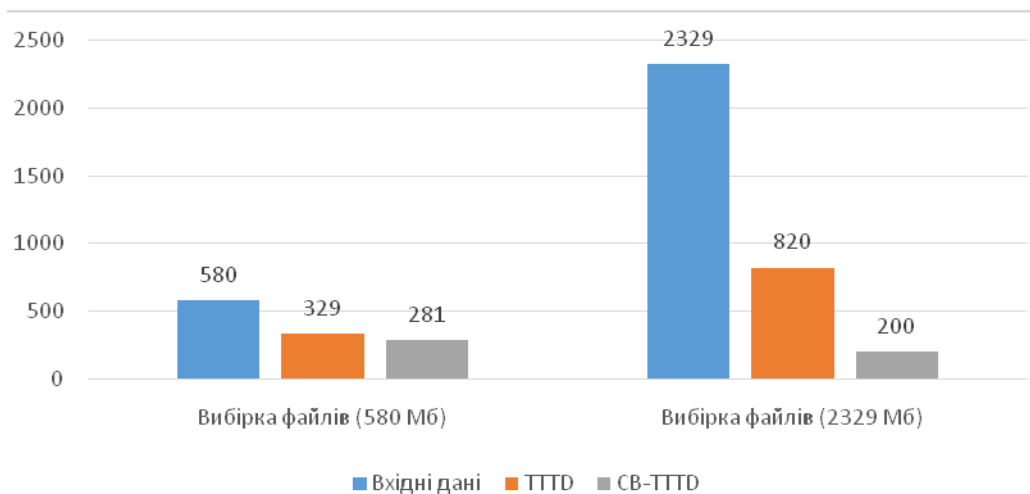


Рис. 1. Розмір вхідних та вихідних даних з використанням ТТТД та СВ-ТТТД у Мб

Таблиця 2

Ефект використання додаткової умови поділу фрагменту для методів ТТТД та СВ-ТТТД

Алгоритм	Кількість фрагментів	Коефіцієнт дедублікації	Розмір метаданих в Мб	Час роботи
ТТТД без дод. умови	612862	1.78200	83.1	2305
ТТТД з дод. умовою	1543376	1.83175	125	3450
СВ-ТТТД без дод. умови	654832	2.03643	15.9	440
СВ-ТТТД з дод. умовою	980152	2.1385	23.2	582

На відміну від функції відбитку Рабіна, який використовується в методі ТТТВ, у СВ-ТТТД збільшилася кількість фрагментів, особливо малого розміру, що дозволяє центральному процесору витрачати менше ресурсів на обробку кожного фрагменту. Варто зазначити, що додаткова умова поділу потоку даних на фрагменти(умова з крапкою) також збільшила кількість фрагментів малого розміру та підвищила коефіцієнт дедублікації без значного впливу на загальний час фрагментування даних системою

Таблиця 3

Порівняння методів ТТТД та СВ-ТТТД

Метрики	Набір даних 1		Набір даних 2	
	ТТТД	СВ-ТТТД	ТТТД	СВ-ТТТД
Вхідні дані(Мб)	580	580	2329	2329
Розмір даних після дедублікації(Мб)	329	281	820	200
Виявлено повторюваних даних (Мб)	251	299	1509	2129
Коефіцієнт дедублікації	1.76	2.07	2.84	11.6
Час фрагментування даних в сек.	730	470	3645	1204
Час дедублікації в сек.	2640	2104	9083	4587
Загальна кількість фрагментів	621861	960091	2468026	2611322
Середній розмір фрагменту	979	633	990	925

Проте, як видно з даних про загальний час роботи системи (дедублікації), через суттєве збільшення кількості фрагментів відповідно збільшився загальний час роботи системи саме на етапах індексування і хешування та зіставлення. Не зважаючи на ріст ефективності на етапі фрагментування даних, потрібно зробити корективи в процесах індексування та хешування фрагментів, їх порівняння, щоб отримати відповідний загальний вииграш в продуктивності системи. Отже, наступні кроки у нашій роботі будуть полягати у дослідженні цих двох етапів та пошуку можливих методів вирішення цих часових проблем.

Висновки

При роботі з великою кількістю даних їх ефективне зберігання стає важким завданням. Нами було розроблено тестову систему дедублікації даних та з її допомогою проведено порівняння існуючих методів фрагментування потоку даних. Експериментально доведено, що класичний метод TTTD поступається в ефективності новому СВ-TTTD. Другий забезпечує вищий коефіцієнт дедублікації, сам процес фрагментування даних виконується швидше, а метадані, які створюються для фрагментів даних займають менший об'єм пам'яті. Додаткові умови розбиття потоку даних, які були додані до методу СВ-TTTD, також покращили коефіцієнт дедублікації без значного приросту в часі роботи, що вказує перспективи підвищення його ефективності. Тестування методів фрагментування даних оцінювалася за допомогою двох різних наборів даних. Отримані результати заохочують продовжувати дослідження процесів розбиття потоків даних для покращення ефективності систем дедублікації.

References

1. Stevenson D., Wagoner N. J. Bargaining in the shadow of big data. Fla. Law Rev vol. 66. 2014. № 5. P. 66.
2. John Reinsel, Gantz Reinsel, David Reinsel. The digital universe in 2020: Big data, bigger digital shadows, and biggest growth in the far east. IDC iView: IDC Analyze the future. 2012. P. 1-16.
3. Turner, V., Gantz, J. F., Reinsel, D., & Minton, S. The digital universe of opportunities: Rich data and the increasing value of the internet of things. IDC Analyze the Future. 2014. P. 5.
4. Wen Xia, Hong Jiang, Dan Feng, Fred Douglass, Philip Shilane, Yu Hua, Min Fu, Yucheng Zhang, Yukun Zhou. A comprehensive study of the past, present, and future of data deduplication. Proc. IEEE vol. 104. 2016. № 9. P. 1681–1710.
5. Fahad A., Abdulsalam H. Evaluation of Two Thresholds Two Divisor chunking algorithm using Rabin fingerprint, Adler, and SHA-1 hashing algorithms. The Iraqi Journal of Science. 2017. № 4. P. 58.
6. Demystifying Data Reduplication: Choosing the Best Solution. 2009. URL: <http://www.pexpo.co.uk/contentdownload/20646/353747/file/DemystifyingDataDedupe>.
7. Mark W. Storer, Kevin Greenan, Darrell D. E. Long, Ethan L. Miller. Storer Secure Data Deduplication. StorageSS'08. 2008. № 5. P. 1-10.
8. Fahad A., Abdulsalam H. New Techniques to Enhance Data Deduplication using Content based-TTTD Chunking Algorithm. (IJACSA) International Journal of Advanced Computer Science and Applications. vol. 9. 2018. № 5. P. 116.

БЕЗВЕСІЛЬНА Олена

НТУУ «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

<https://orcid.org/0000-0002-6951-1242>e-mail: o.bezvesilna@gmail.com

ГРИНЕВИЧ Марія

Державний університет «Житомирська політехніка»

<https://orcid.org/0000-0001-9183-5211>e-mail: kakit_gms@ztu.edu.ua

ОСОБЛИВОСТІ ГРАВИМЕТРІВ У СУЧАСНИХ ГРАВИМЕТРИЧНИХ СИСТЕМАХ

У роботі проведено огляд сучасних гравіметрів авіаційних гравіметричних систем, їх конструкції та принцип дії. Проаналізовано їх переваги та недоліки, особливості їх функціонування та обробку отриманих даних. Показано, що високоточні вимірювання гравітаційного прискорення (ГП) є надзвичайно актуальними і необхідними для багатьох галузей науки і техніки. Надано основні характеристики відомих авіаційних гравіметрів. Встановлено, що відомі авіаційні гравіметри мають недостатню на сьогоднішній день точність (2-10 мГал). Запропоновано новий трансформаторний гравіметр (ТГ). Під дією ГП якор ТГ рухається всередині магнітопроводу вниз і викликає зміну електромагнітного потоку. При дії зовнішнього електромагнітного потоку перешкоди, цей потік буде наводити дві ЕРС перешкоди у двох секціях, які включено послідовно-зустрічно. Сумарна дія цих похибок на вихідний сигнал нового гравіметра буде рівна нулю. Зустрічне з'єднання секцій забезпечує скасування похибок від впливу зовнішніх електромагнітних потоків, які можуть бути значними при встановленні гравіметра на такому рухомому об'єкті, як літак. Так само працює пристрій при дії основної перешкоди для авіаційних гравіметрів - вертикального прискорення, похибки від впливу якого скасовуються у ТГ. У ТГ скасовуються залишкові інструментальні похибки, оскільки вони будуть з протилежними знаками у двох вимірювальних каналах двох секцій вторинної обмотки, що з'єднані зустрічно. Показано, що новий ТГ має набагато кращі характеристики від відомих авіаційних гравіметрів: лінійність вихідної характеристики, більшу точність, потужний вихідний сигнал, надійність. Обґрунтовано, що новий ТГ має значно більшу точність, ніж відомі авіаційні гравіметри за рахунок скасування похибок від впливу вертикального прискорення, впливу зовнішніх електромагнітних полів, впливу залишкових інструментальних похибок.

Ключові слова: гравіметр, гравіметричні системи, авіація, прискорення сили тяжіння, гравітаційне поле Землі.

BEZVESILNA Olena

NTUU «Kyiv Polytechnic Institute named after Igor Sikorsky»

GRYNEVYCH Mariia

State University «Zhytomyr Polytechnic»

FEATURES OF GRAVIMETERS IN MODERN GRAVIMETRIC SYSTEMS

The paper reviews modern gravimeters of aviation gravimetric systems, their design and principle of operation. Their advantages and disadvantages, features of their functioning and processing of the received data are analyzed. It is shown that high-precision measurements of gravitational acceleration (g) are extremely relevant and necessary for many fields of science and technology. The main characteristics of known aviation gravimeters are given. It has been established that known aviation gravimeters have insufficient accuracy (2-10 mGal). Under the action of the g , the armature moves down inside the magnetic circuit and causes a change in the electromagnetic flux. Under the action of an external electromagnetic flow of an obstacle, this flow will induce two EMF obstacles in two sections, which are included in series-opposite. The total effect of these errors on the output signal of the gravimeter-invention will be zero. The mutual connection of the sections provides cancellation of errors due to the influence of external electromagnetic flows, which can be significant when installing the gravimeter on such a moving object as an airplane. In the same way, the device works under the action of the main obstacle for aviation gravimeters of the vertical acceleration of the aircraft, the errors due to the influence of which are cancelled in the TG. In TG, the residual instrumental errors are cancelled, since they will have opposite signs in the two measuring channels of the two sections of the secondary winding, which are connected oppositely. It is shown that the new TG has significantly greater accuracy than known aviation gravimeters due to the cancellation of errors due to the effects of vertical acceleration of the aircraft, external electromagnetic fields, and residual instrumental errors. It is substantiated that the new TG has significantly greater accuracy than known aviation gravimeters due to the cancellation of errors due to the influence of the vertical acceleration of the aircraft, the influence of external electromagnetic fields, and the influence of residual instrumental errors.

Key words: gravimeter, gravimetric systems, aviation, gravitational acceleration, Earth's gravitational field.

Постановка проблеми

Гравіметрія, як наука, чудово зарекомендувала себе для визначення розподілу корисних копалин, що є необхідним для ряду таких галузей науки і техніки, як геофізика, геологія та ін. Аналіз як часових, так і просторових коливань гравітаційного поля дозволив охарактеризувати такі геофізичні явища, як зміни маси льоду (що актуально у зв'язку з таненням льодовиків на поверхні Землі), моніторинг вулканів і підземних водних ресурсів, дослідження опускання ґрунту у низинних районах, моніторинг геотермальних резервуарів і виявлення підземних порожнин та ін. [1, 3–6, 8–11].

Основною задачею гравіметрії є дослідження гравітаційного прискорення (ГП) Землі. Гравітаційне прискорення Землі g змінюється приблизно від $9,78 \text{ мс}^{-2}$ до $9,83 \text{ мс}^{-2}$ по всій поверхні Землі. Добові коливання, викликані деформаціями планети та припливами, становить у середньому 10^{-7} г . Варіації g досліджуються науками про Землю та спеціальними приладами, гравіметрами. Відомі наземні, підводні,

надводні та авіаційні гравіметри. Перевагами авіаційних гравіметрів є наступні: вони дозволяють вимірювати g у важкодоступних районах Землі (гірські масиви, зони екватору, полюсів Землі), мають значно більшу швидкодію при задовільній точності). Тому у наступному будемо аналізувати саме авіаційні гравіметричні вимірювання.

Серед авіаційних гравіметрів найбільш відомі [1, 6] струнні ГАЛ-С точність 1-8 мГал, гіроскопічні одноканальні – 1 мГал, гіроскопічні двоканальні 0,5 мГал, нові двоканальні струнний тензометричний, п'єзоелектричний, ємнісний МЕМС - 0,5 мГал (1 мГал = $1 \cdot 10^{-5} \text{ мс}^{-2}$). Ці гравіметри мають як свої переваги, так і недоліки. Розглянемо це більш детально.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Розвиток гравіметрії складається із таких основних етапів вимірювання: на нерухомій основі, на підводному та надводному човнах і на літальному апараті (ЛА) [1–11]. Із останніх публікацій по авіаційній гравіметрії [1–11 та ін.] видно, що найбільш ефективними є авіаційні гравіметричні вимірювання, серед яких найбільш відомі вимірювання із струнними, п'єзоелектричними, гіроскопічними, ємнісними МЕМС гравіметрами, точність яких сьогодні недостатня 2–10 мГал.

Метою даної статті є аналітичний огляд літератури у галузі авіаційної гравіметрії, складання порівняльної характеристики існуючих гравіметрів АГС з визначенням їх переваг та недоліків та обґрунтування необхідності використання нового більш точного трансформаторного гравіметра.

Викладення основного матеріалу статті

В останні десятиліття гравіметричні дослідження здійснюються переважно на підводних та надводних судах. Успішні вимірювання гравіметрів у морських умовах спричинили наступне завдання – дослідити можливість проведення гравіметричних вимірювань на борту ЛА.

Вимірювання ГП на борту ЛА є більш складним завданням, аніж на кораблі. Суттєвою є ж відмінність, яка полягає у наявності небажаних вертикальних прискорень у аерогравіметричних вимірюваннях. Якщо для морських гравіметричних вимірювань точність близько 1 мГал реально досяжна, то для повітряних вимірювань указана точність поки що є проблематичною. Перші спроби визначення ПСТ на борту ЛА були здійснені у СРСР і США у 1956–1960 рр. за допомогою морських модифікованих гравіметрів. Уже з 60-х років вже починаються розробки гравіметрів для вимірювання ГП безпосередньо на борту ЛА.

В основі сучасних методів вимірювання ГП лежить використання наступних закономірностей:

1. Залежність від g шляху, пройденого вільно падаючим тілом. Метод спостережень падаючого тіла називається балістичним, або методом вільного падіння;

2. Зв'язок періоду власних коливань маятника постійної довжини з величиною g . На цьому зв'язку оснований маятниковий метод вимірювання;

3. Залежність від g частоти коливань струни, на нижньому кінці якої закріплений вантаж. Заснований на цьому принципі прилад називається струнним гравіметром.

Ці методи передбачають спостереження руху тіла. Тому вони називаються динамічними;

4. Зміна положення рівноваги у пружинних вагах, на яких розташовується вантаж незмінної маси. При зміні g виникає додаткова деформація пружного елемента (пружини або крутильної нитки), пропорційна g . Цю деформацію вимірюють. Цей метод вимірювань називають статичним, а прилади – статичними гравіметрами.

Існують також абсолютні і відносні вимірювання g . При абсолютних вимірюваннях визначають повну величину ГП у точці спостереження. У цьому випадку, окрім часу вимірюють лінійні відстані, наприклад, довжину маятника або шлях, пройдений вільно падаючим тілом. При відносних вимірюваннях визначають не повне значення ПСТ у даному пункті, а приріст (різницю) ГП у даній точці спостереження відносно деякого іншого, вихідного, значення g у якому, звичайно, відоме.

Динамічні методи вимірювання g можуть бути і абсолютними, і відносними, статичні тільки відносними.

На літаках для вимірювання ГП встановлюють автоматизовану авіаційну гравіметричну систему (АГС), чутливим елементом якої є гравіметр.

Ефективність роботи АГС, значною мірою, забезпечується вибором чутливого елемента системи – гравіметра. На сьогоднішній день існує декілька типів гравіметрів АГС, які мають як свої переваги, так і недоліки. Розробками нових моделей гравіметрів АГС та підвищенням їх точності займаються провідні технічні університети США, Японії, Німеччини та інших країн світу. Розглянемо основні різновиди авіаційних гравіметрів.

Кварцові гравіметри типу ГАЛ-С. Для літакових вимірювань у СНД використовувались гравіметри, розроблені в Аерогравіметричній лабораторії під керівництвом Є.І. Попова в Інституті Фізики Землі Російської академії наук, які отримали шифр ГАЛ-С. В основу перших моделей цих гравіметрів була покладена схема кварцового гравіметра, запропонована у 1949 р. С.Є. Александровим. Саме у цьому приладі вперше була використана подвоєна крутильна пружна система з кварцового скла. Однак, остаточна думка про перспективність використання подібних пружних систем, як чутливого елемента для вимірювань гравітаційних аномалій Δg на літаку склалася після теоретичного обґрунтування способу К.Є. Веселовим та успішних експериментів, проведених Л.П. Смирновим із макетом сильно демпфуючого гравіметра. Дослідження 1989–1997 рр. показали, що АГС на основі ГАЛ-С має недостатню точність 8 мГал [2–4].

Гравіметр Ла-Косте-Ромберга (L-R-S) (розроблений Інститутом геофізики США під керівництвом Ла-Коста та Ромберга у 1959 р.), модифікований на основі морського гравіметра. В основу принципу дії гравіметра покладена ідея вертикального сейсмографа Голіцина. На тонкій горизонтальній нитці, яка є віссю обертання, закріплений горизонтально розташований важіль із тягарем на кінці. При зміні g маятник із тягарем відхиляється від горизонтального положення, розтягуючи головну пружину і закручуючи нитку підвісу до тих пір, поки момент сили тяжіння не буде врівноважений моментом головної пружини і моментом закручування осей підвісу (рис. 1) [3, 5, 7–9]. АГС на основі цього гравіметра має недостатню точність 10 мГал [2–4].

Найвідоміший **струнний гравіметр** – це гравіметр ГСД-М (рис. 2), який створений в 1960-х рр. під керівництвом А.М. Лозинської. Подальші дослідження очолював В.О. Багрянц у Всесоюзному науково-дослідному інституті геофізики.

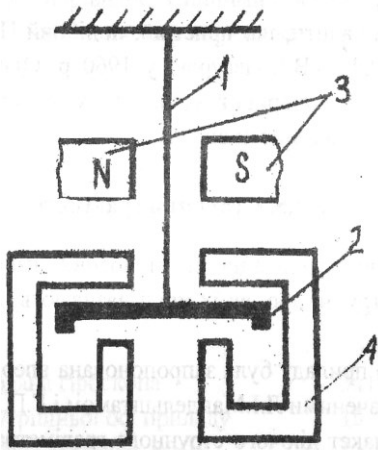


Рис. 2. Струнний гравіметр ГСД-М [3, 5, 7–11]: 1 - струна, 2 - маса, 3 - магніт, 4 - демпферний магніт

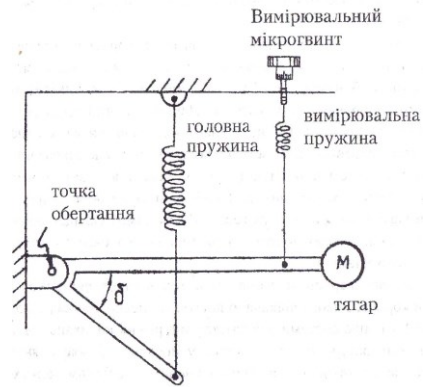


Рис. 1. Гравіметр Ла-Косте-Ромберга [3, 5, 7–9]

Принцип дії струнних гравіметрів оснований на властивості струни змінювати частоту власних коливань при зміні її натягу. Тобто вимірювання ГП зводиться до вимірювання частоти коливання струни.

Вимірювання ГП на базі ГСД-М показали точність у межах 8 мГал, що недостатньо.

На сьогоднішній день є досить відомим та застосовуваним гравіметричний комплекс “ГРАВІТОН-М” (розробка ВНДІ Геофізики, ДНВП “Аерогеофізика” та МДТУ ім. М.Е. Баумана), який включає у себе вимірвальний блок з трьох струнних гравіметрів, гіроінерціальну платформу, двочастотні індикатори приймачів супутникової навігаційної системи GPS, блок реєстрації та обробки даних з відповідним пакетом програм (рис. 3).

Комплекс пройшов випробування на вертольотах Мі-8, Ка-32 і на літаках Ан-30, Ан-12. Вертолітні зйомки над морем показали точність 6–5 мГал [3, 5, 7–9], що недостатньо на сьогоднішній день.

Перевагами струнних гравіметрів є малість сталої часу, що важливо при вимірюваннях прискорення ГП на літаку; майже необмежений діапазон вимірювання вхідних величин без перебудови приладу; частотно-модульований вихідний сигнал. Серед недоліків – можливість виникнення великих системних похибок, схильність до резонансів, невраховані похибки при деяких частотах вібрації.

Відомі на сьогоднішній день гіроскопічні гравіметри, що містять гіроскопічний маятник, зв’язаний з рамою за допомогою горизонтального осьового підвісу, перпендикулярного осі обертання гіроскопа, є одними із найточніших гравіметрів АГС.

Гравіметри типу RIGA, розроблені Массачусетським технологічним інститутом, мають відносно високу чутливість та використовуються, як гравіметри АГС та акселерометри систем навігації (точність 3 мГал). Однак, такий гравіметр має одну вісь чутливості, паралельну осі обертання гіроскопа щодо платформи, і вимірює проекцію гравітаційного прискорення на цю вісь. Для визначення напрямку гравітаційної вертикалі потрібна дуже точна стабілізація осі чутливості гравіметра у напрямку гравітаційного поля Землі. Крім того, обертання гіроскопа навколо осі зовнішньої рамки обумовлює появу інструментальних похибок RIGA [3, 5, 7–9].

На кафедрі приладобудування КПІ ім. Ігоря Сікорського під керівництвом Безвесільної О.М. розроблено та досліджено гіроскопічні гравіметри одноканальні (1 мГал) та двоканальні нових типів (0,5 мГал) (ДНГ, ГІЛУ), точність яких в умовах вимірювання на борту ЛА складає 2 мГал [1, 6].

Як показує наведений огляд літератури по відомим типам авіаційних гравіметрів, всі вони мають недостатню точність 2–10 мГал. Сьогодні вона має бути до 0,5 мГал. Це спонукає до пошуку та дослідження



Рис. 3. Гравіметричний комплекс “ГРАВІТОН-М” [3, 5, 7–9]

нових більш перспективних типів авіаційних гравіметрів. Таким є запропонований новий трансформаторний гравіметр (ТГ) [12].

Трансформаторний гравіметр

Розглянуті узагальнені недоліки існуючих гравіметрів АГС повністю або частково усуваються за рахунок того, що у якості гравіметра АГС застосовується трансформаторний гравіметр.

Чутливий елемент ТГ автоматизованої АГС складається із трансформаторного перетворювача (ТрП), що працює на основі закону електромагнітної індукції. ТрП мають значні переваги перед іншими типами перетворювачів (струнними, п'єзоелектричними та ін.): лінійність вихідної характеристики, більшу точність, потужний вихідний сигнал, надійність [12]. Під дією ГП якор рухається всередині магнітопроводу вниз і викликає зміну електромагнітного потоку.

При дії зовнішнього електромагнітного потоку перешкоди, цей потік буде наводити дві ЕРС перешкоди у двох секціях, які включено послідовно-зустрічно. Сумарна дія цих похибок на вихідний сигнал трансформаторного гравіметра буде рівна нулю. Тобто, таке зустрічне з'єднання секцій забезпечує скасування похибок від впливу зовнішніх електромагнітних потоків, які можуть бути значними при встановленні гравіметра на такому рухомому об'єкті, як літак. Так само працює пристрій при дії основної перешкоди для авіаційних гравіметрів вертикального прискорення ЛА, похибки від впливу якого скасовуються у ТГ. У ТГ скасовуються залишкові інструментальні похибки, оскільки вони будуть з протилежними знаками у двох вимірювальних каналах двох секцій вторинної обмотки, що з'єднані зустрічно.

Відмінність ж нового трансформаторного гравіметра полягає у тому, що дві секції вторинної обмотки з'єднані послідовно-зустрічно, а рухомий якор з'єднано з двигуном, який щосекунди послідовно опускає якор вниз та вгору по магнітопроводу, при чому двигуном керує пристрій перемикачання, який підключено до джерела напруги управління, а вихідний сигнал з вторинної вихідної обмотки подається на вхід пристрою обчислення вихідного сигналу, на виході якого сигнал, що пропорційний подвоєному значенню ГП та не має у своєму складі похибок від впливу вертикального прискорення ЛА, залишкових інструментальних похибок, залишкових похибок від проєкцій горизонтальних перехресних прискорень та похибок, спричинених впливом зовнішніх електромагнітних потоків, щоб забезпечити підвищення точності вимірювань ГП g до 0,5 мГал [12].

Таким чином, показано, що новий ТГ має значно більшу точність, ніж відомі авіаційні гравіметри за рахунок скасування похибок від впливу основної перешкоди вертикального прискорення ЛА (воно у 10^5 разів перевищує корисний сигнал ГП) [1, 6], впливу зовнішніх електромагнітних полів (вони значні на ЛА), впливу залишкових інструментальних похибок.

Висновки

Показано, що високоточні вимірювання гравітаційного прискорення є надзвичайно актуальними і необхідні для багатьох галузей науки і техніки.

Надано основні характеристики відомих авіаційних гравіметрів. Встановлено, що відомі авіаційні гравіметри мають недостатню на сьогоднішній день точність (2–10 мГал).

Обґрунтовано, що новий ТГ має значно більшу точність, ніж відомі авіаційні гравіметри за рахунок скасування похибок від впливу вертикального прискорення ЛА, впливу зовнішніх електромагнітних полів, впливу залишкових інструментальних похибок.

Перспективами подальших досліджень у даному напрямку є визначення отримання та дослідження математичної моделі ТГ, основних похибок ТГ, моделювання поведінки ТГ при можливих резонансних режимах на ЛА.

Література

1. Безвесільна О. М. Вимірювання прискорень / О. М. Безвесільна. – К. : Либідь, 2001. – 261 с.
2. Попов Е. И. Определение силы тяжести на подвижном основании / Е. И. Попов. – М. : Наука, 1987. – 218 с.
3. Веселов К. Е. Гравиметрическая разведка / К. Е. Веселов. – М. : Недра, 1986. – 512 с.
4. Веселов К. Е. Гравиметрическая съемка / К. Е. Веселов. – М. : Недра, 1986. – 311 с.
5. Огородова Л. В. Гравиметрия / Л. В. Огородова. – М. : Недра, 1978. – 325 с.
6. Безвесільна О. М. Авіаційні гравіметричні системи та гравіметри : монографія / О. М. Безвесільна. – Житомир : ЖДТУ, 2007. – 604 с.
7. Пушина Л. З. Измерения с гравиметром на самолете в США / Л. З. Пушина // Геодезия и аэрофотосъемка. – М., 1962. – № 1. – С. 123–130.
8. Нетлтон Л. Испытание аэрогравиметра / Л. Нетлтон, Л. ЛаКост, Дж. Харрисон // Геодезическая серия. – М., 1961. – Вып. 12. – С. 25–29.
9. Wei M., Schwarz K. Flight test results from a strapdown airborne gravity system. Journal of Geodesy. 1998. Vol. 72. P. 323–332.
10. Лозинская А. М. Аэрогравиметрическая аппаратура на базе струнных датчиков / А. М. Лозинская, З. И. Фомина, И. Л. Яшаев // Прикладная геофизика. – М., 1973. – С. 175–186.

11. Лозинская А. М. Измерение силы тяжести на борту самолета / А. М. Лозинская. – М. : ВИАМС, 1978. – 70 с.
12. Патент на корисну модель № 142824 від 25.06.20. Трансформаторний гравіметр. Бюл. № 12 по заявці № у 2020 00884. Безвесільна О.М., Ткачук А.Г. Дата подання заявки 12.02.2020. G01V 7/00. <http://eztuir.ztu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/7690/142824.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

References

1. Bezvesilna O. M. Measurement of accelerations. K.: Lybid, 2001. 261 p.
2. Popov E. I. Determination of gravity on a movable base. Moscow: Nauka, 1987. 218 p.
3. Veselov K. E. Gravimetric reconnaissance. M.: Nedra, 1986. 512 p.
4. Veselov K. E. Gravimetric surveying. M.: Nedra, 1986. 311 p.
5. Ogorodova L. V. Gravimetry. M.: Nedra, 1978. 325 p.
6. Bezvesilna O. M. Aviation gravimetric systems and gravimeters: monograph. Zhytomyr: Zhdtu, 2007. 604 p.
7. Pushchyna L. Z. Measurements with a gravimeter on an airplane in the USA. Geodesy and aerial photography. M., 1962. No. 1. P. 123–130.
8. Nettleton L., LaCoste L., Harrison J. Aerogravimeter test. Geodetic series. M., 1961. Vol. 12. p. 25–29.
9. Wei M., Schwarz K. Flight test results from a strapdown airborne gravity system. Journal of Geodesy. 1998. Vol. 72. P. 323–332.
10. Lozinskaya A. M., Fomina Z. I., Yashaev I. L. Aerogravimetric apparatus based on string sensors. Applied geophysics. M., 1973. P. 175–186.
11. Lozinskaya A. M. Measurement of gravity on board an airplane. M.: VIEMS, 1978. 70 p.
12. Bezvesilna O.M., Tkachuk A.H. Transformer gravimeter. Utility model patent No. 142824 dated 06/25/20. Bull. No. 12 for application No. u 2020 00884. Application submission date 12.02.2020. G01V 7/00. <http://eztuir.ztu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/7690/142824.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

БРЕДУН Віктор

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

<https://orcid.org/0000-0002-8214-3878>e-mail: bvi37h@gmail.com

МИКОЛАЙЧИК Тарас

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

e-mail: taras8876@ukr.net

АНАЛІЗ ВІДПОВІДНОСТІ ДОРОЖНЬОЇ МЕРЕЖІ ОПІШНЯНСЬКОЇ ТЕРИТОРІАЛЬНОЇ ГРОМАДИ ТЕНДЕНЦІЯМ РОЗВИТКУ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ВІДХОДАМИ В РЕГІОНІ

В роботі наведені результати досліджень логістично-технологічних можливостей дорожньої мережі Опішнянської територіальної громади тенденціям розвитку регіональної системи управління відходами передбачених Регіональним планом управління відходами в Полтавській області до 2030 року. Проаналізовано категорійні параметри та стан ділянок дорожньої мережі, що входять до прогностичних маршрутів перевезення ТПВ на першому та другому етапах розвитку регіональної системи поводження з відходами Полтавської області.

Ключові слова: система управління відходами, логістична структура, дорожня мережа, перевезення відходів, маршрут.

BREDUN Viktor, MYKOLAICHYK Taras

Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic National University

ANALYSIS OF THE CORRESPONDENCE OF THE ROAD NETWORK OF THE OPISHNIAN TERRITORIAL COMMUNITY TO THE DEVELOPMENT TENDENCIES OF THE WASTE MANAGEMENT SYSTEM IN THE REGION

Planning of effective waste management systems at the level of territorial communities is an important practical task that ensures the implementation of the overall regional concept of the development of the regional waste management system. This process is based, first of all, on the study of the scientific and practical foundations of forecasting trends in the development of waste management systems, and especially their logistical component, taking into account the specifics of regional factors. Thus, there is a need to conduct an analysis of the technical-logistic component of the waste management system of individual territorial communities and its development prospects as a component of the regional waste management system of the Poltava region within the framework of solving the current scientific and practical task of ensuring the effectiveness of the implementation of the regional waste management system. Methodology. When studying the structure and technological parameters of the elements of the road network included in the project routes of solid waste transportation, the methods of system and factor analysis were used. Results. It has been established that the road network of Opishnyan TC is simultaneously an element of the logistics structure of the waste management system at the local and regional level and is involved in all stages of solid waste transportation during various periods of implementation of the Regional Waste Management Plan of the Poltava Region. All categories of roads are involved in the transport schemes. The roads of the fourth category and some roads of the 5th category are the most heavily loaded. Most roads of categories T, O, C are in unsatisfactory condition and need urgent repair. The capacity of the existing road network, if it is maintained in a satisfactory condition, provides the possibility of movement along the specified routes of both collection and transport garbage trucks. The maximum permissible speed of movement according to the parameter of categorization on all roads of the region corresponds to the technical parameters and design modes of movement of specialized transport. Originality. The technological possibilities, main problems and directions of improvement of the road network of Opishnyan TC as a separate object of logistics planning and a structural component of the waste management system at the local and regional levels have been determined. Practical value. The technological possibilities, main problems and directions of improvement of the road network of Opishnyan TC as a separate object of logistics planning and a structural component of the waste management system at the local and regional levels have been determined.

Key words: waste management system, logistics structure, road network, waste transportation, route.

Постановка проблеми.

Регіональний план управління відходами в Полтавській області до 2030 року [1] (далі – РПУВ або Регіональний план) передбачає створення технологічно-логістичної структури, що забезпечує ефективного функціонування всієї системи управління відходами області. Регіональна логістична система є функціонально єдиним симбіозом місцевих логістичних структур. Тому, технологічно-логістична ефективність регіональної системи управління відходами Полтавської області в значній мірі залежить від особливостей логістичних структур місцевого рівня. Дані обставини обґрунтовують необхідність проведення аналізу відповідності місцевих логістичних структур вимогам регіонального плану.

Метою дослідження є забезпечення ефективності системи поводження з відходами у Полтавській області на регіональному рівні шляхом удосконалення логістичних структур окремих громад.

Аналіз останніх досліджень

Регіональним планом управління відходами Полтавської області до 2030 року закладено основні концептуальні положення логістичної організації системи збору і транспортування ТПВ у Полтавській області на найближчі 10 років. Розробка базових логістичних структур місцевих рівнів реалізовувалась через пілотні проекти, спрямовані, передусім, на розвиток системи збирання ТПВ від населення [2, 3]. Конкретно для Опішнянської громади в роботі [4] проведено попередні розрахунки для сільських населених пунктів.

Виклад основного матеріалу

Регіональний план [1] передбачає три можливі сценарії розвитку системи управління відходами з трьома можливими варіантами кластеризації для кожного сценарію, за якими поводження з відходами здійснюється:

- на спеціально відведених об'єктах одного або кількох органів місцевого самоврядування;
- на регіональних об'єктах, які конкретно визначені як громадські об'єкти в межах території з оптимальним покриттям (субрегіон/субкластер);
- на регіональних об'єктах, спеціально виділених для кількох (двох і більше) оптимальних зон охоплення (кластерів) як об'єктів загального користування.

Отже, передбачається двоетапна система перевезення ТПВ: перший етап – збір побутових відходів на території ТГ. Другий етап – вивезення побутових відходів з локальних на регіональні очисні споруди. З точки зору аналізу логістичної організації системи управління відходами нас цікавлять ділянки автомобільних доріг, які задіяні в маршрутах за всіма сценаріями (кількість, категорії доріг, допустимі навантаження, стан).

Щоб відповісти на поставлені питання, розберемо структуру маршрутів за першим варіантом кластеризації. РПУВ на етапі розробки не передбачав детального планування систем транспортування ТПВ на рівні окремих громад. У [4] розроблено транспортні схеми 1-го рівня від сільських населених пунктів до місцевого об'єкта РООВ Опішнянської територіальної громади. В проект включено мережу основних доріг громади та внутрішню мережу доріг с.м.т. Опішня і села Малі Будища та Попівка. Окремі маршрути для вивезення ТПВ в с. Опішня та села Малі Будища та Попівка в роботі [4] не були запроєктовані. Їх планування здійснюється при розробці планів санітарного очищення цих населених пунктів. На цьому етапі нам достатньо проаналізувати дорожню мережу за розробленою схемою.

Перелік доріг, що входять до схеми маршрутів наведено у таблиці 1.

Таблиця 1

Дороги, що проходять територією Опішнянської ТГ і залучені до схеми збору ТПВ

№ дороги	Маршрут	Стан
Національні		
Н-12	Суми – Полтава	Добрий, задовільний
Регіональні		
Р-42	Лубни-Миргород-Опішня	Добрий
Обласні		
О1702368	Гадяч – Опішня	Добрий
О1706082	Батьки – Заїченці – Попівка	Поганий
О1706083	Опішня – Малі Будища	Поганий
О1706084	Покровське – Човно-Федорівка – Волошкове	Поганий
Районні		
С170621	Батьки – Лазки	Задовільний
С170623	/Гадяч – Опішня/ – Заїченці	Поганий
С170624	/Гадяч – Опішня/ – Устименки	Поганий
С170625	Глинське – Малі Будища	Невідомо
С170626	Опішня – Міські Млини – Карабазівка	Поганий
С170627	Вільхове – Васьки	Дуже поганий
С170629	/Гадяч – Опішня/ – Кірякове	Невідомо
С170631	/Р-42/ – Бухалівка	Невідомо
С170637	/Покровське – Човно-Федорівка – Волошкове/ – Мисики	Невідомо

Вулиці пронумеровані згідно [5]. Параметри дороги визначаються згідно [6].

У короткостроковій перспективі перший етап збору твердих побутових відходів із населених пунктів у кожному сценарії зачіпає практично всю мережу автомобільних доріг. Основне навантаження припадає на дороги категорій О і С.

Важливим елементом планування, який багато в чому визначає техніко-економічну ефективність всієї логістичної концепції, є якість дорожнього покриття. Таблиця 1 за даними сайту [7] показує, що переважна більшість доріг категорій О і С знаходяться в поганому стані. Ці дороги потребують термінового ремонту, особливо дорога С170627. Стан деяких доріг невідомий. Проте, враховуючи загальний розвиток, можна припустити, що ці дороги також знаходяться в незадовільному стані і потребують відновлення.

Планування другого та, можливо, третього етапу вивезення відходів виконано у складі розробки регіонального плану. Сценарій 1, варіанти 1, 2 і 3: у цьому сценарії друга і третя черги транспортування не плануються. Сценарій 2 є тимчасовим. У ньому передбачено другу та третю черги транспортування. Сценарій 3. Це етап віддаленої перспективи (2025-2030 рр.). Особливістю цього сценарію є розгалужена транспортна система на другому та третьому етапах. Відповідно до [1], більшість основних транспортних шляхів сценарію 2 також включені в схему маршруту сценарію 3. Карта маршрутів транспортування ТПВ по

магістралі представлені на рисунку 1. Структура маршруту для цих схем представлена в таблиці 2.

Таблиця 2

Логістична структура 2-го та 3-го транспортних ділянок у сценаріях 2 та 3

Маршрут	Номер дороги	Населений пункт, через який пролягає маршрут
Опішня – Затурина	1) С170626, 2) Н12	1) Міські Млини, 2) Лихачівка,
Зіньків – Опішня	1) О1702368, 2) Р42	1) Шилівка, 2) Опішня
Котельва – Опішня	1) Н12, 2) С170626	1) Лихачівка, 2) Міські Млини

Характеристика вулично-дорожньої мережі 2-го та 3-го рівнів транспорту наведена в таблиці 3.

Як видно з таблиць, у схемах перевезень задіяні всі категорії доріг. Особливо навантаженими є дороги четвертої категорії. Також значне навантаження припадає на деякі дороги 5 категорії.



Рис. 1. Маршрути 2-3 черги транспортування ТПВ за участю РВ Опішнянської ТГ

Таблиця 3

Особливості логістичної структури маршрутів транспортування ТПВ на другому та третьому етапах транспортування за сценаріями 3 та 2. Параметри дороги.

Маршрут (схема перевезень)	Відстань транспортування, км	Задіяні шляхи				
		Номер дороги	Категорія дороги	Пропускна здатність, машин /добу	Допустима швидкість, км/год	Допустиме навантаження, кН на вісь, кН
Опішня – Затурина	52,5	1) С170626,	5	<150	90	60
		2) Н12,	3	>1000-3000	90	115
		3) О1710369	4	>150-1000	90	100
		4) О1719360	4	>150-1000	90	100
Зіньків – Опішня	39	1) О1702368,	4	>150-1000	90	100
		2) Р42.	3	>1000-3000	90	115
Котельва – Опішня		1) Н12,	3	>1000-3000	90	115
		2) С170626	5	<150	90	60

За даними табл. 2 та 3 пропускна спроможність доріг дає змогу збільшити завантаження транспортних сміттєвозів.

Висновки

Дорожня мережа Опішнянської ТГ є одночасно елементом логістичної структури системи управління відходами місцевого та регіонального рівня і у різні періоди реалізації Регіонального плану управління відходами Полтавської області задіяна на всіх етапах перевезень ТПВ. У схемах перевезень задіяні всі категорії доріг. Максимальне навантаженими припадає на дороги четвертої категорії та деякі

дороги 5 категорії. Більшість доріг категорій Т, О, С знаходяться у незадовільному стані та потребують термінового ремонту. Пропускна здатність існуючої дорожньої мережі при підтриманні її в задовільному стані забезпечує можливість руху по визначених маршрутах як збиральних, так і транспортних сміттєвозів. Максимально допустимі швидкості руху по параметру категорійності на всіх дорогах області відповідають технічним параметрам і проектним режимам руху спеціалізованого транспорту.

Література

1. Регіональний план управління відходами у Полтавській області до 2030 року : проект [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://www.adm-pl.gov.ua/advert/oprilyudnennya-dlya-obgovorennya-proektu-regionalniy-plan-upravlinnya-vidhodami-u-poltavskiy>.
2. Схема санітарної очистки Гадяцької міської об'єднаної територіальної громади. Договір № 0104/20 від 16.04.2020.
3. Ілляш О. Е. Особливості логістичного планування систем поводження з ТПВ на прикладі міста Лохвиця / О. Е. Ілляш, В. І. Бредун, В. І. Радко та ін. // Екологічна безпека. – 2019. – № 2. – С. 12–17.
4. Кошелєв М. В. Розробка проекту системи збору твердих побутових відходів для сільських населених пунктів Опішнянської територіальної громади : Кваліфікаційна робота бакалавра / Національний університет “Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка”. – Полтава, 2022. – 81 с.
5. Перелік автомобільних доріг загального користування державного значення : Затверджено постановою Кабінету Міністрів України від 30 січня 2019 р. № 55.
6. ДБН В.2.3-4:2015 «Автомобільні дороги».
7. NAVIZOR. Стан доріг [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://navizor.com/>

References

1. Rehionalnyi plan upravlinnia vidkhodamy u Poltavskii oblasti do 2030 roku : proekt [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : <https://www.adm-pl.gov.ua/advert/oprilyudnennya-dlya-obgovorennya-proektu-regionalniy-plan-upravlinnya-vidhodami-u-poltavskiy>.
2. Skhema sanitarnoi ochystky Hadiatskoi miskoi obiednanoi terytorialnoi hromady. Dohovir № 0104/20 vid 16.04.2020.
3. Illiash O. E. Osoblyvosti lohistychnoho planuvannia system povodzhennia z TPV na prykladi mista Lohvytsia / O. E. Illiash, V. I. Bredun, V. I. Radko ta in. // Ekolohichna bezpeka. – 2019. – № 2. – S. 12–17.
4. Kosheliev M. V. Rozrobka proektu systemy zboru tverdyykh pobutovykh vidkhodiv dlia silskykh naselenykh punktiv Opishnianskoi terytorialnoi hromady : Kvalifikatsiina robota bakalavra / Natsionalnyi universytet “Poltavska politekhnika imeni Yurii Kondratiuka”. – Poltava, 2022. – 81 s.
5. Perelik avtomobilnykh dorih zahalnoho korystuvannia derzhavnoho znachennia : Zatverdzheno postanovoiu Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 30 sichnia 2019 r. № 55.
6. DBN V.2.3-4:2015 «Avtomobilni dorohy».
7. NAVIZOR. Stan dorih [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : <http://navizor.com/>

KASIYANENKO Vasul

Vinnytsia National Technical University

e-mail: cassic1955@gmail.com

BURDEYNYY Volodymyr

Vinnytsia National Technical University

e-mail: brdnvldmr@ukrnet.com

OPTICAL PROPERTIES AND ADHESIVE ABILITY OF HYBRID VIRUS NONORGANIC COMPLEXES TMV-AU

One of the promising methods to create nanomaterials reduces to applying of viruses, whose virions, due to their high spatial symmetry, can serve as effective matrix templates that allow assembling of noble metals, in particularly Au, nanoparticles. In the connection with the above mentioned fact, it becomes interesting to investigate physical properties of materials synthesized by virus involving technology, depending on the determined virus-matrix. This paper presents some results of the study of optical and adhesive properties of gold nanoparticles in complexes with the tobacco mosaic virus

Key words: virus-inorganic complexes, tobacco mosaic virus, optical spectra, adhesion ability

КАСІЯНЕНКО Василь, БУРДЕЙНИЙ Володимир

Вінницький національний технічний університет

ОПТИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ І АДГЕЗІЙНА ЗДАТНІСТЬ ГІБРИДНИХ ВІРУС-НЕОРГАНІЧНИХ КОМПЛЕКСІВ BTM-AU

Одним із перспективних методів створення наноматеріалів є використання вірусів, віріони яких, завдяки високій просторовій симетрії, можуть служити ефективними матричними шаблонами, які дозволяють реалізувати ассамблер наночастинок благородних металів, зокрема золота. В зв'язку з цим стає актуальним дослідження фізичних властивостей синтезованих в такий спосіб матеріалів залежно від вибраного вірусу-матриці. У даній роботі наведено результати дослідження оптичних і адгезійних властивостей наночастинок золота в комплексах з вірусом тютюнової мозаїки

Ключові слова: вірус-неорганічні комплекси, вірус тютюнової мозаїки, оптичні спектри, адгезійна здатність.

Reviews of recent studies and formulation of problems

One of the most difficult problems to resolve in nanotechnology is production of nanoobjects with the same geometrical form and size. As some intensive researches [1] show the very promising approach to treat the problem is the use of Tobacco Mosaic Virus (TMV). The TMV can be chemically and genetically modified in order to alter its physical properties and adapt them to demanded technologic applications. Currently, vast researches directed on the implementation of TMV based methods in the fabrication of nanowires, nanostructured thin films, highly effective microbatteries, solid-state nanoelectronics and biosystems engineering are being carried out in the world. The intensity of these studies is due to the microelectromechanical systems field is more and more developing and allows us to advance in effective miniaturization of functional devices and integrated systems [2–6].

However, some fundamental restrictions of microtechnologies do not permit to ultra pass well-known dimension limits. That is why the integration of nanostructured objects with many functional devices to continue to be a serious problem which is a long way to its complete resolution by conventional methods and materials [7–9].

Tobacco mosaic viruses have a specific structure. It is similar to a nanocabel consisting of hollow protein tubes, inside which the RNA passes. The length of the virus is about 300 nm, its outer diameter is equal to 18 nm, while the inner cavity has a diameter of 4 nm. The virus capsid consists of 2130 molecules of protein (monomers), which, like helicoids wrap around the RNA molecule. The protein monomer consists of 158 amino acid residues [10]. It is able to withstand the temperature about 60° C during 30 minutes.

Down-up self-assembling is the basic method to synthesize nanodimensional devices. Contemporary synthesis methods allow to realize precise control over the size and shape of nanoparticles produced by applying biomatrix technology. In comparison with semiconductors their fundamental features reveal increasing structural and functional versatility, self-assembly on the surface and predicted controllability of properties. These advantages in combination with the low cost of production predict a revolution in today's technogenic environment.

Modern technology involves biological objects such as DNAs [11–16], peptides [18], bacteria [17–20] and proteins [21] to create various nanostructures, in particular nanofibers, nanoparticles, and quantum dots. One of the most promising categories of biological nanotemplates which provides exceptional functional opportunities of applications is reduced to plants and bacterial viruses. These particles are formed from high-molecular nucleic acid aggregates, consisting of many copies of the protein shell. Above mentioned molecules demonstrate some essential advantages: they exhibit exceptional stability over a wide range of temperatures and pH-factor values and the ability to withstand influence of denaturation by organic water-soluble mixtures [22].

Between the available viruses, the tobacco mosaic virus is one of the most widely studied filiform structures. The properties of TMV that are extremely useful for nanobiomaterials integration into microsystem devices reduce to well-studied three-dimensional structure [23–26], a large amount of bio-physical information on the characteristics of TMV self-assembly on various substrates [27], discovery of a number of infectious clones from virus of RNA. These and other features allow to create new viral structures and surfaces by applying well-

studied methods of genetic modification [28, 29], a expansive quantity of existing examples of a protein shell with a wide scale of self-assembly properties [30]. Beside it possibilities to receive viruses and protein shells from infected plants in an unlimited amount [31–33] and TMV structural strength make it suitable for use in conventional microelectronics technologies methods [31, 34, 35].

The advantages of using TMV's are that all particles of the same type have got identical structure, shape and size; TMV's virions (that is mature viruses) show capacity to self-assemble and form certain self-organized structures connecting their ends, for example, chains or rings; finally they are highly stable both in chemical and physical senses, and also they can be coated with metals, silicon dioxide and semiconductor materials [36–40].

The surface of the virus consists of repeating amino acid chains. The inner cavity consists predominantly of glutamine and aspartic acids, and the outer surface is composed of a large number of lysine and agrinic radicals. This fact is favourable for the virus surface to react with nanoparticles of metals (gold, silver) [37–39, 41].

The connection of different nanoparticles with the virus molecule can be controlled during the syntheses by changing the chemical parameters of environment (pH, the presence of oxidizing /reducing agents) [42–54].

Investigation of optical properties of vtm-nano-particles of metals

The method of obtaining silver hydrosols is based on the restoration of silver nitrate by tannin in the presence of a buffer solution of sodium tetraborate and sodium hydroxide (pH = 9.8). In the reaction volume containing the buffer solution (pH=9,8) the tannin solution was added under the room temperature. Then the solution of AgNO_3 undergoing to uninterrupted stirring was introduced at a rate of 1.3 ml / min. For the synthesis water solutions of silver nitrate and tannin with following compositions of agents were used: 1) with equimolar ratios, 2) with the excess of tannin ten times, and 3) with the tenfold excess of silver nitrate. The Fig. 1 shows optical spectra of soles which were situated in quartz cuvettes. The optical path length was of 10 mm and the wavelength interval was about 350–600 nm. On the curves the formation of plateau can be observed. If the excess of silver takes place clearly distinguished band at $\lambda=420$ nm can be detected too.

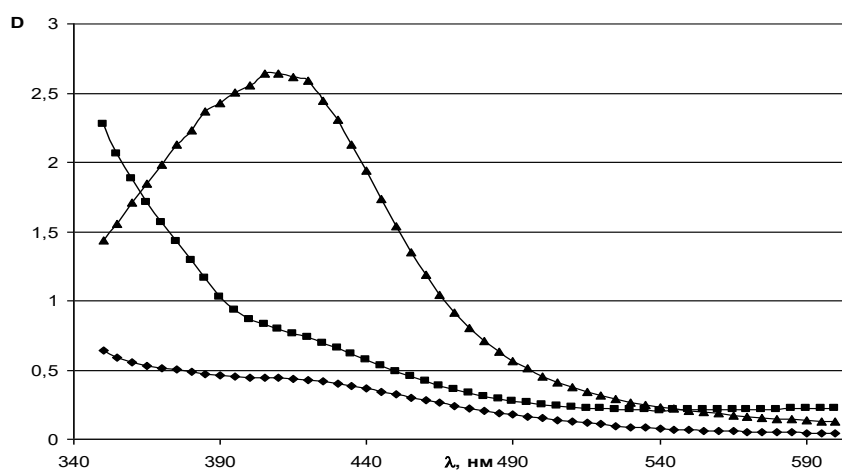


Fig. 1. Optical spectra of silver hydrosols, obtained: ♦ in equimolar ratios of silver nitrate and tannin; ■ in excess of tannin; ▲ in excess of silver

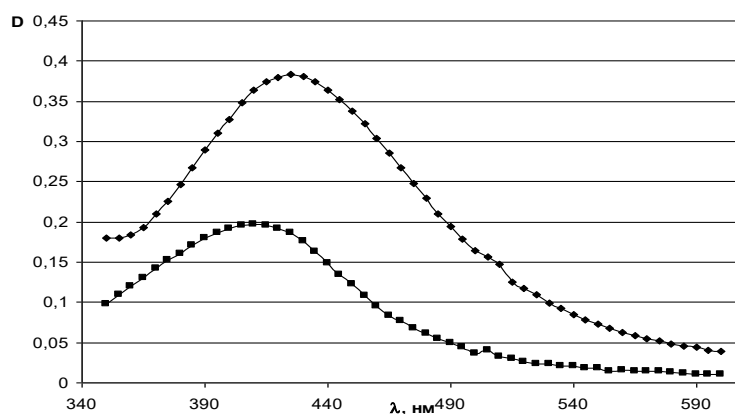


Fig. 2. Optical spectra: ♦ - silver sol in ethanol; ■ - silver hydrosol

Characteristics of soles demonstrate certain level of sensibility in relation to proprieties of solvent. In order to verify this suggestion the effect of solvent type on optic parameters of soles the synthesis of nanosized silver particles was carried out with using of 96% ethanol solution. The maximum of optical absorption band in ethanol

turns out shifted to the long wave part in comparison with the hydrosol optical spectrum (Fig. 2).

The study of the obtained nanowires was carried out in the ultraviolet and visible interval of wavelengths on the two-beam spectrophotometer SPEKOL One only maximum at 540 nm has been observed on the graphs of the optical density of nanowires dependence on wavelength. This fact doubtless points out on the optical activity of the nanowires in this wavelength segment. It should be important to sub line that there are no peaks of absorption for pure viruses (Figure 3).

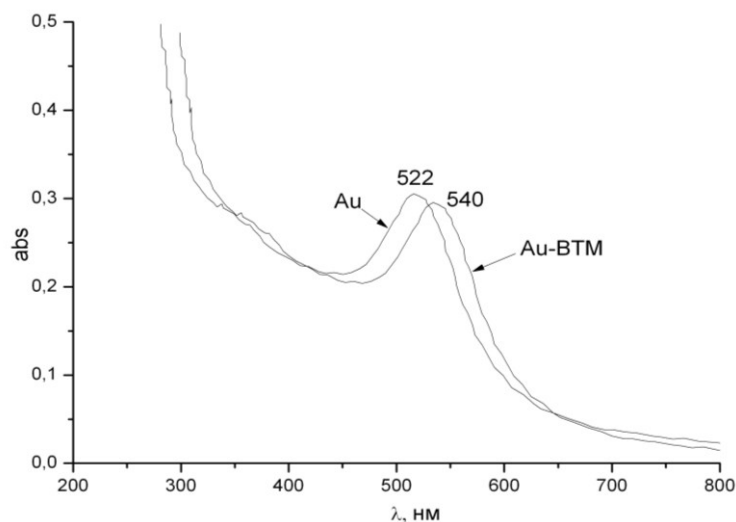


Fig. 3. Optical spectra of pure nanoparticles and nanowires TMV-Au

The our results clearly indicate on existing of optical anisotropy and they have been confirmed by the data of work [54]. The TMV is a rod-shaped virus consisting of a right screw single-breasted ribonucleic acid and demonstrate a positive peak in the spectrum of circular dichroism (CD) at 190 nm and a negative peak at 209 nm due to excitation and the transition from π to π^* with optical dipoles perpendicular to axis and parallel to the same axis respectively [54].

On the CD spectra peaks correspond to gold nanoparticles in the wavelength interval of 200-300 nm are not observed. Concerning the TMV-Au complex there is a negative peak of the CD at 222 nm and a maximum of 540 nm on the optical spectra. This fact can be interpreted as manifestation of the correlation between circular dichroism and plasmon resonance spectra of TMV-Au and the correlation of plasmon resonance and optical activity, as well as the presence of two types of chiral structures in the TMV-Au complex: right amino acids, and right α -helix consisting of the amino acids. Thus the TMV-Au admits to be treated as a chiral medium in which the refractive index for right and left-hand polarization in the direction of propagation $+x$ is n_+ ; n_- , respectively. Given that the refractive index depends on the direction of propagation these indexes for the right-hand (left-hand) polarized light in the direction $-x$, were designated respectively as n_+ (n_-). The established difference in the refractive index plays a significant role in interpreting of the obtained, namely, the chiral medium can be referred to the normal medium with the refractive index n . The length of the normal and chiral component of the medium l and L , respectively. The ratio of the transmission coefficient for the right-hand polarization t_+ and the left-hand polarization t_- is determined by the method of transfer matrices. Then the ratio t_- / t_+ can be expressed as

$$\frac{t_-}{t_+} = e^{-2i(\theta_+ - \theta_-)} \times \frac{A_{+-}}{A_{-+}} \quad (1)$$

where

$$A_{+-} = \left(\cos \theta - \frac{i}{n} \sin \theta \right) \times \left[n_+ e^{i\alpha_{+-}} + n_- e^{-i\alpha_{+-}} + n_+ n_- (e^{i\alpha_{+-}} - e^{-i\alpha_{+-}}) \right] + (\cos \theta - n i \sin \theta) \times (e^{i\alpha_{+-}} - e^{-i\alpha_{+-}} + n_- e^{i\alpha_{+-}} + n_+ e^{-i\alpha_{+-}})$$

and

$$\theta = kl / n, \theta_{+,-} = kl / n_{+,-} \quad \alpha_{+-} = kl / n_+ - kL / n_-.$$

The first factor of the right-hand side of the equation (1), that is $e^{-2i(\theta_+ - \theta_-)}$ gives an optical activity without the influence of the normal medium. The second one, that is A_{+-} / A_{-+} corresponds to the effect of connecting the normal segment to the chiral part of the system, and it is responsible for the optical activity

$A_{+-} / A_{-+} \neq 1$. This term describes the modification of optical activity. The plasmon frequency A_{+-} / A_{-+} has got significantly high value due to plasmon resonance leading to a notable increase in optical activity. On the other hand, in the UV region, $A_{+-} / A_{-+} \sim 1$. Therefore the optical activity of the complex is increasing too. Thus the optical activity of the complex in the UV region is not less than that of the chiral medium. This simple model provides a consistent explanation of the experimental results and opens up the possibility of using the TMV-Au complexes to create 3D metamaterials.

Investigation of adhesive and oxidizing properties of tmv virion on the surface of silicone crystal

The adhesion properties of a tobacco mosaic virus on the surface of silicon spraying with gold were investigated by atomic force microscopy. A continuous coating of the surface of the TMV by gold nanoparticles was established. These nanoparticles of gold, unlike ones obtained by chemical synthesis, are localized near the viruses, mostly in the ends of the viruses and less often at their edges. The height of the synthesized wires, determined on the base of the received images, was 10.5 ± 0.9 nm, which, within the measurement error, correlates quite well with the value of the TMV particles diameter evaluated by other methods (Fig. 4).

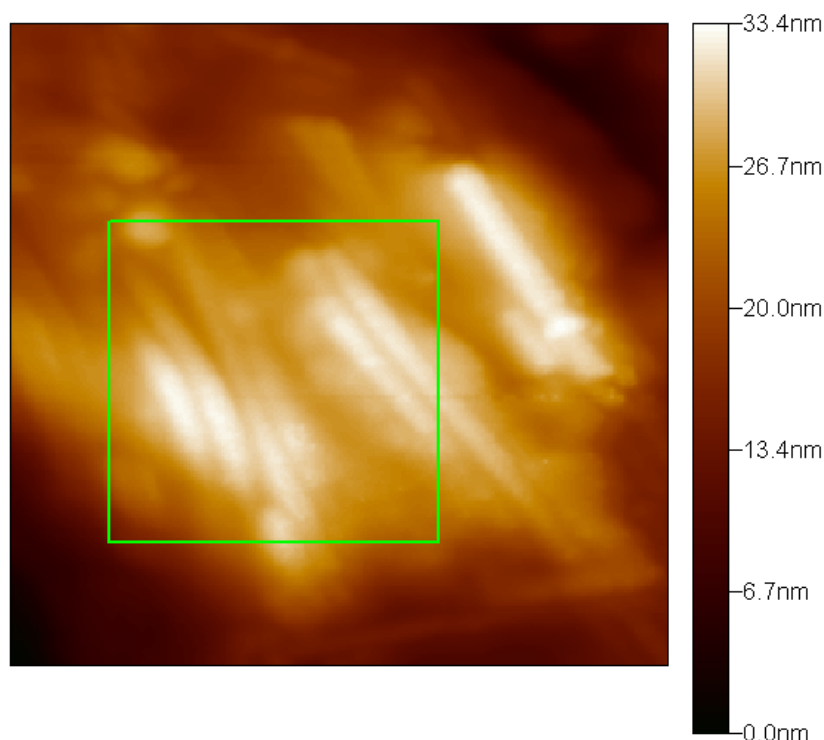


Fig. 4. AFM image of TMV-Au nanowires on the (111) surface of Si monocrystal

The presence of particles whose length is nearly two times larger than the length corresponds to the maximum (300 nm) was observed. This fact indicates the ability of the virions to form «face to face» bindings. If the increase of the concentration of TMV takes place beside of the "face to face" junction an aggregation of "side-to-side" viral particles is also detected with participation about dozen particles in such interaction (Fig. 5).

Appearance of aggregates in the form of islands on the silicon substrate gives ground reasons to suppose that some cooperative mechanism of binding among virus particles has to exist. As it was established, a preferred direction in the orientation of TMV particles on the surface of silicon repeats the direction of the silicon crystallographic axes.

For nanowires obtained by application of the method of the thermal deposition of gold the strength of binding of viruses to the surface of metals and semiconductors was determined with using atomic force microscopy.

After removing TMV from the surface of gold, a study of morphology of surface by atomic force microscopy was performed. The carried out investigations showed a significant change in the relief of gold.

The depth of formed cavity reached 2 nm, and its width was about 18 nm. These data suggest that discussed cavities were created by viruses (Fig. 6). The sub lined result is of great interest because of well known low level of passivation of gold. There are several assumptions about the nature of the interactions of virions with gold. Concerning the nature of interaction between virions and gold surface one can choose from two types, namely, a physical adsorption or chemical one. Physical adsorption is the result of van der Waals forces action and reduces to creation of hydrogen and other electrostatic bonds. As far the chemical adsorption it occurs due to chemical interactions between substances.

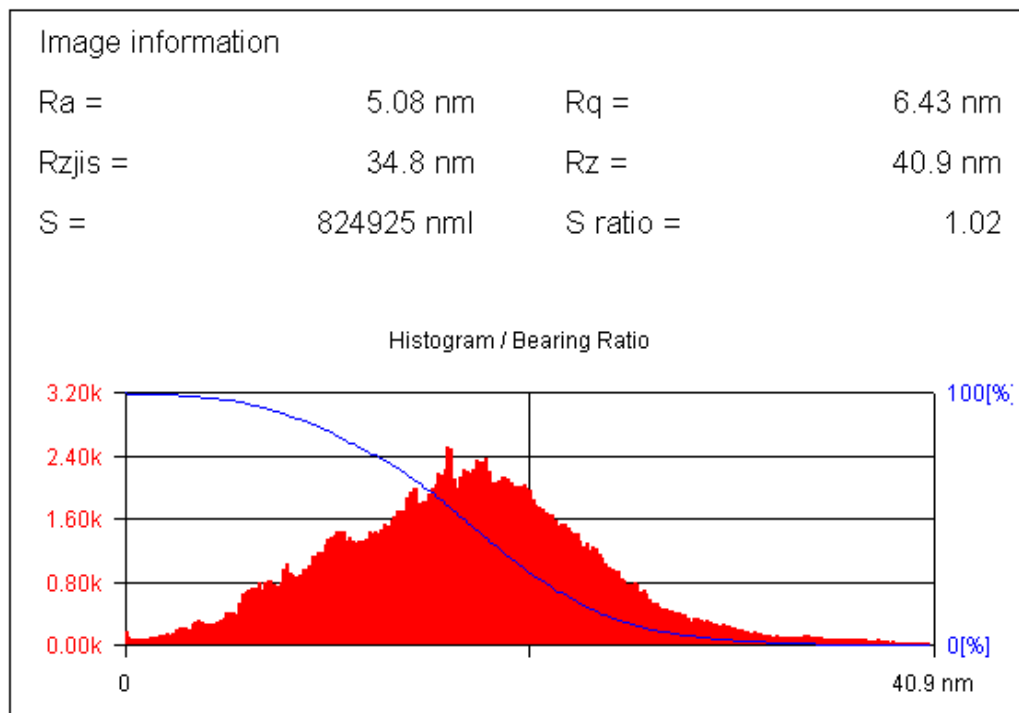


Fig. 5. Distribution of dominated location of nanowires in green squares of Fig. (4)

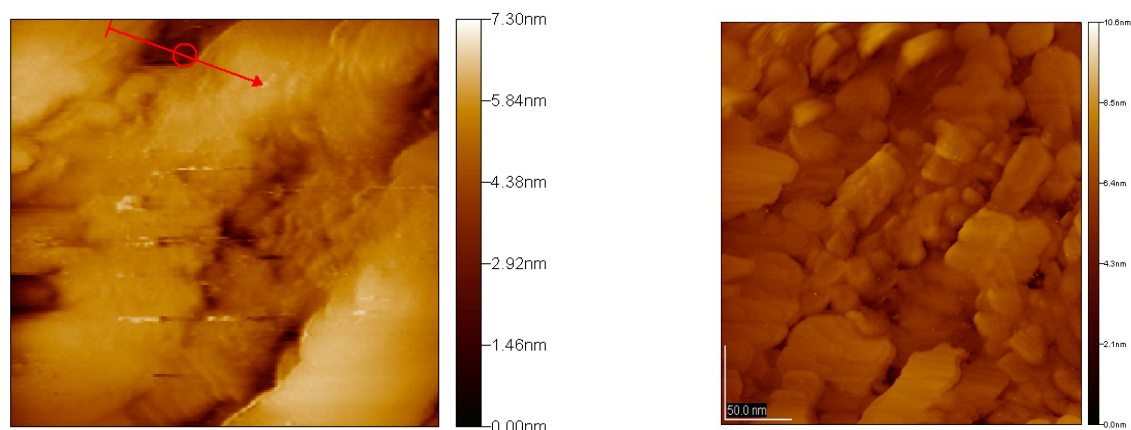


Fig. 6. The image of the surface of gold after removing of the TMV

The presence of characteristic grooves produced by virions indicates a high chemical activity of TMV virions (Fig. 7) and points out on the chemical adsorption as dominated type of interaction.

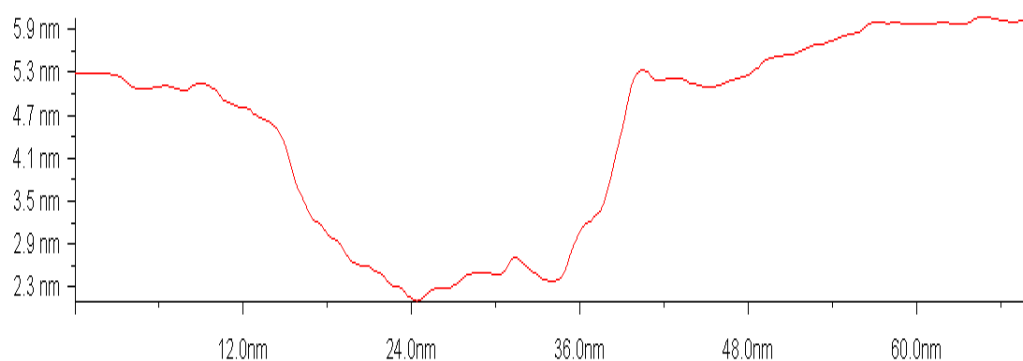


Fig. 7. Characteristic profile of cross section of the cavity on gold surface after the virions of the TMV was taken off

Behaviour of tmv and amv virus in interaction with antibodies

The viruses consist of nucleic acid and globular protein molecules and are the simplest forms of living organisms. The viral particle does not have its own reproduction tools, however, penetrating into the cell, provides its own replication due to the synthesis of viral proteins by infected cell. The size of the viral particles varies from 15 to 1200 nm. In addition to their biological features (reproductive ability, infectivity, contaminative intensity),

viruses have a lot of other properties. In particular, viral particles can form periodical structures with useful optical properties. The presence of a large number of charges on the internal and external surfaces of the virions allows producing nanoparticles by applying the biomimetic method. The ability of viruses to penetrate inside the cell can be used to create the most progressive intracellular nanoprobbers and nanosensors. The most promising applications in nanotechnology are plant viruses, since they are safe for humans and animals and can be obtained in large quantities and can withstand various modifications.

To investigate the behaviour of rod-like viruses with helical symmetry of their protein subunits, in particular, tobacco mosaic virus and alfalfa mosaic virus (AMV), a high-resolution probing microscopy method was used.

TMV suspensions at a concentration of 12 mg / ml and AMV at a concentration of 10 mg / ml were used. The suspensions were deposited on the surface (111) of a silicon monocrystal by applying a microsyringe. After drying of the Si (111) surface into a streaming beam of dry nitrogen the sample was put in the atomic force microscope (AFM) working chamber. The residual pressure in the chamber of probing was 3.0×10^{-8} Pa. For the surface exploring cantileveres fabricated from nitride of silicon, that is Si_3N_4 , have been used. The study of the virus on the surface of a monocrystal was carried out in a contactless AFM mode with atomic resolution.

During the experiment, the interaction of TMV with the surface of Si (111) was investigated for two different conditions. The first corresponds to the fresh virus suspension and the other one referred to the suspension taken 4 months after it has been prepared. The obtained results were compared with ones corresponding to the study of the AMV interaction with identical surface.

The most significant problem reduces to mechanism counteracting to the virion aggregation. In attempt to resolve the problem, we have investigated the behaviour of viruses on the surfaces of a silicon monocrystal with the preliminary vaccination them with antibodies. Figure 8 shows the behaviour of AMV viruses on the (111) silicon monocrystal surface.

The application of a suspension of AMV virions to the (111) surface of Si (111) was accompanied by the aggregation of virions in dense agglomerations and a decrease in height of obtained clusters from 19 nm to 9 nm. In this case, the formation of multilayer disordered clusters of virions was predominantly observed (Fig. 8).

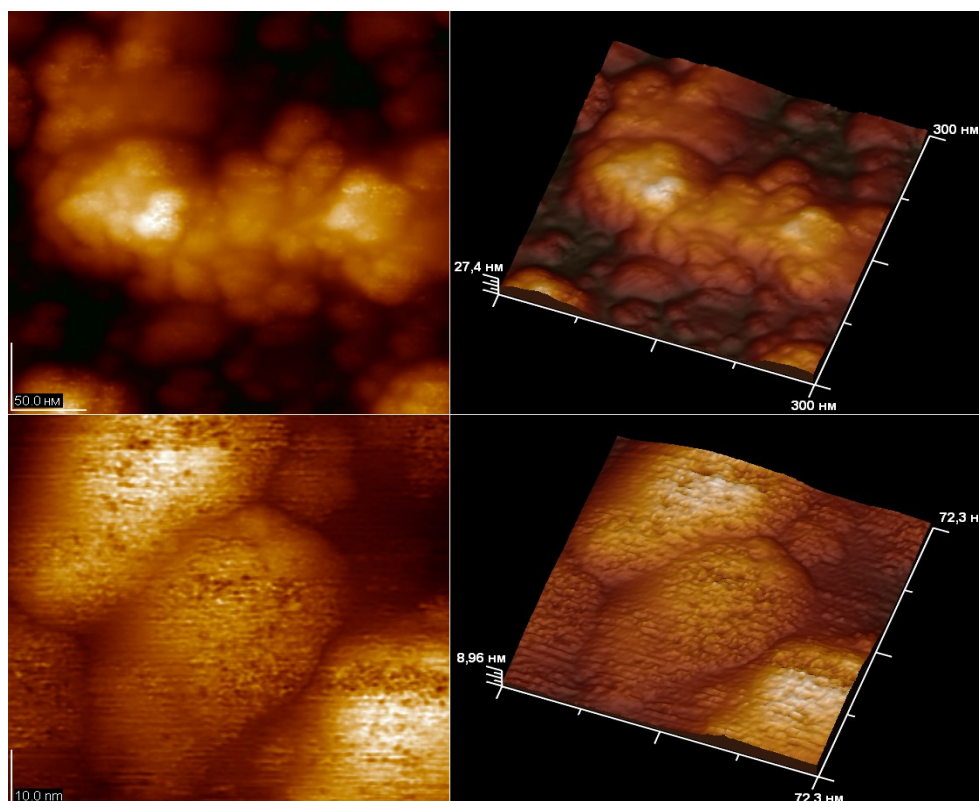


Fig. 8. Virions of AMV on the (111) surface of silicon when a fresh suspension virions is applied

There are two types of adsorption: 1) physical - occurs due to dispersion (Van der Waals) forces, the formation of hydrogen and other electrostatic interactions; 2) chemical - due to the formation of chemical bonds between adsorbate and adsorbent. As is known, the outer and inner surfaces of the virus capsid due to the presence of positively and negatively charged groups in the composition of the amino acid side radicals, carry charges of the opposite signs. However, the (111) surface of silicon has no charge. Therefore interaction of a capsid with this surface can not be related to electrostatic attraction. Consequently the electrostatic nature of such interactions has to be eliminated. Chemical adsorption has also to be excluded, since silicon does not form chemical bonds with any component of viral capsids. Therefore, the most probable processes in the adsorption of virions on the (111) surface silicon are van der Waals interactions and creation of hydrogen bonds with the surface. Van der Waals interactions

dominate for adsorption of virions on the surface of graphite. This material has strong developed hydrophobic properties. That is why the formation of stronger hydrogen bonds turns out impossible. The energy of Van der Waals interactions is the lowest (~ 2 kJ) among others. Therefore the Van der Waals interactions are very weak and are not accompanied by significant changes in the conformation of the molecules. As a result, there is no change in the height of the TMV virions on the surface of graphite.

On the contrary, the adsorption of TMV virions on the (111) surface of silicon, is accompanied by significant changes in virions conformation and a decrease in the height of the virions to 11.7 nm was clearly established. An identical result was obtained in the study of the behavior of alfalfa mosaic virus (AMV) on the surface with the same geometry. Adsorption of AMV virions was accompanied by a decrease in their height from 19.0 nm to 9.0 nm.

It is obvious that such changes in the conformation of the virions are due to the amino acid composition of the outer surface of the capsid. As the negatively charged amino acid residues containing hydroxyl and carboxyl groups (serine, threonine, tyrosine, asparagine and glutamic acid) are concentrated on the outer surface, they can provide virion adhesion by forming hydrogen bonds with the surface. By comparing amino acid content of the side chains of the above enumerated groups, that is in capsid proteins AMV and TMV (AMV-CP and TMV-CP, respectively), one comes to conclusion that content of such amino acids in AMV-CP is greater - Table 1.

Table 1

The content of amino acids carrying hydroxyl and carboxyl groups in capsid proteins of TMV and AML

AVINOCYLATE	AMV-CP	TMV-CP
Serine	15	16
Treonin	13	16
Aspartic acid	11	8
Glutamic acid	11	6
Tirosine	4	4

Thus, adsorption of the tobacco mosaic virus and alfalfa mosaic virus on the surface of Si (111) is accompanied by variations in accommodation of the virions due to formation of hydrogen bonds and van der Waals interactions. The change in accommodation concludes in reducing of the virions height due to the interaction of amino acid residues on the outer surface of the capsid with silicon atoms on the surface of Si (111). The adsorption of TMV virions is accompanied by appearance of mono-layer films, while multi virion layers observe if the adsorption of TMVs on the surface of Si (111) occurs.

Investigation of the suspension of AMV virions and complexes of antibodies on the surface of Si (111) showed that the antibodies are specifically linked on the surface of the AMV virions (Fig. 9). This binding is accompanied by the aggregation of virions in dense agglomerations and reduction in their height from 19 nm to 9 nm. In the appointed case, predominant formation of multilayer disordered clusters of virions has taken place. Consequently, the binding of antibodies prevents the aggregation of virions. The suggestion can be confirmed by the specific distribution of virions on the Si(111) surface and decrease in the height of the viral particles clearly visible in the picture.

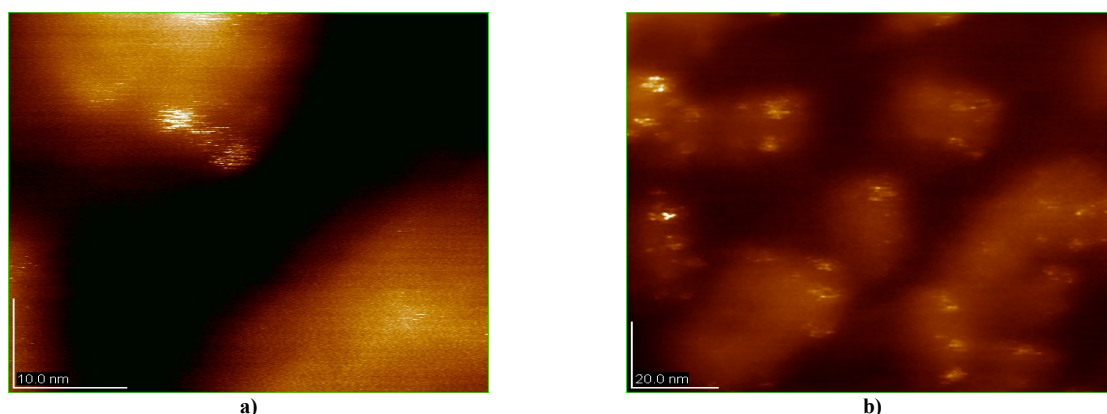


Fig. 9. Suspensions of AMV virions and antibody complexes on the (111) surface of silicon

CONCLUSIONS

Nanowires of different types were synthesised and investigation of their physical, physico-chemical properties and morphology by applying probe microscopy and atomic resolution spectroscopy has been carried out. It is confirmed that the geometry of VTM's particles can be controlled by special preparing and dirigible alternation of chemical and mechanic environment parameters.

The optical activity of the TMV-Au complex with the maximum on wavelength 540 nm is detected. The

dependence of the optical absorption spectra intensity on the orientation of the polarization vector is observed. Established circular dichroism, opens up the possibility to use the TMV-Au complexes for smart materials creation.

In the study of nanowires electronic properties by the method of probe tunnelling spectroscopy, it has been found that spontaneous and induced transitions to a state with relatively high electrical conductivity take place in the voltage tension from 0 to 6 Volts. To our knowledge this effect is not observed for pure TMVs.

In the connection with the VTM's shell genetic programming, Tobacco Mosaic Virus derivatives can be manufactured with increased selectivity to inorganic materials or substrates. The latter fact allows us to obtain efficient self-assemblies of nanosized biostructures for many functional microdevices.

As it has been proved aggregation and clusterization of composite nanoparticles due to interaction of plant viruses with antibodies are absent.

However, superficial destroying of gold is observed if the TMV's nanoparticles have been removed from gold surface.

The proposed method for the synthesis of nanowires represents perspectives for significant improvement of useful technologies for production nanomaterials based on plant viruses. Knowing to combine TMV with inorganic and organic materials traces the route for developing a wide scale of interesting composites and hybrid materials like those which have been discussed here. Beside it TMV's templates manifest such level of reliability that allows to explore them under so hard conditions that ultra pass capabilities of traditionally used biological molecules.

References

1. M. Sarikaya, C. Tamerler, A. Jen, *Nature Materials*, 2, 577, (2003).
2. K. Kordas, A.E. Pap, J. Vahakangas, A. Uusimäki, S. Leppavuori, *Appl. Surf. Sci.*, 252, 1471, (2005).
3. J.H. Wang, P.Y. Su, M.Y. Lu, L.J. Chen, C.H. Chen, C.J. Chu, *Electrochem. Solid-State Lett.*, 8, 9, (2005).
4. S. Sun, D. Yang, G. Zhang, E. Sacher, J.-P. Dodelet, *Chem. Mater.*, 19, 6376, (2007).
5. B. Xiang, P. Wang, X. Zhang, S.A. Dayeh, D.P.R. Aplin, C. Soci, D. Yu, D. Wang, *Nano Lett.*, 7, 323, (2007).
6. L. Durrer, T. Helbling, C. Zenger, A. Jungen, C. Stampfer, C. Hierold, *Sens. Actuators B*, 132, 485, (2008).
7. D.Q. Zhang, J. Yang, Y. Li, *Small*, 9, 1284, (2013).
8. X. Feng, K. Shankar, O.K. Varghese, M. Paulose, T.J. Latempa, C.A. Grimes, *Nano Lett.*, 8, 3781, (2008).
9. T. Ghoshal, S. Biswas, S. Kar, A. Dev, S. Chakrabarti, S. Chaudhuri, *Nanotechnology*, 19, 065606, (2008).
10. V.L. Karbivskiy, T.A. Korniyuk, *Ukrainica Bioorganica Acta*, 2, 7, (2009).
11. Z. Dengand, C. Mao, *Nano Lett.* 3, 1545 (2003).
12. Y. Ma, J. Zhang, G. Zhang, and H. He, *J. Am. Chem. Soc.* 126, 7097(2004).
13. Y. Hashimoto, Y. Matsuo, K. Ijro, *Chem. Lett.* 34, 112 (2005).
14. Q. Gu, C. Cheng, T. Gonela, S. Suryanarayanan, S. Anabathula, K. Dai, and D.T. Haynie, *Nanotechnology* 17, R14 (2006).
15. H. Kudo and M. Fujihira, *IEEE Trans. Nanotechnol.* 5, 90 (2006).
16. J.M. Kinsella and A. Ivanisevic, *Langmuir* 23, 3886 (2007).
17. M. Rechtes and E. Gazit, *Science* 300, 625 (2003).
18. B. Zhang, S.A. Davis, N.H. Mendelson, and S. Mann, *Chem. Commun.* 2000, 781.
19. R. Mogul, J.J.G. Kelly, M.L. Cable, and A.F. Hebard, *Mater. Lett.* 60, 19 (2005).
20. X. Liang, J. Liu, S. Li, Y. Mei, and W. Yanqing, *Mater. Lett.* 62, 2999 (2008).
21. M.T. Kumara, B.C. Tripp, and S. Muralidharan, *J. Phys. Chem. C* 111, 5276 (2007).
22. D.J. Evans, *J. Mater. Chem.* 18, 3746 (2008).
23. K. Namba, R.K. Pattanayek, and G.R. Stubbs, *J. Mol. Biol.* 208, 307 (1989).
24. R.K. Pattanayek and G.R. Stubbs, *J. Mol. Biol.* 228, 516 (1992).
25. H. Wang and G.R. Stubbs, *J. Mol. Biol.* 239, 371 (1994).
26. H. Wang, J.N. Culver, and G.R. Stubbs, *J. Mol. Biol.* 269, 769 (1997).
27. Durham, J. Finch, and A. Klug, *Nature* 229, 37 (1971).
28. W.O. Dawson, D.L. Beck, D.A. Knorr, and G.L. Grantham, *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 83, 1832 (1986).
29. J.N. Culver, W.O. Dawson, K. Plonk, and G. Stubbs, *Virology* 206, 724 (1995).
30. J.N. Culver, *Annu. Rev. Phytopathol.* 40, 287 (2002).
31. K. Gerasopoulos, M. McCarthy, P. Banerjee, X. Fan, J.N. Culver, and R. Ghodssi, *Nanotechnology* 21, 055304 (2010).
32. E. Royston, S.-Y. Lee, J.N. Culver, and M.T. Harris, *J. Colloid Interface Sci.* 298, 706 (2006).
33. H. Yi et al., *Nano Lett.* 5, 1931(2005).
34. K. Gerasopoulos, X. Chen, J. Culver, C. Wang, and R. Ghodssi, *Chem. Commun.* 46,7349 (2010).
35. K. Gerasopoulos, M. McCarthy, E. Royston, J.N. Culver, and R. Ghodssi, *J. Micromech. Microeng.* 18, 104003 (2008).
36. Niu Zhongwei et al., *Nano Letters*, 12, 3729, (2007).
37. Jung-Sun Lim et al., *Journal of Nanomaterials*, 4, 620505, (2010).
38. E. Dujardin et al., *Nano Letters*, 3, 413, (2003).
39. M.A. Correa-Duarte et al., *Angew. Chem. Int. Ed.*, 44, 4375, (2005).
40. H. Wang et al., *J. Am. Chem. Soc.*, 129, 12924, (2007).
41. Keith M. Bromley et al., *J. Mater. Chem.*, 18, 4796, (2008).
42. J. Fang, *Ency of Nanoscience & Nanotechnology*, 5, 3953, (2004).
43. L. Y. Zhang et al., *Nano-Micro Letters*, 1, 49, (2009).
44. Tzu-Chun Tseng et al., *Nature Chemistry*, 2, 374, (2010).
45. M. Sumser, A. M. Knez, M. Sumser, A. M. Bittner, C. Wege, H. Jeske, T. P. Martin, and K. Kern, *Adv. Funct. Mater.* 14(2), 116 (2004). Copyright 2004, WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA.
46. M. Knez, M. Sumser, A. M. Bittner, C. Wege, H. Jeske, T. P. Martin, and K. Kern, *Adv. Funct. Mater.* 14(2), 116 (2004). Copyright 2004, WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA.
47. E. Royston, A. Ghosh, P. Kofinas, M. T. Harris, and J. N. Culver, *Langmuir* 24(3), 906 (2008). Copyright 2008, American Chemical Society.
48. K. Manocchi, S. Seifert, B. Lee, and H. Yi, *Langmuir* 26(10), 7516 (2010). Copyright 2010, American Chemical Society.
49. M. Knez, A. Kadri, C. Wege, U. Gesele, H. Jeske, and K.o Nielsch, *Nano Lett.* 6(6), 1172 (2006). Copyright 2006, American Chemical Society.
50. Atanasova, D. Rothenstein, J. J. Schneider, R. C. Hoffmann, S. Dilfer, S. Eiben, C. Wege, H. Jeske, and J. Bill, *Adv. Mater.*

-
- 23(42), 4918 (2011). Copyright 2004, WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA.
51. M. A. Bruckman, C. M. Soto, H. McDowell, J. L. Liu, B. R. Ratna, K. V. Korpany, O. K. Zahr, and A. S. Blum, ACS Nano 5(3), 1606 (2011). Copyright 2011, American Chemical Society.
52. S. P. Wargacki, B. Pate, and R. A. Vaia, Langmuir 24(10), 5439 (2008). Copyright 2008, American Chemical Society.
53. Mueller, F. J. Eber, C. Azucena, A. Petershans, A. M. Bittner, H. Gliemann, H. Jeske, and C. Wege, ACS Nano 5(6), 4512 (2011). Copyright 2011, American Chemical Society.
54. *Circular dichroism: principles and applications*, 2nd Ed., Edt. N. Berova, K. Nakanishi, R. W. Woody (Wiley-VCH, N.Y., 2000).

ВАСИЛЬКІВСЬКИЙ Микола

Вінницький національний технічний університет

<https://orcid.org/0000-0002-6586-2563>e-mail: mvasylkivskyi@gmail.com**КОЛОМІЄЦЬ Альона**

Вінницький національний технічний університет

<https://orcid.org/0000-0002-7665-6247>e-mail: alona.kolomiets.vnt@gmail.com**ГРАБЧАК Назарій**

Вінницький національний технічний університет

e-mail: nazarii.hrabchak@gmail.com

ДОСЛІДЖЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ ІНФОКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖ 6G

В роботі наведено результати досліджень технології 6G, яка дозволить інтегрувати всі типи доступу в одному мобільному телефоні, забезпечуючи плавне перемикавання між послугами. Розглянуто нові варіанти використання мобільних мереж, такі як зондування та штучний інтелект, що формують нові показники якості інформаційної послуги – роздільну здатність зондування та ймовірність виведення. Для нових застосувань розглянуто перспективи подальших досліджень пов'язаних з ними показників, наприклад, гнучкості та масштабованості для підтримки власних сервісів штучного інтелекту та рівня надійності мережі. Розглянуто перспективи розвитку електронної охорони здоров'я на основі систем мобільного зв'язку з підвищеними вимогами щодо надійності, доступності, безпеки та конфіденційності. Досліджено платформу для переміщення з повітряною мобільністю різних датчиків і камер високої роздільної здатності для різних галузей промисловості на основі безпілотних літальних апаратів. Розглянуто фундаментальні енергетичні обмеження обчислень, пов'язаних з обробкою інформації, які є важливим кроком на шляху успішного розгортання бездротових мереж 6G. Тому при проектуванні архітектури інфокомунікаційної системи 6G необхідно в повній мірі враховувати вплив моделей, алгоритмів та обладнання штучного інтелекту на енергоспоживання, щоб забезпечити економічну вигоду клієнтам з відповідними операційними витратами системи.

Ключові слова: інфокомунікаційна система, технологія 6G, штучний інтелект, безпілотний літальний апарат, ключовий показник ефективності, безпроводна мережа.

VASYLKIVSKYI Mykola, KOLOMIETS Alyona, HRABCHAK Nazarii
Vinnytsia National Technical University

RESEARCH OF FUNCTIONAL PARAMETERS OF INFOCOMMUNICATION NETWORKS 6G

The work presents the results of research into 6G technology, which will allow integrating all types of access in one mobile phone, ensuring smooth switching between services. New options for the use of mobile networks, such as sensing and artificial intelligence, are considered, which form new indicators of the quality of the information service - the resolution of sensing and the probability of output. For new applications, the prospects for further research into related indicators, such as flexibility and scalability to support own artificial intelligence services and network reliability level, are considered. Prospects for the development of electronic health care based on mobile communication systems with increased requirements for reliability, availability, security and confidentiality are considered. A platform for aerial mobility of various high-resolution sensors and cameras for various industries based on unmanned aerial vehicles has been investigated. The fundamental energy limitations of calculations related to information processing, which are an important step on the way to the successful deployment of 6G wireless networks, are considered.

In the design of next-generation wireless communication networks, it has been determined that traditional AI optimization algorithms (such as federated learning) usually consider the bandwidth or delay of wireless connections as a weight for distributed multiprocessor data exchange, without considering the power energy bounds between different devices in different regions. This ambiguous consideration of AI energy limitations or power costs may lead to a large divergence between the design of a wireless network and the actual deployment of AI in the future. For this reason, equal importance must be attached to green AI and green communications. Therefore, when designing the architecture of the 6G information communication system, it is necessary to fully consider the impact of artificial intelligence models, algorithms and equipment on energy consumption to provide economic benefits to customers with corresponding operating costs of the system.

The peculiarities of providing users with access to Internet services at any time through the same device regardless of their location, which is one of the ultimate goals of creating effective wireless networks, are discussed. The proposed concept of green AI called Oncefor-All (once and forever), according to which it is proposed to train an information communication network with further specialization during deployment will allow for efficient logical implementation on many devices, taking into account the given resource constraints. At the same time, terrestrial and non-terrestrial 6G networks will be fully integrated at the system level, ensuring the convergence of services, radio interfaces, networks and user devices. By organically combining these two access environments into one converged multi-layer heterogeneous network covering the entire globe, 6G technology will provide users with the same service. Ensuring the global delivery of mobile services will be an important aspect of the development of the 6G network.

Keywords: information communication system, 6G technology, artificial intelligence, unmanned aerial vehicle, key performance indicator, wireless network.

Постановка проблеми

Технологія 6G відкриє безліч нових можливостей для бездротових технологій. Однак з погляду всіх можливих застосувань технології 6G варіанти використання мережі 6G є просто окремими прикладами того, що чекає на нас у майбутньому.

Чисельний аналіз вимог до продуктивності у цих типових випадках використання призводить до формування цільових ключових показників ефективності. Наприклад, найвищі вимоги до швидкості передачі пред'являє тривимірний голографічний зв'язок. Що стосується затримки передачі, то найвищі вимоги пред'являють дистанційна робота у високодинамічних середовищах та промислове керування рухом транспортних засобів. Надзвичайно жорсткі вимоги до джитера та надійності висувають сценарії використання детермінованого зв'язку. У майбутніх розумних містах та розумному житті варіанти використання IoT визначають вимоги до щільності підключення та часу автономної роботи сенсорів. Нові варіанти використання мобільних мереж, такі як зондування та штучний інтелект формують нові показники якості інформаційної послуги – роздільна здатність зондування та ймовірність виведення. Для деяких нових застосувань можуть знадобитися подальші дослідження пов'язаних з ними показників, наприклад, гнучкості та масштабованості для підтримки власних сервісів штучного інтелекту та рівня надійності мережі [1].

Бездротові мережі швидко розвиваються за сценарієм, згідно з яким інфраструктура зв'язку зливатиметься з навколишнім середовищем. Якщо мережі 5G розвиваються у напрямку щільного розгортання базових станцій та антенних решіток, то технологія 6G перейде на наступний рівень, оснастивши об'єкти в галузі зв'язку, такі як будівлі, стіни, автомобілі та дорожні знаки, інтелектуальними поверхнями, здатними підсилювати електромагнітні сигнали, виконувати обчислення та зберігати дані.

У зв'язку з експоненційним збільшенням кількості підключених пристроїв, що потребують високопродуктивних послуг, комунікаційне середовище буде перетворено на інтелектуальну бездротову мережу, що характеризується безпрецедентним рівнем щільності, стохастичності та неоднорідності, а також дуже великими розмірами. У такому складному сценарії традиційні мережеві архітектури втратять працездатність, і тому буде потрібна зміна парадигми. Тому, необхідно розглядати основи комунікацій в інтелектуальній бездротовій мережі 6G, встановивши базис для обчислення теоретичних меж продуктивності, а також розроблення прикладних алгоритмів для наближення до цих меж.

Доцільно виходити з припущення, що мережева інфраструктура складається з кількох розподілених сегментів, кожен з яких наділений можливостями штучного інтелекту та діє як підсистема, що здатна приймати незалежні рішення. Це бачення може бути реалізовано за допомогою взаємодії теоретичних інструментів з множини дисциплін, що беруть початок у фундаментальній математиці та фізиці. Однак важливо відзначити, що для ефективного створення єдиної структури мережі необхідно усунути деякі прогалини у знаннях енергетичних показників.

Аналіз останніх джерел

Проектування бездротових мереж на основі показників енергоефективності є надзвичайно складним завданням, оскільки традиційні схеми розподілу потужності призводять до безперервної передачі з використанням максимальної доступної потужності. Однак останнім часом ця думка почала змінюватися, оскільки ключовим показником ефективності для мереж 5G стала енергоефективність у бітах на джоуль, яка визначається як кількість інформації, яка може бути надійно передана на один джоуль споживаної енергії [1]. В роботі [2] обговорюються систематичні підходи до вирішення завдань максимізації енергоефективності. Відповідно до цих підходів структура з [3] використовується в [4] та [5] для розробки енергоефективних алгоритмів керування потужністю для масивних систем ММО, а в [6] – для енергоефективних мереж з малими стільниками. Проте всі доступні дослідження розглядають два основні шляхи витрати енергії, а саме:

- енергія передачі: енергія, що виділяється кожною передавальною антеною;
- статична енергія: енергія, що споживається всіма апаратними блоками в кожному передавачі та приймачі (наприклад, аналого-цифровим перетворювачем, цифро-аналоговим перетворювачем, аналоговою фільтрацією, резервним акумулятором та системою охолодження).

Фактично аналіз енергоспоживання, необхідного для виконання обчислень при обробці інформації в цифровій області (наприклад, для обчислень при попередньому цифровому кодуванні та цифровому прийманні), погано вивчений. У цьому контексті доступні лише деякі результати, в яких використовуються принципи фундаментальної фізики/термодинаміки, щоб спочатку зрозуміти: чи дійсно цифрові обчислення повинні споживати енергію. Отже, жоден фізичний принцип не наказує споживати енергію для виконання обчислень у цифровій галузі. Справді, якщо обчислення, що виконується, не знищує жодну інформацію, то це оборотне перетворення, яке, згідно з другим законом термодинаміки, не збільшує ентропію. В результаті оборотні обчислення теоретично можуть виконуватися без витрат енергії [7]. Моделі машин, які реалізують цю оборотну логіку [8] працюють, зберігаючи як вихідні, так і вхідні дані кожного обчислення без стирання будь-яких бітів з пам'яті комп'ютера. Таким чином, завжди можна повернути обчислювальну машину у вихідний стан. Тоді виникає інше питання: чому сучасні комп'ютери ґрунтуються на булевій логіці, яка, як правило, необоротна.

Перше практичне міркування полягає в тому, що навіть якщо були запропоновані моделі оборотних логічних машин, вони мають суто теоретичний характер. Насправді обробка даних виконується макроскопічними пристроями, які розсіюють макроскопічні кількості енергії. Друге міркування більш фундаментальне - навіть якби ми могли побудувати оборотну логічну обчислювальну машину, у неї були б нездійсненні вимоги до пам'яті, тому що при цьому потрібно було б зберігати абсолютно всі вихідні та вхідні дані кожної операції без видалення будь-яких бітів з пам'яті. Однак оскільки обсяг даних, які можуть бути збережені в комп'ютері, обмежений обсягом банку пам'яті [9], навіть оборотні логічні машини зрештою

повинні будуть перезаписувати деякі осередки пам'яті, таким чином споживаючи енергію.

Аналогічна ситуація виникає при виявленні чи виправленні помилок при передачі даних по каналу зв'язку. Виявлення помилки теоретично не спричиняє розсіювання енергії, та її виправлення призводить до втрати інформації (в довкілля), генеруючи ентропію. Це призводить до нереалістичної ситуації, коли, щоб уникнути генерації ентропії, система зв'язку повинна також зберігати отримані повідомлення, що містять помилки. У результаті ми приходимо до того, що необхідно враховувати незворотні операції, але дуже мало відомо про їх фундаментальні обмеження щодо розсіювання енергії в системах зв'язку.

Метою роботи є дослідження особливостей впровадження сегментів інфокомунікаційних мереж на основі технологій 6G з використанням штучного інтелекту для підвищення ефективності роботи апаратно-програмного телекомунікаційного обладнання.

Виклад основного матеріалу

Сьогодні приблизно 3,7 млрд. людей все ще не мають навіть базового доступу до інтернету [1]. Більшість із них проживають у сільських та віддалених районах, де наземні та неназемні мережі могли б працювати разом для надання широкопasmового доступу, як показано на рис. 1. Для організації широкопasmового доступу на морі застосовуватиметься інтеграція широкопasmових супутників, корабельних та наземних станцій.

Крім використання фіксованої та рухомої ретрансляції, привабливою перспективою виглядає пряме з'єднання між неназемними станціями та мобільними телефонами. Протягом багатьох років таке з'єднання було надзвичайно дорогим та забезпечувало низьку швидкість передачі даних. Крім того, абонентам доводилося використовувати два різні телефони: один для доступу до супутникової мережі, а інший – для доступу до стаціонарної мережі. У майбутньому технологія 6G дозволить інтегрувати всі типи доступу в одному мобільному телефоні, забезпечуючи плавне перемикання між послугами.

Для забезпечення стабільного та високоякісного обслуговування в сільській місцевості інтегрована мережа 6G повинна забезпечувати високу швидкість передачі даних, аналогічну тій, що пропонується через базові станції 5G, зокрема 50 Мбіт/с у низхідному каналі (завантаження) та 25 Мбіт/с у висхідному каналі (вивантаження) у перерахунку на одного користувача [2].

Надання користувачам доступу до інтернет-послуг у будь-який час через один і той же пристрій незалежно від їхнього місцезнаходження є однією з кінцевих цілей створення ефективних бездротових мереж. Сьогодні транспортні засоби можна розділити на чотири основні типи: автомобілі, поїзди, літаки та кораблі (рис. 2). Якщо взяти за приклад літак, то в 2019 році цим типом транспорту скористалися понад 4 млрд осіб [3]. Більшість із них не мали доступу до інтернету під час польотів; для тих, у кого він був, передача даних була повільною і дорогою. У майбутньому інтегровані системи 6G зможуть забезпечити мобільне широкопasmове підключення всім пасажиром літаків. При цьому, швидкість передачі даних для кожного користувача повинна перевищувати 15 Мбіт/с та 7,5 Мбіт/с для завантаження та вивантаження відповідно [2], за умови 20-відсоткового коефіцієнта активності та 400 користувачів на літак. У цьому випадку загальна швидкість передачі даних для одного літака повинна бути не менше 1,2 Гбіт/с і 600 Мбіт/с для завантаження та вивантаження відповідно.



Рис. 1. Інтегрований сервіс в телекомунікаційній системі муніципального призначення

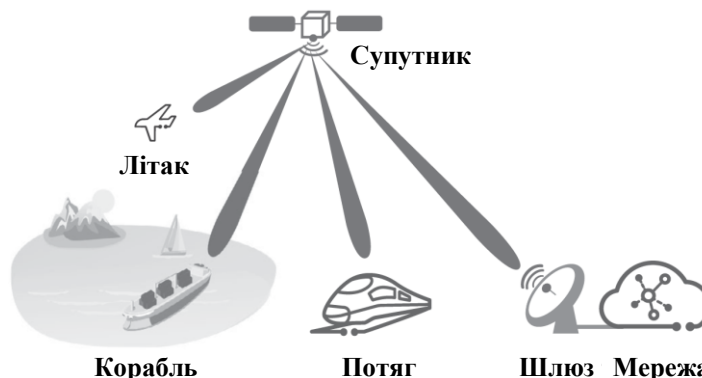


Рис. 2. Широкопasmове з'єднання мобільних користувачів інфокомунікаційної мережі

Надійна та безперебійна система екстреного зв'язку має вирішальне значення у сценаріях реагування на стихійні лиха, оскільки вона забезпечує їх прогнозування, оповіщення, реагування на надзвичайні ситуації та екстрений зв'язок. У деяких випадках стихійне лихо може порушити роботу наземних мереж, однак технологія 6G об'єднує наземні та неназемні мережі для забезпечення безперервного

обслуговування та підтримки керування у надзвичайних ситуаціях. Система зв'язку для керування в надзвичайних ситуаціях використовує декілька технологій, таких як провідна і бездротова передача голосу, передача даних і відеоспостереження. При надзвичайних ситуаціях за допомогою програмного забезпечення можна швидко зв'язатися з командним центром керування та диспетчеризації, відповідними підрозділами, групами експертів та місцевими рятувальними командами.

Всеосяжне та індивідуалізоване надання медичних послуг без будь-яких географічних обмежень є перспективою розвитку електронної охорони здоров'я на наступне десятиліття. Реалізація цього бачення багато в чому залежить від розвитку систем мобільного зв'язку, до яких будуть пред'являти підвищені вимоги щодо надійності, доступності, безпеки та конфіденційності.

У поєднанні із штучним інтелектом аналіз даних, отриманих від пацієнтів у режимі реального часу, може допомогти при прогнозуванні серйозних захворювань. У цьому плані передова інфраструктура з можливостями зондування матиме велике значення при боротьбі з великими пандеміями, такими як COVID-19. Передові відео-, голографічні та тактильні технології забезпечать новий рівень професійної взаємодії та досвіду роботи з ефектом присутності. Можна сміливо припустити, що дистанційна діагностика, дистанційна хірургія та динамічний моніторинг, а також голографічне медичне навчання стануть переважаючими технологіями у майбутньому, як показано на рис. 3. Такі сценарії використання, як дистанційна хірургія, можуть вимагати надмалої затримки та надвисокої надійності зв'язку на міжконтинентальній відстані. Це буде важливим для зниження гостроти проблеми старіння суспільства, особливо в регіонах з обмеженими медичними ресурсами [3].

Зручною платформою для переміщення з повітряною мобільністю різних датчиків і камер високої роздільної здатності, незалежно від галузі промисловості є безпілотні літальні апарати. З цієї причини безпілотні літальні апарати відіграватимуть важливу роль при підвищенні сенсорних можливостей мережі 6G. БПЛА не обов'язково повинні обмежуватися роллю кінцевого пристрою, оскільки вони можуть застосовуватися як ретранслятор або точка доступу для формування тимчасової мережі та розширення зони дії мобільного зв'язку, особливо у виняткових сценаріях (наприклад, при аваріях у горах або стихійних лих). Іншими словами, гнучкість та маневреність БПЛА можуть зробити їх гарною альтернативою у критичних ситуаціях за відсутності фіксованої інфраструктури.

БПЛА бувають різних розмірів і вантажопідйомності та можуть використовуватися в різноманітних сферах бізнесу. Наприклад, як показано на рис. 4, у них можуть бути комерційні та промислові застосування, такі як автоматична безпілотна інспекція, екстрене реагування для



Рис. 3. Особливості застосування розумної охорони здоров'я

розумного та безпечного міста, моніторинг навколишнього середовища та інтелектуальна логістика.

БПЛА є діючим варіантом використання сервісів 5G, і вони будуть розвиватися в напрямку технології 6G з точки зору більш високих вимог ключових показників ефективності, включаючи надвисоку швидкість передачі даних (наприклад, відеопотік з оглядом 360 ° та пропускну здатністю більше 10

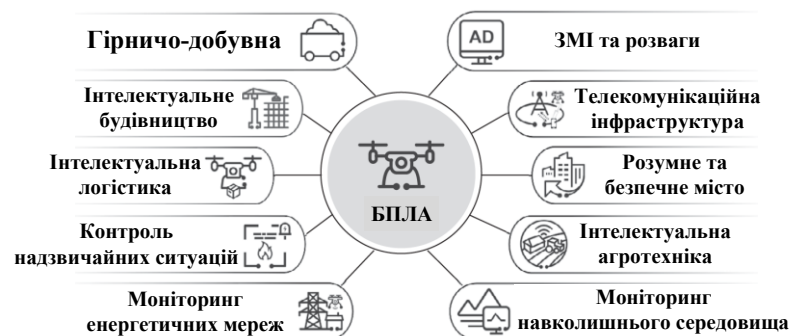


Рис. 4. Особливості застосування БПЛА

Гбіт/с), надвисоку надійність та наднизьку затримку (для плавного керування або повністю автономного польоту). БПЛА потребують високоточного позиціонування, і показовий приклад полягає в тому, що для прямої відеотрансляції 8K, лазерного картографування/патрулювання та серійних фотознімків може знадобитися визначення місця розташування з точністю до одного сантиметра. Крім вимог ключових показників ефективності для БПЛА буде обов'язковою надійність промислового рівня. Вона користується попитом у сценаріях, де, наприклад, БПЛА стають джерелом приватних даних. У цьому контексті розробки нових систем мобільного зв'язку також враховуватимуть можливість забезпечення суверенітету даних.

Однак, обмежена ємність акумулятора не дозволяє безпілотним літальним апаратам працювати протягом тривалих періодів часу. Отже, «зелений зв'язок» безперечно стане в нагоді для організації енергозберігаючого зв'язку з БПЛА.

Тому, до енергоефективності мереж 6G будуть пред'являтися дуже суворі вимоги. Отже, надзвичайно важливо вивчити вартість обчислень у нейромережах з погляду енергоспоживання. Крім того, необхідно вивчити енергетичний аспект у зв'язку з вимогами до затримки обробки для технологій 6G, які

також дуже суворі та потребують швидких (та енергоємних) обчислень. Розуміння фундаментальних енергетичних обмежень обчислень, пов'язаних з обробкою інформації, є важливим кроком на шляху успішного розгортання бездротових мереж 6G. Як було сказано раніше, якщо передбачається нескінченний простір пам'яті, теоретично для виконання оборотних обчислень не потрібна енергія. Однак визначено, що фізично неможливо побудувати мережу, яка базується лише на оборотних операціях. Отже, з інженерної точки зору важливо розуміти, якої мінімальної межі ми можемо досягти, виконуючи незворотні операції.

Оскільки сучасні комп'ютери засновані на незворотній (бульовій) логіці, необхідно заповнити теоретичну прогалину між оборотними та незворотними обчисленнями, щоб зрозуміти фундаментальні енергетичні обмеження обробки інформації. Ці дослідження виглядають проблематичними через те, що бездротові мережі стають все складнішими, і в майбутньому стануть набагато складнішими, ніж усі попередні та нинішні мережі зв'язку, що потребує розробки спеціальних теоретичних моделей для оцінки обсягу інформації, яка має бути оброблена для підтримки бажаної функціональності мережі [4]. Крім дослідження енергії, необхідної для обробки інформації, також важливо зрозуміти, як фундаментальні обмеження енергії обробки інформації пов'язані з фундаментальними обмеженнями продуктивності зв'язку. Наприклад, який оптимальний компроміс між продуктивністю зв'язку та споживанням енергії в мережі? Це питання досліджувалося лише щодо енергії, що використовується для зв'язку, тоді як майже нічого невідомо про енергію, яка використовується для обчислень, пов'язаних з обробкою інформації. Крім того, у всіх попередніх дослідженнях розглядалися традиційні мережеві архітектури та топології, без урахування впливу використання глибокого навчання та нейромереж [5].

Термодинаміка при поєднанні до комунікацій та теорії обчислень здатна допомогти у розробці нових алгоритмів для енергоефективних мереж 6G.

У майбутньому штучний інтелект (ШІ) зазнає неймовірної еволюції і проникне у всі верстви суспільства. Під час цього процесу ШІ та зв'язок зближуватимуться, при цьому або мережа зв'язку обслуговуватиме та забезпечуватиме конвеєри даних для додатків ШІ, або ШІ підвищить ефективність передачі даних у мережі зв'язку. Проте споживання електроенергії та викиди вуглецю внаслідок використання штучним інтелектом великих обчислювальних ресурсів є дуже неприємним чинником як з погляду захисту довкілля, так і з погляду економічних чинників. З цієї причини зелений ШІ привертає дедалі більшу увагу у науковому та інженерному співтоваристві [5, 6], а перехід від червоного ШІ до зеленого суттєво вплине на принципи проектування мереж бездротового зв'язку наступного покоління.

Червоний ШІ використовує модель, яка навчається за допомогою навчального набору даних та оцінюється за допомогою тестового набору даних. Щоб розробити червону модель ШІ, нам зазвичай потрібно використовувати набір навчальних даних для ітеративного коригування гіперпараметрів. Відповідно, зелений ШІ відноситься до рішення, в якому моделі, алгоритми та обладнання дають нові результати без збільшення обчислювальних витрат та фактично знижують їх в ідеальних сценаріях [5].

Як правило, собівартість обчислень моделі ШІ пропорційна добутку трьох ключових факторів: вартості виконання моделі на одній вибірці, розміру навчального набору даних та кількості експериментів з гіперпараметрами. Кількість операцій з плаваючою комою, внаслідок використання різних алгоритмів для реалізації однієї і тієї ж функції ШІ, зменшилась у 44 рази з 2012 по 2019 рік, що еквівалентно подвоєнню ефективності алгоритму кожні 16 місяців протягом семи років [7]. Тим часом через швидке розширення наборів навчальних даних та гіперпараметрів і, зокрема, через надмірне прагнення до підвищення точності навчання на основі величезних обчислювальних ресурсів споживання електроенергії ШІ збільшилося в $3 \cdot 10^5$ разів з 2012 по 2018 рік, що еквівалентно подвоєнню 3,4 місяці [8]. Оцінювання споживання енергії штучним інтелектом (p_t) та викидів CO_2 (CO_{2e}) можна здійснити за виразами (1) та (2) [6]:

$$p_t = \frac{PUE \times t \times (p_c + p_r + gp_g)}{1000} \quad (\text{кВт*г}), \quad (1)$$

$$\text{CO}_{2e} = CUP \times p_t \quad (\text{кг}), \quad (2)$$

де t – очікуваний загальний час, витрачений на навчання моделі;

p_c , p_r та p_g являють собою середнє енергоспоживання (у ватах) від усіх сокетів ЦП, від усіх сокетів DRAM (основної пам'яті) та кожного графічного процесора відповідно під час навчання;

g – кількість графічних процесорів, що використовуються для прискорення навчання.

PUE – це скорочення від power usage effectiveness, що означає ефективність використання енергії з урахуванням додаткової енергії, необхідної для підтримки обчислювальної інфраструктури (насамперед охолодження). Середній світовий показник PUE центрів обробки даних становить 1,58 [9]. CUP – це скорочення від carbon dioxide per unit power (кількість вуглекислого газу на одиницю потужності), яке залежить від рівня розвитку місцевої енергетики.

Агентство з охорони навколишнього природного середовища США надало середній коефіцієнт виробництва CO_2 0,433 кг/кВт*г [10].

На прикладі моделі NLP (обробка природної мови) показано, що споживання енергії та викиди вуглецю, що відповідають різним моделям ШІ та апаратного забезпечення, не можна ігнорувати з економічної точки зору. Зокрема, будь-які моделі, чутливі до наборів даних та гіперпараметрів, будуть дуже дорогими, оскільки вони можуть потребувати перенавчання щоразу, коли виникає нова ситуація [5].

В останні роки з'явилася величезна кількість наукових статей з ШІ в різних сферах застосування,

включаючи ШІ, що використовується в мережах бездротового зв'язку. Однак мало уваги приділяється проблемам енергоспоживання і викидів вуглецю, що зумовлені величезним обсягом прямих неоптимізованих обчислень під час впровадження ШІ. Особливостями перспективного дослідження цих проблем є: (1) повідомляти про час навчання та чутливість до гіперпараметрів у публікаціях з ШІ; (2) надавати рівноправний доступ до обчислювальних ресурсів під час реалізації ШІ та (3) приділяти пріоритетну увагу обчислювальній ефективності апаратного забезпечення та алгоритмів штучного інтелекту.

Для оцінювання енергоефективності інформаційної системи або мережі необхідно повідомляти обсяг роботи для отримання результату (для навчання моделі та налаштування гіперпараметрів) у додатках ШІ [5]. При складанні звіту про обсяг роботи, виконаної додатком ШІ, необхідно виміряти певні показники, щоб забезпечити справедливе порівняння між різними моделями. Йдеться про такі показники:

- викиди вуглецю: кількість, яку зелений ШІ прагне мінімізувати;
- енергоспоживання: пов'язане з викидами вуглецю, але не залежить від часу та місця;
- витрачений реальний час: загальний час роботи для створення результату ШІ, який є природним показником ефективності;
- кількість параметрів: кількість параметрів (навчальних чи загальних), що використовуються моделлю ШІ, яка є ще одним поширеним показником ефективності;
- операції з плаваючою комою: конкретна міра ефективності у процесі генерації результату ШІ.

Запропонована концепція зеленого ШІ під назвою Onsefor-All (раз і назавжди), згідно з якою пропонується навчати інфокомунікаційну мережу з подальшою спеціалізацією при розгортанні дозволить забезпечити ефективне логічне впровадження на багатьох пристроях з врахуванням заданих обмежень ресурсів. Традиційні підходи зводяться або до ручного проектування, або до пошуку нейронної архітектури для знаходження спеціалізованої нейронної мережі для подальшого її навчання з нуля для кожного випадку, що неприпустимо з обчислювальної точки зору та генерує велику кількість викидів CO₂. І навпаки, універсальна мережа підтримує різні архітектурні налаштування за рахунок поділу навчання та пошуку, що дозволяє швидко отримати спеціалізовану підмережу без додаткового навчання.

При проектуванні бездротових комунікаційних мереж наступного покоління, слід зазначити, що традиційні алгоритми оптимізації ШІ (такі як федеративне навчання) зазвичай розглядають пропускну здатність або затримку бездротових з'єднань як вагу для розподіленого мультипроцесорного обміну даними, без урахування граничних значень енергії потужності між різними пристроями у різних регіонах. Цей неоднозначний розгляд обмежень енергії ШІ або витрат на електроенергію може призвести до великого розходження між проектом бездротової мережі та фактичним розгортанням ШІ в майбутньому. З цієї причини необхідно надавати однакоє значення зеленому ШІ та зеленим комунікаціям. Тому, з самого початку проектування архітектури системи слід повною мірою враховувати вплив моделей, алгоритмів та обладнання штучного інтелекту на енергоспоживання, щоб забезпечити економічну вигоду клієнтам з відповідними операційними витратами системи.

Висновки

В епоху 6G виникне потреба в архітектурі енергоефективних обчислень, які мають враховувати енергетичні обмеження ШІ. Втім, це важливо вже сьогодні, оскільки такі міркування однаково актуальні у нинішніх мережах 4G та 5G.

Від бездротової мережі наступного покоління ми очікуємо глобального покриття поверхні Землі, щоб користувачі та підключені речі могли отримати доступ до інтернету у будь-якому місці та у будь-який час. При впровадженні технології 6G наземні мережі зможуть об'єднуватися з вузлами неназемного доступу, такими як супутники, дрони, висотні платформи (high-altitude platform, HAP) та автомобілі. Це об'єднання сформує глобальну інтегровану мережу зв'язку, яка забезпечить безшовне покриття, що охоплює сушу, море та небо. Крім того, ця інтеграція дозволить користувачам підключатися до мережі 6G незалежно від того, чи йдуть вони пішки, їдуть автомобілем або летять на борту літака, і забезпечить безперебійне обслуговування, навіть якщо якась частина інфраструктури несправна або пошкоджена. При цьому наземні та неназемні мережі 6G будуть повністю інтегровані на системному рівні, забезпечуючи конвергенцію послуг, радіоінтерфейсів, мереж та пристроїв користувача. Органічно поєднуючи ці два середовища доступу в одну конвергентну багаторівневу гетерогенну мережу, що охоплює всю земну кулю, технологія 6G надасть користувачам однакоє обслуговування. Забезпечення глобальної доставки мобільних послуг стане важливим аспектом розвитку мережі 6G.

Розглянуто варіанти формування інтегрованої мережі 6G, яка розширить спектр послуг, що надаються користувачам. При цьому, інтеграція наземних та неназемних мереж 6G забезпечить широкосмуговий зв'язок та послуги IoT у регіонах та областях, де відсутнє покриття наземної мережі, включаючи віддалені ферми, і навіть на борту кораблів та літаків. Крім того, 6G сприятиме появі нових застосувань, таких як високоточне позиціонування об'єктів комбінованими засобами супутникових та наземних систем та високоточна зйомка земної поверхні в реальному часі для сільського господарства.

Досліджено інтегровану мережу 6G з 3D-покриттям, що дозволить усунути всі прогалини у покритті по всьому світу. При цьому, користувачі зможуть підключатися до мережі 6G через наземні та неназемні канали, використовуючи той самий мобільний телефон або портативний пристрій у будь-якому місці та в будь-який час. Крім того, інтегрована мережа 6G буде стійкою до стихійного лиха, а це означає, що вона

може забезпечити підключення для служб швидкого реагування та надання допомоги під час лиха.

Література

1. Hernandez D. and Brown T. B. Measuring the algorithmic efficiency of neural networks, arXiv preprint arXiv:2005.04305, 2020.
2. Cai H., Gan C., Wang T., Zhang Z., Han S. Once-for-all: Train one network and specialize it for efficient deployment, arXiv preprint arXiv:1908.09791, 2019.
3. Pizzo A., Marzetta T. L., Sanguinetti L. Degrees of freedom of holographic MIMO channels, in Proc. 2020 IEEE 21st International Workshop on Signal Processing Advances in Wireless Communications (SPAWC). IEEE, 2020, pp. 1–5.
4. Wong K. K., Tong K. F., Chu Z., Zhang Y. A vision to smart radio environment: Surface wave communication superhighways, arXiv preprint arXiv: 2005.14082, 2020.
5. Bortnyk G., Vasylykivskyi M., Kychak V. High-Processing Method of Spectral Analysis Wide-Signals. 2019 International Conference on Information and Telecommunication Technologies and Radio Electronics (UkrMiCo), 2019, pp. 1-4, doi: 10.1109/UkrMiCo47782.2019.9165507.
6. Васильківський М. В. Оцінювання енергетичних характеристик радіоканалів міліметрового діапазону / М. В. Васильківський, О. І. Мельничук, О. В. Стальченко // Матеріали І Міжнародної науково-технічної конференції "Сучасні проблеми інфокомунікацій, радіоелектроніки та наносистем (СПІРН-2019)", Вінниця, 14-16 листопада 2019 р. – 2019. – С. 80–81.
7. Бортник Г. Г. Методи та засоби цифрового оброблення радіосигналів для систем безпеки та моніторингу : монографія / Г. Г. Бортник, М. В. Васильківський, В. М. Кичак. – Вінниця : ВНТУ, 2020. – 126 с.
8. Бортник Г. Г. Метод розширення динамічного діапазону аналого-цифрових трактів засобів цифрового оброблення радіосигналів / Г. Г. Бортник, М. В. Васильківський, Р. М. Вітер // Вісник Хмельницького національного університету. Серія "Технічні науки". – 2020. – № 1 (281). – С. 48–51.
9. Васильківський М. В. Оптимізація параметрів інфокомунікаційних мереж п'ятого покоління / М. В. Васильківський, С. О. Болдинюк // Матеріали І Міжнародної науково-технічної конференції «Сучасні проблеми інфокомунікацій, радіоелектроніки та наносистем (СПІРН-2019)», Вінниця, 14-16 листопада 2019 р. – С. 68–69.
10. Кичак В. М. Технології надпровідних приймачів терагерцового діапазону / В. М. Кичак, М. В. Васильківський // Матеріали тринадцятої міжнародної науково-технічної конференції "Перспективи телекомунікацій", 15–19 квітня 2019 р. – Київ : Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського". – С. 222–224.

References

1. Hernandez D. and Brown T. B. Measuring the algorithmic efficiency of neural networks, arXiv preprint arXiv:2005.04305, 2020.
2. Cai H., Gan C., Wang T., Zhang Z., Han S. Once-for-all: Train one network and specialize it for efficient deployment, arXiv preprint arXiv:1908.09791, 2019.
3. Pizzo A., Marzetta T. L., Sanguinetti L. Degrees of freedom of holographic MIMO channels, in Proc. 2020 IEEE 21st International Workshop on Signal Processing Advances in Wireless Communications (SPAWC). IEEE, 2020, pp. 1–5.
4. Wong K. K., Tong K. F., Chu Z., Zhang Y. A vision to smart radio environment: Surface wave communication superhighways, arXiv preprint arXiv: 2005.14082, 2020.
5. Bortnyk G., Vasylykivskyi M., Kychak V. High-Processing Method of Spectral Analysis Wide-Signals. 2019 International Conference on Information and Telecommunication Technologies and Radio Electronics (UkrMiCo), 2019, pp. 1-4, doi: 10.1109/UkrMiCo47782.2019.9165507.
6. Vasylykivskyi M. V. Otsiniuvannya enerhetychnykh kharakterystyk radiokanaliv milimetrovoho diapazonu / M. V. Vasylykivskyi, O. I. Melnychuk, O. V. Stalchenko // Materialy I Mizhnarodnoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii "Suchasni problemy infokomunikatsii, radioelektroniky ta nanosystem (SPIRN-2019)", Vinnytsia, 14-16 lystopada 2019 r. – 2019. – S. 80–81.
7. Bortnyk H. H. Metody ta zasoby tsyfrovoho obrobлення radiosyhnaliv dlia system bezpeky ta monitorynhu : monohrafiia / H. H. Bortnyk, M. V. Vasylykivskyi, V. M. Kychak. – Vinnytsia : VNTU, 2020. – 126 s.
8. Bortnyk H. H. Metod rozshyrennia dynamichnoho diapazonu analoho-tyfrovoykh traktiv zasobiv tsyfrovoho obrobлення radiosyhnaliv / H. H. Bortnyk, M. V. Vasylykivskyi, R. M. Viter // Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Seriiia "Tekhnichni nauky". – 2020. – № 1 (281). – S. 48–51.
9. Vasylykivskyi M. V. Optymizatsiia parametriv infokomunikatsiinykh merezh piatoho pokolinnia / M. V. Vasylykivskyi, S. O. Boldyniuk // Materialy I Mizhnarodnoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii «Suchasni problemy infokomunikatsii, radioelektroniky ta nanosystem (SPIRN-2019)», Vinnytsia, 14-16 lystopada 2019 r. – S. 68–69.
10. Kychak V. M. Tekhnolohii nadprovodnykh prymachiv terahertsovoho diapazonu / V. M. Kychak, M. V. Vasylykivskyi // Materialy tryndsiatoi mizhnarodnoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii "Perspektyvy telekomunikatsii", 15–19 kvitnia 2019 r. – Kyiv : Natsionalnyi tekhnichniy universytet Ukrainy "Kyivskyi politekhnichniy instytut imeni Ihoria Sikorskoho". – S. 222–224.

ВАСИЛЬКІВСЬКИЙ Микола

Вінницький національний технічний університет

<https://orcid.org/0000-0002-6586-2563>e-mail: mvasylkivskiy@gmail.com**КОЛОМІЄЦЬ Альона**

Вінницький національний технічний університет

<https://orcid.org/0000-0002-7665-6247>e-mail: alona.kolomiets.vnt@gmail.com**БУДАШ Михайло**

Вінницький національний технічний університет

e-mail: mika@budash.dp.ua

ОЦІНЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ РАДІОТРАКТІВ ІНФОКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМ 5G/6G

Здійснено дослідження параметрів радіотракту для обґрунтування можливості розширення інтегрованого багаторівневого спектра 5G/6G та підвищення ефективності станційного обладнання інфокомунікаційних систем наступного покоління. В роботі наведено результати досліджень пропускної здатності каналу передачі в ТГц-діапазоні, враховуючи потужність передачі та шуми компонентів сучасних телекомунікаційних систем, а також вплив атмосферного згасання. Здійснено представлення ідеї нового спектра, можливості та проблеми використання ТГц-діапазону як для зв'язку, так і для сканування. Також здійснено опис процесу моделювання та вимірювання нових каналів поряд з високочастотними діапазонами, для сценаріїв із великими апертурними решітками, неназемними мережами та скануванням у міліметрових та ТГц-діапазонах. Визначено вдосконалені методи вирішення технічних проблем, виявлених в системах 5G, такі як мобільність та покриття, а також проблеми реалізації телекомунікаційного обладнання. Визначено, що використання спектра міліметрового діапазону буде значно покращено за рахунок вдосконалення технологій, пов'язаних з матеріалами, радіочастотними компонентами та обробкою сигналів. Таким чином, з'являється можливість досягнення надвисокої швидкості передачі даних та високоточної роздільної здатності сканування.

Ключові слова: радіотракт, обладнання інфокомунікаційних систем наступного покоління, система 5G, надвисока швидкість передачі даних, високоточна роздільна здатність сканування.

VASYLKIVSKYI Mykola, KOLOMIETS Alyona, BUDASH Mykhailo
Vinnytsia National Technical University

EVALUATION OF RADIO PATH PARAMETERS OF INFOCOMMUNICATION SYSTEMS 5G/6G

A study of the parameters of the radio path was carried out to substantiate the possibility of expanding the integrated multi-level spectrum of 5G/6G and increasing the efficiency of the station equipment of the next generation information communication systems. The paper presents the results of research into the bandwidth of the transmission channel in the THz range, taking into account the transmission power and noise of the components of modern telecommunication systems, as well as the influence of atmospheric attenuation. The idea of a new spectrum, possibilities and problems of using the THz range for both communication and scanning were presented. It also describes the process of modeling and measuring new channels along high-frequency bands, for scenarios with large aperture arrays, non-terrestrial networks, and scanning in millimeter and THz bands.

Improved methods for solving technical problems identified in 5G systems, such as mobility and coverage, as well as implementation problems of telecommunications equipment, are identified. In particular, to facilitate the optimal design of radio technologies in 6G systems, it is necessary to model transmission channels with higher accuracy. In addition, to improve the transmission characteristics of millimeter waves, improvements are needed in the radio signal beamforming technology, in particular in beamforming during the scanning process. It is determined that the use of the millimeter range spectrum will be significantly improved due to the improvement of technologies related to materials, radio frequency components and signal processing. Thus, it becomes possible to achieve ultra-high data transfer speed and high-precision scanning resolution.

A study of the theoretical foundations of the creation of new devices, the design of electronic, photonic and hybrid receivers, large-sized antenna arrays, gratings on a common crystal or case, and new technologies for the formation of materials for the manufacture of gratings, which ensure the rapid development of communication technologies in the THz range, was carried out. time identified the need for further research in the field of designing powerful high-frequency devices, new materials for antennas and RF transistors, receiver architecture, channel modeling, grating signal processing, and energy efficiency issues. The 6G radio path has been studied, which will contain new capabilities and provide new services using new wireless technologies. It is determined that the 6G system will include many new elements, such as new spectrum, new channels, new materials, new antennas, new computing technologies and new end devices. THz spectrometry at 6G has been found to have many potential applications in health care, industry, food quality control, and the environment, as the vibrational and rotational frequencies of most molecules lie in the THz range. THz spectrometry is of considerable interest due to its ability to provide continuous real-time information through dynamic, non-invasive, passive and non-contact measurements. Of particular note is that THz spectrometry provides results comparable to professional CT or MRI machines, but with a much safer and more portable functional process.

Keywords: radio path, next-generation information communication system equipment, 5G system, ultra-high data transfer rate, high-precision scanning resolution.

Постановка проблеми

Головною умовою успішного розвитку кожного покоління бездротових систем є достатня ширина спектра робочих частот. По-перше, завжди бажано мати ширший робочий спектр для підтримання можливості підвищення швидкості передачі даних і пропускної здатності мережі. По-друге, глобально уніфікований

спектр дозволить досягти більшої економії за рахунок масштабів як інфраструктури, так і абонентського обладнання. При цьому дуже важливо узгоджувати робочий спектр інфокомунікаційного обладнання бездротового зв'язку через ITU-R та Всесвітню конференцію радіозв'язку (WRC). По-третє, багатосмугові радіотехнології дозволять нам і надалі використовувати існуючі та нові діапазони частот. По-четверте, глобальний роумінг та стандартизація технологій мають вирішальне значення для повсюдного надання послуг та забезпечення доступності додатків. І по-п'яте, критично важливі єдині правила розподілу та регулювання спектра залишаються унікальною проблемою, з якою ми стикаємося, використовуючи радіочастотний спектр.

Тому в інфраструктурі бездротового зв'язку спектр є важливим компонентом. Наприклад, смуги нижче 1 ГГц використовувалися в першому поколінні мереж (1G), тоді як в 2G і 3G спектр, що використовується для систем міжнародного рухомого електрозв'язку (IMT), був розширений до діапазону 3 ГГц. У поколінні мереж 5G С-діапазон є найбільш широко задіяним діапазоном у всьому світі для початкового розгортання мережі, а підтримка діапазону міліметрових хвиль з частотою до 52,6 ГГц заявлена в релізі 3GPP 15/16 (2020). Очікується, що в майбутніх версіях 5G ця підтримка буде розширена приблизно до 100 ГГц. В радіотехнологіях 6G з підвищеними швидкостями передачі даних та новими послугами передбачається розширення радіоспектру до ще більш високих частотних діапазонів, включаючи терагерцовий. Наступне покоління бездротових систем, що займають більш високочастотні смуги спектра, відкриє нові можливості як якісніших послуг зв'язку, так нових послуг, крім зв'язку.

Аналіз останніх джерел

Поширення радіохвиль це основа основ бездротового зв'язку. Перш ніж будувати та експлуатувати реальні системи, необхідно розробити відповідні моделі радіоканалів враховуючи принципи поширення радіохвиль. Ці моделі мають відображати ключові процеси поширення сигналів та дозволять надійно оцінювати та порівнювати різні системи. Кожне покоління бездротової системи використовує різні смуги частот для комерційних цілей. Отже модель каналу, пов'язана саме з цими смугами, є невід'ємною частиною розвитку технологій [1, 2].

При проектуванні системи на основі технології 6G необхідно використовувати правильну модель каналу. Це пов'язано з тим, що при моделюванні каналів 6G неминуче виникають серйозні проблеми, пов'язані з новими елементами системи, такими як новий спектр, сценарії використання та антени. В ТГц-діапазоні застосовується інший коефіцієнт втрат у трасі, ніж у міліметровому діапазоні. З розвитком нових технологій частиною моделі поширення стала модель фазообертача з кутовою залежністю, включена в реконфігуровану інтелектуальну поверхню (RIS) [3]. Крім того, в сценаріях сканування, таких як сканування навіколишнього середовища за допомогою відображення променя, замість формули поширення, що використовується в традиційному зв'язку, повинна бути включена формула поширення відбитого сигналу на основі принципів радара. Ці проблеми впливають на моделювання каналів та вимагають не лише модифікації формул та параметрів. Крім того, традиційні методології моделювання можуть не відповідати новим характеристикам каналів.

Загалом розподіл спектра тісно пов'язаний зі сценаріями використання та ключовими показниками ефективності мережі. Отже, багато аспектів використання спектра 5G (такі як eMBB, mMTC та URLLC) отримають продовження в 6G. Крім того, розподіл спектра наголошує на наступності політики та правил у галузі радіозв'язку, оскільки життєвий цикл виділеного спектра триває десятиліття. Це означає, що концепція використання багаторівневої структури частотних діапазонів у 5G, як і раніше, застосовуватиметься для 6G.

Крім того, у міру появи нових вимогливих до смуги пропускання додатків, таких як голографічний зв'язок, поряд з новими послугами та функціями, такими як сканування з високою роздільною здатністю, очікується, що система 6G буде використовувати набагато ширшу смугу пропускання – вище, ніж навіть смуга міліметрового. діапазону, і вищу частоту – аж до ТГц-діапазону чи навіть спектра видимого світла. Тому в конкретних варіантах використання телекомунікаційного обладнання 6G необхідно уважно враховувати вимоги до спектра, які пред'являються новими технологіями, послугами та функціями 6G.

У порівнянні з низькочастотними діапазонами ТГц-діапазон має очевидні переваги для систем та мереж зв'язку з дуже високою швидкістю передачі даних і сканування з надвисокою роздільною здатністю. Однією з найбільш примітних особливостей ТГц-діапазону є його здатність забезпечувати надшироку смугу пропускання та достатній ресурс спектра для майбутнього 6G. В рамках цих вимог необхідні додаткові середні смуги, щоб забезпечити безперервне та рентабельне покращення пропускну здатності та покриття при розгортанні мереж 6G.

Метою роботи є дослідження параметрів радіотракту для обґрунтування можливості розширення інтегрованого багаторівневого спектра 5G/6G та підвищення ефективності станційного обладнання інфокомунікаційних систем наступного покоління.

Виклад основного матеріалу

Прорив у галузі радіотехнологій та їх інноваційне використання при розгортанні макросот у діапазоні міліметрових хвиль стануть ключем до надання нових послуг та додатків 6G, таких як визначення місця розташування та сканування з високою роздільною здатністю, а також для задоволення більш високих вимог до пропускну здатності. Терагерцова ділянка спектра також повинна бути включена до сфери впливу технології 6G, оскільки вона має великий потенціал використання для широкого переліку додатків зв'язку та сканування. На рис. 1 показано потенційні потреби в спектрі та можливості мереж 6G.

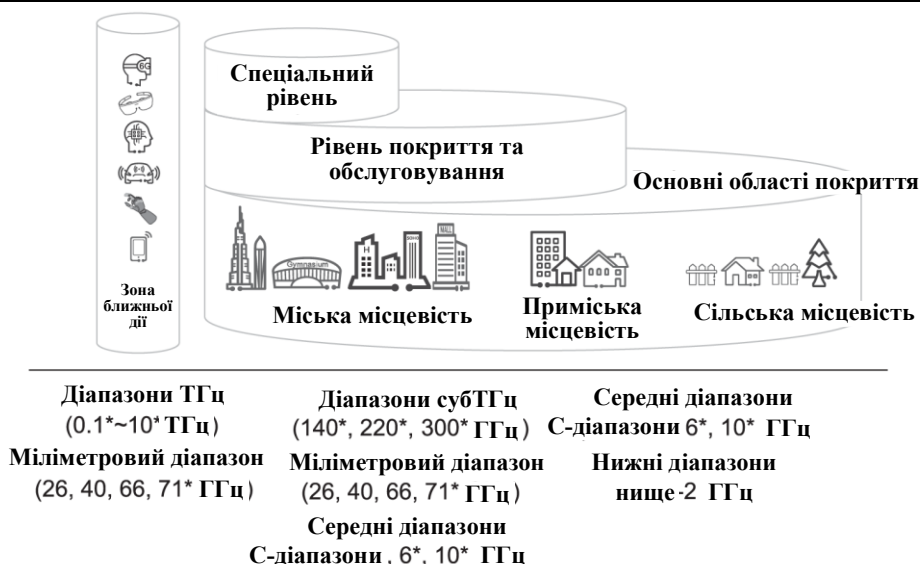


Рис. 1. Особливості використання частотного ресурсу для мереж 6G

Новою можливістю 6G є сканування навколишнього середовища (включаючи точне позиціонування, візуалізацію тощо), і діапазон міліметрових хвиль забезпечує достатній спектр досягнення сантиметрової роздільної здатності сканування. Відповідно до теорії електромагнітного зображення, три аспекти роздільної здатності сканування: роздільну здатність по дальності, кутову роздільну здатність та роздільну здатність зміщення (cross-range) можна розрахувати за допомогою наступних формул [4]:

$$\Delta L = \frac{c}{2 \times \Delta F}, \quad (1)$$

де ΔL – значення розширення за дальністю;

c – значення швидкості світла;

ΔF – значення смуги спектру.

$$\Delta \varphi = 1.22 \times \frac{\lambda}{\gamma}, \quad (2)$$

де $\Delta \varphi$ – значення кутового розширення;

λ – значення довжини хвилі;

γ – значення апертури антени.

Потім роздільну здатність поперечного зміщення (поперечну роздільну здатність) можна розрахувати як

$$2d \times \tan(0.5 \times \delta), \quad (3)$$

де d – відстань сканування.

δ – значення кутової роздільної здатності.

Використовуючи вказані формули, можна зробити висновок, що для досягнення роздільної здатності в 10-сантиметровому діапазоні потрібна безперервна смуга пропускання не менше 1,5 ГГц (тобто $3 \times 10^8 / 0.5 \times 10 \times 10^{-2}$). Для більш високої роздільної здатності потрібна ще більша смуга пропускання, яку середній діапазон не може забезпечити.

Для досягнення поперечної роздільної здатності 10-сантиметрового рівня, кутова роздільна здатність повинна становити 0.01° для відстані сканування 10 м. При використанні міліметрових хвиль з частотою близько 60 ГГц необхідна апертура антени для досягнення такого кутової роздільної здатності, становить 0,6 м. І навпаки, використання середніх частот, таких як 6 ГГц, призводить до збільшення необхідної апертури антени до 6 м. На практиці це складно реалізувати.

Враховуючи підвищене згасання сигналів в ТГц-діапазоні у порівнянні із міліметровим діапазоном хвиль, все ж таки є можливості знайти відповідні діапазони для ефективного передавання даних. Результати оцінювання теоретичної пропускної здатності каналу передачі в ТГц-діапазоні, враховуючи потужність передачі

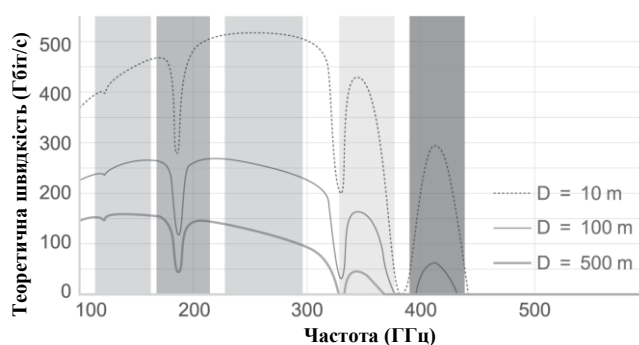


Рис. 2. Оцінка теоретичної пропускної спроможності каналу передачі у ТГц-діапазоні (D – відстань передачі)

та шуми компонентів сучасних технологій, а також вплив атмосферного згасання подано на рис. 2 [5].

З цих результатів можна зробити висновок, що кількість потенційних вікон частотних діапазонів з кращими характеристиками поширення відносно велика (наприклад, 140, 220 та 300 ГГц). Ці частотні діапазони можна використовувати для передачі на середні (наприклад, 200 м) або короткі (менше 10 м) відстані, унікаючи частотних областей з високим атмосферним поглинанням. Крім того, довжини хвиль у ТГц-діапазоні набагато менші, ніж у діапазоні міліметрових хвиль, і в одній платформі може бути розміщено більше антен, що зменшить згасання при поширенні та розширить покриття.

При дослідженні характеристик фізичного середовища використовуючи моделі фізичного каналу, які базуються на багатопробному двоспрямовану поширенні електромагнітних хвиль, можна поділити на три типи: детермінована модель, стохастична модель на основі геометрії (GBSM) та негеометрична стохастична модель [6]. У детермінованій моделі фізичні параметри розповсюдження повністю фіксовані. Отже, у конкретних сценаріях може бути реконструйовано реальні фізичні канали. Детерміновані моделі включають СЕМ, моделі трасування променів та вимірювання. GBSM – це бездротовий канал, що моделюється за допомогою розподілу кластерів, які генеруються випадковим чином за допомогою заданої функції щільності ймовірності. Завдяки своєму стохастичному характеру GBSM краще описує поширення у групі фізичних середовищ, ніж детерміновані моделі, і цілком підходить для статистичної оцінки, такої як системне моделювання. Модель 3GPP – це типовий приклад GBSM. Квазидетермінована модель будується з використанням комбінації детермінованих моделей та стохастичних моделей. Домінуючі шляхи розраховуються за допомогою детермінованої моделі, а шляхи розсіювання генеруються за допомогою стохастичних моделей.

На основі вимірювань та трасування сигналів у смугах частот від 6 ГГц до 100 ГГц в області 5G сформовано моделі у смугах вищих частот до 100 ГГц, як показано в табл. 1. Основними методиками моделювання каналів у цих стандартах є стохастичне та квазидетерміноване моделювання. Ці методики відображають суть статистичних моделей замирань, а також деякі з фактично виміряні характеристики поширення для певних конструкцій антен, таких як крос-поляризаційні.

Статистичні моделі можуть описувати канал більш просто та ефективно та доречні для великомасштабного моделювання через їх низьку обчислювальну складність. Визначено, що стохастичні моделі не можуть виразити детерміновані параметри, що стосуються конкретної системи або сценарію, такі як геометрична інформація, що стосується параметрів багатопробного каналу або розташування пристроїв зв'язку та розсіювачів. Проте детерміноване відображення каналу визначало передумови проектування каналів і систем протягом останніх десятиліть. Потреба у такому моделюванні переважно виникає під час планування мережі, коли геометрична схема розміщення стільникових вузлів зумовлює зміни базових станцій.

У новій мережі 6G певні методи (такі як RIS, локалізація та візуалізація) тісно пов'язані з конкретними середовищами, які можуть бути відтворені за допомогою стохастичних моделей. Тому ми очікуємо на появу детермінованих методик моделювання каналів, які можуть призвести до більш точної оцінки.

Таблиця 1

Методики стандартизації каналів 5G

Модель каналу	Організація	Методика
3GPP 38.901	3GPP	Стохастична модель
METIS	METIS	Стохастична, на основі карти або гібридна модель
MiWEBA	MiWEBA	Квазидетермінована модель каналу
ITU-R M	ITU	Стохастична модель
COST2100	COST	Стохастична модель
IEEE 802.11	IEEE	Квазидетермінована або трасування сигналів
NYU WIRELESS	NYU	Стохастична
QuaDRiGa	Fraunhofer HHI	Стохастична або квазидетермінована
5G mmWave	NIST	Стохастична
Channel Model Alliance		
mmMAGIC	mmMAGIC	Стохастична або сувора перевірка
IMT-2020	IMT-2020	Стохастична

Наприклад, у зв'язку з розробкою нових антен та технологій інтеграції ми припускаємо, що великі антенні решітки, такі як ELAA, значно вплинуть на моделювання каналів та оцінку продуктивності. Великі антенні ґратки створюють нові проблеми при моделюванні, такі як сферичні хвилі ближнього поля та нестационарні канали [3]. Раніше достатньо було просто моделювати дальнє поле, яке можна було апроксимувати за допомогою повних хвиль. Однак ближнє поле тепер надто велике, щоб його можна було ігнорувати, і тому потрібно враховувати сферичні хвилі. Ці особливості поширення відкривають нові можливості підвищення пропускної здатності каналів. Просторово-часові характеристики каналів з множиною антен є ключовими факторами, що визначають продуктивність просторово-часової обробки. Отже, дослідження каналів з великою антеною ґраткою повинні бути зосереджені на просторово-часових характеристиках каналів з множиною антен. Слід зазначити, що ці характеристики сильно залежать від

навколишнього середовища, і це особливо вірно для розподілу розсіювання, які важко описати за допомогою стохастичних моделей. Крім того, ці характеристики значно збільшують складність моделювання. У світлі цього майбутні дослідження повинні бути зосереджені на тому, щоб спочатку визначити, як ці характеристики каналу впливають на продуктивність зв'язку, після чого можна буде визначити ступінь, в якому ці характеристики моделюватимуться в каналі.

Алгоритм та продуктивність нових сценаріїв використання 6G (наприклад, сканування) сильно залежать від розташування об'єкту дослідження та навколишнього середовища. Отже, перевагу надають детермінованим моделям, пов'язаним з географічним положенням. Але це ще не все; типове застосування сканування та візуалізації має враховувати ефекти поширення (такі як дифракція), коли розмір об'єкта приблизно дорівнює довжині хвилі, і в цьому випадку важко виконувати моделювання за допомогою звичайного методу геометричної оптики. Як показано на рис. 3 очікується, що методологія обчислювального електромагнетизму (CEM) описуватиме фізичні явища, такі як дифракція. Деякі технології, такі як метод кінцевих елементів, метод кінцевих різниць у часовій області та метод моментів використовуються в CEM.

Моделі з підвищеною точністю та детермінованими рівнями зумовлять більш високу обчислювальну складність, яка, у свою чергу, набагато перевершить можливості оцінки системи. Тому ми представляємо еволюцію моделей поширення у відповідних стандартах від 1G до 5G. Як показано на рис. 4 дослідження моделі каналу історично мали тенденцію фокусуватися на поліпшенні детермінованих рівнів в умовах обмеження складності. Отже, це може бути потенційним напрямком розвитку гібридної моделі, в яку включено множини механізмів, але ваги механізмів варіюються відповідно до різних сценаріїв застосування та критеріїв оцінки.

Порівняно зі смугою частот нижче 100 ГГц, для терагерцової смуги властиві більш високі втрати на трасі поширення радіосигналів у вільному просторі. Крім того, ТГц-хвилі збуджують молекули газу в атмосфері. При цьому через молекулярне поглинання частина потужності сигналу буде перетворена на кінетичну енергію молекул газу. Воно має високу частотну

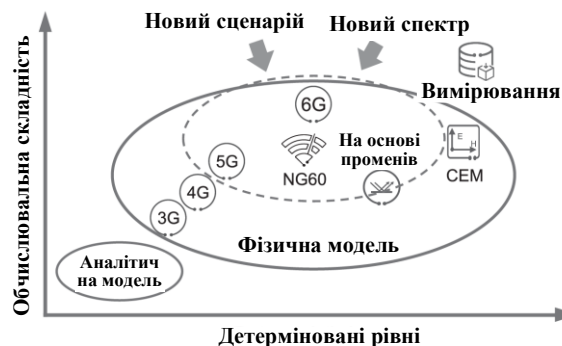


Рис. 4. Аналіз технологій моделювання каналів 6G

З іншого боку, канал ТГц-діапазону також характеризується параметрами поширення сигналів, які відрізняються від каналу міліметрового діапазону. Зазвичай компонент багатопроменеве поширення складається з шляхів прямого поширення, шляхів дзеркального відображення та шляхів розсіювання. Високий К-фактор (у середньому 13 дБ у конференц-залі на частоті 140 ГГц згідно з вимірюваннями Huawei [4]) показує співвідношення потужності між шляхами прямого та непрямого розповсюдження. Вимірювання терагерцових каналів показують, що для них більш виражено пряме поширення. Поверхня об'єктів завод, яка є гладкою на нижчих частотах, стає шорсткою в ТГц-діапазоні, оскільки хвилі ТГц-діапазону мають співрозмірну довжину з висотою мікронерівностей поверхні. Ця шорсткість призводить до втрат при відображенні, а також розсіює потужність по шляхах розсіювання, що зрештою послаблює багатопроменеве поширення і робить

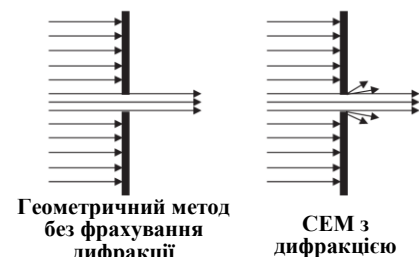


Рис. 3. Порівняння моделей дифракції

вибірковість, оскільки різні молекули газу мають різні резонансні частоти, які відповідають різним пікам молекулярного поглинання, як показано на рис. 5. У ТГц-діапазоні переважає ефект поглинання водяної пари, тоді як ефект поглинання кисню переважає в діапазоні міліметрових хвиль. Відповідно до закону Бера–Ламберта, втрати потужності через молекулярне поглинання експоненційно зростають із збільшенням відстані передачі. В результаті ефект молекулярного поглинання призводить до виражених частотно-вибіркових і залежних від відстані втрат на молекулярне поглинання в каналах ТГц-діапазону.

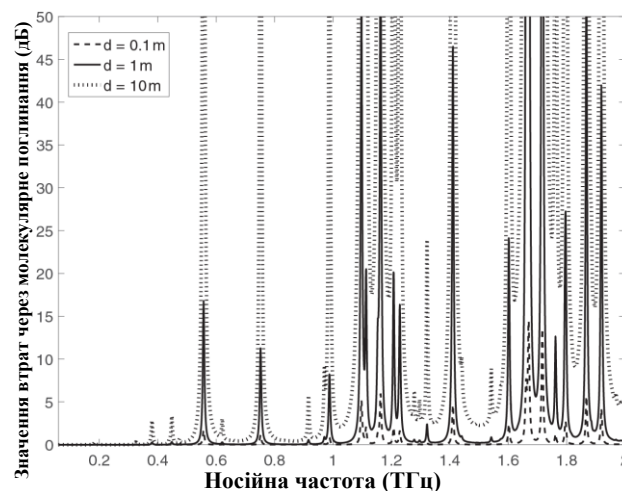


Рис. 5. Оцінювання втрат потужності сигналів через молекулярне поглинання у ТГц-діапазоні

Поверхня об'єктів завод, яка є гладкою на нижчих частотах, стає шорсткою в ТГц-діапазоні, оскільки хвилі ТГц-діапазону мають співрозмірну довжину з висотою мікронерівностей поверхні. Ця шорсткість призводить до втрат при відображенні, а також розсіює потужність по шляхах розсіювання, що зрештою послаблює багатопроменеве поширення і робить

канал розрідженим. Проте деякі вимірювання показують, що в нижній частині ТГц-діапазону, наприклад 140 ГГц і 220 ГГц, в приміщенні ще є багатопроменеве поширення сигналів.

Більш того, різні розподіли багатопроменевого поширення сигналів привносять нові фактори сильно- і малозначимі параметри моделі в ТГц-діапазоні.

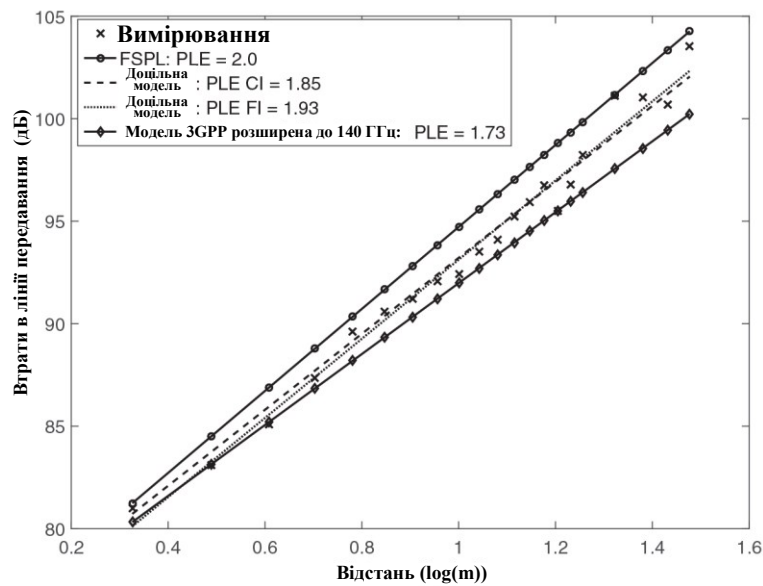


Рис. 6. Порівняння результатів вимірювань моделі втрат у лінії передавання, у вільному просторі та моделі 3GPP TR 38.901

Наприклад, при оцінюванні моделі втрат у радіотракті були проведені вимірювання поширення сигналу типової внутрішньої точки доступу (InH) розташованої в будівлі на частоті 140 ГГц, як показано на рис. 6 та в табл. 2.

Було проведено порівняння зі значенням, знайденим за формулою втрат тракту 3GPP TR 38.901 InH, розширеного до 140 ГГц. Вимірювання показало ступінь втрат у тракті (path loss exponent, PLE) трохи вище, ніж у моделі 3GPP, і нижче, ніж PLE під час поширення у вільному просторі. Це означає, що слабкий хвильоводний ефект можна спостерігати і в субТГц-діапазоні. Для малозначимих параметрів, отриманих у типових сценаріях InH, вимірювання також вказують на помітну відмінність від існуючих стандартів моделі каналу [4], як показано в табл. 3. Тому більш точні та репрезентативні параметризовані моделі каналів для нового спектра вище 100 ГГц ще необхідно глибоко дослідити та змоделювати.

Таблиця 2

Втрати у тракті на частоті 140 ГГц у сценаріях InH

Втрати при розповсюдженні (дБ)		Затухання в тіні (дБ)
Вимірювання Huawei	$PL_{InH140} = 32.4 + 18.5 \log_{10}(d_{3D}) + 20 \log(f_{140})$	$\delta_{SF} = 0.8$
Моделі 38.901, розширена до 140 ГГц	$PL_{InH140} = 32.4 + 17.3 \log_{10}(d_{3D}) + 20 \log(f_{140})$	$\delta_{SF} = 3$

Таблиця 3

Малозначимі параметри на частоті 140 ГГц у сценаріях InH

Сценарій		Пряме розповсюдження в будівлі	
		Моделі 3 GPP, розширення до 140 ГГц	Вимірювання
Розкид затримки (DS)	$\mu_{lg DS}$	-7.71	-8.70
$lg DS = \log_{10}(DS / 1s)$	$\delta_{lg DS}$	0.18	0.50
Розкид AOA(ASA)	$\mu_{lg DS}$	1.37	1.29
$lg ASA = \log_{10}(ASA / 1^\circ)$	$\delta_{lg DS}$	0.37	0.30
Розкид ZOA(ZSA)	$\mu_{lg ZSA}$	0.88	0.73
$lg ZSA = \log_{10}(ZSA / 1^\circ)$	$\delta_{lg DZSA}$	0.18	0.15

Нові вимоги до мобільного зв'язку 6G зумовили дослідження нових технологій, таких як ELAA,

RIS, зв'язок пристрій-пристрій у міліметровому діапазоні, інтегрований наземний зв'язок у міліметровому діапазоні та сканування у міліметровому та ТГц-діапазоні.

Звичайно, нові сценарії застосування та архітектури антени також створюють нові проблеми для моделювання каналів. Наприклад, ELAA може ефективно збільшити пропускну здатність каналу та пікову швидкість користувача. Однак через збільшення апертури антенної решітки збільшується відстань ближньої зони, і це не можна ігнорувати, оскільки тепер деякі користувачі будуть знаходитися в області ближнього поля. З цієї причини модель каналу з плоскою хвилею, що використовується в системах 5G, може виявитися незастосовною. Таким чином, нам необхідно всебічно змодельовати та вивчити характеристики поширення нового каналу зі сферичними хвилями та метод оцінювання функціоналу каналу.

Іншою характерною особливістю каналу поширення ELAA є нестационарність у просторових сферах. Іншими словами, при збільшенні апертури антенних решіток різні ґратки можуть мати різні характеристики каналу поширення, такі як потужність, кластери, кут приходу та ранг.

Деякі нові сценарії застосування, такі як інтегрований наземний зв'язок, створили великі проблеми для систем тестування каналів. Показовим прикладом є той факт, що звичайне вимірювання параметрів каналу вимагає високого відношення сигнал/шум та високої точності синхронізації, що важко досягти в наземних мережах. Низьке відношення сигнал-шум ускладнює отримання інформації про просторове багатопроменеве поширення. Крім того, системи тестування інтегрованих наземних каналів повинні враховувати вплив атмосферних умов, таких як вітер, хмари, дощ і сніг.

На відміну від інших діапазонів електромагнітного випромінювання, ТГц-діапазон має унікальні можливості менш небезпечного сканування, оскільки при цьому використовується неіонізуюче випромінювання з малою глибиною проникнення [5]. ТГц-спектрометрія в 6G має безліч потенційних застосувань у галузі охорони здоров'я, промисловості, контролю якості харчових продуктів та навколишнього середовища, оскільки частоти вібрації та обертання більшості молекул лежать у ТГц-діапазоні. ТГц-спектрометрія викликає значний інтерес завдяки своїй здатності надавати безперервну інформацію в реальному часі за допомогою динамічних, неінвазивних, пасивних та безконтактних вимірювань. Особливо слід зазначити, що ТГц-спектрометрія дає результати співрозмірні з професійними апаратами КТ або МРТ, але з набагато безпечнішим і портативнішим функціональним процесом, як показано на рис. 7.

Хоча ТГц-діапазон забезпечує розширену смугу пропускання та вдосконалені апертури антени, діапазони міліметрових хвиль більш пристосовані до недосконалих умов навколишнього середовища, таких як пил, туман і т. д., що робить їх зручним варіантом для сканування навколишнього середовища поза приміщеннями таких як картографування та електромагнітна реконструкція зображень.

Для підтримки швидкого розвитку технологій зв'язку в ТГц-діапазоні необхідні дослідження та розробки, що ведуть до прориву у створенні нових пристроїв, такі як проектування електронних, фотонних та гібридних приймачів, великогабаритні антенні решітки, ґратки на спільному кристалі або корпусі та нові технології матеріалів для виготовлення ґраток. У той же час необхідні подальші дослідження в галузі проектування потужних високочастотних пристроїв, нових матеріалів для антен та РЧ-транзисторів, архітектури приймачів, моделювання каналів, обробки сигналів решітки та питань енергоефективності.

Хоча ІТУ-R виділив смуги понад 230 ГГц для рухомих служб у діапазоні частот 100 – 450 ГГц, правила та політика для галузі ІМТ не зрозумілі і ще не уніфіковані на міжнародному рівні. Консультації на рівні ІТУ та WRC повинні відбуватись разом, щоб сприяти досягненню консенсусу. Очікується, що 6G міститиме нові можливості та надаватиме нові послуги з використанням нових бездротових технологій. На додаток до розробок, зроблених в області бездротової передачі, система 6G буде включати безліч нових елементів, таких як новий спектр, нові канали, нові матеріали, нові антени, нові обчислювальні технології і нові кінцеві пристрої.

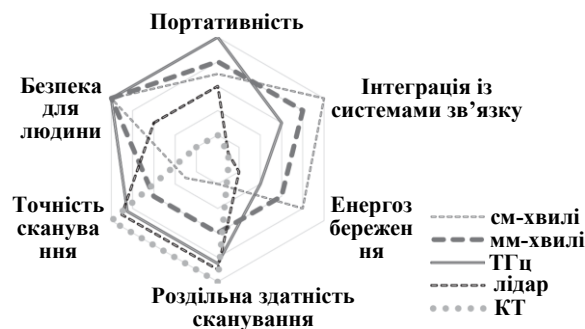


Рис. 7. Порівняння функціональних параметрів систем сканування

Висновки

Здійснено представлення ідеї нового спектра, можливості та проблеми використання ТГц-діапазону як для зв'язку, так і для сканування. Також здійснено опис процесу моделювання та вимірювання нових каналів поряд з високочастотними діапазонами, для сценаріїв із великими апертурними решітками, наземними мережами та скануванням у міліметрових та ТГц-діапазонах.

Визначено вдосконалені методи вирішення технічних проблем, виявлених в системах 5G, такі як мобільність та покриття, а також проблеми реалізації телекомунікаційного обладнання. Зокрема, для полегшення оптимального проектування радіотехнологій у системах 6G потрібно здійснювати моделювання каналів передавання з більш високою точністю. Крім того, для покращення характеристик передачі міліметрових хвиль необхідні удосконалення в технології формування променю радіосигналу, зокрема при

формуванні променю під час процесу сканування. Визначено, що використання спектра міліметрового діапазону буде значно покращено за рахунок вдосконалення технологій, пов'язаних з матеріалами, радіочастотними компонентами та обробкою сигналів. Таким чином, ми зможемо досягти надвисокої швидкості передачі даних та високоточної роздільної здатності сканування.

Література

1. Yu Z., Chen Y., Wang G., Gao W., Han C. Wideband channel measurements and temporal-spatial analysis for terahertz indoor communications, in Proc. 2020 IEEE International Conference on Communications Workshops. IEEE, 2020, pp. 1–6.
2. Chen W., Bai L., Tang W., Jin S., Jiang W. X., Cui T. J. Angle-dependent phase shifter model for reconfigurable intelligent surfaces: Does the angle-reciprocity hold? IEEE Communications Letters, 2020.
3. Васильківський М. В. Оцінювання енергетичних характеристик радіоканалів міліметрового діапазону / М. В. Васильківський, О. І. Мельничук, О. В. Стальченко // Матеріали І Міжнародної науково-технічної конференції "Сучасні проблеми інфокомунікацій, радіоелектроніки та наносистем (СПРН-2019)", Вінниця, 14-16 листопада 2019 р. – С. 80–81.
4. Васильківський М. В. Оптимізація параметрів інфокомунікаційних мереж п'ятого покоління / М. В. Васильківський, С. О. Болдинюк // Матеріали І Міжнародної науково-технічної конференції "Сучасні проблеми інфокомунікацій, радіоелектроніки та наносистем (СПРН-2019)", Вінниця, 14-16 листопада 2019 р. – С. 68–69.
5. Кичак В. М. Технології надпровідних приймачів терагерцового діапазону / В. М. Кичак, М. В. Васильківський // Матеріали тринадцятої міжнародної науково-технічної конференції "Перспективи телекомунікацій", 15–19 квітня 2019 р. – Київ : Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського". – С. 222–224.

References

1. Yu Z., Chen Y., Wang G., Gao W., Han C. Wideband channel measurements and temporal-spatial analysis for terahertz indoor communications, in Proc. 2020 IEEE International Conference on Communications Workshops. IEEE, 2020, pp. 1–6.
2. Chen W., Bai L., Tang W., Jin S., Jiang W. X., Cui T. J. Angle-dependent phase shifter model for reconfigurable intelligent surfaces: Does the angle-reciprocity hold? IEEE Communications Letters, 2020.
3. Vasykivskiy M. V. Otsiniuvannya enerhetychnykh kharakterystyk radiokanaliv milimetrovoho diapazonu / M. V. Vasykivskiy, O. I. Melnychuk, O. V. Stalchenko // Materialy I Mizhnarodnoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii "Suchasni problemy infokomunikatsii, radioelektroniky ta nanosystem (SPIRN-2019)", Vinnytsia, 14-16 lystopada 2019 r. – S. 80–81.
4. Vasykivskiy M. V. Optyimizatsiia parametriv infokomunikatsiinykh merezh piatoho pokolinnia / M. V. Vasykivskiy, S. O. Boldyniuk // Materialy I Mizhnarodnoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii "Suchasni problemy infokomunikatsii, radioelektroniky ta nanosystem (SPIRN-2019)", Vinnytsia, 14-16 lystopada 2019 r. – S. 68–69.
5. Kychak V. M. Tekhnolohii nadprovidnykh prymachiv terahertsovoho diapazonu / V. M. Kychak, M. V. Vasykivskiy // Materialy trynadtsiatoi mizhnarodnoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii "Perspektyvy telekomunikatsii", 15–19 kvitnia 2019 r. – Kyiv : Natsionalnyi tekhnichniy universytet Ukrainy "Kyivskiy politekhnichniy instytut imeni Ihoria Sikorskoho". – S. 222–224.

ГАРАНИНА Ольга

Київський національний університет технологій та дизайну

<https://orcid.org/0000-0002-4715-3851>e-mail: helgaranina@gmail.com

РЕДЬКО Яна

<https://orcid.org/0000-0001-7284-6898>e-mail: 82yanet@gmail.com

КАМЕНЕЦЬ Сергій

<https://orcid.org/0000-0002-6490-6755>e-mail: serkam12@ukr.net

БАТАН Раїса

e-mail: vatan.raisa@ukr.net

ВСТАНОВЛЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ПАКЕТІВ ТЕКСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ КУРТКИ СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Представлені результати досліджень властивостей пакетів текстильних матеріалів з утеплювачами різного виду з урахуванням необхідних експлуатаційних властивостей. Отримані дані щодо властивостей текстильних матеріалів та пакетів з утеплювачами на їх основі для визначення можливості виготовлення куртки спеціального призначення. Експериментально доведено, що утеплювальний матеріал «Тінсулейт» відповідає необхідним якісним характеристикам, що висуваються для асортименту спеціалізованих виробів.

Ключові слова: тінсулейт, повітропроникність, розривальне навантаження, пакети текстильних матеріалів.

HARANINA Olha, RED'KO Yana, KAMENETS Serhiy, VATAN Raisa

Kyiv National University of Technologies and Design

DETERMINATION OF THE EFFICIENCY OF APPLICATION OF PACKAGES OF TEXTILE MATERIALS FOR THE PRODUCTION OF A SPECIAL PURPOSE JACKET

The results of research into the properties of modern textile materials, in particular, insulating materials, are presented for choosing a package of textile materials that will be the most effective in terms of quality for the production of a special-purpose jacket that will be used in low-temperature conditions. As insulating materials for the study of consumer properties of textile material packages, the material "Tinsuleit", batting and sintepon, upper fabric "Oxford", lining fabric "Nylon" were used. Both the materials themselves and the packages of textile materials from the top fabric "Oxford", insulation material and lining fabric "Nylon" were studied. It is assumed that the choice of insulating material is among the presented assortment on the market of Ukraine. It was established that the most effective package is the package using the insulating material "Tinsuleit". This package is characterized by the highest indicators of breaking load and air permeability, as well as the lowest surface density. All tested materials meet the requirements specified in DSTU EN 14058:2008. Today it is becoming relevant to study and compare the properties of the insulation material "Tinsuleit" with the materials of batting and sintepon, which are actively used by manufacturers in Ukraine. Therefore, it became necessary to compare the performance of one of the most modern insulating materials, "Tinsuleit", with batting, which has been used for about a hundred years, but which is almost gone in Europe and the USA. Rational results, which testify to the absolute superiority of the insulation material "Tinsuleit", were provided when evaluating the indicators of breaking load, air permeability, surface density of the insulation materials "Tinsuleit", sintepon, batting, top fabric "Oxford" and lining fabric "Nylon" separately and in composition of packages of textile materials. Therefore, in the case of replacement in the production of special clothing, insulation materials of batting and sintepon with "Tinsuleit" during the production in Ukraine, the term of use of special clothing will be significantly increased due to the improvement of strength properties, and the economic efficiency of its use will significantly improve. Increasing breathability and reducing the weight of clothing will provide opportunities for longer stay in low temperature conditions and have greater mobility and mobility of the consumer, thanks to which the demand for this special clothing will only grow.

Key words: thinsulate, breathability, breaking load, packages of textile materials.

Постановка проблеми. Сучасна індустрія моди пропонує споживачу все більш різноманітні вироби, в тому числі, спеціального призначення. Основні види наукових розробок здійснюються в напрямках забезпечення необхідних потреб як окремих галузей, так і найбільш вимогливих споживачів. Текстильні вироби спеціального призначення необхідні для робітників аерокосмічної галузі, рятувальників, медиків, військових, спортсменів, туристів, геологів, екологів, археологів, для робітників гірничорудної галузі та металургів [1–3]. Виготовлення виробів спеціального призначення в легкій промисловості передбачає першочергове визначення галузі діяльності споживача для максимальної ізоляції тіла людини від впливу шкідливих для здоров'я та життя оточуючих факторів. Сучасний ринок текстильної продукції заповнений багатьма видами сировини, яка може задовольнити якісний кінцевий результат.

Аналіз останніх досліджень. Фахівцями таких фірм, як 3M, Calvin Klein, London Fog, постійно ведуться розробки та випробування з утеплювальними матеріалами, зокрема матеріалом «Тінсулейт». За даними офіційного сайту Американської хімічної корпорації 3M, серед всіх типів утеплювальних матеріалів «Тінсулейт», зокрема S, FX, XT-S, FR, C, G, R, кращими теплоізоляційними властивостями володіє «Тінсулейт» C [3–6]. Деталі їхніх досліджень складають виробничу та комерційну таємницю. Факт того, що провідні Світові виробники, зокрема, Calvin Klein, London Fog, за останні роки збільшують кількість

виробництва одягу з використанням утеплювального матеріалу «Тінсулейт» С, можна зробити висновок, що він має високі показники, в тому числі розривального навантаження та повітропроникності. На сьогодні стає актуальним дослідження та порівняння властивостей утеплювального матеріалу «Тінсулейт» з матеріалами ватин й синтепон, які активно використовують виробники в Україні [3–6].

Постановка завдання. Для пошиття спеціального одягу сучасними виробниками виготовляється чимало текстильних матеріалів із заданими якісними властивостями: «Ранфорс», «Оксфорд», «Рип-Стоп», «Дюспо», «Дюспо бондінг», «Мікрофайбер», «Таслан» та ін. [3–6]. Популярним стало застосування таких утеплювальних матеріалів, як: «Тінсулейт», «Холофайбер», «Холософт», «Слімтекс», «Термолофт», аерогель [4]. Усе більше новітніх текстильних та утеплювальних матеріалів знаходять своє застосування при виготовленні одягу спеціального призначення. Перевагами новітніх текстильних матеріалів є їх функціональні, експлуатаційні та фізичні властивості. Таким чином, актуальним є дослідження текстильних матеріалів, утеплювачів та пакетів на їх основі, які передбачається використовувати для виготовлення куртки спеціального призначення (експлуатація в умовах низьких температур) [4].

Методи дослідження. Наведено сучасні загальноприйняті методики для визначення якісних характеристик досліджуваних матеріалів. Матеріали, які були використані в процесі дослідження, обиралися серед сучасних доступних в Україні текстильних матеріалів для отримання найефективнішого результату у відповідності до поставлених завдань.

Досліджено зовнішній вигляд, будову тканин та утеплювальних матеріалів [5]. Визначено види ткацьких переплетень, зовнішній вигляд лицьової та зворотної сторін, види фактури зразків матеріалів, їх волокнистий склад. Визначено вид ткацького переплетення тканини верху та підкладкової тканини [6]. Утеплювальні матеріали синтепон, «Тінсулейт» та ватин відносяться до нетканих полотен. Дослідження будови цих полотен було проведено згідно з ДСТУ ГОСТ 15902.2:2006 «Полотна неткані. Методи визначення структурних характеристик» [7]. Визначення зовнішньої структури, напрямлень основи та утку, наявності у структурі полотна каркасного матеріалу, лицьової та зворотної сторін, наявності зовнішнього та внутрішнього дублюючого шару було проведено візуальним, органолептичним методами [8]. Визначення поверхневої густини пакетів матеріалів проведено згідно з ДСТУ ISO 7211-6: 2007 «Матеріали текстильні. Методи аналізу структури тканини. Частина 6. Метод визначення поверхневої густини тканини» [9]. Визначення розривальних характеристик текстильних матеріалів та пакетів з них проведено згідно з [10]. Визначення розривального навантаження було проведено в кліматичних умовах за ДСТУ ISO 139:2007 «Матеріали текстильні. Стандартні атмосферні умови для кондиціювання та випробування» [11, 12]. Дослідження розривальних характеристик проводилось на розривній машині РТ-250-М. Повітропроникність визначено згідно ДСТУ ISO 9237: 2003 Текстиль. Тканини. Визначення повітропроникності [13]. Дослідження повітропроникності пакетів текстильних матеріалів виконували на приладі FF-12/A.

Результати дослідження і їх обговорення. У роботі проводили дослідження наступних текстильних матеріалів: тканини «Оксфорд», використання якої передбачається для виготовлення верху жіночої куртки спеціального призначення при експлуатації в умовах низьких температур, високогір'я, снігу, дощу та підкладкової тканини «Нейлон». Для визначення варіантів «пакетів» текстильних матеріалів, які мають кращі показники поверхневої густини, розривальних властивостей, повітропроникності, завдяки чому відповідають вимогам використання їх в умовах низьких температур, було виготовлено окремі пакети, які складаються з наступних прошарків: тканини верху «Оксфорд», утеплювального матеріалу, підкладкової тканини «Нейлон». В якості утеплювальних матеріалів було обрано: синтепон, «Тінсулейт» та ватин окремо один від одного.

Для визначення матеріалу та пакету текстильних матеріалів, які мають меншу масу, було порівняно показники поверхневої густини окремо для кожного матеріалу та окремо для кожного пакету матеріалів. Поверхнева густина пакету текстильних матеріалів складає суму показників поверхневої густини матеріалів, які входять до його складу [14]. У таблиці 1 наведені результати зважування зразків матеріалів та пакетів текстильних матеріалів.

Таблиця 1

Результати визначення поверхневої густини зразків

№	Назва зразка	Поверхнева густина, $\frac{г}{м^2}$
1	Підкладкова тканина «Нейлон»	51,8
2	Тканина «Оксфорд»	210,7
3	Пакет матеріалів, що складається із тканини «Оксфорд», утеплювача «Тінсулейт» та підкладкової тканини «Нейлон»	428,5
4	Пакет матеріалів, що складається із тканини «Оксфорд», утеплювача синтепон та підкладкової тканини «Нейлон»	431,6
5	Пакет матеріалів, що складається із тканини «Оксфорд», утеплювача ватин та підкладкової тканини «Нейлон»	501,8

Таким чином, пакет текстильних матеріалів, що складається із тканини «Оксфорд», утеплювального матеріалу «Тінсулейт» та підкладкової тканини «Нейлон», має найменшу поверхневу густину серед досліджуваних пакетів. Використання даного пакету дозволяє виготовити більш легкий виріб.

Наступним кроком було дослідження будови тканини «Оксфорд», утеплювального матеріалу «Тінсулейт» та підкладкової тканини «Нейлон». Отримані результати досліджень будови текстильних матеріалів наведено у таблицях 2 – 3.

Таблиця 2

Результати дослідження будови тканин верху та підкладкової тканини

№	Найменування Тканини	Сировинний склад	Лицьова та зворотня сторони	Фактура	Вид ткацького переплетення
1	Тканина верху «Оксфорд»	100 % ПЕ	Лицьова сторона гладка зерниста структура, зворотна – гідрофобна обробка	Дрібно-рельєфна	Рогожка
2	Підкладкова тканина «Нейлон»	100 % ПА	Лицьова сторона більш опукла, зерниста, блискуча; зворотна сторона матова	Гладка, матова	Полотняне

У тканини верху «Оксфорд» лицьова сторона має вигляд плетіння «рогожки», зворотна – має гумовий прошарок (гідрофобна обробка), який відштовхує вологу. На підкладковій тканині «Нейлон» лицьова сторона має блиск, в той час як зворотна сторона виглядає більш матовою. Тканина верху «Оксфорд» та підкладкова тканина «Нейлон», окремо від моделювання, формує дизайн готового швейного виробу. Саме тому для визначення зовнішнього вигляду тканин для створення куртки спеціального призначення було проведено аналіз зовнішньої будови.

Таблиця 3

Результати дослідження будови утеплювальних матеріалів синтепон, «Тінсулейт», ватин

№	Назва показника	Синтепон	«Тінсулейт»	Ватин
		Дані щодо дослідження будови		
1	Зовнішній вигляд	рихлий, сіро-блакитного кольору, складається з жорстких волокон	рихлий, білого кольору, складається з м'яких волокон	щільний, сіро-жовтого кольору, складається з м'яких волокон, які прошиті нитками
2	Сировинний склад	100% ПЕ	25% ПЕТФ, 25% ПП, 25% ПАН, 25% ПОФ	100 % бавовна
3	Лицьова та зворотна сторони	однакові	однакові	однакові
4	Зовнішня структура	волокнистий холст	волокнистий холст	ниткопрошивний матеріал
5	Поздовжній та поперечний напрями	поздовжній щільніший за поперековий	поперечний напрям легше розірвати	поперечний напрям легше розірвати
6	Наявність «каркасного» матеріалу	відсутній	відсутній	відсутній
7	Наявність дублюючих шарів	відсутня	прошарок флізеліну з обох сторін	відсутня

Для визначення міцнісних характеристик досліджували розривальне навантаження як пакетів текстильних матеріалів, так і окремо кожного використаного виду текстильних матеріалів. В таблиці 4 наведено отримані дані результатів дослідження розривального навантаження тканин та пакетів матеріалів з такими утеплювачами як ватин, синтепон, «Тінсулейт».

Найбільші значення розривального навантаження отримано для пакету текстильних матеріалів із тканини «Оксфорд», утеплювального матеріалу «Тінсулейт» та підкладкової тканини «Нейлон». Наступними за величиною є показники розривального навантаження пакету з утеплювачем синтепон. Найнижчі показники має пакет з утеплювачем ватин [15].

При визначенні повітропроникності дослідженню підлягали пакети текстильних матеріалів з утеплювальними матеріалами синтепон, «Тінсулейт» та ватин кожний окремо один від одного. У таблиці 5 наведені середні арифметичні значення витрат повітря та значення повітропроникності пакетів текстильних матеріалів.

Таблиця 4

Результати дослідження розривальних характеристик випробуваних зразків

№ з/п	Назва показника	Напрямок зразка	Тканина «Оксфорд»	Підкладкова тканина «Нейлон»	Пакет матеріалів з тканини верху «Оксфорд», утеплювального матеріалу та підкладкової тканини «Нейлон»		
					Утеплювальний матеріал		
					«Тінсулейт»	Синтепон	Ватин
1	Розривальне навантаження, Н	Основа	174	57	228	209	152
		Уток	184	22	183	159	148
2	Видовження на момент розриву, %	Основа	16,7	21,9	24,9	24,2	21,2
		Уток	22,5	6	17,2	15,7	18,6

Таблиця 5

Результати дослідження повітропроникності пакетів текстильних матеріалів

№	Назва матеріалу	Витрата повітря, $\frac{\text{дм}^3}{\text{V, год}}$	Показник повітропроникності, $\frac{\text{дм}^3}{\text{Q, м}^2 \cdot \text{с}}$
1	Пакет матеріалів з синтепоном	189,3	53
2	Пакет матеріалів з «Тінсулейт»	24,55	7
3	Пакет матеріалів з ватином	56,7	16

З отриманих результатів можна зробити висновок, що пакет текстильних матеріалів із утеплювачем «Тінсулейт» має найменший показник повітропроникності, і може сприяти максимальному захисту тіла людини від поривів вітру, особливо в умовах низьких температур.

Висновки. Досліджено споживні властивості та встановлено вплив фізико-механічних та якісних показників на ефективність застосування утеплювальних матеріалів та пакетів текстильних матеріалів для виготовлення куртки спеціального призначення впродовж тривалого перебування в умовах низьких температур. Визначено повітропроникність, міцнісні характеристики, поверхневу густину, зовнішні характеристики утеплювальних текстильних матеріалів «Тінсулейт», синтепон, ватин, тканини верху «Оксфорд» та підкладкової тканини «Нейлон». Також були досліджені відповідні властивості трьох пакетів текстильних матеріалів, які складаються з тканини верху «Оксфорд». В якості утеплювальних матеріалів окремо досліджено матеріал «Тінсулейт», синтепон, ватин, підкладкова тканина «Нейлон».

Пакет текстильних матеріалів, що складається із тканини «Оксфорд», утеплювального матеріалу «Тінсулейт» та підкладкової тканини «Нейлон», характеризується найвищими показниками розривального навантаження та повітропроникності, а також найменшою поверхневою густиною. Використання цього пакету текстильних матеріалів є найефективнішим варіантом серед досліджених при виготовленні куртки спеціального призначення для експлуатації в умовах низьких температур. Всі випробувані матеріали відповідають вимогам стандартизації.

Література

1. ДСТУ EN 14058:2008. Одяг спеціальний для захисту від знижених температур. [Чинний від 2008-08-15]. Держспоживстандарт України, 2015. 12 с. (Інформація та документація).
2. Ватан Р.Ю., Гараніна О.О. Розробка моделі теплозахисної жіночої куртки з використанням підігрівачи елементів. Збірник тез доповідей V Міжнародної науково-практичної конференції текстильних та фешн технологій KyivTex&Fashion. Київ: КНУТД, 2021. С. 76-77.
3. Гараніна О.О., Редько Я.В., Проскурка М.М., Ватан Р.Ю. Синтетичні барвники в медицині. Вісник Хмельницького національного університету. 2021. Вип. 3. С. 168-172.
4. Ватан Р.Ю., Гараніна О.О., Редько Я.В. Перспектива розвитку одягу спеціального призначення «Молодь – науці і виробництву – 2021: Інноваційні технології легкої промисловості». Матеріали

міжнародної науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти і молодих учених, 19-20 травня 2021 р., м. Херсон (Україна), Херсонський національний технічний університет, 2021 р. 163 с.

5. ДСТУ EN 12751:2018. Текстиль. Відбирання волокон, пряжі й текстильних полотен для випробування. [Чинний від 2018-11-01]. Держспоживстандарт України, 2018. 10 с. (Інформація та документація).

6. Raheel M. Modern textile characterization methods. Marcel Dekker, 1996. 631 p.

7. ДСТУ ГОСТ 15902.2:2006. Полотна неткані. Методи визначення структурних характеристик. [Чинний від 2007-10-01]. Держспоживстандарт України, 2003. 19 с. (Інформація та документація).

8. Супрун Н. П. Матеріалознавство швейних виробів. Матеріали для одягу : підручник для студ. вищих навч. закладів. К. : КНУТД, 2009. 188 с.

9. ДСТУ ISO 7211-6: 2007. Матеріали текстильні. Методи аналізу структури тканини. Частина 6. Метод визначення поверхневої густини тканини. [Чинний від 2009-10-01]. Держспоживстандарт України, 2009. 15 с. (Інформація та документація).

10. ДСТУ EN ISO 13934-1:2018 (EN ISO, IDT). Текстиль. Розривні властивості тканин. Частина 1. Визначення максимального зусилля та видовження за максимального зусилля методом прямокутного шматка. [Чинний від 2018-07-17]. Держспоживстандарт України, 2018. 20 с. (Інформація та документація).

11. ДСТУ ISO 139:2007. Матеріали текстильні. Стандартні атмосферні умови для кондиціювання та випробування. [Чинний від 2009-01-01]. Держспоживстандарт України, 2009. 12 с. (Інформація та документація).

12. ДСТУ 4271:2003. Матеріали текстильні з покриттям. Методи визначення характеристик під час розривання. [Чинний від 2005-07-01]. Держспоживстандарт України, 2005. 15 с. (Інформація та документація).

13. ДСТУ ISO 9237: 2003. Текстиль. Тканини. Визначення повітропроникності. [Чинний від 2004-07-01]. Держспоживстандарт України, 2004. 12 с. (Інформація та документація).

14. Elmogahzy Y. Engineering Textiles: Integrating the Design and Manufacture of Textile Products. 2nd Edition. Woodhead Publishing, 2020. 452 p.

15. Склианников В. П. Комплексная оценка качества тканей по группе механических свойств. Стандарты и качество. 1972. № 1. С. 43–45.

References

1. DSTU EN 14058:2008. Odiah spetsialnyi dlia zakhystu vid znyzhenykh temperatur. [Chynnyi vid 2008-08-15]. Derzhspozhyvstandart Ukrainy, 2015. 12 s. (Informatsiia ta dokumentatsiia).

2. Vatan R.Yu., Haranina O.O. Rozrobka modeli teplozakhyсноi zhinochoi kurtky z vykorystanniam pidhrivaiuchykh elementiv. Zbirnyk tez dopovidei V Mizhnarodnoi naukovopraktychnoi konferentsii tekstyl'nykh ta feshn tekhnolohii KyivTex&Fashion. Kyiv: KNUUD, 2021. S. 76-77.

3. Haranina O.O., Redko Ya.V., Proskurka M.M., Vatan R.Yu. Syntetychni barvnyky v medytsyni. Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. 2021. Vyp. 3. S. 168-172.

4. R.Yu. Vatan, O.O. Haranina, Redko Ya.V. Perspektyva rozvytku odiahu spetsialnoho pryznachennia «Molod – nautsi i vyrobnytstvu – 2021: Innovatsiini tekhnolohii lehkoi promyslovosti» // Materialy mizhnarodnoi naukovopraktychnoi konferentsii zdobuvachiv vyshchoi osvity i molodykh uchenykh, 19-20 travnia 2021 r., m. Kherson (Ukraine), Khersonskiy natsionalnyi tekhnichnyi universitet, 2021 r. – 163 s.

5. DSTU EN 12751:2018. Tekstyl. Vidbyrannia volokon, priazhi y tekstyl'nykh poloten dlia vyprobuvannia. [Chynnyi vid 2018-11-01]. Derzhspozhyvstandart Ukrainy, 2018. 10 s. (Informatsiia ta dokumentatsiia).

6. Raheel M. Modern textile characterization methods. Marcel Dekker, 1996. — 631 p.

7. DSTU HOST 15902.2:2006. Polotna netkani. Metody vyznachennia strukturnykh kharakterystyk. [Chynnyi vid 2007-10-01]. Derzhspozhyvstandart Ukrainy, 2003. 19 s. (Informatsiia ta dokumentatsiia).

8. Suprun N. P. Materialoznavstvo shveinykh vyrobiv. Materialy dlia odiahu: pidruchnyk dlia stud. vyshchykh navch. zakladiv / N. P. Suprun. - K. : KNUUD, 2009. – 188s.

9. DSTU ISO 7211-6: 2007. Materialy tekstyl'ni. Metody analizu struktury tkanyny. Chastyna 6. Metod vyznachennia poverkhnevoi hustyny tkanyny. [Chynnyi vid 2009-10-01]. Derzhspozhyvstandart Ukrainy, 2009. 15 s. (Informatsiia ta dokumentatsiia).

10. DSTU EN ISO 13934-1:2018 (EN ISO, IDT). Tekstyl. Rozryvni vlastyvyosti tkanyn. Chastyna 1. Vyznachennia maksymalnoho zusyillia ta vydovzhennia za maksymalnoho zusyillia metodom priamokutnoho shmatka. [Chynnyi vid 2018-07-17]. Derzhspozhyvstandart Ukrainy, 2018. 20 s. (Informatsiia ta dokumentatsiia).

11. DSTU ISO 139:2007. Materialy tekstyl'ni. Standartni atmosferni umovy dlia kondytsiuvannia ta vyprobuvannia. [Chynnyi vid 2009-01-01]. Derzhspozhyvstandart Ukrainy, 2009. 12 s. (Informatsiia ta dokumentatsiia).

12. DSTU 4271:2003. Materialy tekstyl'ni z pokryttiam. Metody vyznachennia kharakterystyk pid chas rozryvannia. [Chynnyi vid 2005-07-01]. Derzhspozhyvstandart Ukrainy, 2005. 15 s. (Informatsiia ta dokumentatsiia).

13. DSTU ISO 9237: 2003. Tekstyl. Tkanyny. Vyznachennia povitropornyknosti. [Chynnyi vid 2004-07-01]. Derzhspozhyvstandart Ukrainy, 2004. 12 s. (Informatsiia ta dokumentatsiia).

14. Elmogahzy Y. Engineering Textiles: Integrating the Design and Manufacture of Textile Products. 2nd Edition. — Woodhead Publishing, 2020. — 452 p.

15. Skliannykov V. P. Kompleksnaia otsenka kachestva tkanei po hruppe mekhanicheskikh svoistv. Standart y kachestvo. 1972. № 1. S. 43–45.

ГЕВЛИЧ Іван

Донецький національний університет імені Василя Стуса

<https://orcid.org/0000-0003-2282-0512>e-mail: i.gevlych@donnu.edu.ua

НЕСКОРОДЄВА Тетяна

Донецький національний університет імені Василя Стуса

<https://orcid.org/0000-0003-2474-7697>e-mail: t.neskorodieva@donnu.edu.ua

ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ДИСТАНЦІЙНОГО НАВЧАННЯ В СУЧАСНОМУ ОСВІТНЬОМУ ПРОЦЕСІ

В роботі наведено результати узагальнення восьмирічного досвіду використання дистанційних технологій в освітньому процесі ДонНУ імені Василя Стуса, виокремлені переваги та недоліки навчальної платформи Moodle, IT-сервісів Microsoft та Google для вирішення конкретних освітніх завдань, зроблені висновки, намічені напрями подальших досліджень.

Ключові слова: інформаційні технології, дистанційне навчання, IT-сервіси, Moodle, Microsoft, Google.

HEVLYCH Ivan, NESKORODIEVA Tetiana
Vasyl' Stus Donetsk National University

USE OF DISTANCE LEARNING TECHNOLOGIES IN THE MODERN EDUCATIONAL PROCESS

Distance learning is currently a common practice in the organization of the educational process. For this, various software products tested during the coronavirus pandemic in 2020-2021 and martial law in Ukraine in 2022 are used. At the same time, studies of the use of modern distance technologies in the educational process are devoted to conceptual aspects of the organization of education or are based on various software products. All of the above requires the definition of effective remote technologies for solving various tasks of educational activities in domestic higher educational institutions. The purpose of the work is to study the software products used in the educational process of Vasyl' Stus Donetsk National University, from the point of view of optimization of scientific and educational activities. The article summarizes the practice of using IT technologies at Vasyl' Stus Donetsk National University since its relocation in 2014. This made it possible to determine the advantages and disadvantages of modern use for the organization of the educational process, joint activities, including scientific and educational, platform Moodle, IT services Microsoft Office-365, as well as highlight the most popular services in the academic space. It is noted that Google services today are a strong competitor to Microsoft's IT services, in particular, due to their quality, variety and free of charge. It was established that the availability of practical skills for working in Google Classroom among students requires mastery of this tool for teachers of higher educational institutions in order to make a further decision regarding the effectiveness of solving educational tasks. According to the results of the research, the necessity of combining various IT services, as well as constant training of the participants of the educational process in the skills of their use, was established. The direction of further research is the problem of developing training courses using various distance learning IT services.

Keywords: information technologies, distance learning, IT services, Moodle, Microsoft, Google.

Постановка проблеми

Дистанційне навчання наразі є звичною практикою організації освітнього процесу у вітчизняних закладах дошкільної, загальної середньої, позашкільної, професійної (професійно-технічної), фахової передвищої та вищої освіти. Пандемія коронавірусу протягом 2020-2021 років та воєнний стан в Україні у 2022 році надали можливість не тільки вивчити, а й апробувати різноманітні програмні продукти та зробити висновки щодо їх використання для вирішення конкретних освітніх завдань. Разом з тим, сьогодні відбувається коригування таких програмних продуктів їх розробниками для врахування особливостей складових освітнього процесу, що вимагає ідентифікації ефективних дистанційних технологій для їх застосування в умовах вітчизняної вищої школи.

Аналіз останніх джерел

Використання сучасних дистанційних технологій в освітньому процесі досліджувалося численними науковцями та педагогами-практиками, зокрема, О. Кучай, А. Дем'янюк, Т. Полуховичем, О. Піменовою, В. Швидунюк в роботах [1–3]. Більшість з них присвячено концептуальним моментам організації дистанційного навчання. Дослідження досвіду екстреного дистанційного навчання, спричиненого коронавірусом, в українських закладах вищої освіти, викладеного у монографії за ред. В. Кухаренка та В. Бондаренка [4] дозволило констатувати розмаїття програмних продуктів, що використовуються при організації вітчизняного освітнього процесу. Усе вищевикладене обумовлює необхідність дослідження конкретних програмних продуктів, що використовуються в навчальному процесі Донецького національного університету імені Василя Стуса, з точки зору підвищення ефективності освітньої діяльності.

Метою роботи є дослідження програмних продуктів, що використовуються в освітньому процесі ДонНУ імені Василя Стуса, з точки зору оптимізації наукової та освітньої діяльності.

Виклад основного матеріалу

Як і інші переміщені у 2014-2015 рр. заклади вітчизняної вищої освіти, ДонНУ імені Василя Стуса зіткнувся з викликами організації навчального процесу з обов'язковим використанням дистанційних технологій. Територіальна віддаленість учасників освітнього процесу змусила їх опанувати навички використання таких технологій в екстреному режимі.

На момент переміщення університет вже застосовував навчальну платформу Moodle (Modular Object-Oriented Dynamic Learning Environment), але скоріше для актуалізації лекційного та довідкового

матеріалу, а також проведення форм поточного та підсумкового контролів, ніж для створення комплексної системи E-learning. Вказана навчальна платформа вимагає чіткого структурування хоча б окремих розділів матеріалу на момент формування курсу – наявності лекцій, практичних та тестових завдань, глосарію, додаткового матеріалу тощо, що стало проблемою для економічних та правових дисциплін, викладачі яких мали коректувати навчальний контент у процесі викладання у зв'язку з динамікою вітчизняних нормативних документів та законодавства того часу. Крім того, наявність на момент переміщення близько 30% довоєнного контингенту науково-педагогічного персоналу змусила лекторів швидко розробляти нові курси, що не залишало часу на їх формалізацію на платформі Moodle.

Тим не менше, дана платформа була і залишається ефективною при організації освітнього процесу для окремих категорій здобувачів освіти, особливо, в умовах наявних сьогодні ресурсних обмежень. З 2015 року ДонНУ імені Василя Стуса відновив навчання за курсом «Платформа дистанційної освіти Moodle в навчальному процесі ВНЗ». У 2015 р. у дистанційних курсах на платформі Moodle взаємодіяли 457 здобувачів вищої освіти, у вступну кампанію 2015 року через дану систему здали екзамени 1826 абітурієнтів [5]. Наразі зміст та структура дистанційних курсів університету унормована розробленим Положенням про використання інформаційно-комунікаційних технологій в навчальному процесі Донецького національного університету імені Василя Стуса, а самі курси показали ефективність в опануванні теоретичних знань та практичних навичок здобувачами освіти заочного відділення, тими, хто навчається за індивідуальними графіками, а також в умовах повітряних тривог та відключень електрики. Безкоштовність, відсутність обмежень щодо використання Moodle, різноманітність навчальних інструментів, що забезпечують співпрацю між викладачем та здобувачами освіти, можливості взаємодії у форумах, можливості редагування окремих частин курсу, відслідковування активності здобувачів, зручність електронного журналу оцінок, встановлення обмеження часу на виконання практичних завдань, варіативність тестів з використанням банку питань робить платформу незамінним інструментом для усвідомленого відповідального навчання. Разом з тим в умовах воєнних дій встановлення дефайнів втрачає свою актуальність через незалежність від здобувача причини. Крім того, платформа не дає можливості організації відео-конференцій, які є ефективними чи необхідними в рамках пояснення матеріалу в режимі реального часу, захисту індивідуальних робіт здобувачами освіти тощо. Неможливість організації активної взаємодії учасників освітнього процесу поза межами навчальної дисципліни – кооперації в рамках підготовки здобувачами освіти групових проєктів, спільної методичної чи наукової діяльності викладачів обумовлює потребу залучення додаткових інструментів для оптимізації освітнього процесу.

Вже у 1 семестрі 2014-2015 навчального року ДонНУ імені Василя Стуса змушений був запровадити навчальний процес із застосуванням IT-сервісів Microsoft Office-365, серед яких найбільш популярними та ефективними за вісім років застосування виявилися такі:

- Outlook – забезпечує ефективну комунікацію співробітників та здобувачів освіти, надаючи доступ до корпоративної електронної пошти, контактів і календарів, у тому числі через використання офіційних електронних скриньок структурних підрозділів, масових розсилок інформації тощо;
- Office Online (Word, Excel, PowerPoint) – дозволяє створювати документи і редагувати їх з колегами та здобувачами при спільній роботі з будь-якого пристрою;
- OneDrive for Business – забезпечує збереження робочих та особистих файлів, до яких надається онлайн-доступ з будь-якого пристрою, а також передачу файлів користувачам в межах корпоративних контактів та поза ними;
- SharePoint – дозволяє створювати корпоративні сайти, портали, блоги для спільного використання контенту як співробітниками університету, так і здобувачами освіти.

На жаль, недостатньо використовуються наразі такі сервіси, як Календар (дозволяє створювати та використовувати численні особисті та спільні з іншими користувачами календарі), Skype for Business (організовує кооперацію через обмін повідомленнями, відео- та голосові виклики, мережеві наради), OneNote (надає інструменти перетворення аналогових малюнків та приміток у цифровий текст та вбудовування в нотатки картинок, сканів документів, аудіо- та відеофайлів), Forms (дозволяє організувати опитування, тестування, оцінювання знань із зворотнім зв'язком), Yammer (організовує спілкування з колегами та здобувачами), Planner (дозволяє створювати плани проєктів, контролювати виконання задач, обговорювати поточні проблеми), Video (уможливорює перегляд та збереження відео-файлів, створення каналів, поширення відео), Sway (дозволяє створювати інтерактивні доповіді, презентації, інформаційні буклети, а також поширювати їх), Power BI (перетворює набори даних у візуальні подання з можливостями аналізу та впорядкування).

Найбільш ефективним інструментом гібридної роботи в умовах віддаленого навчання ДонНУ імені Василя Стуса у 2020-2022 рр. виявився Microsoft Teams, що пропонує можливості створення команд та каналів для співпраці в активних просторах із відеоконференціями та файлами, організацію особистих та спільних чатів, розробку календарів, що синхронізуються з Outlook-календарем, створення завдань та їх оцінювання, організацію соціально-емоційного навчання, перегляд рівнів залучення, шаблонів навчання та тенденцій благополуччя для створеного класу. В якості недоліку Microsoft Teams можна відмітити відсутність української локалізації. Microsoft 365, об'явлений до виходу у поточному році, збереже основні інструменти Microsoft Office [6], доповнивши їх новими, апробація яких у навчальному процесі попереду.

Таким чином, можна констатувати, що IT-сервіси Microsoft задовольняють усі потреби організації ефективного освітнього процесу у вищій школі, але є платними та такими, що постійно змінюються, що вимагає додаткового навчання щодо їх використання. Широке застосування IT-сервісів Microsoft у вітчизняних ЗВО пов'язано із наданням безкоштовного доступу до їх сервісів освітнім установам.

Потужним конкурентом ІТ-сервісам Microsoft сьогодні є сервіси Google [7]. Зокрема, для організації та обслуговування навчального процесу можуть знадобитися Google Документи (хмарний офісний пакет, що включає текстовий редактор, табличний редактор і службу для створення презентацій, сумісний з Word, Excel, PowerPoint); Google Drive (онлайн-сервіс зберігання файлів у «хмарному сховищі»); Web Albums (Picasa – програма для роботи з цифровими фотографіями); Календар Google (веб-застосунок для тайм-менеджменту); Google Groups (служба, що створює спільні простори надсилання-отримання електронних листів для визначених електронних адрес); Каталог Google (веб-сайти, впорядковані за тематичним принципом); Google Scholar (пошукова система, що індексує повний текст наукових публікацій всіх форматів); Page Creator (сервіс зі створення найпростіших вебсторінок); Google Sites (сервіс створення повноцінних веб-сторінок для власників аккаунтів Google та незалежних користувачів); Google Translate (система статистичного машинного перекладу слів, текстів, фраз, веб-сторінок), Google Books (сервіс повноцінного пошуку книг) тощо.

Найбільш відомим Google-інструментом організації освітнього процесу, зазвичай, в рамках середньої освіти, є Google Classroom, основною метою якого є оптимізація взаємодії педагогів та здобувачів освіти. Google Classroom об'єднує в собі: Google Drive для створення і обміну завданнями, Google Docs, Sheets and Slides для їх написання, Gmail для спілкування, Google Calendar для розкладу та інші веб-сервіси. Сервіс є доступним з усіх пристроїв онлайн, а також дозволяє мати офлайн-доступ до інформації. Педагог може відстежувати прогрес кожного здобувача, а також обмінятися з ним коментарями щодо виконаного завдання чи освітньої діяльності в цілому. Серед сильних сторін сервісу є простота його використання, доступність з різних пристроїв, наявність ефективних способів поширення завдань, цифровізація освітнього процесу як припинення паперового документообігу, застосування системи швидкого зворотного зв'язку між здобувачами і педагогом.

Наразі більшість учасників освітнього процесу у закладах середньої освіти опанували роботу в Google Classroom, чого не можна сказати про викладачів вищої школи. На нашу думку, наявність практичних навичок роботи з даним інструментом у здобувачів вищої освіти вимагає відповідної реакції викладачів – хоча б спробувати роботу із веб-сервісами Google для оцінки їх ефективності порівняно із ІТ-сервісами Microsoft. Такої думки дотримуються і в Міністерстві освіти і науки України, яке у кооперації з Google Україна організувало дистанційне навчання за програмою «Цифрові інструменти Google для освіти» для освітян закладів дошкільної, загальної середньої, позашкільної, професійної (професійно-технічної), фахової передвищої та вищої освіти [8].

Висновки

Узагальнення восьмирічного досвіду використання дистанційних технологій в освітньому процесі ДонНУ імені Василя Стуса дозволило виокремити переваги та недоліки використання навчальної платформи Moodle, ІТ-сервісів Microsoft та Google для вирішення конкретних освітніх завдань. Констатована необхідність сполучення різних сервісів, а також безперервного навчання учасників освітнього процесу навичкам їх використання.

Ідентифікація проблем розробки навчальних курсів з використанням різних сервісів дистанційного навчання буде напрямом подальших досліджень.

Література

1. Кучай О., Дем'янюк А. Сучасні технології дистанційного навчання. *Гуманітарні студії: історія та педагогіка*. 2021. № 2. С. 77–85.
2. Полухтович Т., Піменова О. Дистанційні технології у навчальному процесі. *Молодий вчений*. 2019. № 2 (66). С. 507–510.
3. Швидун В. М. Щодо використання технологій дистанційного навчання в освіті. *Педагогіка формування творчої особистості у вищій і загальноосвітній школах*. 2020, № 73, Т. 1. С. 101–104.
4. Екстрене дистанційне навчання в Україні : монографія / за ред. В.М. Кухаренка, В.В. Бондаренка. Харків : Вид-во КП «Міська друкарня», 2020. 409 с.
5. Проект «Європейський розвиток Донецького національного університету у Вінниці». URL: <http://eurorozvytok.donnu.edu.ua/pro-proekt>.
6. Microsoft Support. URL: <https://support.microsoft.com/uk-ua>.
7. Support.google. URL: <https://cutt.ly/MMgdXnV>.
8. Цифрові інструменти Google для освіти. URL: <https://cutt.ly/pMghYa3>.

References

1. Kuchai O., & Demianiuk A. (2021) Suchasni tekhnolohii dystantsiinoho navchannia. *Humanitarni studii: istoriia ta pedahohika*, 2, 77-85.
2. Polukhtovych T., & Pimenova O. (2019) Dystantsiini tekhnolohii u navchalnomu protsesi. *Molodyi vchenyi*, 2 (66), 507-510.
3. Shvydun V. M. (2020) Shchodo vykorystannia tekhnolohii dystantsiinoho navchannia v osviti. *Pedahohika formuvannia tvorchoi osobystosti u vyshchii i zahalnoosvitnii shkolakh*, № 73, 101-104.
4. Kukharenko V.M., & Bondarenko V.V. (2020) Ekstrene dystantsiine navchannia v Ukraini. Kharkiv : Vyd-vo KP «Miska drukarnia».
5. Proekt «levropeiskyi rozvytok Donetskoho natsionalnoho universytetu u Vinnytsi». URL: <http://eurorozvytok.donnu.edu.ua/pro-proekt>.
6. Microsoft Support. URL: <https://support.microsoft.com/uk-ua>.
7. Support.google. URL: <https://cutt.ly/MMgdXnV>.
8. Tsyfrovi instrumenty Google dlia osvity. URL: <https://cutt.ly/pMghYa3>.

ГІЛЬОРМЕ Тетяна

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара

<https://orcid.org/0000-0002-9598-6532>e-mail: gillyorme@i.ua

НАКАШИДЗЕ Лілія

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара

<https://orcid.org/0000-0003-3990-6718>e-mail: foton_dnu@ukr.net

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ СПОСОБУ ЕЛЕКТРОТЕПЛОВОГО ЗАХИСТУ СОНЯЧНИХ БАТАРЕЙ В ЕНЕРГОУСТАНОВКАХ КОСМІЧНИХ АПАРАТІВ

Актуальною науково-практичною проблемою енергетичного сталого розвитку космічної діяльності є вибір сонячних батарей для безперебійної подачі енергії в енергоустановках космічних апаратів. Проаналізовано експлуатаційні ризики сонячних батарей в умовах космічної діяльності. Запропоновано використовувати методику оцінювання аналітичного ієрархічного процесу забезпечення електротеплого захисту сонячних батарей в енергоустановках космічних апаратів, що дозволяє отримати множину оптимальних варіантів. Обґрунтовано вибір критеріїв щодо вибору параметрів електротеплого захисту сонячних батарей, що враховують специфіку експлуатаційних ризиків енергоустановок у космічному просторі: забезпечення безперебійної роботи сонячних батарей; доступність в обслуговуванні в позаштатних ситуаціях; термін експлуатації сонячних батарей; вартість сонячних батарей; технічна безпека; масогабаритні показники. Обрано п'ять альтернативних варіантів електротеплого захисту сонячних батарей, що на відміну від існуючих, враховує всі фази життєвого циклу при здійсненні космічної діяльності та значно підвищують експлуатаційні характеристики. Аргументовано, що обрана оптимальна альтернатива «Сонячні батареї із захистом на основі запобіжників, що самовідновлюються» дозволить збільшити активний термін експлуатації і, як наслідок, зменшити кількість ремонтів (поточних та капітальних) сонячних батарей в умовах космічної діяльності. Аргументовано, що запровадження цього варіанту можна досягти збільшення експлуатаційних критеріїв: доступність в обслуговуванні в позаштатних ситуаціях на 26%, термін активної експлуатації на 20% та технічна безпека на 24 %. В статті означено напрями подальшого розвитку даної методики як можливості розробки сценаріїв функціонування сонячних батарей в енергоустановках космічних апаратів на основі зміни та взаємодії параметрів (концептів).

Ключові слова: сонячна батарея, космічний апарат, електротепловий захист, термін експлуатації, технічна безпека.

HILORME Tetiana, NAKASHYDZE Liliya

Oles Honchar Dnipro National University

TECHNICAL AND ECONOMIC SUBSTANTIATION FOR SELECTION OF THE METHOD OF ELECTRO- THERMAL PROTECTION OF SOLAR PANELS IN THE SPACECRAFT POWER PLANTS

An actual scientific and practical problem of the energy sustainable development of space activities is the choice of solar cells for the uninterrupted supply of energy in the power plants of space vehicles. The operational risks of solar cells in the conditions of space activity are analyzed. It is proposed to use the method of evaluating the analytical hierarchical process of providing electrothermal protection of solar cells in power plants of space vehicles, which allows obtaining a set of optimal options. The selection of criteria for the parameters selection of electrothermal protection of solar cells, which take into account the specific operational risks of power plants in outer space, is substantiated: ensuring uninterrupted operation of solar cells; availability of service in extraordinary situations; lifetime of solar cells; the cost of solar panels; technical security; weight and size indicators. Five alternative options for electro-thermal protection of solar cells were chosen, which, unlike the existing ones, take into account all phases of the life cycle during the implementation of space activities and significantly increase operational characteristics. It is argued that the chosen optimal alternative "Solar cells with protection based on resettable fuses" will allow increasing the active service life and, as a result, reducing the number of repairs (current and capital) of solar cells in the conditions of space activities. It is argued that the introduction of this option can achieve an increase in operational criteria: service availability in non-staff situations by 26%, the term of active operation by 20% and technical safety by 24%. The article defines the directions for the further development of this technique as the possibility of developing scenarios for the operation of solar cells in power plants of space vehicles based on the change and interaction of parameters (concepts).

Key words: solar cell, space vehicle, electrothermal protection, service life, technical safety.

Постановка проблеми

Бурхливий розвиток сонячної енергетики сучасності актуалізує науковий пошук у площині розробок енергоефективних технологій як у Космосі, так і на Землі. Одним з ефективних джерел енергії у космічної діяльності є використання сонячної енергії. Функціонування сонячних батарей (СБ) в умовах космосу, космосі, де не існує атмосфери, хмар, зміни дня і ночі, дозволяє отримати сонячної енергії значно більше ніж на земній поверхні [1]. Однак екстремальні чинники функціонування сонячних батарей (СБ) у космосі формує необхідність ретельного обґрунтування параметрів їх вибору конструктивних елементів пристрою, особливо з огляду на елементи захисту від перегріву та перенавантаження.

Необхідно зазначити, що в умовах збільшення потреби у енергії приділяється значна увага розробкам методів і засобів запобігання електричних і теплових перенавантажень в сонячних елементах СБ

[2]. Зокрема, активно розвиваються методичні підходи, які ґрунтуються на використанні сонячних елементів (СЕ) з низькими напругами зворотного пробію, схемотехнічних рішень із обвідними діодами й активними перемикачами, з врахуванням автоматизованих систем спостереження за електричними параметрами у процесі їхнього функціонування тощо [3–5]. Однак, зазначені підходи не є універсальними та малоефективними. Як правило, ці підходи вимагають складних схемних рішень і значних грошових витрат.

Аналіз останніх джерел

При проведенні контент-аналізу літературних джерел виявлено, що сучасною тенденцією у світі є зростання попиту на підвищення ефективності та надійності таких відновлюваних джерел енергії, як сонячні батареї [6]. Актуальним є пошук і розробка технологій захисту їхніх компонентів від електричних і теплових перенавантажень з метою збільшення терміну служби і недопущення нештатних (зокрема пожежонебезпечних) ситуацій.

На сучасному етапі розвитку технологічної платформи має місце спрямованість інженерно-технічних рішень на розробки надійних, дешевих, технологічних методів і засобів запобігання появи локальних перегрівів електричного походження (зокрема «гарячих плям») в фотоелектричних системах сонячних електростанцій.

На сьогодні наявні декілька напрямків розробки методів і засобів запобігання електричних і теплових перенавантажень в сонячних батареях.

Серед них – удосконалення схемотехнічних технологій на основі обвідних діодів, які включають в себе активні обвідні перемикачі. Обвідні діоди допомагають обмежити максимальну потужність. Але недоліком даного технічного рішення є те, що рівень потужності, яку можливо отримати, залежить від кількості сонячних елементів у рядку підпанелі. Серія рядків з великою кількістю СЕ буде розсіювати більше тепла, ніж рядки з меншою їх кількістю [8]. Тобто, обвідні діоди більш ефективні в усуненні електричних і теплових перенавантажень для коротких довжин рядків СЕ.

Відомі приклади [9] використання обвідних діодів у кожній комірці СБ і вбудовування обвідного діоду в СЕ. Однак при впровадженні зазначеного підходу, тобто додавання дискретних або вбудованих обвідних діодів на рівні окремих СЕ, необхідно проводити економічну оцінку доцільності. Очевидна ймовірність істотного збільшення вартості системи генерування, що важливо як для наземної, так і для космічної енергетичної галузі.

Прикладом такого підходу є активні комутаційні рішення [10], які також скорочують підрядок (підпанель) СЕ при їх обводі. Підхід активного обвідного перемикача зменшує напругу і втрати потужності в лінії СЕ у ситуації струмового обводу й цим самим зменшує ймовірність появи електричних і теплових перенавантажень в сонячних батареях.

Також наявні технології застосування виявлення й активного захисту, які базуються на технологіях відстеження точки максимальної потужності, тобто МРРТ (Maximum Power Point Tracking) компонентів сонячних батарей.

Цей метод спирається на оптимізацію режимів роботи окремих частин СБ. Як приклад такого підходу можна вказати наведені в [11] результати випробувань поведінки окремих ділянок СБ при електричних і теплових перенавантажнях при застосуванні центрального та розподіленого МРРТ. Недоліком такого технічного рішення є наявність необхідності проведення оцінювання ефективності для різних умов експлуатації. Так розподілений МРРТ більше ефективним, в умовах затінення більшої поверхні однієї комірки, чим при використанні центрального МРРТ.

Ще один з методів запобігання електричних і теплових перенавантажень в сонячних батареях, це використання сонячних елементів, які мають невеликі амплітуди напруги зворотного пробію, або захист за методом від розімкнутого контуру [12]. Такі СЕ виявляють максимальну потужність розсіювання при повному затіненні. Відомо, що потужність розсіювання пропорційна напрузі пробію. Таким чином, зниження величини пробивної напруги також знижує максимально можливу потужність, що розсіюється в СЕ. Проте СЕ з низькими характеристиками зворотного пробію також стають зворотно зміщеними і розсіюють тепло. Недоліком даного підходу є те, що цей підхід ефективний тільки в тому випадку, коли СЕ розсіює тепло, не викликаючи пошкоджень.

Одним із відомих методів запобігання електричних і теплових перенавантажень в сонячних батареях є використання блокуючих діодів, як елемент стабілізації функціонування фотоелектричних модулів.

Необхідно розглянути основні способи електротеплового захисту сонячних батарей сучасності. Насамперед, за допомогою використання таких технічних засобів: плавкі запобіжники; шунтуючі діоди; запобіжники, що самовідновлюються; шунтуючі та обвідні діоди; обмежувачі напруги та автоматичні запобіжники.

Насамперед, необхідна розробка електротеплового захисту сонячних батарей в енергоустановках космічних апаратів з метою підвищення надійності та ефективності елементів комутації. Також актуальними напрямками досліджень є активізація пошуку інноваційних менш затратних та технологічних при обслуговуванні елементів електричного захисту й зменшення масогабаритних показників.

Метою роботи є удосконалення методичного підходу техніко-економічного обґрунтування забезпечення електротеплового захисту сонячних батарей в енергоустановках космічних апаратів. Це дасть

можливість підвищити ефективність функціонування сонячних батарей в енергоустановках у позаштатних режимах функціонування космічних апаратів.

Основними завданнями є: визначити альтернативні варіанти забезпечення електротеплового захисту сонячних батарей в енергоустановках космічних апаратів; визначити критерії щодо вибору параметрів забезпечення електротеплового захисту сонячних батарей в енергоустановках космічних апаратів; виконати багатокритеріальний аналіз забезпечення електротеплового захисту сонячних батарей в енергоустановках космічних апаратів.

Виклад основного матеріалу

Науковим методом, на основі якого здійснюється вибір альтернативних варіантів сонячних батарей в енергоустановках космічних апаратів, пропонується обрати метод аналізу ієрархій (MAI, ієрархічного процесу). Запропонований Томасом Сааті ще у 70-і роки минулого століття є актуальним інструментом багатокритеріального аналізу сучасності [7].

Вибір оптимального варіанта електротеплового захисту сонячних батарей в енергоустановках космічних апаратів здійснюється за допомогою відповідної ієрархічної структури, яка складається, зазвичай, з трьох рівнів. На першому рівні визначається мета – визначення ефективності функціонування СБ в енергоустановках космічних апаратів (КА). На другому рівні окреслюються критерії, за допомогою яких здійснюється оцінка варіантів стосовно виконання мети. На третьому рівні описуються альтернативні рішення щодо забезпечення захисту сонячних батарей в енергоустановках космічних апаратів. Проаналізуємо другий та третій рівні більш детально.

При аналізі та виборі сонячних батарей відповідно до результатів дослідження доцільно враховувати такі критерії параметри (K1–K6).

K1. Забезпечення безперебійної роботи сонячних батарей, надає можливість якісного безперебійного генерування стабільного вихідного струму. Безперервне функціонування пристрою без втрати максимальної потужності. Це визначається через такі показники: забезпечення стабільністю частоти, відсутністю гармонійних спотворень і стрибків по напрузі.

K2. Доступність в обслуговуванні в позаштатних ситуаціях. Позаштатними ситуаціями при експлуатації сонячних батарей в умовах космосу є: не розкриття батарей, пожар, деформація (вплив космічної погоди, сонячні цикли, метеорити) тощо. Неможливість здійснити ремонт сонячних батарей, особливо сонячних ферм на міжнародній космічній станції, повністю/частково залишає космічні апарати без енергії.

K3. Термін експлуатації сонячних батарей. Якщо сонячні батареї на Землі мають термін експлуатації 3–5 років, то в умовах космосу монокристалічні сонячні батареї мають термін експлуатації 15–20 років. У економічному аспекті необхідно врахувати приведений термін окупності у зміни вартості в експлуатації та обслуговуванні. А саме термін активної експлуатації сонячних батарей.

K4. Вартість сонячних батарей. Вартість створення може бути визначена шляхом підсумовування вартості виготовлення (витрати на створення, випробування та роботи по збірці), експлуатації та обслуговуванні (O&M).

K5. Технічна безпека. Технічна безпека виявляється у збільшенні надійності технічних характеристик складових фотоелектричних модулів через сумарне підвищення надійності: сонячних елементів, елементів захисту, елементів комутації та інженерних конструкцій.

K6. Масагабаритні показники. Основними бажаними результатами забезпечення електротеплового захисту сонячних батарей є: забезпечення суттєвого зменшення масогабаритних розмірів; забезпечення максимальної електричної потужності на одиницю маси. У зв'язку з тим, що сонячні бататерії доставляються на орбіту Землі шатлом, виникає проблема існування значення маси корисного вантажу космічного апарату.

Варіант V1. «Сонячні батареї без захисту» є базовим, якщо використовуються додаткові засоби електротеплового захисту сонячних батарей, це варіанти V2–V6.

Варіант 2 (V2). Сонячні батареї захищені плавкими запобіжниками. У роботі [13] розглянуто особливості функціонування плавких запобіжників як пристроїв захисного відключення одноразової дії. Проте використання таких пристроїв в умовах космосу є неефективним. Насамперед, за рахунок малодоступності в обслуговуванні в типових та позаштатних ситуаціях. У роботі [14] зазначено, що більш ефективним пристроєм для захисту електричних ланцюгів фотоелектричних систем від імпульсних перепадів є автоматичні вимикачі. Автоматичні вимикачі, на відміну плавких запобіжників, розраховані на багаторазове спрацювання.

Варіант 3 (V3). Сонячні батареї із захистом на основі запобіжників, що самовідновлюються. У дослідженні [3] запропоновано використання твердотільних комбінованих структур на основі варисторної кераміки, матеріалів з критичними терморезистивними властивостями, позисторних полімерних нанокомпозитів з фазовим переходом. Це дозволить підвищити надійність елементів комутації, що запобігатимуть руйнуванню сонячних елементів, яке виникає при розігріві темновим струмом («гарячі плями», пожежонебезпечні ситуації). Самовідновлювані запобіжники на основі полімерних композитів з нановуглецевими наповнювачами функціонують як багаторазові запобіжники, які не потребують заміни, не мають впливу на роботу фотоелектричної системи сонячної батареї в нормальному режимі і спрацювають, виконуючи функцію розмикання, в позаштатних ситуаціях, пов'язаних з перегрівом. Доцільним є послідовне підключення запобіжників «PolySwitch» до фотоелектричних систем сонячних батарей в їх паралельному

з'єднанні (рядку), що може запобігти аномальній ситуації – повній втраті електричної енергії, що генерується таким рядком, яка може статися при короткому замиканні одного з його модулів.

Варіант 4 (V4). Сонячні батареї захищені шунтуючими діодами. У роботі [4] запропоновано конструкцію нових діодів – нові багатошарові комутуючі шини діодів на основі молибдену, завдяки яким діоди витримують понад сімсот термоударів. Проте не здійснено аналізу цих конструкцій в умовах космосу при екстремальній ситуації – досягнення Сонця максимальної сонячної активності.

Варіант 5 (V5). Сонячні батареї захищені шунтуючими та обвідними діодами. Загальний гарантійний термін експлуатації діодів нового покоління становить 20,5 років. Але відповідно до існуючим стандартам/керівним принципам міжнародних організацій у сфері космічної сталої діяльності [15]: максимальний термін служби техніки на орбіті заввишки до 2000 км не повинен перевищувати 25 років. Тому необхідно створювати способи електротеплового захисту СБ, які підвищать термін активної експлуатації діодів до 25 років.

Варіант 6 (V6). Сонячні батареї захищені обмежувачами напруги та автоматичними запобіжниками. Тепловий розчіплювач (біметалічна пластина) працює за температурою, і що вище струм тим вище нагрівання пластини, і швидше час спрацювання. При струмі, що протікає через автомат рівним його номіналу, автомат повинен спрацювати протягом години в залежності від температури. Проте не зазначено взаємозалежність підвищення температури СБ та терміну включення автоматичного запобіжника.

Отже, перший крок методу аналізу ієрархій полягає в декомпозиції та представленні задачі в ієрархічній формі [16]. Тобто ієрархію можна поділити на підієрархії, що мають спільним найвищий елемент. Закон ієрархічної безперервності вимагає: елементи нижчого рівня повинні попарно порівняти відносно елементів наступного рівня до вершини ієрархії.

На другому етапі визначається обґрунтування вибору на кожному рівні за допомогою експертної матриці Т. Сааті за правилом попарного порівняння [7]:

$$\begin{cases} K_1 = K_2, K_1 = K_3 \\ 2K_2 = 5K_3 \vee K_2 = 5/2K_3 \rightarrow \\ K_3 = 2/5K_2 \\ \frac{K_2}{K_3} = \frac{5}{2}, \frac{K_3}{K_2} = \frac{2}{5} \end{cases}, \quad (1)$$

де K_i – i -е значення порівняльного критерію.

Після розрахунків за (1), будується матриця попарних порівнянь у табличному вигляді. Потім, для подальшого складання скалярного ланцюга, визначається той чинник, який отримує максимальну кількість балів у Матриці попарних порівнянь.

Процедура методу аналітичного ієрархічного процесу має вбудований критерій якості вибору параметрів – індекс узгодженості (IC). Він надає інформацію стосовно ступеню порушення чисельної (кардинальної) та транзитивної (порядкової) узгодженості суджень. Індекс узгодженості Матриці попарних порівнянь визначається (IC) [16]:

$$IC = \frac{\lambda - m}{m - 1}, \quad (2)$$

де IC – індекс узгодженості;

λ – власне число;

m – кількість порівнювальних критеріїв.

У табл. 1 розглянуто основні критерії вибору варіантів сонячних батарей в енергоустановках космічних апаратів на основі обраних варіантів та показників.

Таблиця 1

Критерії вибору варіантів сонячних батарей в енергоустановках космічних апаратів

№ п/п	Критерії	Варіанти сонячних батарей в енергоустановках космічних апаратів					
		V1	V2	V3	V4	V5	V6
1	Забезпечення безперебійної роботи сонячних батарей	1,0	1,08	1,32	1,12	1,24	1,22
2	Доступність в обслуговуванні в позаштатних ситуаціях	1,0	1,06	1,26	1,14	1,13	1,18
3	Термін експлуатації сонячних батарей, роки	15	15	20	18	18	17
4	Вартість сонячних батарей, доларів/кв. м	105	107	125	130	140	120
5	Технічна безпека, частка	1,0	1,05	1,24	1,1	1,15	1,1
6	Масогабаритні показники, частка	1,0	1,1	1,15	1,2	1,25	1,3

Джерело: авторські розрахунки

Необхідно зазначити наступне стосовно показників. Критерії K4– K6 визначаються за таким постулатом. Як базовий варіант, V1 має величину критеріїв K4–K6 за (1). Зміни варіантів V2–V6 це сума

базового варіанту та зміна відповідних показників. Аналітично можна подати у такому вигляді: $1 \pm$ зміна частки. Наприклад, якщо критерій K4 змінюється на 10%, то у кінцевому вигляді: $1+0,1=1,1$ (частка).

Обмеження тривалого існування космічної техніки на навколоземних орбітах вимагає розв'язання багатокритеріального аналізу визначення критеріїв вибору варіантів електротеплового захисту сонячних батарей в енергоустановках космічних апаратів.

Результати побудови матриці критеріїв вибору варіантів електротеплового захисту сонячних батарей в енергоустановках космічних апаратів у табл. 2. Розрахунок відбувається за (1).

Таблиця 2

Матриця критеріїв вибору варіантів електротеплового захисту сонячних батарей в енергоустановках космічних апаратів

Критерії	K1	K2	K3	K4	K5	K6	Оцінка компонента власного вектора	Нормалізовані оцінки векторів пріоритетів
K1	1	9	3	0.333	0.333	0.5	1.0696	0.1299
K2	0.111	1	0.125	0.111	0.111	0.143	0.1704	0.0207
K3	0.333	8	1	0.333	0.25	2	0.8734	0.1061
K4	3	9	3	1	0.3333	2	1.9445	0.2362
K5	3	9	4	3	1	3	3.1479	0.3824
K6	2	7	0.5	0.5	0.333	1	1.0260	0.1246
Сума							8	X

Джерело: авторські розрахунки

Здійснимо ранжування критеріїв вибору варіантів електротеплового захисту сонячних батарей в енергоустановках космічних апаратів. 1 ранг – K5 (0,3824); 2 ранг – K4 (0,2362); 3 ранг – K6 (0,1299); 4 ранг – K1 (0,1246); 5 ранг – K2 (0,1061); 6 ранг – K3 (0,0207). Необхідно зазначити, що критерії «Вартість сонячних батарей» та «Масогабаритні розміри» оптимумом мають мінімальне значення. Інші чотири критерії – максимальне значення.

Об'єктивність оцінки критеріїв визначається відношенням узгодженості (AR) [7]:

$$AR = \frac{IC}{AM} \times 100\%, \quad (3)$$

де AR – відношення узгодженості;

AM – середні узгодженості для випадкових матриць різного порядку.

Наприклад, значення показника AM матриці 6×6 дорівнює 1,24.

Відповідно до [22] повинна виконуватися умова: $AR \leq 10\%$.

Здійснимо об'єктивність оцінки критеріїв вибору варіантів електротеплового захисту сонячних батарей в енергоустановках космічних апаратів. Індекс узгодженості матриці, розрахований за (2), складає 0,116, тоді відношення узгодженості, розрахований за (3), 9,33%. Виконується умова: $9,33\% < 10\%$.

Таблиця 3

Матриця порівняння варіантів електротеплового захисту сонячних батарей в енергоустановках космічних апаратів за критерієм K1 «Забезпечення безперебійної роботи сонячних батарей»

Варіанти	V1	V2	V3	V4	V5	V6	Оцінка компонента власного вектора	Нормалізовані оцінки векторів пріоритетів
V1	1	2	6	2	3	0.25	1.6189	0.1791
V2	0.5	1	3	1	2	0.1429	0.8683	0.0961
V3	0.1667	0.333	1	0.25	0.5	0.1111	0.3028	0.0335
V4	0.5	1	4	1	2	0.1667	0.9347	0.1034
V5	0.333	0.5	2	0.5	1	0.125	0.5246	0.0580
V6	4	7	9	6	8	1	4.7912	0.52997
Сума							9.040	X

Джерело: авторські розрахунки

За кожним із шістьох критеріїв вибору варіантів електротеплового захисту сонячних батарей в енергоустановках космічних апаратів необхідно побудувати відповідні матриці порівняння. Розрахунок відбувається за (1). У зв'язку з тим, що для всіх критеріїв розрахунок ідентичний, у якості прикладу наведемо тільки результати порівняння варіантів електротеплового захисту сонячних батарей в енергоустановках

космічних апаратів за критерієм K1 «Забезпечення безперебійної роботи сонячних батарей» (табл. 3).

Здійснено ранжування порівняння варіантів електротеплового захисту сонячних батарей в енергоустановках космічних апаратів за критерієм K1 «Забезпечення безперебійної роботи сонячних батарей». 1 ранг – V6 (0,52997); 2 ранг – V1 (0,1791); 3 ранг – V4 (0,1034); 4 ранг – V2 (0,0961); 5 ранг – V5 (0,0580); 6 ранг – V3 (0,0335).

Здійснено об'єктивність оцінки порівняння варіантів електротеплового захисту сонячних батарей в енергоустановках космічних апаратів за критеріями K1-K6 (рис. 1).

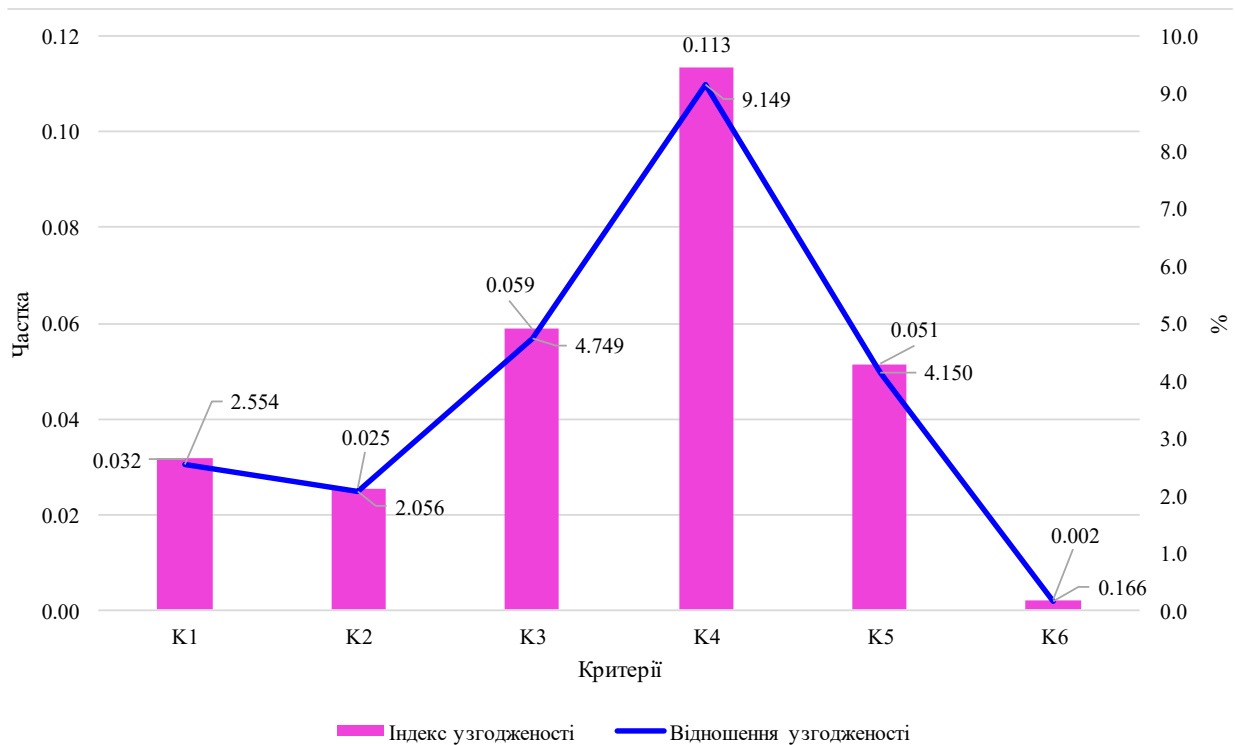


Рис. 1. Результати розрахунку індексу узгодженості (IC) та відношення узгодженості (AR) для критеріїв вибору варіантів електротеплового захисту сонячних батарей в енергоустановках космічних апаратів

Джерело: розроблено авторами

Відповідно до результатів індексу узгодженості (IC) та відношення узгодженості (AR) для критеріїв вибору варіантів електротеплового захисту сонячних батарей в енергоустановках космічних апаратів (рис. 1) можна зробити такий висновок. Для всіх розрахованих показників відношення узгодженості виконується умова $AR \leq 10\%$.

Визначення глобальних пріоритетів критеріїв вибору варіантів визначається (K^g) [16]:

$$K^g = \sum_{i=1}^m B_{norm} \times B_e. \quad (4)$$

де K^g – глобальний пріоритет критеріїв вибору варіантів;
 B_{norm} – нормалізована оцінка векторів пріоритетів критеріїв;
 B_e – оцінка компонента власного вектору критерію.

Обирається альтернативний варіант, який відповідає умові: $K^g \rightarrow \max$.

Результати визначення глобальних пріоритетів критеріїв вибору варіантів електротеплового захисту сонячних батарей в енергоустановках космічних апаратів у табл. 4. Розрахунок відбувається за (4).

Здійснено ранжування вибору альтернативних варіантів електротеплового захисту сонячних батарей в енергоустановках космічних апаратів. 1 ранг – «V3» (0,2928); 2 ранг – «V2» (0,1791); 3 ранг – «V4» (0,1549); 4 ранг – «V6» (0,1562); 5 ранг – «V1» (0,1189); 6 ранг – «V5» (0,0981).

Необхідно зазначити, що критерії «Вартість сонячних батарей» та «Масогабаритні розміри» оптимумом мають мінімальне значення. Інші чотири критерії – максимальне значення.

Здійснене ранжування критеріїв вибору варіанта V3 сонячних батарей в енергоустановках космічних апаратів показало такі результати. 1 ранг – K5 (0,423); 2 ранг – K6 (0,3752); 3 ранг займають два параметра K4 (0,2424); 4 ранг – K3 (0,2062); 5 ранг – K2 (0,0365); 6 ранг – K1 (0,0335). Тобто, за даними побудованої матриці параметрів вибору варіантів сонячних батарей в енергоустановках космічних апаратів (табл. 2) кореспондує відповідність рангів за таким критерієм: 1 ранг – «Технічна безпека». Це дійсно, пріоритетний критерій при виборі варіанта сонячних батарей в енергоустановках космічних апаратів.

Таблиця 4

Визначення глобальних пріоритетів критеріїв вибору варіантів електротеплового захисту сонячних батарей в енергоустановках космічних апаратів

Альтернативні варіанти	Критерії						Глобальні пріоритети
	K1	K2	K3	K4	K5	K6	
	Чисельне значення вектору пріоритету						
	0.1299	0.0207	0.1061	0.2362	0.3824	0.1246	
V1	0.1791	0.1047	0.1636	0.1375	0.0820	0.0984	0.1189
V2	0.0961	0.1047	0.1636	0.1375	0.2355	0.1968	0.1791
V3	0.0335	0.0365	0.2062	0.2424	0.4230	0.3752	0.2928
V4	0.1034	0.1128	0.1067	0.1775	0.1604	0.1968	0.1549
V5	0.0580	0.0633	0.1076	0.1786	0.0612	0.0984	0.0981
V6	0.5300	0.5780	0.2523	0.1265	0.0379	0.0344	0.1562

Джерело: авторські розрахунки

При цьому кількісний розрив за критеріями відповідно до даних табл. 2, 3 (оптимальний варіант V3) складає: K1 +0,0964; K2 -0,0159; K3 -0,1001; K4 -0,0062; K5 -0,0406; K6 -0,2505 (рис. 2). Загальний розрив критеріїв складає -0,3167.

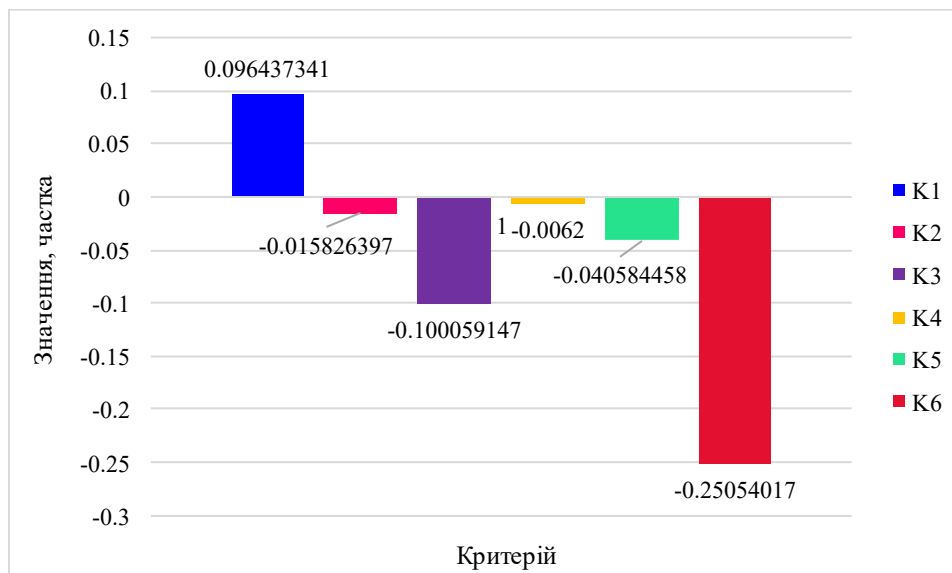


Рис. 2. Кількісний розрив за глобальними пріоритетами оптимальної альтернативи (V3) та нормалізованого вектору критеріїв
Джерело: розроблено авторами

Це свідчить про те, що параметри вибору варіанта V3 сонячних батарей в енергоустановках космічних апаратів показало такі результати, які незначно менше (31,67%) нормалізованої оцінки векторів пріоритетів.

Висновки

Визначено критерії щодо вибору параметрів електротеплового захисту сонячних батарей в енергоустановках космічних апаратів: забезпечення безперебійної роботи сонячних батарей; доступність в обслуговуванні в позаштатних ситуаціях; термін експлуатації сонячних батарей; вартість сонячних батарей; технічна безпека; масогабаритні показники. Саме ці критерії дозволяють оцінити ефективність функціонування СБ в умовах космічної діяльності.

Обрано п'ять альтернативних варіантів електротеплового захисту сонячних батарей: захищені плавкими запобіжниками; із захистом на основі запобіжників, що самовідновлюються; захищені шунтуючими діодами; захищені шунтуючими та обвідними діодами; захищені обмежувачами напруги та автоматичними запобіжниками. Ці варіанти дозволяють здійснювати електротепловий захист на весь період активної експлуатації та підвищувати експлуатаційні параметри базових СБ.

Виконано багатокритеріальний аналіз забезпечення електротеплового захисту сонячних батарей в енергоустановках космічних апаратів. Це дозволило обрати найефективніший альтернативний варіант, а саме – сонячні батареї із захистом на основі запобіжників, що самовідновлюються. Здійснено ранжування розрахованих критеріїв щодо вибору параметрів та визначено кількісний розрив глобальних пріоритетів. Це

дозволяє здійснити поглиблене оцінювання рівня пріоритетності альтернативних варіантів з їх подальшою градацією на підставі отриманих результатів.

References

1. Abdmouleh Z., Gastli A., Ben-Brahim L., Haouari M., and Al-Emadi N. A. Review of optimization techniques applied for the integration of distributed generation from renewable energy sources. *Renewable Energy*, vol. 113, P. 266–280, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.05.087>
2. Nakashidze L., Hilorme T., and Nakashydzhe I. Substantiating the criteria of choosing project solutions for climate control systems based on renewable energy sources. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, vol. 3, no. 3 (105), P. 42–50, 2020. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.201527>
3. Nakashydzhe L., Gabrinets V., Mitikov Y., Alekseyenko S., and Liashenko I. Determination of features of formation of energy supply systems with the use of renewable energy sources in the transition period. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, vol. 5, no. 8(113), P. 23–29, 2021. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.243112>
4. Chang R. D., Zuo J., Zhao Z. Y., Zillante G., Gan X. L., and Soebarto V. Evolving theories of sustainability and firms: History, future directions and implications for renewable energy research. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 72, P. 48–56, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.01.029>
5. Xu X., Wei Z., Ji Q., Wang C., and Gao G. Global renewable energy development: Influencing factors, trend predictions and countermeasures. *Resources Policy*, vol. 63, 101470, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2019.101470>
6. Ibidunni A. S., Ogunnaike O. O., and Abiodun A. J. Extending the knowledge strategy concept: linking organizational knowledge with strategic orientations. *Academy of Strategic Management Journal*, vol. 16, no. 3, 2017. URL: <http://eprints.covenantuniversity.edu.ng/11867/#.XsJBdYgzZPZ>
7. Saaty T. L. Decision making with the analytic hierarchy process. *International journal of services sciences*, vol. 1, no. 1, P. 83–98, 2008.
8. Acciari G., Graci D., and La Scala A. Higher PV module efficiency by a novel CBS bypass. *IEEE transactions on power electronics*, vol. 26, no. 5, P. 1333–1336, 2010. <https://doi.org/10.1109/TPEL.2010.2095469>
9. Solórzano J., and Egido M. A. Hot-spot mitigation in PV arrays with distributed MPPT (DMPPT). *Solar Energy*, vol. 101, P. 131–137, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2013.12.020>
10. Che L., Zhang X., Shahidehpour M., Alabdulwahab A., and Abusorrah A. Optimal interconnection planning of community microgrids with renewable energy sources. *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 8, no. 3, P. 1054–1063, 2017. <https://doi.org/10.1109/TSG.2015.2456834>
11. Karabegović I., and Doleček V. Development and Implementation of Renewable Energy Sources in the World and European Union. *Contemporary materials*, vol. 2, no. 6, P. 130–148, 2017. <https://doi.org/10.7251/COMEN1502130K>
12. Ghimire L. P., and Kim Y. An analysis on barriers to renewable energy development in the context of Nepal using AHP. *Renewable energy*, vol. 129, P. 446–456, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.06.011>
13. Nakashydzhe L. V., Gabrinets V. O., Tytarenko I. V., Hilorme T. V., Sokol G. I., Tonkoshkur S. O. etc. Providing energy-saving technologies: technical, ecological and economic aspects. New York: Yunona Publishing, 2019.
14. Dubey R., Gunasekaran A., Papadopoulos T., Childe S. J., Shihin K. T., and Wamba S. F. Sustainable supply chain management: framework and further research directions. *Journal of Cleaner Production*, vol. 142, P. 1119–1130, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.03.117>
15. Guidelines for the Long-term Sustainability of Outer Space Activities (2018). Committee on the Peaceful Uses of Outer Space. URL: https://www.unoosa.org/res/oosadoc/data/documents/2018/aac_1052018crp/aac_1052018crp_20_0_html/AC105_2018_CRP20E.pdf
16. Drobyazko S., and Hilorme T. Methods for evaluating technical innovations in the implementation of energy-saving measures in enterprises. *MethodsX*, 101658, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.mex.2022.101658>

ДЗІУРБАН Едуард

Хмельницький національний університет

e-mail: eduard.dziurban@gmail.com

ЯШИНА Оксана

Хмельницький національний університет

<https://orcid.org/0000-0001-7816-1662>e-mail: oksana.yashyna@ukr.net

МЕТОД ОЦІНКИ ОБ'ЄКТНО-ОРІЄНТОВАНИХ ПРОГРАМНИХ СИСТЕМ НА ОСНОВІ АНАЛІЗУ ЗМІНИ ВИМОГ ДО ПРОГРАМНОЇ СИСТЕМИ

Добре відомий факт, що технічне обслуговування програмного забезпечення відіграє важливу роль і набуває важливого значення в життєвому циклі програмного забезпечення. Оскільки об'єктно-орієнтоване програмування давно вже стало стандартом, дуже важливо розуміти проблеми підтримки об'єктно-орієнтованих програмних систем та спосіб виявлення їх потенційних місць виникнення. Ця стаття спрямована на оцінку об'єктно-орієнтованих систем за допомогою аналізу зміни вимог до програмної системи. Основні проблеми порушені в статті: покращення алгоритму аналізу впливу зміни не функціональних вимог до програмної системи на функціональні та їх наслідування.

Попит на ефективне програмне забезпечення зростає з кожним днем, і впровадження об'єктно-орієнтованого проектування програмних систем здатне задовольнити цей попит, оскільки це, мабуть, найпотужніший механізм розробки ефективних програмних систем. Це може допомогти не тільки зменшити витрати, але й розробити високоякісне системне програмне забезпечення. Розробникам програмного забезпечення потрібні відповідні показники для розробки ефективної системи програмного забезпечення. Ця стаття спрямована на дослідження методів оцінки об'єктно-орієнтованої програмної системи за допомогою аналізу впливу змін функціональних вимог до програмного забезпечення за допомогою не функціональних вимог.

Незважаючи на те, що об'єктно-орієнтований підхід має багато переваг, а також він є найпоширенішим зараз та буде таким у майбутньому, його практичність буде доведена лише тоді, коли аспекти управління процесом розробки програмного забезпечення за допомогою цієї методології буде ретельно розглянуто. Саме тут показники програмного забезпечення відіграють важливу роль, забезпечуючи краще планування, зменшення ризиків, раннє виявлення потенційних проблем, оцінку якості та ефективності. У цій статті пропонується набір показників, які найкраще підходять для оцінки використання основних концепцій об'єктно-орієнтованої парадигми, таких як наслідування, інкапсуляція, поліморфізм та повторне використання коду, які однозначно відповідають за підвищення якості програмного забезпечення та продуктивності розробки.

Ключові слова: об'єктно-орієнтована архітектура, аналіз, оцінка, програмна система, зміна алгоритму аналізу впливу, наслідування функціональності.

DZIURBAN Eduard, YASHYNA Oksana

Khmelnitskyi National University

METHOD OF EVALUATION OF OBJECT-ORIENTED SOFTWARE SYSTEMS BASED ON THE ANALYSIS OF CHANGES IN THE SOFTWARE SYSTEM REQUIREMENTS

It is a well-known fact that software maintenance plays an important role and becomes important in the software life cycle. Since object-oriented programming has long become the standard, it is very important to understand the problems of maintaining object-oriented software systems, and how to avoid them by identifying potential gaps in the software system as early as the design analysis. This article is aimed at evaluating object-oriented systems using the analysis of changes in the requirements for the software system. The main problems raised in the article are the change of the algorithm for analyzing the impact of changing non-functional requirements on functional ones and their inheritance.

The demand for efficient software is increasing day by day, and the adoption of object-oriented design of software systems is able to satisfy this demand, as it is perhaps the most powerful mechanism for developing efficient software systems. This can not only help in reducing the cost but also helps in developing high quality system software. Software developers need appropriate metrics to develop an effective software system. This practice is aimed at researching methods for evaluating an object-oriented software system using software impact analysis based on tracking requirements to changes in functional requirements using non-functional requirements.

Although there are many advantages to the object-oriented approach, and the fact that this approach is the most widespread now and will be in the future, it will be truly recognized, proven and practical only when the management aspects of the software development process using of this methodology will be carefully considered. This is where software metrics play an important role, enabling better planning, evaluating improvements, reducing unpredictability, early detection of potential problems, and evaluating performance. This paper proposes a set of metrics best suited to evaluate the use of core concepts of the object-oriented paradigm, such as inheritance, encapsulation, polymorphism, and a strong emphasis on code reuse, which are uniquely responsible for increasing software quality and development productivity.

Keywords: object-oriented architecture, analysis, evaluation, software system, change of impact analysis algorithm, imitation of functionality.

Постановка проблеми

Існує декілька стандартів відстеження змін до вимог програмної системи. Це, зокрема ISO15504 та CMMI. Також за останні десятиліття було розроблено декілька методик для забезпечення вимог до власне відстеження цих змін. Більшість традиційних методів схожі на два найбільш відомих, це Trace-based Impact Analysis Methodology (TIAM), та Work Product Model (WoRM). Згадані методології дають передбачуване

значення для знаходження класів зі схожими змінами. Методологія TIAM призначена більше для планування, ніж для прямого впровадження змін. TIAM потенційно може бути використана для оцінки ризиків щодо нестабільності вимог. У випадку проектних змін існують певні наслідки застосування об'єктно-орієнтованого підходу. На практиці було виявлено, що архітектори-початківці мають проблеми зі створенням класів та кругообігом між декларативними та процедурними аспектами рішення. Відповідно, має місце впровадження таких патернів або методів відстеження змін до вимог як «вимога-компонент», які можуть бути застосовані як до традиційних, так і до найбільш сучасних процесів розробки програмного забезпечення. Такий підхід дозволив досягти відповідності структури вихідного коду патернам та методам, які забезпечують легкість відслідковування змін у системи відповідно до нових вимог. У життєвому циклі програмне забезпечення зазнає змін на всіх етапах. Програмний продукт є успішним, якщо зміни в програмному забезпеченні ідентифікуються або здійснюються їх управління протягом усіх фаз життєвого циклу програмного забезпечення.

Для отримання програмного продукту повинна бути чітко встановлена межа, і вона має ставати більш точнішою задля того щоб програмний продукт пройшов всі етапи життєвого циклу. Обслуговування програмного забезпечення споживає приблизно сорок відсотків витрат на програмне забезпечення, оскільки є нетривіальною фазою в життєвому циклі розробки програмного забезпечення. А оскільки це нетривіальна фаза, то відстеження зв'язку між кодом та елементами в програмному забезпеченні може полегшити виконання багатьох завдань. Розуміння програми, супровід, вимоги трасування, аналіз впливу та повторне використання існуючого програмного забезпечення, це все важливі елементи про які не слід забувати.

Аналіз останніх джерел

У житті програмного продукту є кілька етапів. Модель водоспаду, як описано у [1], має п'ять основних фаз. Це аналіз вимог і специфікації, кодування та тестування модулів, інтеграційне тестування, системне тестування та обслуговування. Це дослідження стосується лише аспекту заключної фази, обслуговування. Етап обслуговування є найдовшою фазою життєвого циклу. Обслуговувати програмне забезпечення з часом стає все складніше, оскільки система прогресує і розвивається. У дослідженні [2] показали алгоритми для обчислити транзитивного замикання кожного з потенційно зачеплених класів і методів. За допомогою них можна значно покращити інформацію, яку надають алгоритми розпізнавання шаблони проектування, ефекти змін типу даних, а також ефекти додавання та видалення класів. У роботі [3] представлено інтегроване середовище для обслуговування програм C++, яке описує три нові графи залежностей, що характерні для об'єктно-орієнтованих програмних систем: повідомлення, клас і оголошення залежності у моделі під назвою C++ DG. Описані залежності, зокрема щодо ефекту пульсації та регресійного тестування. Застосування виявлених залежностей і розподіл програми призводить до рекурсивного аналізу ефекту хвиль, спричинених модифікацією коду. У міру розташування цих ефектів їх місця можна «позначити» для тестування або повторного виконання на етапі тестування.

У дослідженні [4] пояснили чотири алгоритми, які вимірюють вплив запропонованих змін на об'єктно-орієнтовані системи. Ефект пульсації розраховується шляхом застосування таких алгоритмів як:

1. Обчислення впливу змін всередині класу.
2. Розрахунок впливу змін серед клієнтів.
3. Розрахунок впливу серед підкласів.
4. Вимірювання загального ефекту, керуючи алгоритмами 1, 2 та 3.

Автор також представив деталі того, як різні типи змін впливають на систему. Зміни широко класифікуються, а потім уточнюються до більш детальної інформації, наприклад додавання учасника або зміна атрибута. Відповідно до роботи [5] візуальний аналіз впливу покращив розпізнавання додаткових залежностей. У дослідженні [6] автор вказав, що практика розробки програмного забезпечення розвивається відповідно до вимог розподілених програми на різнорідних платформах; зміна програмного забезпечення все більше впливає на проміжне програмне забезпечення і компоненти. Відносини залежності взаємодії тепер вказують на більше відповідні наслідки зміни програмного забезпечення та обов'язково приводять до обов'язкового їх аналізу. Сучасні моделі аналізу впливу змін програмного забезпечення не враховують ці тенденції належним чином.

У статті [7] автор пояснив підхід, який застосовується до написання програмного забезпечення на об'єктно-орієнтованій мові для відстеження об'єктно-орієнтованого коду та реалізації функціональних вимог. Тут розглядається проблема встановлення зв'язків та їх аналізу між вільною текстовою документацією, пов'язаною з циклом розробки та обслуговування програмної системи, а також її кодом.

Моделі відстеження змін до вимог

Відстеження вимоги означає здатність описувати та стежити за життям вимоги як у прямому, так і у зворотному напрямку. Це здатність відстежувати вимоги до компонентів проекту або їх впровадження. Зворотне відстеження – це можливість відстежити вимогу до її джерела, тобто до особи, установи або ж закону чи аргументу тощо. Відслідковування вимог стосується також зв'язків між ними, або ж їх зв'язку з атрибутами програмної системи [8].

Аналіз впливу на основі відстеження змін до вимог

Аналіз впливу на основі відстеження змін вимог до програмної системи – це нефункціональне та неформальне відстеження. Функціональне відстежування пов'язане з добре встановленим відображенням між типами моделі об'єктів і типами відображення. Це дозволяє аналізувати моделі проектування, моделі процесів, організаційні моделі. Нефункціональне відстеження пов'язане з відстеженням нефункціональних аспектів розробки програмного забезпечення. Зазвичай, вони пов'язані з аспектами якості та є результатом зв'язку з нематеріальними концепціями. Нефункціональне відстеження класифікується за чотирма категоріями, такими як: причина, контекст, рішення та технічний аспект.

У цій статті оглянута методологія аналізу впливу на основі відстеження змін вимог до програмної системи, яка призначена для розширення можливостей відстеження потенційних проблем а також проведення об'єктно-орієнтованого аналізу та аналізу деяких аспектів архітектури. Запропоновано розглянути кілька етапів, а саме:

Фаза перша включає в себе такі пункти:

- A. Перевірка нових вимог від будь-якої із зацікавлених сторін.
- B. Класифікація вимог, функціональних чи нефункціональних.
- C. Матриця відстеження може допомогти відстежити вимогу.
- D. Огляд вимог.
- E. Оцінка вимог.
- F. Вимоги до документації.
- G. Приймальні випробування.

Після проходження першої фази, відповідно до визначених показників буде розділено аналіз по них у другій фазі. Це такі показники:

- A. Стабільність: нестабільні вимоги.
- B. Повнота: неповні вимоги.
- C. Чіткість: незрозумілі вимоги.
- D. Дійсність: Недійсні вимоги.
- E. Здійсненість: нездійсненні вимоги.
- F. Прецедент: безпрецедентні вимоги.

Стабільність

Цей показник вказує на вразливість системи до змін. Було помічено, що підтримка програмного забезпечення погіршується, оскільки до нього вносяться зміни, що збільшує складність програмного забезпечення. В такому випадку стабільність системи розраховується за формулою:

$$S(\#NORS + \#NOCNR + \#NOCUR + \#NOCDR) / (\#NORS),$$

де S – стійкість, NORS – кількість вхідних вимог систему, NOCNR – кількість сукупної кількості вимог, NOCUR – сукупна кількість запитів, оновлених у системі, NOCDR – сукупна кількість запитів, видалених із системи.

Повнота

Цей показник визначає повноту вимоги та обчислюється за формулою:

$$CMP = NARS - NIR$$

CMP – ступінь завершеності системи, NARS – кількість фактичних/початкових вимог до системи, NIR – кількість незавершених вимог у системі.

Ясність

Цей показник відображає чіткість вимог до системи

$$CL = NARS - NIR - UCLR$$

CL – ступінь чіткості системи, NARS – кількість фактичних/початкових вимог до системи, NIR – кількість незавершених вимог у системі, UCLR – кількість незрозумілих вимог.

Здійсненість

Цей показник відображає ступінь здійсненості системи, тобто фактичне число її реалізованості.

$$FR = IFR - UCLR$$

FR – показник ступеня всіх техніко-економічних вимог системи, IFR – кількість нездійснених вимог у системі, UCLR – кількість незрозумілих вимог.

Прецедент

Це показник, який відображає наскільки система завершена на даний момент.

$$PR = CMP + CL + FR$$

PR – показник попередніх вимог до системи, CMP – завершеність системи, CL – чіткість системи, FR – здійсненість системи.

Результати

У цьому розділі буде проведено ідентифікацію, візуалізацію та аналіз відстеження змін до вимог на об'єктно-орієнтованій програмній системі. Тут як обов'язкову вимогу було прийнято практичне дослідження системи бронювання авіаквитків. Виходячи з рівня вимоги, необхідно розділити вимоги на певні рівні, після чого робити подальший аналіз. В результаті було виділено такі рівні:

1. Потреби замовника.
2. Функціонал.
3. Варіанти використання.
4. Додаткові вимоги.
5. Варіанти тестування.

Вимоги на верхньому рівні (потреби замовника) збираються за допомогою різних методів виявлення вимог, такі як опитування, дзвінки, зустрічі тощо.

Бізнес-аналітик виводить другий рівень (функціонал) із запитів зацікавлених сторін, корегуючи вимоги переводить їх із проблемної області в область вирішення. Функціонал повинен мати всі атрибути адекватних вимог до програмної системи.

Третій рівень містить варіанти використання програмної системи, які виділяються на першому рівні аналізу системи.

Додаткові вимоги охоплюють переважно нефункціональні вимоги. Вони також можуть фіксувати деякі загальні функціональні вимоги, не пов'язані з жодними конкретними випадками використання.

Варіанти тестування створені для перевірки вимог третього рівня.

Як приклад, можна привести алгоритми для системи бронювання авіаквитків.

Крок 1: Запуск алгоритму.

Крок 2: Введення URL-адреси.

Крок 3: Введення даних про рейси для пошуку рейсів.

Крок 4: Вибір рейсу.

Крок 5: Системне відображення зворотних рейсів.

Крок 6: Системне відображення деталей рейсів

Крок 7: Підтвердження рейсу.

Крок 8: Реєстрація нового користувача.

Крок 9: Вхід.

Крок 10: Надання інформацію про пасажирів.

Крок 11: Відображення вільних місць.

Крок 12: Вибір місця.

Крок 13: Введення платіжної інформації.

Крок 14: Введення номеру підтвердження.

Крок 15: Звершення алгоритму.

На рисунку 1 показано діаграму варіанту використання для користувача.

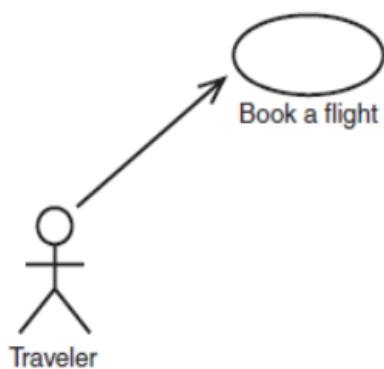


Рис. 1. Користувач та варіант використання

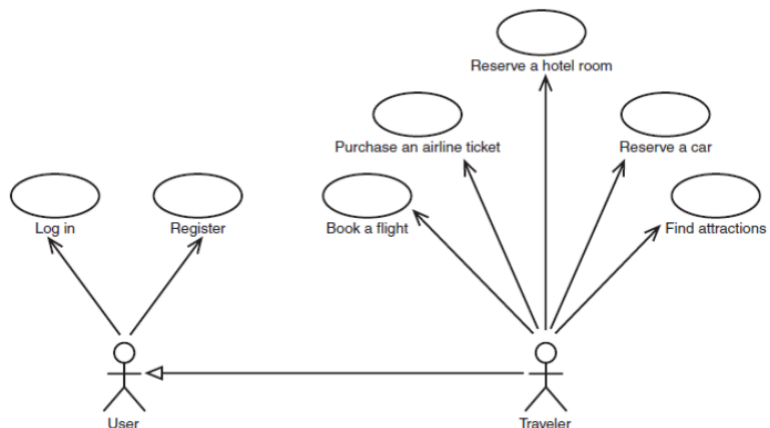


Рис. 2. Варіант використання для нового на зареєстрованого користувача

Основною метою структурування моделей є усунення будь-якої надмірності, що полегшить розуміння та підтримку визначених варіантів використання. Для цього визначається структура відстеження змін до вимог в програмній системі, що зображено на відповідній діаграмі (рис. 3).

Потреби замовника (STRQ) будуть відстежуватися до функціоналу (FEAT), визначених у документі вимог та додаткових вимог. Між STRQ і FEAT може існувати зв'язок «багато-до-багатьох», але зазвичай це один запит зацікавленої сторони до багатьох функцій. Кожен схвалений запит має стосуватися принаймні однієї функції або додаткової вимоги.

Вимоги до функціоналу (FEAT) будуть відстежуватися або у конкретному випадку використання,

або в додатковій вимозі. Кожен схвалений функціонал має відстежувати принаймні один варіант використання або додаткову вимогу. Між функціями, варіантами використання та додатковими вимогами можуть існувати зв'язки «багато-до-багатьох».

Вимоги до варіантів використання (UC), визначені в специфікаціях варіантів використання, будуть відстежуватися до функціоналу.

Додаткові вимоги (SUPL) будуть відстежуватися до функціоналу.

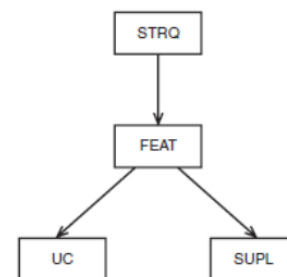


Рис. 3. Структура відстеження змін до вимог для прикладу «забронювати рейс»

Висновки

Отже, у даній статті було здійснено об'єктно-орієнтований аналіз для прикладу «забронювати авіаквиток» і отримано діаграми варіантів використання. Відповідно до визначених варіантів використання було отримано алгоритм та залежності між основними фазами внесення змін до програмної системи. Запропонований аналіз сильно залежить від добре визначених вимог до програмного забезпечення та не функціональних вимог, які можна відстежити. Саме завдяки цьому на основі аналізу змін у вимогах можна визначити вплив на діаграму класів до атрибутів даного випадку, а також визначити тестові варіанти, які слід змінити, щоб врахувати більше потенційних помилок. Це дозволить не нести збитки у майбутньому, що покращить загальну надійність системи та збільшить шанс на успішну її реалізацію.

References

1. Carlo Ghezzi, Mehdi Jazayeri, Dino Mandrioli, Fundamentals of Software Engineering, Prentice Hall Publishing, 2011.
2. Chandra Shrivastava, Carver D. L. Using Low-Level Software Architecture for Software Maintenance of Object-Oriented Systems. Proceedings of the 1995 Software Engineering Forum, Boca Raton, FL, November, pp. 31-40, 2005.
3. Chen X., Tsai W., Hunag H., Poonawala M., Rayadurgam S., Wang Y. Omega-an Integrated Environment for C++ Program Maintenance. Proceedings of the International conference on software Maintenance, pp. 114-123, 1996.
4. Li L., Offutt A. J. Algorithmic Analysis of the Impact of Changes to Object-oriented Software. Proceedings of the International Conference on Software Maintenance, pp. 171-184, 1996.
5. Hutchins M., Gallagher K. Improving Visual Impact Analysis, Proceedings of the International Conference on Software Maintenance, pp. 294-301, 2016.
6. Bohner S. A. Software change impacts—an evolving perspective, Proceedings of the International Conference on Software maintenance, pp. 263-272, 2020.
7. Peter Zielczynski, IBM, Requirements Manangement Using IBM Rational Requisite Pro, 2013.
8. Sarah Maadawy and Akram Salah, Measuring Change Complexity from Requirements: A proposed methodology, IMACST. Volume 3, 2012.

ЗАЛЮБОВСЬКИЙ Марк

Київський національний університет технологій та дизайну,
Відкритий міжнародний університет розвитку людини «Україна»
<https://orcid.org/0000-0001-6258-0088>
e-mail: markzalubovskiy@gmail.com

ПАНАСЮК Ігор

Київський національний університет технологій та дизайну
<https://orcid.org/0000-0001-6671-4266>
e-mail: panasjuk1961@gmail.com

КОШЕЛЬ Олександр

Київський національний університет технологій та дизайну
e-mail: a_koshel@ukr.net

ВИЗНАЧЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ МІЖ ЗМІНОЮ РЕЖИМІВ РУХУ РОБОЧОГО МАСИВУ ТА КОНСТРУКТИВНИМИ ОСОБЛИВОСТЯМИ ГАЛТУВАЛЬНОЇ МАШИНИ ТИПУ «TURBULA»

Із застосуванням системи автоматизованого проектування SolidWorks проведені аналітичні дослідження галтувальної машини типу «Turbula» з додатковою рухомою ланкою коромислом з вертикальною віссю обертання для можливості визначення залежності між зміною режимів руху робочого масиву та конструктивними особливостями даної галтувальної машини. Зазначено, що переміщення робочого масиву в галтувальних ємкостях з різним характером руху може здійснюватися при каскадному, водоспадному, змішаному, а також закритичному режимах руху. При реалізації кожного режиму руху робочого масиву створюються умови для виконання відповідних галтувальних технологічних операцій або змішування сипких дрібнодисперсних речовин. Встановлено, що зміна режимів руху робочого масиву в галтувальній ємкості, що виконує складний просторовий рух, залежить від трьох факторів – масштабного типорозміру галтувальної машини, кутової швидкості ведучого валу та відношення міжосьової відстані ємності до міжосьової відстані вилок, що характеризується коефіцієнтом λ , встановлено взаємозв'язок між цими факторами. Отримано математичні залежності для визначення граничної кутової швидкості ведучого валу галтувальної машини типу «Turbula» з додатковою рухомою ланкою коромислом з вертикальною віссю обертання, що відповідатиме реалізації необхідного режиму руху робочого масиву, при його русі у даній ємкості. Отримані результати аналітичних досліджень можуть бути використані у відповідних конструкторських бюро машинобудівних підприємств на стадії проектування галтувального обладнання зі складним просторовим рухом робочих ємкостей.

Ключові слова: робоча ємкість, режим руху, робочий масив, кутова швидкість.

ZALYUBOVSKIY Mark

Kyiv National University of Technology and Design,
Open International University of Human Development "Ukraine"

PANASYUK Igor

Kyiv National University of Technology and Design

KOSHEL Olexandr

Open International University of Human Development "Ukraine"

DETERMINATION OF THE RELATIONSHIP BETWEEN THE CHANGE OF THE MOTION MODES OF THE WORKING ARRAY AND THE DESIGN FEATURES OF THE "TURBULA" TYPE TURNING MACHINE

Using the SolidWorks automated design system, analytical studies of the "Turbula" type rolling machine with an additional movable rocker link with a vertical axis of rotation were carried out for the possibility of determining the dependence between the change in the movement modes of the working array and the design features of this rolling machine. It is noted that the movement of the working array in the filling tanks with different types of movement can be carried out in cascade, waterfall, mixed, as well as closed modes of movement. During the implementation of each mode of movement of the working array, conditions are created for the performance of appropriate felting technological operations or mixing of loose fine-dispersed substances. It was established that the change in the modes of movement of the working array in the rolling container performing complex spatial movement depends on three factors - the large-scale standard size of the rolling machine, the angular velocity of the drive shaft and the ratio of the interaxial distance of the container to the interaxial distance of the forks, which is characterized by the coefficient λ , the relationship is established between these factors. Mathematical dependencies have been obtained to determine the maximum angular speed of the drive shaft of the "Turbula" type rolling machine with an additional movable rocker link with a vertical axis of rotation, which will correspond to the implementation of the necessary mode of movement of the working array, when it moves in a given capacity. The obtained results of analytical studies can be used in the relevant design bureaus of machine-building enterprises at the stage of designing rolling equipment with complex spatial movement of working capacities.

Keywords: working capacity, mode of movement, working array, angular velocity.

Постановка задачі. Переміщення робочого масиву в галтувальних ємкостях з різним характером руху може здійснюватися при каскадному, водоспадному та змішаному режимах руху [1]. Відомо [2], що при реалізації кожного режиму руху робочого масиву створюються умови для виконання відповідних галтувальних технологічних операцій або змішування сипких дрібнодисперсних речовин. Наприклад, у роботі [3] встановлено, що для реалізації галтувальних технологічних процесів покращення якості поверхні полімерних виробів (шліфування та полірування) найбільш раціонально застосовувати змішаний режим

руху, а для реалізації технологічних процесів відділення металевих деталей від ливників [4] – водоспадний.

Зокрема, реалізація кожного режиму руху робочого масиву в середині рухомих ємкостей відбувається при відповідній кутовій швидкості ведучого валу машини. В свою чергу, попередньо, авторами було розроблено цілий ряд галтувальних машин типу «Turbula» зі складним просторовим рухом робочих ємкостей з відмінними конструктивними особливостями – машини з додатковими рухомими ланками [5, 6], машини з двома робочими ємкостями [7], машини зі спеціальними конструкціями приводів [8], кінематичними парами вищих класів тощо.

Оскільки розроблені конструкції галтувальних машин зі складним просторовим рухом робочих ємкостей типу «Turbula» мають кардинально відмінні конструктивні та технологічні особливості, унеможливується застосування уніфікованих математичних підходів, які описуються залежність між зміною режимів руху робочого масиву та конструктивними особливостями відповідної галтувальної машини.

Аналіз досліджень та публікацій. У роботі [9] наведено загальні характеристики режимів руху робочого масиву у галтувальних ємкостях. Вказано, що при реалізації каскадного режиму руху робочий масив проковзує чи перекочується по внутрішній поверхні ємкості, фактично, як єдине ціле, окремі частинки масиву не переходять до стану вільного польоту. У випадку змішаного режиму руху, одна частина масиву рухається як єдине ціле, а інша його частина відривається від загального масиву, розділяється на окремі частинки та перебуває у стані вільного руху. При водоспадному режиму руху весь робочий масив відривається від поверхні ємкості.

Також відомий [10] закритичний режим руху, який характерний виключно для обертових барабанів, при якому утворюється ефект «центрифугування».

У роботі [11] зазначається, що реалізація відповідних режимів руху в середині рухомих ємкостей відрізняється в залежності від того, який характер руху виконує сама ємкість. У обертових барабанах увесь час роботи машини реалізується перманентний режим руху. Авторами отримані математичні вирази для визначення кутової швидкості обертання барабану, при якій буде реалізовуватися відповідний режим руху робочого масиву із урахуванням діаметру барабану.

Авторами роботи [11] зазначається, що реалізація зазначених режимів руху робочого масиву в середині ємності, яка виконує складний просторовий рух, має особливий характер, оскільки будь-який режим руху циклічно приривається, в той час, коли переміщення робочого масиву припиняється, внаслідок зіткнення із торцем ємності та, в подальшому, змінює напрямок свого руху на протилежний.

У роботі [12] проведені дослідження «базової» конструкції галтувальної машини типу «Turbula» внаслідок яких встановлено взаємозв'язок між кутовою швидкістю ведучого валу, габаритними параметрами ємкості та зміною режимів руху. Аналогічні дослідження у роботі [13] виконані і для галтувальної машини зі складним просторовим рухом робочої ємкості, у якій ведучий вал обертається за отриманим законом зміни кутової швидкості.

Виділення невирішених частин. Враховуючи попередні дослідження, можна зробити висновок, що вирази, які дають можливість розрахувати необхідну кутову швидкість ведучого валу, що відповідає утворенню необхідного режиму руху робочого масиву, отримані лише для деяких конструкцій галтувальних машин зі складним просторовим рухом робочих ємкостей. В той само час, залишається низка розроблених галтувальних машин зі складним просторовим рухом робочих ємкостей з відмінними конструктивними особливостями для яких, до тепер, не проводилися дослідження та не було отримано відповідні математичні залежності.

Формулювання цілей. Суть даної роботи полягає у аналітичному дослідженні галтувальної машини типу «Turbula» з додатковою рухомою ланкою коромислом, що має вертикальну вісь обертання з точки зору визначення залежності між зміною режимів руху робочого масиву та її конструктивними особливостями.

Виклад основного матеріалу. У роботі [8] синтезовано семиланковий кінематичний ланцюг галтувальної машини типу «Turbula», яка оснащена додатковою рухомою ланкою коромислом з вертикальною віссю обертання. В результаті, виключено вплив пасивного зв'язку з просторового кінематичного ланцюгу. Модель машини з додатковою рухомою ланкою коромислом представлена на рис. 1. а, кінематична схема – на рис. 1. б відповідно.

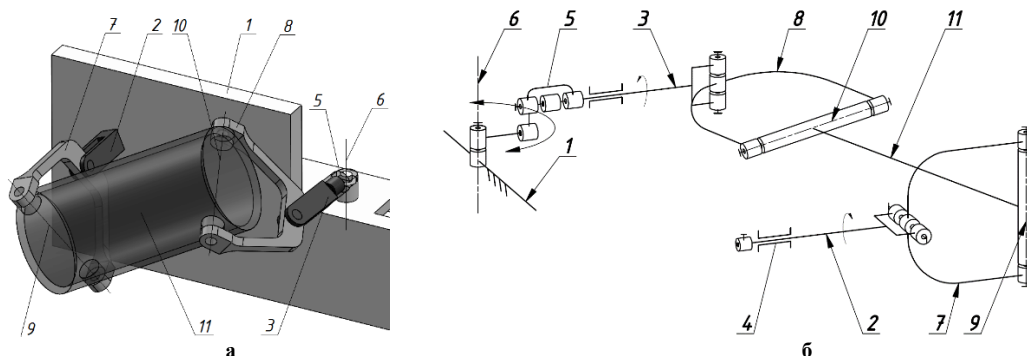


Рис. 1. Конструкція машини з додатковою рухомою ланкою коромислом з вертикальною віссю обертання: а – модель машини, б – кінематична схема

Просторовий механізм машини містить станину 1, ведучий 2 та ведений 3 вали, при чому, ведучий вал 2 встановлений в підшипниковій опорі 4, а ведений вал 3 кінематично з'єднаний з коромислом 5, яке, з можливістю коливального руху у горизонтальній площині відносно вертикальної вісі 6, рухомо встановлено у станині 1. Ведучий 2 та ведений 3 вали шарнірно з'єднані другими кінцями з ведучою 7 та веденою 8 вилками відповідно, діаметрально взаємо перпендикулярні вісі яких 9 і 10 є вісями кріплення робочої ємкості 11.

Попередніми дослідженнями у роботі [14] були представлено аналітичні засади дослідження характеру та режимів руху робочого масиву в середині ємкості, яка виконує складний просторовий рух. Було встановлено, що інтенсивність та характер переміщення робочого масиву в середині ємкості залежить від кутової швидкості ведучого валу машини $\omega_{ведуч}$, відповідно від максимальних значень повних прискорень, a_{maxA} та a_{maxB} точок A та B , які співпадають з центрами основ ємкості та масштабного типорозміру конструкції машини n . Аналітичним шляхом у роботах [11, 12, 14] були отримані базові нерівності, що визначають умови переходу від каскадного до водоспадного режиму:

$$g > a; \quad (1)$$

$$a > g, \quad (2)$$

де g – прискорення вільного падіння; a – максимальне значення повного прискорення торця робочої ємкості.

Зокрема, у роботах [12, 14] зазначалося, що перехід до вільного польоту частинок робочого масиву буде розпочинатися у той момент, коли максимальне прискорення відповідного торця ємкості, де сконцентрований робочий масив, стане перевищувати прискорення вільного падіння g .

Максимальні значення прискорень a_{maxA} та a_{maxB} торців ємкості також будуть залежати від значення коефіцієнту λ , який характеризує відношення міжосьової довжини робочої ємкості l_{PC} до міжосьової довжини ведучої чи веденої вилки l_B :

$$\lambda = l_{PC} / l_B \quad (3)$$

Подальші аналітичні дослідження виконували з комплексним урахуванням трьох параметрів – кутової швидкості ведучого валу машини $\omega_{ведуч}$, масштабного типорозміру конструкції n , а також коефіцієнту λ . Зокрема, виконувалося кінематичне дослідження п'яти масштабних типорозмірів ($n=1; 1,5; 2; 3,5; 4$) конструкцій галтувальної машини з додатковою рухомою ланкою коромислом з вертикальною віссю обертання, враховуючи зміну коефіцієнту λ ($\lambda=1,4; 1,6; 1,8; 2,0$), із застосуванням САПР SolidWorks. За «базовий типорозмір» (масштабний коефіцієнт $n=1$, $\lambda=1,0$) було прийнято машину з наступними геометричними параметрами: відстань між осями кріплення вилки та міжосьова відстань робочої ємкості – 0,077 м, діаметр ємкості – 0,095 м.

У табл. 1–4 представлено максимальні значення повних прискорень a_{maxA} та a_{maxB} для 5-ти типорозмірів галтувальної машини при різних значеннях кутових швидкостей ведучого валу з урахуванням зміни коефіцієнту λ . Отримані максимальні значення повних прискорень торців ємкості було апроксимовано у вигляді графічних залежностей квадратичної функції. На рис. 2–5 представлено відповідні графічні залежності.

Таблиця 1

$\omega_{ведуч}$ [рад/с]	Масштабний коефіцієнт n									
	$n=1$		$n=1,5$		$n=2$		$n=3,5$		$n=4$	
	$a_{maxA(1)}$	$a_{maxB(1)}$	$a_{maxA(1,5)}$	$a_{maxB(1,5)}$	$a_{maxA(2)}$	$a_{maxB(2)}$	$a_{maxA(3,5)}$	$a_{maxB(3,5)}$	$a_{maxA(4)}$	$a_{maxB(4)}$
Максимальні значення прискорень [м/с ²]										
1,1	0,3	0,3	0,5	0,5	0,6	0,6	1	1,1	1,2	1,3
2,1	1,2	1,3	1,9	2	2,4	2,6	4,2	4,5	4,8	5,2
3,2	2,6	2,8	3,9	4,2	5,2	5,7	9,1	9,9	10,4	11,3
4,2	4,7	5,1	7,1	7,7	9,4	10,2	16,6	17,9	19	20,4
5,3	7,3	7,9	11	12	14,5	15,8	25,8	27,7	29,5	31,8
6,3	10,5	11,4	15,8	17,1	21	22,7	36,8	40	42,6	46
7,4	14,3	15,5	21,5	23,3	28,6	31,1	50,1	54,3	57,2	63

Таблиця 2

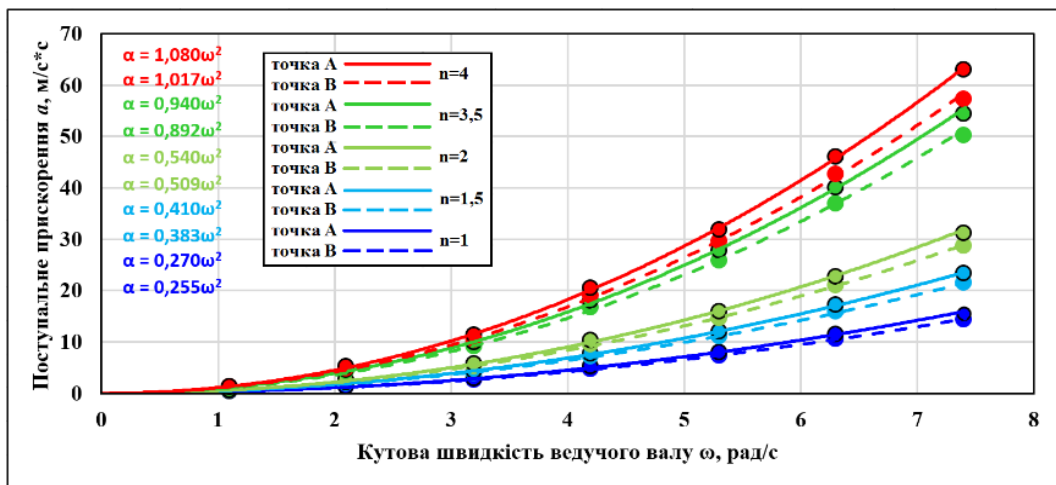
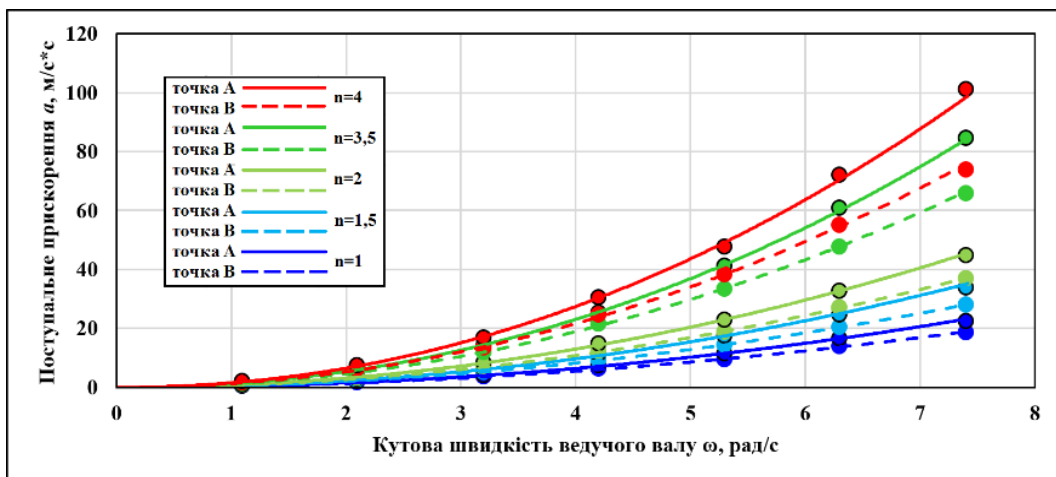
$\omega_{ведуч}$ [рад/с]	Масштабний коефіцієнт n									
	$n=1$		$n=1,5$		$n=2$		$n=3,5$		$n=4$	
	$a_{maxA(1)}$	$a_{maxB(1)}$	$a_{maxA(1,5)}$	$a_{maxB(1,5)}$	$a_{maxA(2)}$	$a_{maxB(2)}$	$a_{maxA(3,5)}$	$a_{maxB(3,5)}$	$a_{maxA(4)}$	$a_{maxB(4)}$
Максимальні значення прискорень [м/с ²]										
1,1	0,4	0,4	0,6	0,6	0,8	0,9	1,3	1,5	1,5	1,9
2,1	1,5	1,9	2,5	2,8	3,1	3,7	5,4	6,2	6,2	7,3
3,2	3,6	4	5,1	6,1	6,7	8,2	11,7	14,1	13,4	16,7
4,2	6,2	7,3	9,2	11,1	12,2	14,6	21,4	25,3	24,5	30,3
5,3	9,4	11,4	14,2	17,3	18,7	22,7	33,3	41,2	38,1	47,5
6,3	13,7	16,4	20,4	24,6	27,1	32,6	47,5	60,8	55	72
7,4	18,6	22,3	27,8	33,6	36,9	44,7	65,7	84,4	73,8	101

Таблиця 3

$\omega_{\text{ведуч.}}$ [рад/с]	Масштабний коефіцієнт n									
	$n=1$		$n=1,5$		$n=2$		$n=3,5$		$n=4$	
	$a_{\text{maxA}(1)}$	$a_{\text{maxB}(1)}$	$a_{\text{maxA}(1,5)}$	$a_{\text{maxB}(1,5)}$	$a_{\text{maxA}(2)}$	$a_{\text{maxB}(2)}$	$a_{\text{maxA}(3,5)}$	$a_{\text{maxB}(3,5)}$	$a_{\text{maxA}(4)}$	$a_{\text{maxB}(4)}$
Максимальні значення прискорень [м/с ²]										
1,1	0,5	0,6	0,7	0,8	1	1,1	1,7	1,9	1,9	2,2
2,1	1,9	2,5	3	3,9	4	5,1	6,7	8,6	7,7	9,1
3,2	4,2	5,5	6,2	8,2	8,3	11,2	14,6	19,8	16,8	21,8
4,2	7,5	10	11,4	15,1	15,1	19,9	26,6	35	30,4	40,7
5,3	11,7	15,5	17,6	23,5	23,2	30,9	41,3	55,9	47,3	65,6
6,3	16,8	22,3	25,3	33,5	33,6	44,5	59	82,2	68,3	97,6
7,4	23	30,4	35,4	46,7	45,8	62,3	82,1	114,5	93,2	138

Таблиця 4

$\omega_{\text{ведуч.}}$ [рад/с]	Масштабний коефіцієнт n									
	$n=1$		$n=1,5$		$n=2$		$n=3,5$		$n=4$	
	$a_{\text{maxA}(1)}$	$a_{\text{maxB}(1)}$	$a_{\text{maxA}(1,5)}$	$a_{\text{maxB}(1,5)}$	$a_{\text{maxA}(2)}$	$a_{\text{maxB}(2)}$	$a_{\text{maxA}(3,5)}$	$a_{\text{maxB}(3,5)}$	$a_{\text{maxA}(4)}$	$a_{\text{maxB}(4)}$
Максимальні значення прискорень [м/с ²]										
1,1	0,6	0,8	1	1,3	1,2	1,6	2	2,8	2,4	3,6
2,1	2,3	3,2	3,7	5,3	4,6	6,9	8,1	11,4	9,3	13,1
3,2	5	7,2	7,5	11,2	10	14,9	17,7	26,1	20,1	33,2
4,2	9,1	12,6	13,7	20,4	18,2	27,1	32,1	47,3	36,7	54,5
5,3	14,1	19,7	21,2	31,6	28,1	41,5	49,9	73,7	57	86,8
6,3	20,3	28,3	30,5	45,7	40,6	60,1	71,6	108,6	82,3	130
7,4	27,6	38,8	41,5	61,6	55,5	82,6	98,2	152,4	113,5	182,3

Рис. 2. Графік залежності максимальних значень прискорень a_{maxA} та a_{maxB} від кутової швидкості $\omega_{\text{ведуч.}}$ ведучого валу машини при коефіцієнті $\lambda=1,4$ Рис. 3. Графік залежності максимальних значень прискорень a_{maxA} та a_{maxB} від кутової швидкості $\omega_{\text{ведуч.}}$ ведучого валу машини при коефіцієнті $\lambda=1,6$

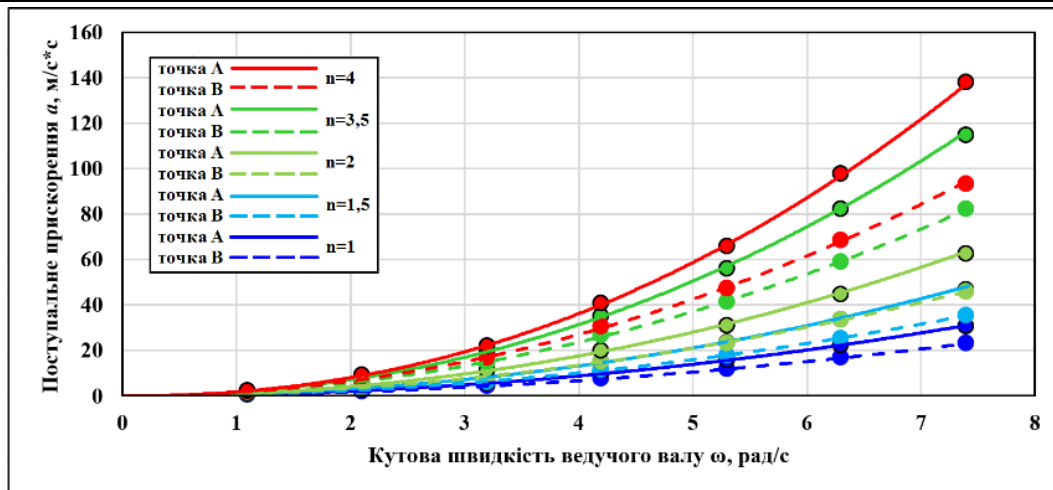


Рис. 4. Графік залежності максимальних значень прискорень $a_{\max A}$ та $a_{\max B}$ від кутової швидкості $\omega_{\text{ведуч}}$ ведучого валу машини при коефіцієнті $\lambda=1,8$

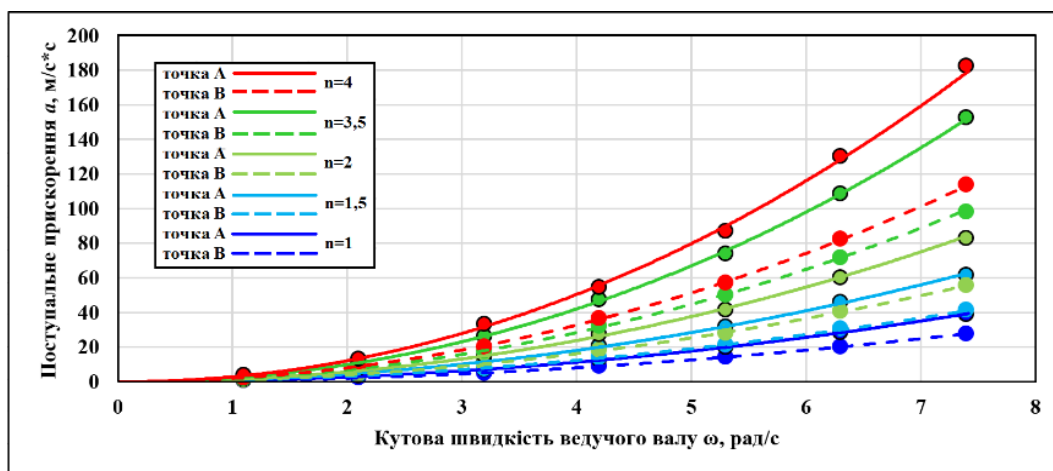


Рис. 5. Графік залежності максимальних значень прискорень $a_{\max A}$ та $a_{\max B}$ від кутової швидкості $\omega_{\text{ведуч}}$ ведучого валу машини при коефіцієнті $\lambda=2,0$

Проаналізувавши отримані дані та представлені на рис. 2 – рис. 5 графічні залежності встановлено, що приріст прискорень $a_{\max A}$ та $a_{\max B}$ від кутової швидкості ведучого валу $\omega_{\text{ведуч}}$ машини відбувається за квадратичною залежністю, за допомогою Microsoft Excel було отримано відповідні функції (рис. 2). При чому, прискорення $a_{\max A}$ та $a_{\max B}$ також будуть залежати від зміни коефіцієнту λ . У конструкції машини при коефіцієнту $\lambda=1,4$ різниця між максимальними значеннями прискорень $a_{\max A}$ та $a_{\max B}$ протилежних торців ємкості буде найменшою, однак, зі збільшенням коефіцієнту λ буде спостерігатися приріст цієї різниці. Також, виходячи з представлених вище даних, було встановлено залежність між прискореннями $a_{\max A}$ та $a_{\max B}$ та коефіцієнтом λ .

Таким чином, було отримані загальні математичні вирази для визначення максимальних прискорень $a_{\max A}$ та $a_{\max B}$ в залежності від зміни масштабного коефіцієнту n та коефіцієнту λ для конструкції галтувальної машини з додатковою рухомою ланкою коромислом з вертикальною віссю обертання:

$$a_{\max A} = 0,26n\omega_{\text{ведуч}A}^2(\lambda - 0,4)^{1,5}; \quad (4)$$

$$a_{\max B} = 0,28n\omega_{\text{ведуч}B}^2(\lambda - 0,4)^{2,2}. \quad (5)$$

Для можливості визначення відповідного режиму руху робочого масиву, що буде утворюватися в середині ємкості, виразимо із виразів (4) та (5) значення $\omega_{\text{ведуч}}$:

$$\omega_{\text{ведуч}A} = \sqrt{\frac{a_{\max A}}{0,26n(\lambda - 0,4)^{1,5}}}; \quad (6)$$

$$\omega_{\text{ведуч}B} = \sqrt{\frac{a_{\max B}}{0,28n(\lambda - 0,4)^{2,2}}}. \quad (7)$$

Попередніми дослідженнями у роботі [14] зазначено умови, що відповідають зміні режимів руху робочого масиву в середині ємкості. Зокрема, – це умови, які описують нерівності (1) та (2). Запишемо вирази (6) та (7) з урахуванням цих умов:

$$\omega_{\text{ведуч}A} = \sqrt{\xi \frac{g}{0,26n(\lambda - 0,4)^{1,5}}}; \quad (8)$$

$$\omega_{ведуч\ B} = \sqrt{\xi \frac{g}{0,28n(\lambda - 0,4)^{2,2}}}, \quad (9)$$

де ξ – коефіцієнт, який відповідає частині робочого масиву, який зможе перейти до стану вільного польоту.

При $\xi=0,5$ перейти до стану вільного польоту зможе приблизно половина робочого масиву, відповідно, за виразами (8), (9) можна буде розрахувати граничне значення кутової швидкості ведучого валу, при якому в середині ємкості почнуть реалізовуватися перші ознаки змішаного режиму руху. При $\xi=1$ весь робочий масив зможе перейти до стану вільного польоту. Таким чином, за виразами (8) та (9) можна буде розрахувати граничне значення кутової швидкості ведучого валу, при якому в середині ємкості почнуть реалізовуватися перші ознаки водоспадного режиму руху.

Із застосуванням виразів (8) та (9) розраховано граничні значення кутової швидкості ведучого валу машини, що відповідають зміні режимів руху робочого масиву в середині ємностей машин із відповідним коефіцієнтом λ . Розраховані граничні значення кутової швидкості ведучого валу представлено у таблицях 6 – 9.

Таблиця 6

$\omega_{ведуч\ B}, [рад/с]$ $n=1$	$\omega_{ведуч\ B}, [рад/с]$ $n=1,5$	$\omega_{ведуч\ B}, [рад/с]$ $n=2$	$\omega_{ведуч\ B}, [рад/с]$ $n=3,5$	$\omega_{ведуч\ B}, [рад/с]$ $n=4$	Режим руху робочого масиву
0 – 4,2	0 – 3,3	0 – 2,9	0 – 2,1	0 – 2	Каскадний
4,2 – 6,1	3,4 – 5	3 – 4,3	2,2-3,3	2,1-3,1	Змішаний
6,2<	5,1<	4,4<	3,4<	3,2<	Водоспадний

Таблиця 7

$\omega_{ведуч\ B}, [рад/с]$ $n=1$	$\omega_{ведуч\ B}, [рад/с]$ $n=1,5$	$\omega_{ведуч\ B}, [рад/с]$ $n=2$	$\omega_{ведуч\ B}, [рад/с]$ $n=3,5$	$\omega_{ведуч\ B}, [рад/с]$ $n=4$	Режим руху робочого масиву
0 – 3,3	0 – 2,7	0 – 2,3	0 – 1,7	0 – 1,6	Каскадний
3,4 – 5,4	2,8 – 4,4	2,4 – 3,8	1,8 – 2,9	1,7 – 2,7	Змішаний
5,5<	4,5<	3,9<	3<	2,8<	Водоспадний

Таблиця 8

$\omega_{ведуч\ B}, [рад/с]$ $n=1$	$\omega_{ведуч\ B}, [рад/с]$ $n=1,5$	$\omega_{ведуч\ B}, [рад/с]$ $n=2$	$\omega_{ведуч\ B}, [рад/с]$ $n=3,5$	$\omega_{ведуч\ B}, [рад/с]$ $n=4$	Режим руху робочого масиву
0 – 2,8	0 – 2,3	0 – 1,9	0 – 1,4	0 – 1,3	Каскадний
2,9 – 4,8	2,4 – 3,9	2 – 3,4	1,5 – 2,6	1,4 – 2,4	Змішаний
4,9<	4<	3,5<	2,7<	2,5<	Водоспадний

Таблиця 9

$\omega_{ведуч\ B}, [рад/с]$ $n=1$	$\omega_{ведуч\ B}, [рад/с]$ $n=1,5$	$\omega_{ведуч\ B}, [рад/с]$ $n=2$	$\omega_{ведуч\ B}, [рад/с]$ $n=3,5$	$\omega_{ведуч\ B}, [рад/с]$ $n=4$	Режим руху робочого масиву
0 – 2,4	0 – 1,9	0 – 1,7	0 – 1,2	0 – 1,1	Каскадний
2,5 – 4,3	2 – 3,5	1,8 – 3,1	1,3 – 2,3	1,2 – 2,2	Змішаний
4,4<	3,6<	3,2<	2,4<	2,3<	Водоспадний

Висновки

1. Встановлено, що зміна режимів руху робочого масиву в галтувальній ємкості, що виконує складний просторовий рух, залежить від трьох факторів – масштабного типорозміру галтувальної машини, кутової швидкості ведучого валу та відношення міжосьової відстані ємності до міжосьової відстані вилок, що характеризується коефіцієнтом λ , встановлено взаємозв'язок між цими факторами.

2. Отримано математичні залежності для визначення граничної кутової швидкості ведучого валу галтувальної машини типу «Turbula» з додатковою рухомою ланкою коромислом з вертикальною віссю обертання, що відповідатиме реалізації необхідного режиму руху робочого масиву, при його русі у ємкості.

Література

- Панасюк І.В. Визначення залежності режиму руху робочого середовища у ємкості зі складним рухом від кутової швидкості ведучого валу / І.В. Панасюк, М.Г. Залюбовський // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну – 2015. – №1. – С. 43-52.
- Marigo M. Discrete Element Method Modelling of Complex Granular Motion in Mixing Vessels: Evaluation and Validation: dissertation EngD – The University of Birmingham, UK., 2012. – 316 P.
- Zalyubovskiy M.G. Experimental investigation of the handling process of polymeric units in a machine with a compacted space movement of working capacity / Zalyubovskiy M.G., Panasyuk I.V., Smirnov Y.I., Klaptsov Y.V., Malyshev V.V. // Bulletin of the Kyiv National University of Technologies and Design – 2019. Vol. 2 (132). P. 24 – 32.

4. Залюбовський М.Г. Експериментальне дослідження впливу режимів руху робочого масиву та об'єму заповнення ємкості на інтенсивність відділення металевих деталей від ливників / М.Г. Залюбовський, І.В. Панасюк // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну – 2020. – №1 (142). – С. 27-38.
5. Zalyubovskii M. G. On the study of the basic design parameters of a seven-link Spatial mechanism of a part processing machine / M. G. Zalyubovskii, I. V. Panasyuk // International Applied Mechanics, 56, No. 1, April 2020, 54 – 64.
6. Zalyubovskiy M. G. Synthesis and analysis of redundant-free seven-link spatial mechanisms of part processing machine / M.G. Zalyubovskiy, I.V. Panasyuk, S.O. Koshel', G.V. Koshel' // International Applied Mechanics, 57, No. 4, July 2021, 466 – 476.
7. Zalyubovskii M. G. Studying the main design parameters of linkage mechanisms of part-processing machines with two working barrels / M. G. Zalyubovskii, I. V. Panasyuk // International Applied Mechanics, 56, No. 6, November 2020, 762 – 772.
8. Zaliubovskiy M. G. Synthesis and research of the tumbling machine spatial mechanism / M. G. Zaliubovskiy, I. V. Panasiuk, Yu. I. Smirnov, V. V. Malyshev // Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu, – 2020. – 178, issue 4, 69-75.
9. Бурмістенков О.П. Виробництво литих деталей та виробів з полімерних матеріалів у взуттєвій та шкіргалантереїній промисловості: монографія / О. П. Бурмістенков, Б. М. Злотенко, В. П. Коновал, І. В. Панасюк, М. Є. Скиба, О. М. Синюк. – Хмельниц., 2007. – 255 с.
10. Першин В.Ф. Переработка сыпучих материалов в машинах барабанного типа / Першин В.Ф., Однолько В.Г., Першина С.В. // Монография – М.: Машиностроение, 2009. – 220 с.
11. Залюбовський М.Г. Машини зі складним рухом робочих ємкостей для обробки полімерних деталей: монографія / М.Г. Залюбовський, І.В. Панасюк, В.В. Малишев – К.: Університет «Україна», 2018. – 228 с.
12. Panasyuk I. Driving machine shaft angular velocity impact on motion conditional change of granular medium in working reservoir for components compounding and process / I. Panasyuk, M. Zalyubovskiy // Metallurgical and Mining Industry – 2015. – №3. – P. 260-264.
13. Панасюк І.В. Визначення закону зміни кутової швидкості ведучого валу машини для обробки деталей зі складним рухом робочої ємкості / І.В. Панасюк, М.Г. Залюбовський // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну – 2015. – №5. – С. 40-46.
14. Залюбовський М. Г. Вдосконалення машин зі складним рухом робочих ємкостей для обробки деталей легкої промисловості: дис. канд. техн. наук. // Спец.: 05.05.10 – машини легкої промисловості: захист 28.11.2017 / Залюбовський Марк Геннадійович; наук. кер.: І. В. Панасюк; КНУТД. – К.: КНУТД, 2017. – 278 С.

References

1. Panasiuk I.V. Vyznachennia zalezhnosti rezhymu rukhu robochoho seredovyscha u yemkosti zi skladnym rukhom vid kutovoi shvydkosti veduchoho valu / I.V. Panasiuk, M.H. Zaliubovskiy // Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu tekhnolohii ta dyzainu – 2015. – №1. – S. 43-52.
2. Marigo M. Discrete Element Method Modelling of Complex Granular Motion in Mixing Vessels: Evaluation and Validation: dissertation EngD – The University of Birmingham, UK., 2012. – 316 P.
3. Zalyubovskiy M.G. Experimental investigation of the handling process of polymeric units in a machine with a compacted space movement of working capacity / Zalyubovskiy M.G., Panasyuk I.V., Smirnov Y.I., Klaptsov Y.V., Malyshev V.V. // Bulletin of the Kyiv National University of Technologies and Design – 2019. Vol. 2 (132). P. 24 – 32.
4. Zaliubovskiy M.H. Eksperymentalne doslidzhennia vplyvu rezhymiv rukhu robochoho masyvu ta ob'emu zapovnennia yemkosti na intensyvni viddilennia metalovykh detalei vid lynykyv / M.H. Zaliubovskiy, I.V. Panasiuk // Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu tekhnolohii ta dyzainu – 2020. – №1 (142). – S. 27-38.
5. Zalyubovskii M. G. On the study of the basic design parameters of a seven-link Spatial mechanism of a part processing machine / M. G. Zalyubovskii, I. V. Panasyuk // International Applied Mechanics, 56, No. 1, April 2020, 54 – 64.
6. Zalyubovskiy M. G. Synthesis and analysis of redundant-free seven-link spatial mechanisms of part processing machine / M.G. Zalyubovskiy, I.V. Panasyuk, S.O. Koshel', G.V. Koshel' // International Applied Mechanics, 57, No. 4, July 2021, 466 – 476.
7. Zalyubovskii M. G. Studying the main design parameters of linkage mechanisms of part-processing machines with two working barrels / M. G. Zalyubovskii, I. V. Panasyuk // International Applied Mechanics, 56, No. 6, November 2020, 762 – 772.
8. Zaliubovskiy M. G. Synthesis and research of the tumbling machine spatial mechanism / M. G. Zaliubovskiy, I. V. Panasiuk, Yu. I. Smirnov, V. V. Malyshev // Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu, – 2020. – 178, issue 4, 69-75.
9. Burmistenkov O.P. Vyrobnystvo lytykh detalei ta vyrobiv z polimernykh materialiv u vztutievii ta shkirhalantereyinii promyslovosti: monohrafiia / O.P. Burmistenkov, B.M. Zlotenko, V.P. Konoval, I.V. Panasiuk, M.Ie. Skyba, O.M. Syniuk. – Khmelnyts., 2007. – 255 s.
10. Pershin V.F. Pererabotka sypanykh materiyalov v mashynakh barabannoho typu / Pershin V.F., Odnoilko V.H., Pershyna S.V. // Monohrafiya – M.: Mashynostroenye, 2009. – 220 c.
11. Zaliubovskiy M. H. Mashyny zi skladnym rukhom robochykh yemkosti dlia obrobky polimernykh detalei: monohrafiia / M. H. Zaliubovskiy, I. V. Panasiuk, V. V. Malyshev – K.: Universytet «Ukraina», 2018. – 228 s.
12. Panasyuk I. Driving machine shaft angular velocity impact on motion conditional change of granular medium in working reservoir for components compounding and process / I. Panasyuk, M. Zalyubovskiy // Metallurgical and Mining Industry – 2015. – №3. – P. 260-264.
13. Panasiuk I.V. Vyznachennia zakonu zminy kutovoi shvydkosti veduchoho valu mashyny dlia obrobky detalei zi skladnym rukhom robochoi yemkosti / I.V. Panasiuk, M.H. Zaliubovskiy // Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu tekhnolohii ta dyzainu – 2015. – №5. – S. 40-46.
14. Zaliubovskiy M. H. Vdoskonalennia mashyn zi skladnym rukhom robochykh yemkosti dlia obrobky detalei lehkoii promyslovosti: dys. kand. tekhn. nauk. // Spets.: 05.05.10 – mashyny lehkoii promyslovosti: zakhyst 28.11.2017 / Zaliubovskiy Mark Hennadiyovich; nauk. ker.: I. V. Panasiuk; KNUITD. – K.: KNUITD, 2017. – 278 S.

ЗАСПА Юрій

Хмельницький національний університет

<https://orcid.org/0000-0003-3274-172X>e-mail: zaspayuriy@gmail.com

ГІДРОДИНАМІЧНО-ХВИЛЬОВЕ КАЛІБРУВАННЯ ПОТЕНЦІАЛІВ В РІВНЯННЯХ МАКСВЕЛЛА: НЕЛІНІЙНА ДИНАМІКА ТА КОГЕРЕНТНІСТЬ, КОЛАПС, РОЗШИРЕННЯ ТА ОБМІННА ВЗАЄМОДІЯ ІНЕРЦІЙНИХ ДИСИПАТИВНО-КОЛЕКТОРНИХ ЗБУРЕНЬ В НЕРІВНОВАЖНИХ СЕРЕДОВИЩАХ У КОМПЛЕКСНОМУ ПРОСТОРИ. СПІРАЛЬНА ТУРБУЛЕНТНІСТЬ ТА КОГЕРЕНТНІ СТРУКТУРИ ТРИВИМІРНОГО ЧАСУ

Наведені результати гідродинамічно-хвильового калібрування потенціалів в рівняннях Максвелла та в їх аналогах для гравітаційного поля, які поєднують гідродинаміку Ейлера, електродинаміку Максвелла та хвильовий апарат д'Аламбера з квантовими принципами. Нелінійність рівнянь для вектор-потенціалу з розмірністю швидкості забезпечує взаємозв'язок різних польових форм та каскадний транспорт енергії спектром збурень. Отримані рішення цих рівнянь щодо інерційних дисипативно-колекторних збурень, які характеризуються балансом локального та конвективного прискорення, а також врівноважують локальну дисипацію (накопичення) локальною метайнерцією. Вектор-потенціал (хвильова функція) таких форм включає комплексну Ейлерову експоненту, фаза якої залежить від координат збурень, спарених у комплексному просторі – без виділення дійсної, або ж уявної його половини. Обґрунтована сталість фази, що забезпечує когерентний характер поширення біжучих польових форм у комплексному просторі, а також в топологічно адекватному йому тривимірному часі. Останній розглядається в циліндричній системі координат, яка поєднує спіральні та струменеві часові форми. Виявлена відповідність складових оператору Лапласа (в супутній для пари збурень сферичній просторовій системі координат) щодо близькодійної відцентрової енергії відштовхування та далекодійної обмінної енергії притягання, які в сукупності забезпечують механізми колапсу, розширення та динамічного балансу пари. Виділені когерентні резонансні форми руху з тривимірною топологією часу, які широко представлені, зокрема, на спектрах колайдерних резонансів, а також на спектрах технічної, гідродинамічної, геофізичної та космічної турбулентності. Відмічено, що така турбулентність описується саме рівняннями Максвелла у гідродинамічно-хвильовому калібруванні потенціалів, а не рівняннями Нав'є-Стокса, чи-то обрізаними рівняннями магнітної гідродинаміки, що цілковито ігнорують струм зміщення в рівняннях Максвелла. Отримані розрахункові результати підтверджуються натурними даними в системах різного рівня організації. Встановлена головна роль інерційних дисипативно-колекторних збурень в процесах динамічної терморегуляції клімату Землі при циклічній зміні кліматичних оптимумів льодовиковими періодами. В такому контексті наведена критика сучасних галасливих концепцій глобального потепління, що перебільшують антропогенний і техногенний фактори без врахування домінуючих природних чинників. Вказано, що ці чинники слід розглядати в розширеному форматі комплексного простору та тривимірного часу без штучних побудов та самообмежень, притаманних, зокрема, сучасним стандартним фізичним моделям Λ -CDM та SM.

Ключові слова: рівняння Максвелла, гідродинамічно-хвильове калібрування потенціалів, комплексний простір, нерівноважна система, інерція, метайнерція, дисипація, накопичення, фаза, когерентність, резонанси, тривимірний час

ZASPA Yuri

Khmelnytskyi National University

HYDRODYNAMIC-WAVE CALIBRATION OF POTENTIALS IN MAXWELL'S EQUATIONS: NON-LINEAR DYNAMICS AND COHERENCE, COLLAPSE, EXPANSION AND EXCHANGE INTERACTION OF INERTIAL DISSIPATIVE-COLLECTOR DISTURBANCES IN NON-EQUILIBRIUM MEDIA IN THE COMPLEX SPACE. SPIRAL TURBULENCE AND COHERENT STRUCTURES OF THREE-DIMENSIONAL TIME

The results of the hydrodynamic-wave calibration of the potentials in Maxwell's equations and their analogs for the gravitational field, which combine Euler's hydrodynamics, Maxwell's electrodynamics, and d'Alembert's wave apparatus with quantum principles, are given. The nonlinearity of the equations for the vector-potential with the velocity dimension ensures the interrelationship of different field forms and the cascade transport of energy by the disturbance spectrum. The obtained solutions of these equations for inertial dissipative-collector disturbances, which are characterized by a balance of local and convective acceleration, and also balance local dissipation (accumulation) with local metainertia. The vector-potential (wave function) of such forms includes a complex Euler exponent, the phase of which depends on the coordinates of the disturbances paired in the complex space - without distinguishing its real or imaginary half. Reasoned constancy of the phase, which ensures the coherent nature of the propagation of running field forms in complex space, as well as in topologically adequate three-dimensional time. The latter is considered in a cylindrical coordinate system that combines spiral and jet time forms. The correspondence of the components to the Laplace operator (in the spherical spatial coordinate system associated with the pair of disturbances) with respect to the near-acting centrifugal energy of repulsion and the long-range exchange energy of attraction, which collectively provide the mechanisms of collapse, expansion, and dynamic balance of the pair, has been revealed. Coherent resonant forms of motion with a three-dimensional topology of time are highlighted, which are widely represented, in particular, on the spectra of collider resonances, as well as on the spectra of technical, hydrodynamic, geophysical, and space turbulence. It is noted that such turbulence is described precisely by Maxwell's equations in the hydrodynamic-wave calibration of potentials, and not by the Navier-Stokes equations, or by the truncated equations of magnetohydrodynamics, which completely ignore the displacement current in Maxwell's equations. The obtained

calculation results are confirmed by actual data in the systems of different levels of the organization. The main role of inertial dissipative-collector disturbances in the processes of dynamic thermoregulation of the Earth's climate during the cyclical change of climatic optimums during ice ages has been established. In this context, criticism of the current noisy concepts of global warming, which exaggerate anthropogenic factors without taking into account the dominant natural factors, is presented. It is indicated that these factors should be considered in an expanded format of complex space and three-dimensional time without artificial constructions and self-limitations inherent, in particular, in modern standard physical models Lambda-CDM and SM.

Key words: Maxwell's equations, hydrodynamic-wave calibration of potentials, complex space, nonequilibrium system, inertia, metainertia, dissipation, accumulation, phase, coherence, resonances, three-dimensional time

При гідродинамічно-хвильовому калібруванні потенціалів в рівняннях Максвелла [1–3] здійснюється перехід від класичного вектор-потенціалу \vec{A} електромагнітного поля до вектор-потенціалу \vec{V} з розмірністю швидкості (тут і далі використовується система СГС):

$$\vec{A} = \frac{c}{\sqrt{g}} \cdot \vec{V}, \quad (1)$$

де c – швидкість світла у вакуумі, g – калібрувальна константа з розмірністю сталої всесвітнього тяжіння.

Перша калібрувальна умова пов'язує скалярний потенціал поля φ з вектор-потенціалом наступним чином:

$$\varphi = \frac{\sqrt{g}}{c^2} \cdot (\vec{A})^2 / 2 = \frac{1}{\sqrt{g}} (\vec{V})^2 / 2 \quad (2)$$

В результаті з системи рівнянь Максвелла отримуємо наступне рівняння для вектор-потенціалу \vec{V} [1–3]:

$$\vec{a} = v_m \cdot (\Delta \vec{V} - \frac{\varepsilon \mu}{c^2} \frac{\partial^2 \vec{V}}{\partial t^2} - \frac{\varepsilon \mu}{c^2} \cdot \vec{V} \cdot (\Delta (\vec{V})^2 / 2 + \frac{\partial}{\partial t} \nabla \vec{V}) - \nabla (\nabla \vec{V} + \frac{\varepsilon \mu}{c^2} \frac{\partial}{\partial t} (\vec{V})^2 / 2)) \quad (3)$$

Тут

$$\vec{a} = \frac{d\vec{V}}{dt} = \frac{\partial \vec{V}}{\partial t} + (\vec{V} \cdot \nabla) \vec{V} = \frac{\partial \vec{V}}{\partial t} + \nabla (\vec{V})^2 / 2 - [\vec{V} \times \text{rot} \vec{V}] \quad (4)$$

– повна похідна вектор-потенціалу за часом у формі Ейлерового прискорення,

$$v_m = \frac{c^2}{4\pi\mu\sigma} \quad (5)$$

– магнітна в'язкість середовища, в якому поширюються польові форми, ε, μ, σ – відповідно електрична та магнітна проникність, а також провідність цього середовища.

Застосуємо другу калібрувальну умову у формі Лоренца:

$$\nabla \vec{V} + \frac{\varepsilon \mu}{c^2} \frac{\partial}{\partial t} (\vec{V})^2 / 2 = 0 \quad (6)$$

За цієї умови рівняння (3) запишеться у спрощеному вигляді:

$$\vec{a} = v_m \cdot (\Delta \vec{V} - \frac{\varepsilon \mu}{c^2} \frac{\partial^2 \vec{V}}{\partial t^2} - \frac{\varepsilon \mu}{c^2} \cdot \vec{V} \cdot (\Delta (\vec{V})^2 / 2 - \frac{\varepsilon \mu}{c^2} \frac{\partial^2}{\partial t^2} (\vec{V})^2 / 2)) \quad (7)$$

Введемо позначення:

$$\frac{c^2}{\varepsilon \mu} = v_{ph}^2, \quad (8)$$

де v_{ph} – фазова швидкість польових форм. Виходячи з антисиметрії електромагнітного та гравітаційного полів [1–3], запишемо узагальнену форму рівняння (7) для обох полів:

$$\vec{a} = \pm v \cdot (\Delta \vec{V} - \frac{1}{v_{ph}^2} \frac{\partial^2 \vec{V}}{\partial t^2} - \frac{\vec{V}}{v_{ph}^2} \cdot (\Delta (\vec{V})^2 / 2 - \frac{1}{v_{ph}^2} \frac{\partial^2}{\partial t^2} (\vec{V})^2 / 2)) \quad (9)$$

Тут v – константа з розмірністю магнітної, або ж кінематичної в'язкості (см²/с), знаки \pm відносяться відповідно до електромагнітного та гравітаційного полів. Як уже зазначалось [1–3], рішення такого роду нелінійних рівнянь слід шукати у формі, яка включає комплексну Ейлерову експоненту – без виділення суто дійсної або ж суто уявної її частини. Останнє вельми характерно для існуючих теорій електромагнітного поля [4–8].

Найпростішими формами рішення рівняння (9) є наступні струменеві форми [1–3]:

$$\vec{V} = \vec{V}_a \cdot e^{+i(\omega \vec{r} + \vec{K} \vec{R})} \quad (10)$$

$$\vec{V} = \vec{V}_a \cdot e^{-i(\omega \mp \vec{K} \cdot \vec{R})} \quad (11)$$

Тут \vec{V}_a – комплексна амплітуда, i – уявна одиниця, t – час, ω, \vec{K} – циклічна частота та хвильовий вектор форми поля, \vec{R} – радіус-вектор. Підстановка (10, 11) і (9) зануляє одночасно ліву та праву частини рівняння (9) за відповідних умов:

$$\omega = \pm \vec{K} \cdot \vec{V}, \quad v_{ph}^2 = \frac{\omega^2}{(\vec{K})^2} \quad (12, 13)$$

Знаки \pm в (12) відповідають знакам \mp у фазі комплексної експоненти в (10, 11). Особливістю дисперсійного співвідношення (12) є те, що частота ω стоїть як у лівій його частині, так і у правій – у фазі \vec{V} . Отже, сталість ω повинна забезпечуватись сталістю фази, що за фізичним сенсом визначає біжучі (а не стоячі) когерентні польові збурення. Групова швидкість таких збурень безпосередньо слідує з (12):

$$\vec{v}_{gr} = \frac{\partial \omega}{\partial \vec{K}} = \pm \vec{V} \quad (14)$$

Ейлерові комплексні форми (10, 11) по суті відображають пару збурень у комплексному просторі, що поширюються одночасно у дійсному та уявному підпросторах [1–3]. Взаємодія цих збурень може бути врахована шляхом розширення форм (10, 11) супутною центрально-симетричною (сферичною) системою відліку:

$$\vec{V} = \vec{V}_a \cdot e^{+i(\omega \mp \vec{K} \cdot \vec{R} \mp k_r \cdot r \mp |m| \cdot \varphi)} \cdot \Theta_{l,m}(\theta) \quad (15)$$

$$\vec{V} = \vec{V}_a \cdot e^{-i(\omega \mp \vec{K} \cdot \vec{R} \mp k_r \cdot r \mp |m| \cdot \varphi)} \cdot \Theta_{l,m}(\theta) \quad (16)$$

Тут r, θ, φ – радіус-вектор відносного руху збурень, а також полярний та азимутальний кути сферичної системи координат, k_r, l, m – радіальне хвильове число, а також орбітальне та магнітне квантові числа, $\Theta_{l,m}(\theta)$ – полярна частина сферичних функцій, яка виражається через приєднані поліноми Лежандра [6]. Форми (15, 16) враховують збереження орбітального моменту імпульсу пари збурень у центрально-симетричному полі їх взаємодії [6].

Подібно до попереднього розгляду струменевих форм (10, 11), розглянемо спрощені форми пари збурень в супутній системі відліку без врахування направленої руху центру мас пари:

$$\vec{V} = \vec{V}_a \cdot e^{+i(\omega \mp k_r \cdot r \mp |m| \cdot \varphi)} \cdot \Theta_{l,m}(\theta) \quad (17)$$

$$\vec{V} = \vec{V}_a \cdot e^{-i(\omega \mp k_r \cdot r \mp |m| \cdot \varphi)} \cdot \Theta_{l,m}(\theta) \quad (18)$$

Як і раніше, вимагатимемо занулення операторів д'Аламбера у правій частині (9), що для форм (17, 18) веде до наступних співвідношень:

$$\left(\mp \frac{2ik_r}{r} - k_r^2 - \frac{l(l+1)}{r^2} + \frac{\omega^2}{v_{ph}^2} \right) \cdot \vec{V} = 0 \quad (19)$$

$$\left(\pm \frac{2ik_r}{r} - k_r^2 - \frac{l(l+1)}{r^2} + \frac{\omega^2}{v_{ph}^2} \right) \cdot \vec{V} = 0 \quad (20)$$

Нетривіальні рішення цих рівнянь визначаються зануленням виразів у дужках. Зауважимо, що перший та третій члени цих виразів, які залежать від r , слід розглядати як складові потенційної енергії взаємодії пари збурень – за мови зміни знаку та домноження на розмірний коефіцієнти виду $v \cdot Y$, де Y – розширений аналог сталої Планка [2, 3]. Це безпосередньо впливає з фізичної суті оператора Лапласа в рівнянні Шредінгера [6], аналогом якого в даному випадку виступає однорідне рівняння д'Аламбера. Таким чином, за вказаних умов, третій член в дужках в (19, 20) відображає відштовхувальну відцентрову потенційну взаємодію пари збурень, яка носить короткодіючий характер, оскільки обернено пропорційна до

квадрату відносної відстані. З іншого боку, перший далеко діючий член в дужках в (19, 20) відповідає обмінній взаємодії пари збурень, яка за відповідного вибору знаків у (19, 20) має характер притягання, що з'єднує пару. Таке притягання, як і відцентрове відштовхування, має колапсний характер, в той час як складова k_r^2 в (19, 20) відображає хвильову асимптотику збурень. Як колапсні, так і асимптотична складові в (19, 20) повинні бути енергетично збалансовані четвертим (частотним) членом в дужках, що для колапсних процесів визначає їх сильно виражену нестационарність, яка зазвичай ігнорується при вирішенні відповідних рівнянь Шредінгера [6].

Слід зауважити, що дійсний характер обмінної енергії, відображений першим членом в (19, 20), у кожному з двох підпросторів комплексного простору може бути забезпечений лише за умови змішування координат збурень одного підпростору та хвильових чисел збурень іншого підпростору, що підтверджує запропонований раніше механізм взаємодії пари збурень через обмінне інерційне випромінювання [2, 3]. Термін «інерційне» виправданий необхідністю згадуваного вже занулення лівої частини (9):

$$\vec{a} = 0 \quad (21)$$

За фізичним змістом такого роду рух пари збурень за інерцією забезпечується, з одного боку, балансом локального та конвективного прискорення (ліва частина (9)), а з іншого – балансом локальної дисипації (накопичення) та локальної метаінерції (права частина операторів д'Аламбера в (9)). Під метаінерцією тут розуміється друга частинна похідна вектор-потенціалу за часом, яка має розмірність метаприскорення. Таким чином, базові рівняння (7, 9) поєднують гідродинаміку Ейлера, електродинаміку Максвелла та хвильовий апарат д'Аламбера. При цьому розширена форма (9), як вже зазначалось [2], відображає антисиметрію електромагнітного та гравітаційного полів: гарячий електромагнітний та холодний гравітаційний колапс, холодне електромагнітне та гаряче гравітаційне розширення.

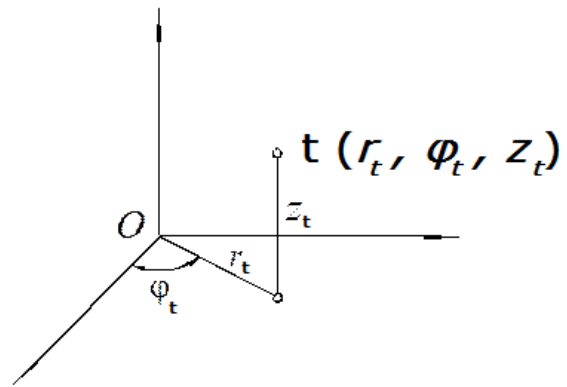


Рис.1. Циліндрична система координат тривимірного часу

Виходячи з необхідності сталості фази біжучих збурень в (15, 16), слід суттєво розширити розмірність часу як такого. Адже одномірність t тут аж ніяк не забезпечить топологічний баланс з просторовими параметрами \vec{R} , r , φ . Такий баланс може бути забезпечений лише тривимірністю часу в циліндричній системі координат з віссю Z_t , як аналогом \vec{R} , а також з полярним радіусом r_t – аналогом r та з азимутальним кутом φ_t – аналогом φ (рис. 1). Подвійність знаків складових фази в (15–18) відображає наявність правої та лівої спіралей часу, причому переважно струменевим формам, близьким до (10, 11), відповідають сильно розтягнені в напрямку Z_t спіралі часу, а переважно сферичним формам виду (17, 18) – квазидвовимірні часові спіралі в полярній площині циліндричної системи координат часу. Особливий вид когерентних структур часу, топологічно адекватних просторовим формам інерційних збурень, становлять тривимірні резонансні структури, що зазвичай займають характерну спектральну долину збурень в природних системах різного рівня організації (розглядається нижче). Слід відзначити також, що згадана вище топологічна адекватність просторових та часових форм збурень є неповною, адже розуміється лише в рамках збалансування фази в (15–18). Просторові форми, як видно, включають додаткову розмірність полярного кута θ . З іншого боку, складова фази з азимутальним кутом φ , присутня в топології часу, ніяк не відображається на енергетиці збурень (відоме виродження за магнітним квантовим числом у центрально-симетричному полі з $l \neq 0$ [6]). Енергія (відцентрова) тут залежна лише від l . Така розбіжність ставить питання щодо домінантного чинника: енергетика чи когерентність інерційних збурень? Виходячи з характерної особливості саме біжучих (в часі та просторі) збурень, слід віддати перевагу когерентності. Як буде показано нижче, саме квазидвовимірні часові спіралі турбулентності часу (та топологічно адекватна їй бульбашкова турбулентність просторових форм [3]) забезпечують домінуючий обернений енергетичний каскад в системі інерційних збурень. Вторинний прямиї енергетичний каскад (в бік менших часових і просторових масштабів) тут обумовлений квазидвовимірними струменевими формами, а також колапсними процесами. Нелінійність базових рівнянь поля (7, 9) веде до взаємозалежності різноманітних польових форм. Зауважимо, що рівняння (7, 9) включають у правих частинах додаткові нелінійні складові (до розглянутих вище) з операторами д'Аламбера відносно половинних квадратів вектор-потенціалу. Необхідне занулення цих складових обумовлює в багатьох випадках наявність виражених других гармонік на частотних спектрах збурень, що є характерною особливістю спектрів (розглядається нижче).

Взявши ротор (21), з врахуванням (4) отримаємо:

$$\frac{\partial \vec{\Omega}}{\partial t} - \text{rot} [\vec{V} \times \vec{\Omega}] = 0, \quad \vec{\Omega} = \text{rot} \vec{V} \quad (22, 23)$$

де $\vec{\Omega}$ – завихореність вектор-потенціалу поля. Рівняння (22), як відомо, визначає т.з. «вмороженість» завихореності $\vec{\Omega}$, однак не у речовину [7,8], а в біжучі інерційні збурення. Ця різниця, зокрема, пояснює всі труднощі існуючих теорій гідродинамічної турбулентності, зациклені на рівняннях Нав'є-Стокса та на їх спрощених формах [7], а також підкреслює безнадійність відомих підходів магнітної гідродинаміки щодо механізмів генерації геомагнітного поля та принципів магнітного утримання плазми (у т.ч. термоядерної), які цілковито ігнорують струм зміщення в рівняннях Максвелла [8]. Як гідродинамічна, так і магнітогідродинамічна, а також гравітаційна турбулентність, описуються рівняннями (7, 9).

Зауважимо, що рівняння (7, 9, 19, 20) мають, споміж іншого, тривіальні рішення:

$$\vec{V} = 0, \quad (24)$$

а також (щодо (7, 9)) квазіконтинуальний спектр рішень, які задовольняють (7, 9) в цілому, а не зануляють побочно їх ліві та праві частини. Такі рішення обумовлюють турбулентне перенесення енергії в обидва кінці спектру збурень. При цьому порушується умова (21) щодо «вмороженості» завихореності вектор-потенціалу збурень (та відповідного магнітного поля). Спеціально відмітимо також, що термін «інерційний» використовується тут в плані когерентного руху масивних збурень за інерцією, а не у відношенні до сил інерції (якраз навпаки). При цьому із застосуванням квантових принципів та співвідношень [2, 3] інертна маса збурень m пов'язується з параметрами V та Y наступним чином:

$$v = \frac{Y}{m} \quad (25)$$

Врешті відмітимо, що вживаний тут термін «обмінна взаємодія» має широке тлумачення: одночасно як перекриття (змішування) компонент хвильових функцій \vec{V} дійсного та уявного підпросторів та як обмін квантами інерційного випромінювання [2, 3].

Вищенаведені розрахункові співвідношення безпосередньо підтверджуються натурними даними в системах різного рівня організації. Зокрема, на рис. 2–8 наведені спектри інерційних збурень в технічних трибоконтактних, колайдерних, біологічних, геофізичних та космічних системах. На них виразно проявлені характерні спектральні долини, що розділяють низькочастотні спіральні та високочастотні струменеві форми руху. Резонанси тривимірної часової конфігурації займають або безпосередньо цю долину (рис. 2), або ж лежать на її схилах – низькочастотному (рис. 4, 5, 7), та високочастотному (рис. 6). Останні два випадки характеризують відповідно обернений та прямий енергетичні каскади в нелінійній системі інерційних збурень [1–3].

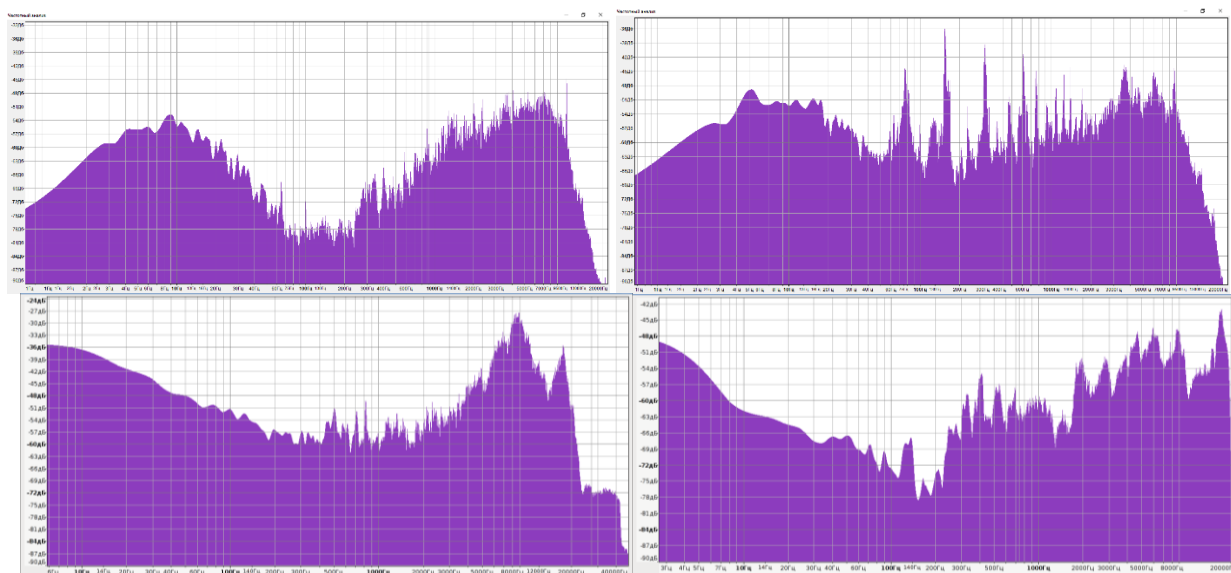


Рис. 2. Спектри акустичної емісії процесів різання в технічних системах

На спектрах рис. 2, 7 виділяються підсилені другі гармоніки резонансних збурень, обумовлені вже згадуваною структурою рівнянь (7, 9). Електромагнітне випромінювання Сонця також демонструє явно виражену спектральну долину та інерційні резонанси в ультрафіолетовому діапазоні спектру – рис. 9. Для зір середніх та останніх спектральних класів, як уже відзначалось [3], характерне домінування оберненого енергетичного каскаду (рис. 9), а для зір перших класів – прямого. Останні, як відомо, становлять тотальну меншість у спостережуваній частині Космосу. Пульсації зір, зокрема цефеїд, мають чітко виражену колапсуну динаміку, що виявляється у протифазі радіальної проекції швидкості та оптичної світимості – рис. 10.

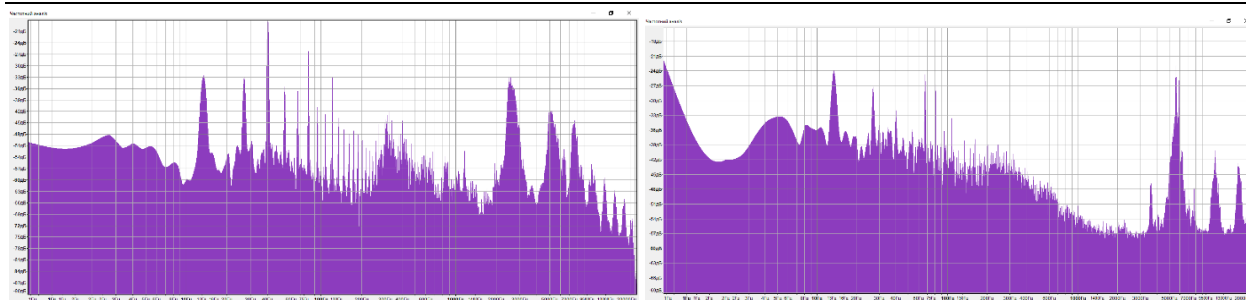


Рис. 3. Акустоемісійні спектри в технічній системі різання в умовах загальної (зліва) та локальної (справа) спектральної когерентності

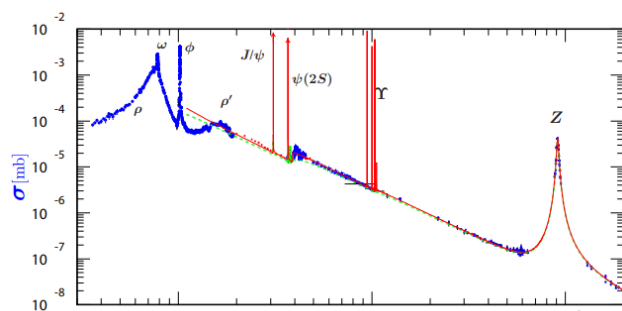


Рис. 4. Спектри розсіяння електронів на позитронах у зустрічних пучках [11]

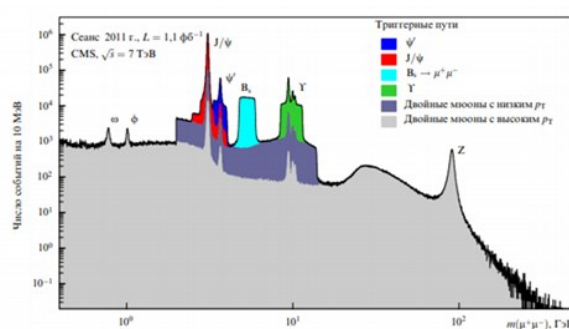


Рис. 5. Спектри інваріантних мас подвійних мюонів, отримані в експериментах на Великому адронному колайдері [11]

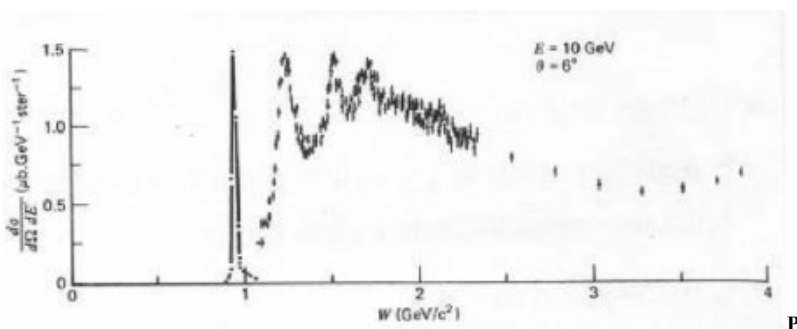
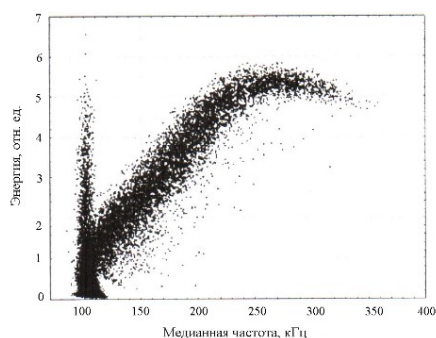


Рис. 6. Акустоемісійний спектр в технічній трибоконтактній системі (зліва) [1–3] та в колайдерній системі розсіяння електронів на протонах (справа) [12]

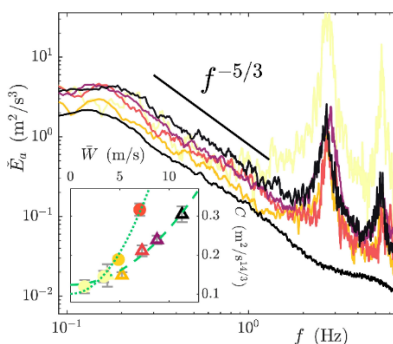
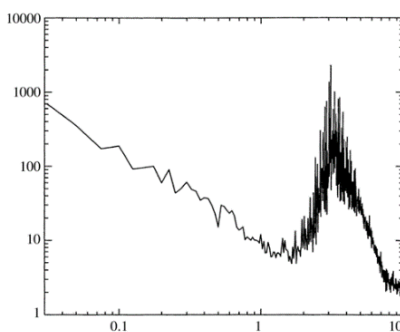
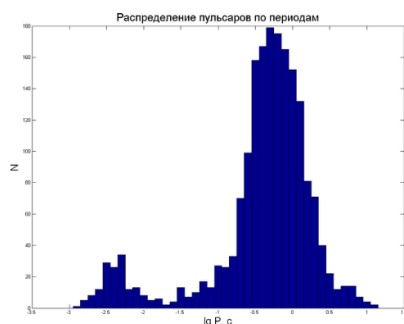


Рис. 7. Спектри періодів випромінювання пульсарів (зліва), коливань сонячного диску (посередині) та турбулентних збурень над крилом птаха [1–3, 14]

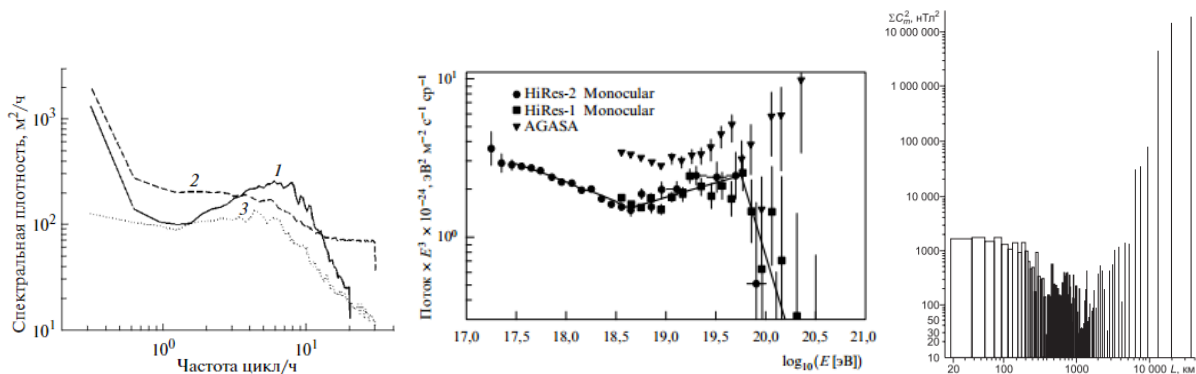


Рис. 8. Спектри шельфової океанічної турбулентності (зліва), космічних променів надвисоких енергій (посередині) та просторових варіацій геомагнітного поля (справа) [1–3, 13]

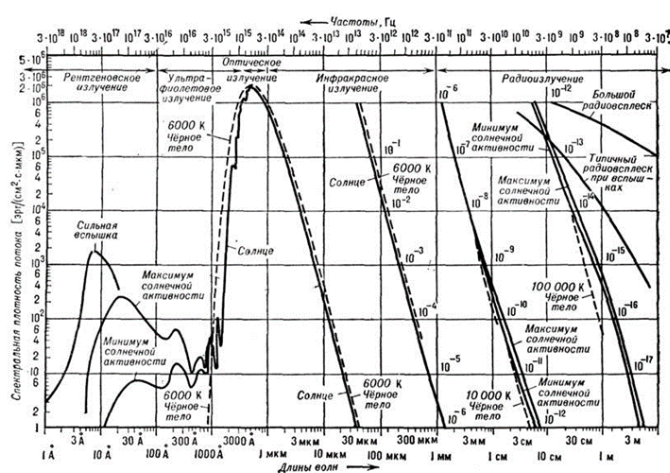


Рис. 9. Спектр електромагнітного випромінювання Сонця [1-3]

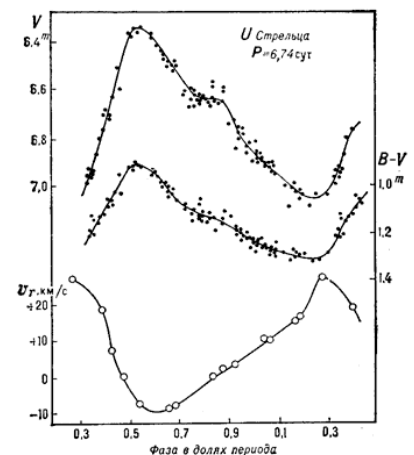


Рис. 10. Фазова періодограма пульсацій цефеїди [1–3]

Просторові конфігурації інерційних форм руху (рис. 11–13) наслідують топологію тривимірного часу. Динамічна зміна цієї топології може бути раптовою, або ж еволюційною. Перший випадок характерний, зокрема, для сонячних спалахів та викидів (рис. 12), спікул (рис. 11) та космічних струменів (рис. 13), вибухів нових та наднових зір (рис. 13) та ін. Комірчасті (рис. 11) та спіральні (рис. 13) структури різного рівня організації зазвичай демонструють спокійнішу динаміку.



Рис. 11. Спіральні, комірчасті та струменеві когерентні структури руху на поверхні Сонця [15, 16]

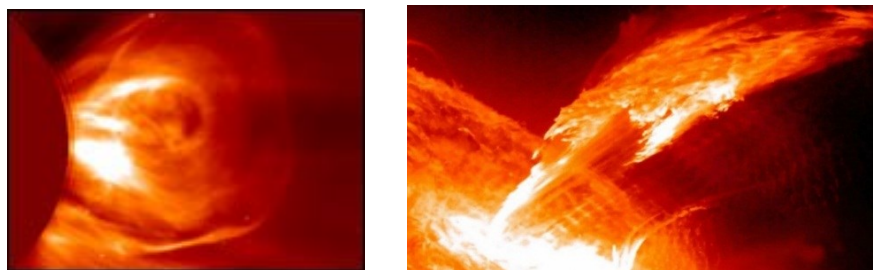


Рис. 12. Раптова зміна спіральної топології структур на поверхні Сонця на струменевий викид [15, 16]

Кластерна та струменева топології збурень характерні, зокрема, для експериментів з т.з. бульбашкового термоядерного синтезу – рис.14. Існуючі теорії такого роду процесів не враховують розглянуті тут механізми колапсу. Зокрема, зазвичай вважається, що його частота співпадає з частотою ультразвукової накачки. Однак, наприклад, остання в умовах роботи [9] становила приблизно 17 кГц, в той

час, як колапсні пульсації тут відбувались з частотою близько 2,3 кГц, яка відповідає просторовому резонансу квантів інерційних збурень з масою дейтерію із фотонами теплового випромінювання кімнатної температури [2,3]. Інерційні струменеві викиди плазми на стінки робочої камери визначають малі та великі периферійні зриви реакцій «керованого» термоядерного синтезу в токамаках [1–3]. Аналіз цих аварійних процесів зазвичай ведеться в рамках недолугих співвідношень магнітної гідродинаміки, що цілковито ігнорують струм зміщення в рівняннях Максвелла [8]. Такий підхід обумовлює хронічні невдачі в цій галузі.

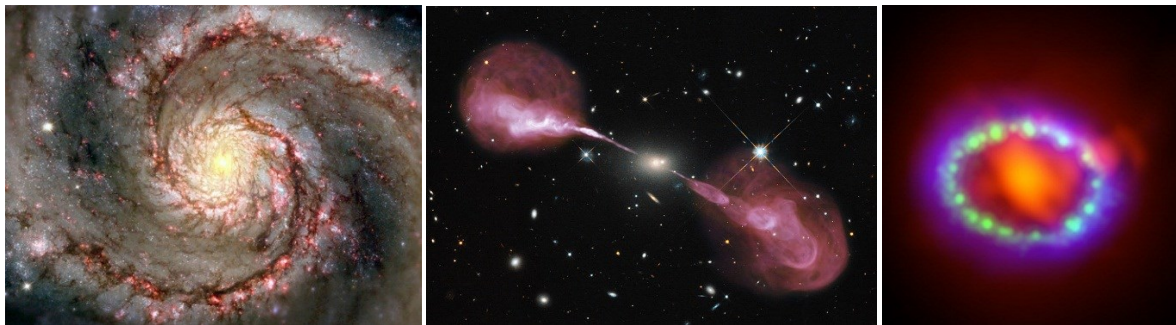


Рис. 13. Спіральні, струменеві та постколапсні структури космічної турбулентності [1–3]

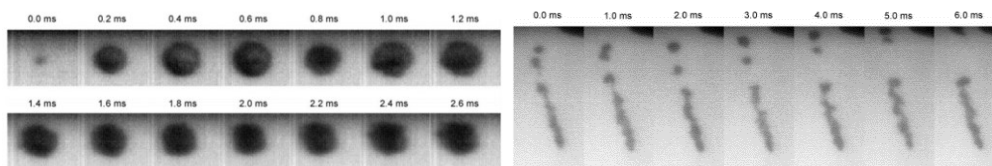


Рис. 14. Кластерні (зліва) та струменеві (справа) форми кавітації в експериментах з бульбашкового термоядерного синтезу [9]

Спіральні візерунки на дисках галактик (рис. 13) мають явно виражену форму колапсних вивр, утворених при енергетичному переході від більших космічних масштабів до менших. Зворотний каскад в космічних системах представлений передусім тривимірним Хабблівським розширенням, хибно віднесеним на рахунок т. з. Великого вибуху [1–3]. Поєднання прямого та зворотного енергетичних каскадів на спектрах інерційних збурень у природних системах всіх рівнів організації ставить питання щодо механізмів енергетичної накачки в цілому у Космосі, який вочевидь є термодинамічно-нерівноважною системою. Логічно прийнятним механізмом накачки тут є відносний рух дійсного та уявного підпросторів загального комплексного простору в умовах розподіленого контакту обох підсистем. Масивність контактано-наведених збурень [2, 3] забезпечує відповідний фактор інерції та метайнерції. Питаннями, що виходять за межі даного розгляду, залишаються первинні гіперчинники такого руху, а також сама природа простору як середовища, уміщуючого електромагнітні, гравітаційні та гідродинамічні польові форми руху.

Згадуваний вже фактор балансу локальної дисипації (накопичення) та локальної метайнерції при поширенні інерційних збурень лежить в основі динамічної терморегуляції клімату Землі [10], яка на сьогодні цілковито ігнорується галасливими закликами до боротьби з глобальним потеплінням. Переоцінка антропогенного фактору та парникового ефекту в процесі природного потепління, яке вже йде на спад [10], створює глобальні економічні та політичні проблеми, посилюючи нашу залежність від ядерної енергетики та газових монополістів. Варто зрозуміти, що природний перехід від фази дисипації до фази накопичення енергії когерентного руху глобальних інерційних збурень, який обумовлює циклічну зміну кліматичних оптимумів льодовиковими періодами, практично не залежить від нашої скромної ролі на планеті Земля.

В такому контексті слід зробити висновки про те, що стійке тяжіння сучасної фізики до вполовинення природних явищ лишень дійсною частиною загального комплексного простору [4–8] породжує не тільки цілковито хибні фізичні стандарти на кшталт Lambda-CDM та SM [2, 3], але й віддаляє нас від адекватного розуміння природи в цілому. Наведені вище результати можуть розглядатись в якості реалізації концепції нової старої фізики [1–3], яка відшукує втрачену другу половину цілого.

Література

1. Заспа Ю.П. Контактне динамо як генератор когерентних (кооперативних) космічних форм руху та механізм об'єднання електромагнітного, гравітаційного, сильного і слабого полів. Частина IX. Нова стара фізика / Ю.П. Заспа // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2017. – № 6. – С. 293–306.
2. Заспа Ю.П. Нелінійна контактна динаміка та антисиметрія корпускулярно-вихор-хвильових форм електромагнітного та гравітаційного полів у фоновому середовищі комплексного Евклідового простору / Ю.П. Заспа // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2021. – № 2 (295). – С. 193–205.
3. Заспа Ю.П. Квантова когерентність і кавітація, квазідвовимірні бульбашкова турбулентність,

резонансна синхронізація мод, каскадна енергетика та самоорганізація в гетерогенних системах масивного хітонного випромінювання / Ю.П. Заспа // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2021. – № 6 (303). – С. 15–25.

4. Ландау Л.Д. Теория поля / Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. – М. : Наука, 1988. – 512 с.
5. Берестецкий В.Б. Квантовая электродинамика / Берестецкий В.Б., Лифшиц Е.М., Питаевский А.П. – М. : Наука, 1989. – 728 с.
6. Ландау Л.Д. Квантовая механика / Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. – М. : Наука, 1989. – 768 с.
7. Ландау Л.Д. Гидродинамика / Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. – М. : Наука, 1986. – 736 с.
8. Ландау Л.Д. Электродинамика сплошных сред / Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. – М. : Наука, 1982. – 621 с.
9. Xu Y. Confirmatory Experiments for Nuclear Emissions During Acoustic Cavitation / Y. Xu, A. Butt // Nuclear Engineering and Design. – 2005. – V. 235. – P. 1317–1324
10. Заспа Ю.П. Кооперативна контактна динаміка хвильових структур в гіперкомплексному спіральному часі та в комплексному Евклідовому просторі як основа геодинаміки та хвильових змін клімату Землі. Фактичний спад глобального потепління та перспектива нового льодовикового періоду / Ю.П. Заспа // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2018. – № 5 (265). – С. 290–301.
11. Review of Particle physics. Particle Data Group. URL: <http://pdg.lbl.gov>
12. Probing the Proton: Electron – Proton Scattering. URL: <https://www2.ph.ed.ac.uk/~vjm/Lectures/.../PPNotes3.pdf>
13. Alldredge L.R.. A magnetic profile around the world / L.R. Alldredge, G. van Voorhis, T.M. Davis // J. Geophys. Res. – 1963. – V. 68. – P. 3679–3692
14. Laurent K.M. Turbulence explains the accelerations of an eagle in natural flight / K.M. Laurent, B. Fogg, T. Ginsburg, C. Halverson, M.J. Lanzone, T.A. Miller, D.W. Winkler, G.P. Bewley // PNAS. – 2021. – V. 118, № 23. – P. 1–6.
15. Nasa SDO Fiery Looping rain on the Sun. Molten Rainbow a closer look - Time Lapse Sun Video. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=zlZoQ8aGdn0>
16. Biggest Solar Flare on Record. URL: <https://visibleearth.nasa.gov/images/55580/biggest-solar-flare-on-record>

References

1. Zaspа Yu.P. Kontaktne dynamo yak henerator koherentnykh (kooperatyvnykh) kosmichnykh form rukhu ta mekhanizm obiednannia elektromahnitnoho, hravitatsiinoho, sylnoho i slabkoho poliv. Chastyna IKh. Nova stara fizyka / Yu.P. Zaspа // Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Tekhnichni nauky. – 2017. – № 6. – S. 293–306.
2. Zaspа Yu.P. Nelineina kontaktna dynamika ta antysymetriia korpuskuliamo-vykhorkhvylovykh form elektromahnitnoho ta hravitatsiinoho poliv u fonovomu seredovyshchi kompleksnoho Evklidovoho prostoru / Yu.P. Zaspа // Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Tekhnichni nauky. – 2021. – № 2 (295). – S. 193–205.
3. Zaspа Yu.P. Kvantova koherentnist i kavitatsiia, kvazidvovymira bulbashkova turbulentnist, rezonansna synkronizatsiia mod, kaskadna enerhetyka ta samoorhanizatsiia v heterohennykh systemakh masyvnoho khitonnoho vyprominiuvannia / Yu.P. Zaspа // Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Tekhnichni nauky. – 2021. – № 6 (303). – S. 15–25.
4. Landau L.D. Teoriya polia / Landau L.D., Lyfshyts E.M. – M. : Nauka, 1988. – 512 s.
5. Berestetskyi V.B. Kvantovaia elektrodinamika / Berestetskyi V.B., Lyfshyts E.M., Pytaevskiy A.P. – M. : Nauka, 1989. – 728 s.
6. Landau L.D. Kvantovaia mekhanika / Landau L.D., Lyfshyts E.M. – M. : Nauka, 1989. – 768 s.
7. Landau L.D. Hydrodinamika / Landau L.D., Lyfshyts E.M. – M. : Nauka, 1986. – 736 s.
8. Landau L.D. Elektrodinamika sploshnykh sred / Landau L.D., Lyfshyts E.M. – M. : Nauka, 1982. – 621 s.
9. Xu Y. Confirmatory Experiments for Nuclear Emissions During Acoustic Cavitation / Y. Xu, A. Butt // Nuclear Engineering and Design. – 2005. – V. 235. – P. 1317–1324
10. Zaspа Yu.P. Kooperativna kontaktna dynamika khvylovykh struktur v hiperkompleksnomu spiralnomu chasi ta v kompleksnomu Evklidovomu prostori yak osnova heodynamiky ta khvylovykh zmin klimatu Zemli. Faktychnyi spad hlobalnoho poteplinnia ta perspektyva novoho lodovykovoho periodu / Yu.P. Zaspа // Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Tekhnichni nauky. – 2018. – № 5 (265). – S. 290–301.
11. Review of Particle physics. Particle Data Group. URL: <http://pdg.lbl.gov>
12. Probing the Proton: Electron – Proton Scattering. URL: <https://www2.ph.ed.ac.uk/~vjm/Lectures/.../PPNotes3.pdf>
13. Alldredge L.R.. A magnetic profile around the world / L.R. Alldredge, G. van Voorhis, T.M. Davis // J. Geophys. Res. – 1963. – V. 68. – P. 3679–3692
14. Laurent K.M. Turbulence explains the accelerations of an eagle in natural flight / K.M. Laurent, B. Fogg, T. Ginsburg, C. Halverson, M.J. Lanzone, T.A. Miller, D.W. Winkler, G.P. Bewley // PNAS. – 2021. – V. 118, № 23. – P. 1–6.
15. Nasa SDO Fiery Looping rain on the Sun. Molten Rainbow a closer look - Time Lapse Sun Video. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=zlZoQ8aGdn0>
16. Biggest Solar Flare on Record. URL: <https://visibleearth.nasa.gov/images/55580/biggest-solar-flare-on-record>

КАПІТАНЕЦЬ Степан

Хмельницький національний університет

e-mail: stepan.kapitanets@gmail.com

РАДЕЛЬЧУК Галина

Хмельницький національний університет

<https://orcid.org/0000-0002-9728-4390>e-mail: gal_2015@ukr.net

ОСОБЛИВОСТІ ЛОГУВАННЯ ДАНИХ ТА ВПЛИВ ТИПУ ДОДАТКА НА ВИБІР МЕТОДОЛОГІЇ ЛОГУВАННЯ

Для підвищення надійності програмних систем та своєчасного виявлення проблем використовується журналювання (логування) даних. Вивчаючи журнали додатків, розробники програмного забезпечення можуть виявляти аномалії та помилки у роботі програмних систем, знайти причину і надати оновлення чи патч із виправленнями. Тим не менше, не дивлячись на важливість практики логування даних, у більшій частині випадків цей процес відбувається хаотично. Розробники пишуть код журналювання виключно на основі своїх власних міркувань або ж взагалі нехтують ним.

У статті описано дослідження, яке було зосереджене на стратегіях логування, що використовуються на реальних проектах різних типів. Було проведено дослідження методів логування десктопних та веб-додатків, а також запропоновано покращення для методології створення журнальованих даних, які роблять її більш гнучкою та зручною для команд розробників програмного забезпечення, незалежно від типів розроблюваних додатків.

Ключові слова: журналювання даних, логування, виявлення аномалій, виявлення помилок, методологія журналювання.

KAPITANETS Stepan, RADELCHUK Galina

Khmelnytsky National University, Ukraine

PECULIARITIES OF DATA LOGGING AND INFLUENCE OF APPLICATION TYPE ON THE CHOICE OF LOGGING METHODOLOGY

Software is not perfect and may contain bugs that cannot be detected by tests, or that will manifest themselves only over time. Sometimes problems can occur even in the code of third-party libraries or services that are used in the software system. To improve the reliability of software systems and timely detection of problems, data logging is used. Logging is a very important aspect of software development. By studying application logs, software developers can detect anomalies and errors in software systems, find the cause and provide an update or patch with fixes. Nevertheless, despite the importance of data logging practice, in most cases this process is chaotic. Developers write logging code solely based on their own considerations or neglect it altogether.

This study points to the need to improve the state of research on data logging practices. For example, more efforts should be made to define what exactly to log, to generate logging data in a clear way and from the developer's point of view with enough information to recreate the events even without having to run the application. This article describes ways in which this can be achieved.

This research aims to establish a comprehensive understanding of the state of the art in data logging research with an emphasis on identifying possible problems and gaps that will further shed light on potential future research directions. This paper describes a study that focused on logging strategies used on real projects of different types. It investigated logging methods for desktop and web applications, and proposed improvements to the logging methodology that make it more flexible and convenient for software development teams regardless of the types of applications being developed.

Keywords: data logging, logging, anomaly detection, error detection, logging methodology.

Вступ. Постановка проблеми

Безперервність у роботі стала невід'ємною вимогою для значної кількості сучасних програмних систем (ПС). З цієї причини постійний моніторинг програмного забезпечення (ПЗ) та своєчасне усунення аномалій стало необхідністю. Проте, сучасні ПС стають все більш розподіленими, що значно ускладнює процес виявлення аномалій та причин їх виникнення, особливо, якщо йдеться про складні ПС. Тому інформація про поведінку системи під час її виконання є критично важливою для своєчасного виявлення та усунення помилок. Як правило, дані, що містяться у журналах, є чи не єдиним джерелом інформації, яким можуть користуватися програмісти у процесі усунення неполадок та діагностики збоїв на вже запущених ПС. Щоб мати можливість знайти першопричину такої небажаної поведінки, застосунок зазвичай фіксує етапи свого виконання та змінні і записує їх у деяке попередньо визначене місце призначення. Застосунок часто потрібно реєструвати різні повідомлення, що описують поточний статус або сповіщають про певні події, та записувати їх у файл журналу. Однак, на практиці журнали часто можуть бути відсутніми або у них опускаються критичні деталі або записані повідомлення не мають стандартної форми.

Оскільки основним призначенням логів від самого початку було саме налагодження [1], вони можуть містити велику кількість даних. Основною метою ведення журналу є можливість проаналізувати вхідні дані та виклики, що призводять до збоїв у роботі додатку. Таким чином, однією з головних особливостей логів є те, що при неправильному їх формуванні обсяг журнальованих даних може стати дуже великим за дуже короткий проміжок часу. Інший важливий аспект, який слід враховувати на етапі розробки ПЗ, полягає в тому, що навіть сам процес ведення журналу може зайняти деякий час. А це ще раз підкреслює, що факт зловживання журналюванням повідомлень може принести більше шкоди, ніж користі.

Добре організований механізм логування разом з дотриманням основних правил їх оформлення та інструментом для аналізу аномалій не тільки не нашкодить продуктивності системи, а й надасть додаткові

бонуси у вигляді можливості моніторингу системи у реальному часі та стабільнішої роботи застосунку за рахунок своєчасного виявлення проблем.

Отже, **метою** статті є встановлення комплексного розуміння стану дослідження практики журналювання даних з акцентом на виявлення можливих проблем та прогалин, а також покращення для методології створення журнальованих даних, які роблять її більш гнучкою та зручною для команд розробників ПЗ, незалежно від типів розроблюваних додатків.

Виклад основного матеріалу

Особливості журналювання даних

Запис журналу призначений для того, щоб допомогти проаналізувати збої у поведінці додатку та виявити фрагмент серцевинного коду програми, який призводить до небажаної поведінки. Лог-файли, які першочергово призначені для налагодження [1], можуть допомогти дослідити, що і як сталося навіть без повторного запуску програми, якщо ці журнали містять всю необхідну інформацію. Однак, це не завжди так. На практиці журнали часто відсутні або опускають критичні деталі [2] або у багатьох випадках розробники додатків ведуть недостатню кількість логів [3]. Тому ведення журналів є дуже важливим при проектуванні ПС.

При включенні протоколювання у додаток важливо визначитися з тим, ЩО реєструвати і ЯК це робити. Кожен запис журналу має, якщо це можливо, реєструвати, що сталося, коли це сталося, хто спровокував подію і чому саме вона трапилася [4]. Звідси випливає, що запис у журналі має, по можливості, завжди відповідати на наступні питання.

1. Що сталося?
2. Коли це сталося?
3. Де це сталося?
4. Хто спровокував подію?
5. На кого вплинула ця подія?
6. Чому це сталося?
7. Що спричинило це?

У відповіді на перше запитання слід вказати, який тип події стався (попередження, помилка або інформація) і на що вплинула ця подія (система, компонент, ресурс даних, обліковий запис користувача). Також слід вказати стан події (наприклад, якщо деякий процес не вдалося завершити).

На друге питання відповідає часова мітка. Для розподілених додатків важливо включати також інформацію про часовий пояс, оскільки сервери можуть знаходитися у різних частинах світу, і фактичний час може бути змінений (наприклад, у випадку коли сервер не перемикається між зимовим та літнім часом).

Відповідь на третє питання має розповісти про те, яка система (додаток, клас) були задіяні, і частково може вказувати на причину виникнення проблеми (наприклад, у випадку коли база даних була недоступна, що й спричинило збій у роботі програми).

На четверте питання відповідає ідентифікатор того, хто спричинив проблему, тобто чий дії призводять до її виникнення (наприклад, можна вказати ім'я користувача).

П'яте питання дозволяє дізнатися, чи вплинула подія, що сталася, лише на одного користувача (який її спричинив) чи вона зачепила більше кінцевих користувачів.

Шосте питання говорить про причину виникнення проблеми (наприклад, неправильний пароль, не встановлені налаштування, не заданий обов'язковий параметр тощо).

Сьоме питання говорить про те, який тип події стався, тобто яка дія призвела до цього (вхід у систему, запуск деякої операції тощо).

На перший погляд може здатися, що у правильній організації протоколювання немає нічого складного. Однак, стратегія логуювання залежить від середовища застосування та кінцевого користувача, на якого розрахована ПС.

Реєстрація всіх відповідей на набір запитань може означати велику кількість записів у журналі (а розмір файлу журналу може вплинути на роботу програми). Якщо реєструється занадто великий обсяг даних, то з часом пам'ять може бути переповнена даними журналу. Також важливо заздалегідь визначити, протягом якого періоду часу файли журналів будуть зберігатися, а потім видалятися. Без видалення старих лог-файлів сховище буде переповнюватися історичними даними, які вже не є актуальними, і призвести до проблем з пам'яттю для програми. Аналогічне очищення слід проводити для автономних додатків при вході у систему.

Записи із журналу представляють собою дані, що дозволяють їх читачу витягати інформацію про те, що не так, і перетворити її на знання про те, як цьому запобігти та як це виправити. Важливо заздалегідь вирішити, які дані можуть допомогти читачеві журналу, щоб включити їх у запис. Записуючи у журнал все, ми зберігатимемо там дуже велику кількість надлишкової інформації, що призведе до марного використання пам'яті та і, врешті-решт, до її переповнення.

Інший аспект полягає у тому, що логуювання також займає певний час [4] і тому важливо вирішити, коли його краще проводити: метод або дію розпочинати до журналювання, паралельно з ним чи після нього. Логуювання перед завершенням обробки запиту може призвести до затримок, а його виконання перед ним не включатиме результатів проведеної роботи. Існує також інформація, яка ніколи не повинна включатися до лог-файлів (наприклад, паролі або інші конфіденційні дані користувачів).

Методології журналювання даних на основі типу розроблюваного додатку

Проведене дослідження складалося з огляду літератури та досліджень тематичних проектів з розробки ПЗ. У вибірку було включено ПЗ з відкритим кодом, розроблене з використанням різних мов програмування (зокрема, Java та C#). Проекти додатків на Java представляли собою веб-додатки, а проекти

ПС на C# були десктопними застосунками. Це є дуже важливим фактом, який пояснює велику кількість відмінностей у результатах проведеного дослідження.

У проектах на Java використовувалися Log for J (Log4J) від Apache [5], Simple Logging Facade for Java (SLF4J) [6] та LogBack [7]. Жоден з досліджуваних проектів не використовував нативний вбудований пакет Java.Util.Logging [8]. Розробники ПЗ переходили з Log4J на SLF4J та на фреймворк LogBack через накладні витрати та обмеження Log4J [3]. Усі наймолодші проекти використовували LogBack. Причиною цього слугують менші накладні витрати та більші можливості розробників.

Ведення журналу здійснювалося безпосередньо шляхом виклику відповідного методу на екземплярі логера, а також через аспекти до та після виконання методу. Другий підхід використовувався дуже рідко.

Розробники реєстрували ім'я користувача, який увійшов у систему один раз (в момент запуску програми або після його успішної авторизації у додатку), мітку часу, ім'я java-класу, який виконував операцію та трасування стеку в разі виникнення виключення (у блоках try catch). Повідомлення, які зберігалися у журналі шляхом ручного виклику логера, містили переважно етапи чистої бізнес-логіки (наприклад, користувач авторизований, права доступні, дію виконано тощо).

Журнали містили велику кількість інформації, яка реєструвалася самим застосунком за допомогою фреймворку Spring, а не розробниками. Це призводило до того, що файли ставали надзвичайно великими вже протягом декількох днів. Файли журналів додавалися кожного разу, коли починалася нова транзакція. Максимальний розмір файлу був заданий у налаштуваннях XML (Extensible Markup Language) і коли він досягався, фреймворк логування починав записувати дані у новий файл без втручання розробника ПЗ. Це налаштування дозволило зменшити кількість лог-файлів.

Однак, кількість зареєстрованих даних все одно була дуже великою і це спричиняло проблеми з доступним обсягом пам'яті. Старі журнали видалялися вручну з періодичністю у декілька місяців або у момент, коли служба моніторингу сповіщала про низький обсяг доступного сховища на сервері.

Під час супроводу розроблених додатків журнали були проаналізовані розробниками ПЗ та адміністраторами середовища для аналізу першопричин виявлених проблем. За результатами аналізу було виявлено, що знайти причини небажаної поведінки додатків вдавалося не завжди через запізнілі повідомлення (коли журнали вже були видалені) або через те, що записи у журналах не дозволяли змодельовати етап роботи програми, який призвів до її неправильної поведінки.

Розробники в основному протоколювали прямі повідомлення або виключення, але вхідні параметри, які могли призвести до таких подій, не були записані у журнал, а записи журналів, включені у ці файли, були лише частково корисними для аналізу першопричини збою.

Файли журналів допомагали лише в обмеженій кількості випадків (в основному, у той час, коли облікові дані для входу були неправильними або коли база даних була недоступною).

У середовищі .NET також існує декілька фреймворків логування [9]. До найвідоміших з них на сьогоднішній день відносяться Log for .NET (Log4Net) від Apache [10, 11] та .NET Log (NLog) [12], який набуває все більшої популярності. Ці фреймворки подібні до фреймворків, відомих у мові Java; їх потрібно викликати безпосередньо. Подібно до аспектного програмування в Spring та ведення журналу до та після фактичного виконання методу, що забезпечується анотацією, в C# даний функціонал пропонується бібліотекою PostSharp [13], яка дозволяє також протоколювати як вхідні так і вихідні параметри методу.

Незважаючи на всі ці можливості, розробники ПЗ, як правило, використовували свої власні імплементації логувальників. У всіх восьми досліджуваних проектах розробники віддавали перевагу своїй власній реалізації. Логувальник, як правило, моделювався як окремий, синглтонний клас [14], який включається у проект та викликається вручну.

Таблиця 1

Порівняння використовуваних підходів до логування у Java та C#

Питання для відповіді при логуванні	Підхід, що використовувався у Java-проектах	Підхід, що використовувався у C#-проектах
Що сталося?	Трасування стека виключення в журналі. Прямі повідомлення в лог, що інформують про те, що метод був успішно завершений.	Трасування стека зареєстрованого виключення. Прямі повідомлення журналу, що інформують про те, який метод був виконаний і на якому етапі.
Коли це сталося?	Мітка часу сервера	Мітка часу операційної системи комп'ютера
Де це сталося?	Ім'я Java-класу, метод, що викликається	Ім'я методу виклику, виключення
Хто спровокував подію?	Ім'я користувача	Ім'я користувача
На кого вплинула ця подія?	Ім'я користувача	Компонент запуску та ім'я користувача
Чому це сталося?	Трасування стека виключення в журналі. Прямі повідомлення в лог, що інформують про те, що метод був успішно завершений.	Трасування стека зареєстрованого виключення. Прямі повідомлення журналу, що інформують про те, який метод був виконаний і на якому етапі.
Що спричинило це?	Трасування стека з винятком	Трасування стека зареєстрованого виключення

Власноруч реалізований логувальник розпоряджався налаштуваннями, заданими у власному класі, і ці налаштування можна було встановити заново у додатку. Таким чином, логувальник працював автоматично після включення у проект додатку. Використання інших фреймворків (на кшталт Log4Net чи NLog) потребувало б наявності XML-файлу налаштувань.

Відповіді на сім запитань, описаних вище, спираючись на досліджувані проекти, подані у таблиці 1.

Як бачимо, команди розробників Java та C# обрали абсолютно різні стратегії ведення журналів. Команди C#-розробників використовують перевагу знань про кінцевого користувача (оскільки в основному досліджувалися саме .NET-проекти, орієнтовані на десктопні застосунки), що допомогло їм розробити власний логувальник та власний процес логування. Java-розробники для ведення журналів використовували фреймворки та можливості, які надає фреймворк Spring (включаючи аспекти логування). Проте, журнали були величезними у порівнянні з журналами C#; записи журналу не завжди були корисними для аналізу першопричини і приводили більше до переповнення пам'яті, ніж до документації помилки. Це говорить про існування значних проблем із високонавантаженими серверними додатками, які існують через неможливість застосувань деяких оптимізацій, які доступні для десктопних застосунків. До цих проблем належить висока складність виявлення аномалій в ручному режимі через дуже велику кількість даних, яка генерується програмною системою за короткі проміжки часу, та високе навантаження на пам'ять. Це свідчить про необхідність розробки нового методу, який дозволить слідкувати за аномаліями у ПС з великим обсягом даних.

Висновки

Стаття присвячена темі логування даних та досліджувала підходи, які використовуються командами розробників ПЗ. Розглянуті основні аспекти ведення логів та визначено сім основних питань, на які важливо отримати відповіді при журналюванні даних. Також були визначені та обговорені питання, пов'язані з обсягом записів у лог-файлах, проаналізовані записи журналів та здійснено їх порівняння з попередньо визначеними питаннями, щоб показати, де записи відповідають цим питанням, а також щоб визначити можливості для вдосконалення.

Результати дослідження показують, що важливо думати про логування ще під час розробки програми та продумати відповіді на вищезгадані питання. Не варто забувати, що зберігання усієї використовуваної у додатку інформації не є найкращим способом логування. Для цього необхідно проаналізувати важливість тих чи інших даних для виявлення аномалій у роботі системи. Перегляд записів журналу з точки зору розробника може значно поліпшити записи журналу і скоротити час, необхідний для виявлення та аналізу першопричин виникнення неполадок у системі.

Також сформульовано пропозиції, які у процесі дослідження були визначені, як важливі, і які можуть бути використані для удосконалення методології логування, що використовується командами розробників на практиці при розробці високонавантажених ПС.

References

1. Chuvakin A. & Peterson G. How to Do Application Logging Right. IEEE Security & Privacy, 2010. Vol. 8, no. 4, July/Aug. P. 82-85.
2. Marty R. Cloud application logging for forensics. Proceedings of the 2011 ACM Symposium on Applied Computing (SAC). March 21-24, 2011, TaiChung, Taiwan. P. 178-184.
3. Idan H. The complete guide to Java logging in production. OverOps. URL: <https://land.overops.com/java-logging-in-production-ebook/>
4. Xu W., Huang L., Fox A., Patterson D., Jordan M. I. Detecting large-scale system problems by mining console logs. SOSP '09: Proceedings of the ACM SIGOPS 22nd symposium on Operating systems principles. October, 2009. Pages 117-132. <https://doi.org/10.1145/1629575.1629587>
5. Apache Log4j 2. Logging Services. URL: <http://logging.apache.org/log4j/2.x/>
6. Simple Logging Facade for Java (SLF4J). SLF4J. URL: <http://www.slf4j.org/>
7. Logback Project. LOGBACK. URL: <http://logback.qos.ch/>
8. Package java.util.logging. Java™ Platform, Standard Edition 8 API Specification. URL: <https://docs.oracle.com/javase/7/docs/api/java/util/logging/package-summary.html>
9. Java Logging Tools and Libraries. Guide and directory of Java logging tools, libraries and articles. URL: <http://www.java-logging.com/>
10. .NET Logging Tools and Libraries. The definitive directory and guide to .NET logging tools, frameworks and articles. URL: <http://www.dotnetlogging.com/>
11. The Apache log4net project. Logging Services. URL: <https://logging.apache.org/log4net/>
12. Flexible & free open-source logging for .NET. NLog. URL: <https://nlog-project.org/>
13. PostSharp Diagnostics: Logging and Tracing. #POSTSHARP. URL: <https://www.postsharp.net/~diagnostics/net-logging>
14. Clarke S., Harrison W., Ossher H., Tarr P. Subject-oriented design: towards improved alignment of requirements, design, and code. ACM SIGPLAN Notices. Oct. 1999. Volume 34. Issue 10. P. 325-339. <https://doi.org/10.1145/320385.320420>

КАПТЮРОВА Дарія

Київський національний університет технологій та дизайну
e-mail: daria.kaptiurova@gmail.com

ЧЕРТЕНКО Лілія

Київський національний університет технологій та дизайну
<https://orcid.org/0000-0003-4321-8475>
e-mail: Lily-che@ukr.net

БОНДАР Олександр

Київський національний університет технологій та дизайну
<https://orcid.org/0000-0002-0775-1611>
e-mail: bai2708@ukr.net

НОС Олександра

Київський національний університет технологій та дизайну
e-mail: Nosalexandra0701@gmail.com

ВДОСКОНАЛЕННЯ ВНУТРІШНЬОЇ ФОРМИ ВЗУТТЯ З ВИКОРИСТАННЯМ СУЧАСНИХ ПРОГРЕСИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

В роботі досліджено можливість підвищення рівня комфортності сучасного взуття за рахунок вдосконалення його внутрішньої форми з урахуванням особливостей анатомії стопи. З цією метою в роботі запропоновано новий спосіб розробки ергономічної антропометрично обґрунтованої форми колодки на основі результатів 3д сканування стопи замовника та гіпсового позитиву відбитку його стопи з використанням методу зворотного інжинірингу та прогресивного програмного забезпечення. Підвищений рівень комфортності взуття досягається в тому числі за допомогою використання індивідуальних антропометричних устілок, які проектується на основі рельєфу плантарної поверхні стопи, отриманого шляхом 3д сканування її гіпсового зліпка. Процес виготовлення колодок і анатомічних устілок, розроблених в роботі, реалізується за допомогою єдиного 3-координатного верстату з ЧПК, що забезпечує послідовний та комплексний процес обробки без необхідності застосування додаткового обладнання. Розробка основних елементів форми в середовищі універсальних прогресивних програм (PowerShape) дозволяє забезпечити подальший логічний перехід до плоских креслень лекал верху, що сприяє замкненому циклу автоматизації всіх проектних процесів виробництва.

Ключові слова: ергономічне взуття, проектування внутрішньої форми взуття, анатомічна устілка, взуттєва колодка, ЧПК-фрезерування.

KAPTIUROVA Daria, CHERTENKO Lilia, BONDAR Olexandr., NOS Olexandra
Kyiv National University of Technology and Design

IMPROVEMENT OF THE INTERNAL FORM OF SHOES USING MODERN PROGRESSIVE TECHNOLOGIES

In this work we investigate the improvement of comfort of modern shoes due to the improvement of its internal shape, according to the anatomy of the foot. For this purpose, we offer the new method for the development of an ergonomic anthropometrically justified form of the last based on the 3d scanning results of the customer's foot and its plaster cast. The reverse engineering method and progressive software was used for that aim. An increased level of shoe comfort is achieved through the use of individual anthropometric insoles, which are designed based on the relief of the plantar surface of the foot obtained by 3D scanning of its plaster cast. An increased level of footwear comfort is achieved, among other things, through the use of individual anthropometric insoles designed on the basis of the relief of the plantar surface of the foot, obtained by 3D scanning of its plaster cast. To create the most comfortable anatomical insoles, the main requirements for their design were analyzed. When designing the shape of the insole, the recommendations of the orthopedist were taken into account.

In the development of the last and insoles, progressive software was used: Foot3D for foot 3d scanning, Delcam Crispin LastMaker and PowerShape for shoe last modeling and modifications, and ArtCAM for designing insoles and preparing them for CNC- milling. The manufacturing process of shoe last and anatomical insoles is implemented with the help of only one 3-ways CNC-machine, which ensures a consistent and complex making process without the need for additional equipment. The development of the main elements of the form in the environment of universal progressive programs (PowerShape) provides a further logical converting 3d model to a flat pattern, which contributes to a closed cycle of automation of all design production processes.

Keywords: ergonomic footwear, shoe shape design, anatomical insole, footwear last, CNC-milling

Сьогодні, не зважаючи на високий рівень прогресу в усіх галузях виробництва, досі не вирішена проблема проектування та виготовлення зручного та ергономічного взуття масового виробництва.

Велике занепокоєння у європейських і американських фахівців викликає кількість захворювань стоп у населення різних статевих вікових груп. Багато захворювань та деформацій стопи мають набутий характер та можуть бути спричинені незручним, неправильно підібраним взуттям: вальгусна деформація стоп, плоскостопість, п'яткові шпори тощо.

Тож найголовніша проблема сьогоденної взуттєвої галузі – велика кількість неякісного взуття серед населення [1]. Існуючі дані свідчать, що більше половини населення носять взуття, невідповідне за розміром або повнотою: коли ноги споживача дуже вузькі або дуже широкі, тоді він/вона може не знайти взуття відповідної довжини і ширини і, отже, не в змозі знайти взуття з «правильною впорністю (відповідністю)» [2]. Особливо часто з проблемою завуженого взуття стикаються люди з діабетом, ожирінням, люди похилого віку, оскільки дані стани людини можуть викликати відчутне збільшення ваги, що призводить до додаткового

навантаження на нижні кінцівки та відповідно і до сплюснення склепіння стопи та збільшення об'єму в пучках. Опитування показало, що від 46 до 81% учасників носять занадто вузьке взуття, оскільки просто не спроможні підібрати взуття підходящої повноти із наявного асортименту [3].

Проведені нещодавно анкетування та опитування [4] продемонстрували велику кількість проблем зі зручністю модельного жіночого взуття, що представлене на масовому ринку.

Все це є результатом ігнорування реальних потреб споживчого ринку. Проектування взуття з використанням антропометричних параметрів стопи та з урахуванням її форми призведе до покращення відповідності та впорності взуття [5].

Основою для створення складної форми взуття і забезпечення зручності і комфортності готового виробу є колодка. Параметри колодки мають вирішальне значення для комфорту взуття. Однак зручна форма колодки не завжди достатньо витончена та приваблива, тож виробники часто обирають естетичні форми як більш конкурентоспроможні.

Проте сучасний глобальний тренд сталої моди орієнтований на максимальну ергономічність виробів, що використовуються людиною. Тому сьогодні, внаслідок зміщення вектору моди в сторону потреб споживача, ми маємо шанс поєднати ергономічність та естетичність.

Отже, головною метою роботи було поставлено розробку зручної внутрішньої форми взуття, що здатна забезпечити нормальне функціонування стопи людини, та привабливий зовнішній вид взуття.

Підвищити ергономічність, зручність взуття може виготовлення анатомічних устілок, що відповідають формі стопи, а також вдосконалення форми колодки. Проте нова прогресивна ергономічна форма колодки та ергономічні устілки повинні відповідати певним практичним вимогам: мати низьку вартість, легкість використання, миттєвий ефект та невеликі фізичні зусилля при виробництві та використанні. В іншому випадку модифікації навряд чи будуть прийняті добровільно і підтримуватимуться в довгостроковій перспективі [6].

Як правило, взуття складається з ряду компонентів, кожен з яких може впливати на механіку ходи [7]. Наприклад, підвищений каблук робить стопу нестабільною та може спричинити зміни у ході, вальгусну деформацію стоп тощо.

Підошва забезпечує взаємодію з поверхнею для ходьби і впливає на вимоги тертя при ходьбі та пов'язаний ризик ковзання [8]. Устілка безпосередньо контактує з слідом стопи і контролює тиск стопи та рух гомілковостопного суглоба, що у свою чергу також впливає на індивідуальну модель ходи [9].

Застосування профільованої анатомічної устілки є прийнятним при практично будь-яких особливостях стоп та опорно-рухового апарату. Також значною перевагою ергономічних, профілактичних та ортопедичних устілок є можливість їх застосування в практично будь-якій моделі взуття [10]. Взуття з фрезерованими індивідуальними або ергономічними устілками може бути як закритого типу (лофери, кросівки, кеди, черевики, чоботи, напівчеревики, туфлі, мокасини тощо), так і відкритого (взуття ремінцевого типу, мюлі, сабо, туфлі з відкритими п'ятковими, геленковими, носковими ділянками).

Також немає обмежень щодо кріплення низу взуття: може застосовуватися клейовий, стрчковий, сандальний методи.

Для збору інформації про стопу людини найпрогресивнішою та найточнішою методикою є сканування стопи. Відскановане зображення має бути створеним за допомогою відтворення точок безпосередньо самої стопи, а не з допомогою використання комп'ютерних алгоритмів, екстраполяції або інтерпретації для обчислення форм і контурів за отриманим двовимірним зображенням. Отже для сканування стопи прийнятні три технології: лазерна тріангуляція (червоне світло), структуроване світло (біле або інфрачервоне світло) та контактна оцифровка.

Проектування форми колодки на основі сканованих 3д моделей стопи відбувається в середовищі спеціалізованих САПР. Наприклад, це можуть бути такі програми як MindCAD Last Design & Engineering, Delcam Crispin Last Maker тощо. Для проектування форм устілок використовується спеціальне програмне забезпечення: Paromed, PedCAD, EasyCAD, QuadroCAD та інші.

Профільовані устілки підвищеного комфорту бувають вкладні та затяжні. Від типу устілки буде залежати і форма колодки, що проектується. Для взуття, де передбачена профільована вкладна устілка, потовщення обхватів стопи з устілкою мають бути враховані при проектуванні колодки.

Для безпосередньо виготовлення колодок та профільованих устілок можуть використовуватися адитивна або субтрактивна технології.

При адитивній технології (або 3Д-друці) матеріал пошарово додається по заданій траєкторії. Вибір виду адитивної технології залежить від властивостей обраного матеріалу. З допомогою технології SLS можливе виготовлення колодки, а для устілок або підошов доцільно використовувати FDM друк та матеріали у вигляді філаменту (рис. 1).

Проте не зважаючи на численні переваги адитивних технологій (швидкість, точність, економічність), поки що більше розповсюдження має субтрактивний спосіб. Він базується на отриманні необхідної форми шляхом зрізання зайвого матеріалу. Для цього використовуються станки ЧПК (числове програмне керування). Станки ЧПК бувають трьох, чотирьох та п'яти-координатні. П'яти-координатні станки є найновішими та найпрогресивнішими, в Україні використовуються на фірмі LvivPlast для виготовлення колодок.



Рис. 1. FDM-друк профільованої устілки та філамент PLA та ABS-пластику (матеріал, що використовується)

Методика експерименту. Для отримання вихідної інформації для проектування використовували прогресивний та сучасний спосіб 3д сканування. Використовували професійний сканер InFoot3d, який дозволяє отримати форму стопи людини, визначити автоматично до 20 анатомічних точок, підрахувати анатомічні розміри. Сканер розгортає червоні лазери та камери CCD, що фіксують лазери. Час сканування становить від 5 до 10 секунд, залежно від розміру об'єктів сканування, точність сканування становить 1,3 мм [11].

Спочатку сканували стопу в стандартному положенні при рівномірному розподілі навантаження на дві стопи. За допомогою програми сканування Foot3d отриману хмару точок конвертували в триангульовану просторову модель (рис. 2), яку далі завантажували в середовище комп'ютерних програм, в яких відбувається процес проектування колодки та устілки. Аналогічно відбувався процес сканування вихідної форми колодки, що використовується для проектування нової моделі.

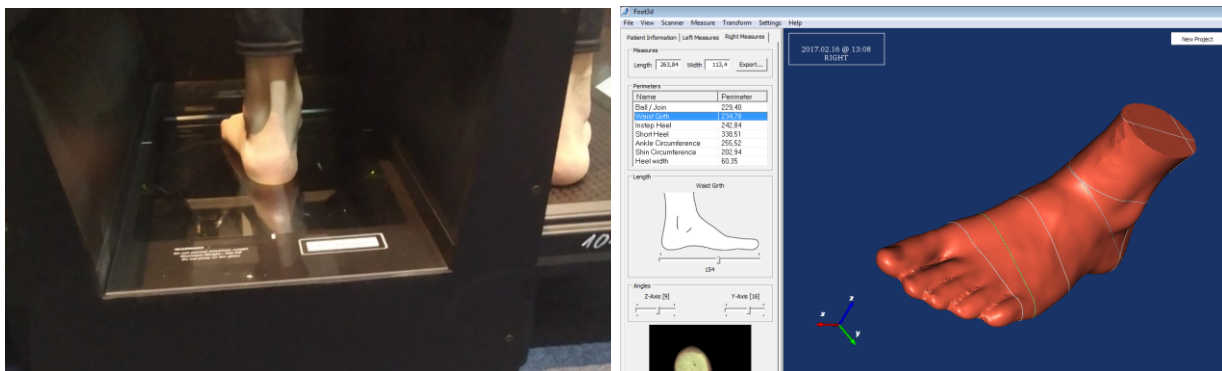


Рис. 2. Результат сканування відбитка на полімерній піні (зліва), та стопи (справа)

Проектування нової форми колодки відбувалося із залученням програмних продуктів Crispin LastMaker та PowerShape в режимі порівняння форм колодки-стопа з використанням принципу зворотного інжинірингу (рис. 3).

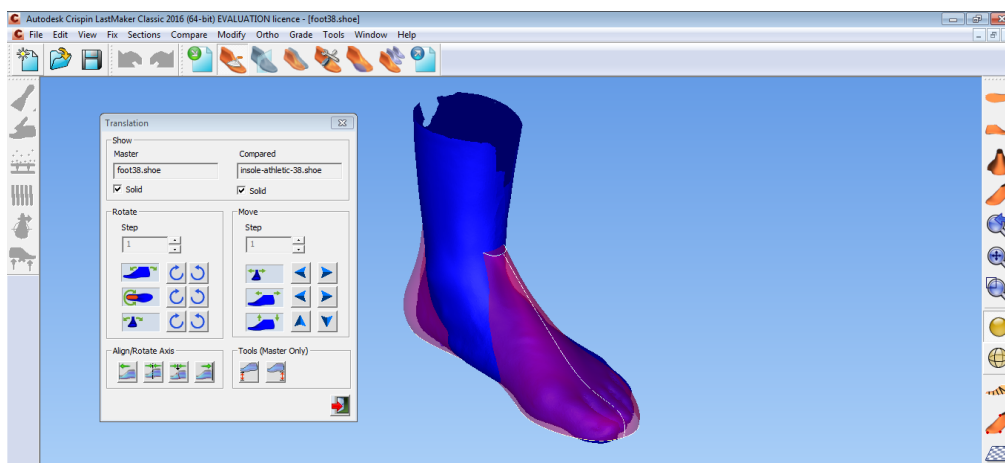


Рис. 3. Порівняння стопи і колодки в LastMaker

При цьому основні модифікації форми взуття у відповідності із формою стопи відбуваються за наступним алгоритмом:

- 1) Довжина. Довжина сліду колодки приводиться до наступного параметру:

$$Д_{сл} = Д_{ст} + П - S,$$

де Дст – довжина стопи, мм;

S – зсув в п'ятці, мм;

П – припуск, що складається з мінімального функціонального припуску (для жіночого літнього взуття – 5 мм) та декоративного припуску, мм.

Для збільшення довжини сліду колодки виконується загальне масштабування колодки (функція *Масштаб*).

Основні лінійні розміри колодки зображені на рис. 4.

2) Ширина колодки. Ширина сліду на рівні пучків – на 5–8 мм менша ніж габаритна ширина колодки в цій ділянці. Виконується масштабування колодки по ширині у перерізі на відстані $0,68\text{ Д}$.

3) Ширина п'ятки. Ширина сліду на рівні середини п'ятки – на 1–3 мм менша ніж габаритна ширина стопи в цій ділянці. Коригування ширини сліду на рівні середини п'ятки, переріз $0,18\text{ Д}$ (функція *Розширені налаштування\П'ятка\Ширина*).

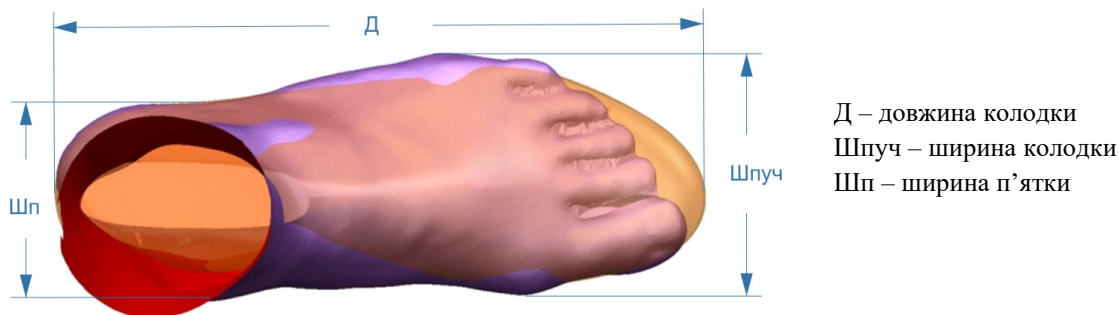


Рис. 4. Основні лінійні габаритні розміри колодки в режимі порівняння зі стопою

4) Обхват пучків. Обхват колодки через внутрішній та зовнішній пучки – на 3–5 мм менший ніж аналогічний периметр форми стопи. Коригування параметру виконується шляхом зміни ширини та висоти відповідного поперечного перерізу колодки (функція *Розширені налаштування\Пучки\Ширина, а також Модифікація перерізів*).

5) Обхват підйому. Обхват колодки на рівні середини стопи – на 5–8 мм більший ніж аналогічний обхват стопи. Коригування параметру виконується аналогічно модифікації обхвату в пучках (функція *Модифікація перерізів*).

6) Обхват косого підйому. Обхват через нижню точку п'ятки та точку гребеня. Коригування параметру виконується шляхом зміни положення точки гребеня (функція *Розширені налаштування\Пучки\Положення точки гребеня*).

Основні параметри колодки зображені на рис. 5.

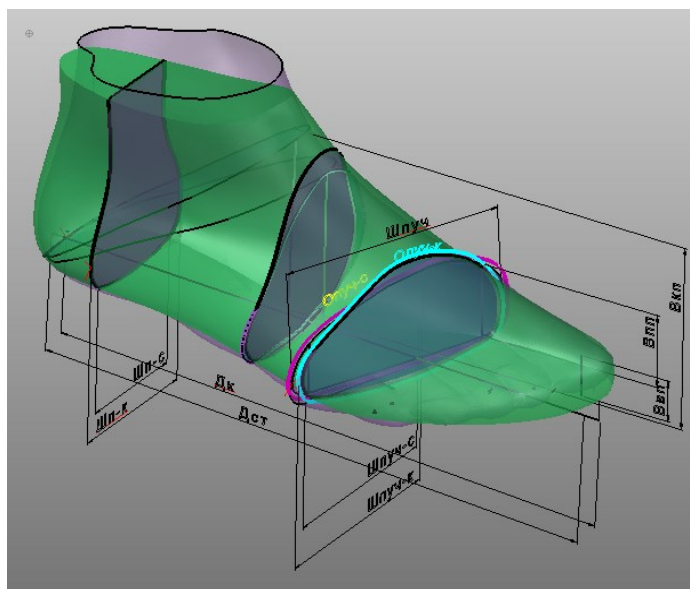


Рис. 5. Основні параметри колодки та стопи

Шпуч – ширина пучків

Опуч-к – обхват пучків на колодці

Опуч-с – обхват пучків на стопі

Шпуч-к – ширина пучків (колодка) на рівні габаритної частини

Шпуч-с – ширина пучків (колодка) на рівні ребра сліду

Шп-к – ширина п'ятки (колодка) на рівні габаритної частини

Шп-с – ширина п'ятки (колодка) на рівні ребра сліду

Дк – довжина сліду колодки

Дст – довжина сліду стопи

Ввп – висота великого пальця

Впп – висота прямого підйому

Вкп – висота косого підйому

7) Кут п'ятки. Кут між центральною віссю стопи та віссю симетрії п'яткової частини сліду.

8) Кут носка. Кут між центральною віссю стопи та віссю симетрії носкової частини сліду (рис. 6). Коригування відбувається шляхом зміни кута носка на $\pm 1-5$ градусів (функція *Розширені налаштування\Носок\Кут вісі*).

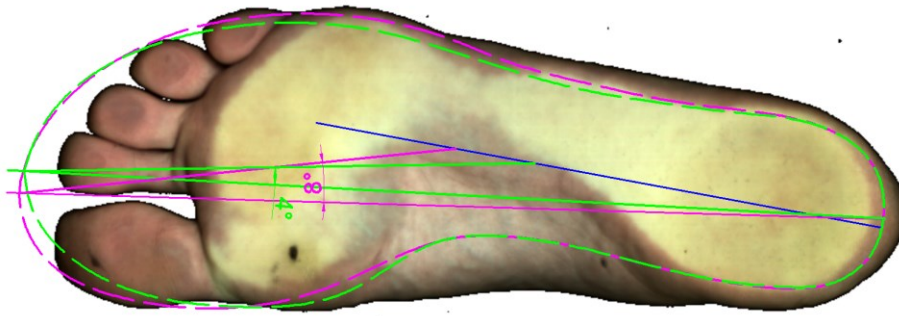


Рис. 6. Устілка до (зелений контур) та після (рожевий) зміни кутів носка та п'ятки

9) Конфігурація носкової частини сліду у відповідності до форми стопи. Відбувається за допомогою використання функції *Профілі* (носкова частина сліду).

10) Конфігурація поперечного перерізу пучків з урахуванням необхідної висоти внутрішнього пучка (висоти голівки першої плесневої кістки). Використовується *Модифікація верхнього контуру поперечного перерізу*.

11) Конфігурація п'яткового контуру поздовжньо-осьового перерізу колодки (використовуються *Профілі*).

12) Конфігурація контурів поперечних перерізів за необхідністю (кривизна поперечних контурів п'яткової, геленкової частини та ін.). Використовується *Модифікація верхнього контуру поперечного перерізу*.

Отримана в результаті модифікацій колодка буде основою для створення форми взуття.

Однак дана форма ще не забезпечить абсолютну комфортність стопи у взутті, оскільки плоский слід взуття сприяє нерівномірному розподілу тиску на нижню (плантарну) поверхню стопи. Шляхом підвищення комфортності взуття та вдосконалення його внутрішньої форми є застосування антропометричних устілок, які мають об'ємно-просторову верхню поверхню, що відповідає рельєфу плантарної поверхні стопи. При правильному проектуванні такі устілки сприяють рівномірному розподілу навантаження та розвантаженню стопи при її роботі.

Для отримання вихідної інформації для проектування таких устілок стандартне 3д сканування стопи не підходить, адже при стоянні на плоскому склі сканера м'які тканини стопи сплющуються, і рельєф стопи не ідентифікується. Серед ефективних способів відтворення рельєфу плантарної поверхні стопи є гіпсування стопи гіпсовою пов'язкою, застосування альгінатного розчину та використання спеціальної полімерної піни для відбитків. Третій спосіб дещо дорожчий, ніж перший, але набагато простіший у виконанні, тому ми застосовували саме його.

Для отримання гіпсового зліпка за допомогою полімерної піни спочатку отримується відбиток стопи (рис. 7). У положенні сидячи, босоніж або в тонкій капроновій шкарпетці пацієнт занурює стопу у піну, рівномірно розподіляючи вагу по всій площині стопи, а також рівномірно між обома стопами. Піна змінює свою форму та зберігає її. Отриманий відбиток заливається гіпсовим розчином (1 частина гіпсу / 6 частин води). Повне застигання відбувається протягом декількох годин.

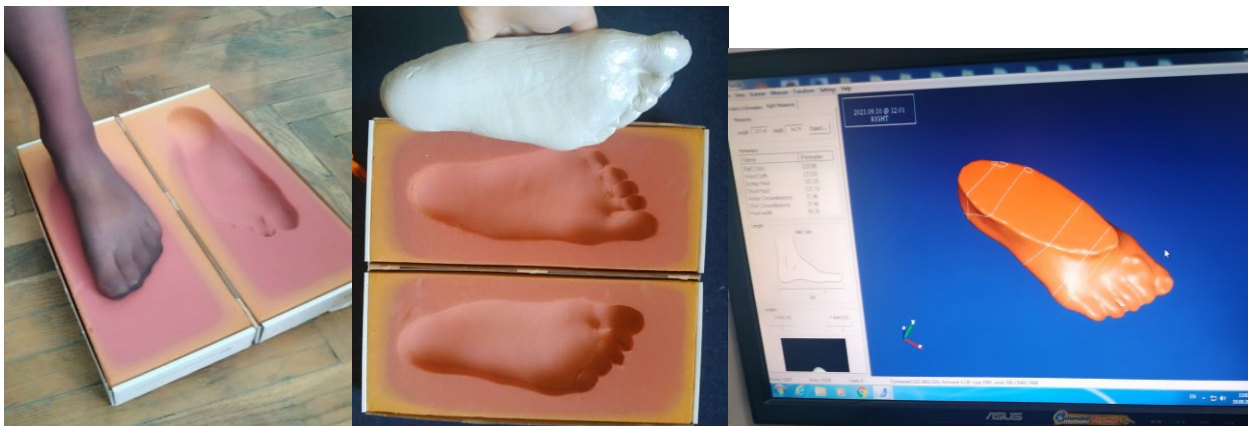


Рис. 7. Отримання відбитка стопи, гіпсового зліпка та його сканування на 3д сканері

Основний процес проектування колодок та устілок на основі отриманих даних відбувався в середовищі PowerShape – програмному комплексі, що має широкий діапазон функцій 3д моделювання, та дозволяє здійснювати всі необхідні в роботі маніпуляції (рис. 8).

У випадку застосування вкладних профільованих устілок в закритому взутті нам необхідно використовувати мінімальну товщину устілки в носково-пучковій частині, що забезпечує гнучкість взуття в цій ділянці, разом з тим забезпечуючи потовщену рельєфну частину п'ятково-геленкової частини з необхідними підтримками арок склепінь стопи. Для цього ми використовуємо рельєф, отриманий при скануванні піни з відбитком, вносячи необхідні корективи та сплющуючи передню частину рельєфу в ділянці пальців. При цьому зовнішній контур устілки, що проектується, має відповідати сліду спроектованої колодки.

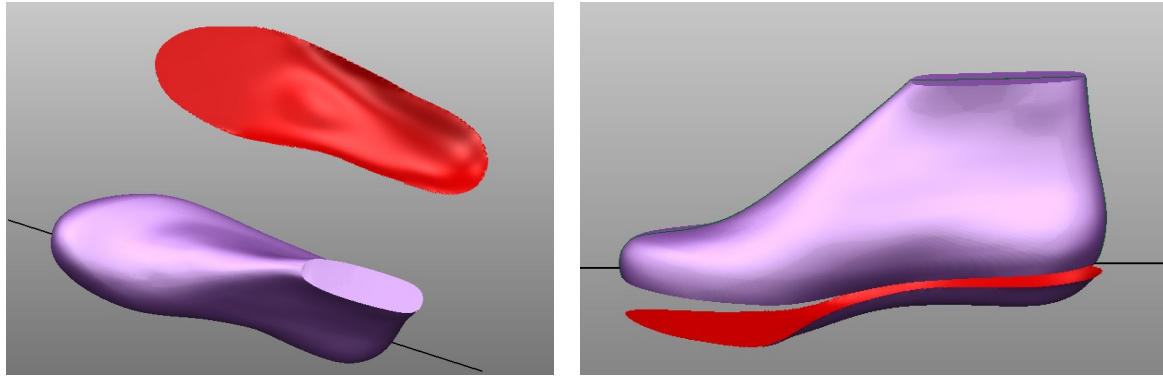


Рис. 8. Спроектвана жіноча колодка в PowerShape

При цьому форма колодки має бути відкоригована з урахуванням подальшого використання вкладних анатомічних устілок, що вкладаються в середину взуття. Для цього ми здійснили вимірювання параметрів стопи без устілки та з устілкою для визначення необхідних параметрів остаточної форми колодки (табл. 1).

Таблиця 1

Порівняння обмірів стопи та колодки, спроектованої з урахуванням устілки

	Стопа	Стопа з устілкою	Колодка
Обхват пучків, мм	232,4	239,2	237,4
Обхват підйому, мм	231,2	250,1	255,4
Обхват косого підйому, мм	312,0	325,2	328,7
Довжина сліду, мм	246,0	244,2	256,0
Ширина сліду в пучковій частині, мм	90,8	85,3	85,8
Ширина сліду в п'ятковій частині, мм	47,1	45,6	52,2

Результати та обговорення. Устілку було спроектовано на основі 3д форми сканованої поверхні відбитку стопи з урахуванням рекомендацій лікарів-ортопедів.

Профілактичні устілки призначені для зниження навантаження під час ходи, сприяють зниженню втомлюваності та являються профілактикою захворювань опорно-рухового апарату. Зі зростанням в організмі людини відбуваються певні зміни, можуть виникати певні деформації: стопа може змінювати повноту (наприклад з 3-ї повноти на 5-у), склепіння стопи можуть ставати більш плоскими. Тому устілка має бути товщою для забезпечення кращої підтримки стопи (відповідно і конструкція верху взуття має враховувати підвищену товщину даної устілки для правильної затяжки на колодку).

У багатьох пацієнтів старшого віку також може формуватись плантарний фасцит (п'яткова шпора), що виникає внаслідок збільшення ваги, може з'являтися поперечна або поздовжня клишавість (статична недостатність стоп), артрози та halgus-valgus. Тому важливими елементами устілок є пом'якшувачі у п'ятковому та пучковому відділах, оскільки саме ці відділи стопи найбільше навантажуються під час ходьби, а це може призводити до запалень та больових відчуттів. Також має бути забезпечена жорстка підтримка склепінь стопи.

Для підтримки поздовжнього склепіння стопи використовують супінатор, що розташовується з внутрішнього краю устілки між головками плеснових кісток і кісткою п'яти. Для підтримки поперечного склепіння використовують метатарзальний валик, що розташовується за головками других та третіх плеснових кісток. Висота підтримок склепінь визначається індивідуально у ортопедичних та коригуючих устілках, у анатомічних устілках їх висота має не перевищувати 4мм.

Спроектвані форми колодки та устілки мають бути виготовлені шляхом прототипування з використанням аддитивної або субтрактивної технології. В даній роботі ми використовували 3д фрезерування на 3-координатному верстаті з ЧПК. Такий станок більш доступний, простіший в роботі. Однак при роботі з таким обладнанням виникають складності у виготовленні складної просторової форми

колодки. Тому її форму було розчленовано на 4 частини (рис. 9), кожна з яких попередньо фрезерувалася на верстаті з ЧПК, а далі вони з'єднувалися між собою так, що задня (п'яткова) частина могла бути потім від'єднана для більш зручного знімання взуття з колодки.

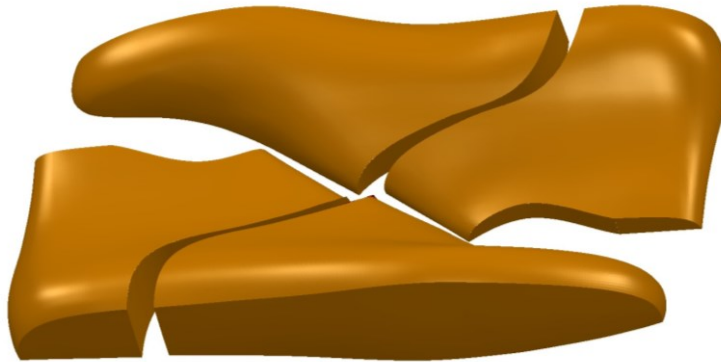


Рис. 9. Підготовка форми колодки для фрезерування на 3-координатному верстаті з ЧПК

Підготовка до виготовлення устілок та частин колодки відбувалася в програмі ArtCAM, яка дозволяє прорахувати траєкторію обробки, встановити параметри обрізки та задати інші параметри 3д-обробки для верстата ЧПК (рис. 10–12).

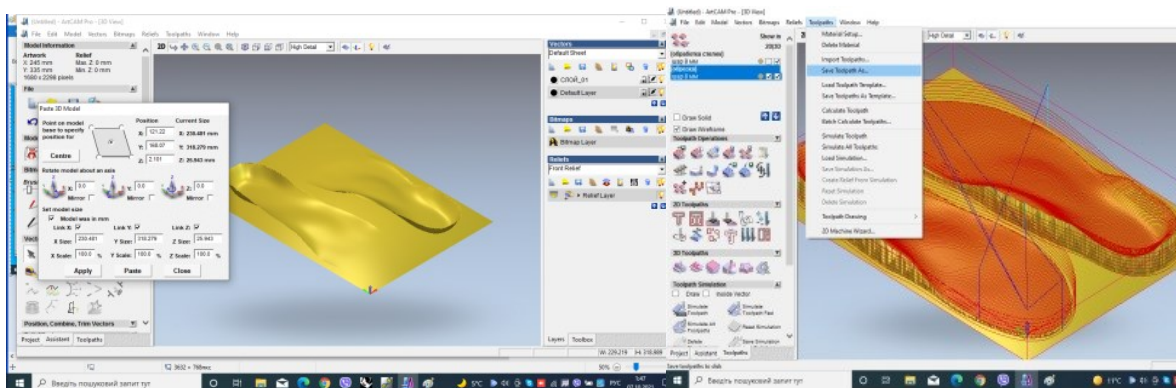


Рис. 10. Основні етапи моделювання устілки в ArtCAM



Рис. 11. фрезерована устілка для жіночих кросівок

В даній роботі на спроектованій колодці в середовищі ShoeMaker було розроблено колекцію ергономічного жіночого взуття, що складається з трьох моделей кросівок (рис. 13). Застосування потужних спеціалізованих взуттєвих комплексів (Crispin) та прогресивних універсальних програм (PowerShape), що відносяться до єдиного сімейства, дозволяє забезпечити послідовність проектного процесу та швидкість переходу від однієї стадії до іншої. Моделі взуття, конвертовані із 3d формату в 2d, зберігаються в DXF форматі, що дозволяє подальше проектування та градирування в різних 2d програмах.



Рис. 12. Фрезерування частин колодки та готова колодка

Рис. 13. Розроблені моделі жіночого спортивного взуття з анатомічною вкладною устілкою.
3д моделі (ShoeMaker) та ґрунт-моделі (USM)

Антропометричну устілку було виготовлено із EVA-пори товщиною 25 мм. Пару колодок було фрезеровано з МДФ-плити частинами, які далі склеювалися за допомогою ПВА-клею. Одну з розроблених моделей було виготовлено з натуральної шкіри на взуттєвому виробництві (рис. 14).



Рис. 14. Ергономічне закрите жіноче спортивне взуття з анатомічною вкладною устілкою. Розкрій моделі та готовий виріб

Виготовлене взуття отримало схвальні відгуки стосовно зручності при носінні. Однак серед недоліків запропонованого методу слід відмітити досить високу собівартість взуття, що виготовляється. Такий спосіб можна використовувати для виготовлення взуття за індивідуальним замовленням, однак він не підходить для масового виробництва. При реалізації даного методу на масовому виробництві взуття необхідно виготовляти колодки промисловим способом із міцних пластикових заготовок. Анатомічні устілки при цьому можуть бути виготовлені способом лиття у прес-формах.

Висновки. В даній роботі запропоновано новий метод розробки та виготовлення комплексного ергономічного цифрового взуттєвого проекту на основі результатів 3д сканування стопи замовника та гіпсового зліпку, що отримано з використанням полімерної піни. Розроблений проект включає антропометрично обґрунтовану форму колодки, індивідуальну анатомічну устілку та лекала для пошиву верху взуття, розроблені у відповідності до останніх трендів моди. Процес проектування всіх просторових елементів відбувається в середовищі PowerShape, а виготовлення всіх комплектуючих (як колодок, так і анатомічних устілок) – реалізується за допомогою 3-координатного верстату з ЧПК, що забезпечує послідовний та комплексний процес обробки без необхідності застосування додаткового обладнання. Подібний спосіб розробки проекту дозволяє реалізувати виробничий процес від початку до кінця на одному підприємстві (за умови необхідного обладнання) автономно без необхідності залучення додаткових установ. Такий підхід особливо цінний для виготовлення взуття за індивідуальним замовленням.

Також в роботі було створено алгоритм розробки нової персоналізованої форми колодки на основі сканованої базової (стандартної) форми та відсканованої моделі стопи згідно методу зворотного інжинірингу в середовищі Crispin LastMaker.

References

1. Dragos Besliu. Measurement Devices for Custom Shoe Manufacturing. A thesis for the degree of Master of Applied Science in Mechanical Engineering. Waterloo, Ontario, Canada, 2011, 101 p.
2. Piller F. EuroShoe Consortium: The Market for Customized Footwear in Europe – Market Demand and Consumers' Preferences, Technische Universität München, 2002.
3. Buldt A.K., Menz H.B. Incorrectly fitted footwear, foot pain and foot disorders: a systematic search and narrative review of the literature. Journal of Foot and Ankle Research, 2018.
4. Chertenko L., Booth B. G. Modelling shape and parameterising style: an approach to the design of high-fashion shoe lasts. Footwear Science, vol. 14, no. 2, 2022.
5. Wang CS: An analysis and evaluation of fitness for shoe lasts and human feet. Comput Ind 2010, 61(6): P. 532–540.
6. Yardley L., Kirby S., Ben-Shlomo Y., Gilbert R., Whitehead S., Todd C. How likely are older people to take up different falls prevention activities? Prev. Med. 2008, 47, 554–558.
7. Menant J. C., Steele J. R., Menz H. B., Munro B. J., Lord S. R. Effects of footwear features on balance and stepping in older people. Gerontology. 2008, 54, 18–23.
8. Yamaguchi T., Hokkirigawa K. Development of a high slip-resistant footwear outsole using a hybrid rubber surface pattern", Ind. Health 2014, 52, 414–42.
9. Kim S. H., Ahn S. H., Jung G.S., Kim J. H., Cho Y. W. The effects of biomechanical foot orthoses on the gait patterns of patients with malalignment syndrome as determined by three-dimensional gait analysis. J. Phys. Ther. Sci. 2016, 28, 1188–1193.
10. Nagano H., Begg R. Shoe-insole technology for injury prevention in walking. May 2018.
11. Sarghie B., Costea M., Liute D. Anthropometric study of the foot using 3d scanning method and statistical analysis. International Symposium in Knitting and Apparel – ISKA 2013, June 2013.

КРИВЕНЧУК Юрій

Національний університет "Львівська політехніка"

<https://orcid.org/0000-0002-2504-5833>e-mail: yurii.p.kryvenchuk@lpnu.ua

ПЕТРЕНКО Дмитро

Національний університет "Львівська політехніка"

<https://orcid.org/0000-0003-3720-9038>e-mail: dmytro.o.petrenko@lpnu.ua

СИСТЕМА СТАБІЛІЗАЦІЇ ПОЛОЖЕННЯ ДРОНУ З ВИКОРИСТАННЯМ НАВЧАННЯ З ПІДКРІПЛЕННЯМ

В роботі наведено результати дослідження теми використання алгоритмів навчання з підкріпленням у системах керування дронами, з метою покращення якості та збільшення швидкодії такого типу систем, їх поширення та впровадження у відповідні сфери в Україні. Виділено та описано такі основні етапи: огляд систем навчання з підкріпленням, визначення основних параметрів, за якими проводитиметься навчання, порівняння результатів, отриманих на різних мережах. Після проведення аналізу результатів було виявлено, що створення системи стабілізації положення дрону з використанням навчання з підкріпленням є актуальним та доцільним завданням на сьогодні, а найбільш ефективним інструментом для цього є використання навчання з підкріпленням в поєднанні з глибинними нейронними мережами.

Ключові слова: керування дроном, навчання з підкріпленням, глибинні нейронні мережі.

KRYVENCHUK Yurii, PETRENKO Dmytro

Lviv Polytechnic National University

CREATION OF DRONE STABILIZATION SYSTEM USING REINFORCEMENT LEARNING

The paper presents the results of research on the topic of using reinforcement learning algorithms in drone control systems, with the aim of improving the quality and increasing the speed of this type of systems, their distribution and implementation in the relevant areas in Ukraine. The following main stages are highlighted and described: review of training systems with reinforcement, determination of the main parameters according to which training will be conducted, comparison of results obtained on different networks. After analyzing the results, it was found that creating a drone position stabilization system using reinforcement learning is a relevant and appropriate task today, and the most effective tool for this is the use of reinforcement learning in combination with deep neural networks. Drone settings contain many parameters. Selecting these parameters and learning how to control the drone takes a lot of time. Drone pilots usually rely on their own experience and intuition when flying. This article examines the use of deep reinforcement learning to assist the pilot in typical or complex situations, as well as to extend the life of drones and avoid out-of-state situations. A general model represents an algorithm with input parameters equal to those required to represent the possible states and output parameters of the system sufficient to describe the possible actions. The algorithm automatically selects different models according to different parameters. It is determined that the algorithm can successfully start work with a low-efficiency model template and show good model performance and adjust the parameters of the number of layers, policy, entropy ratio, etc. This shows the potential for further application of these algorithms for designing drones. The result obtained during the execution of this work was a system that allows to simplify the process of choosing a deep learning algorithm with reinforcement in any created simulation environment for an agent of any complexity simulated in the Unreal Engine 4 game engine. The drone setup master must correctly formulate the task that the drone must perform, determine the main requirements for performance and the main possible bad options for performance. As a result of training, the drone will be able to stabilize itself from different positions, which will help to avoid emergency situations. This work can be widely applied in modern realities.

Keywords: reinforcement learning, quadcopters, drones, deep learning.

Постановка проблеми

На теперішній час дрони відіграють значну роль як у повсякденному житті, так і у вирішенні вузькопрофільних завдань. Часом налаштування дрону займає значний час та потребує професіоналів зі знаннями алгоритмів налаштування. Натомість використовуючи систему автоматичного навчання підбору параметрів кожен дрон буде налаштовано згідно своїх унікальних характеристик та задач, за які він буде відповідати. Це дозволить автоматизувати та пришвидшити процес налаштування дрону, а від оператора вимагатиметься лише правильна постановка завдання для дрона.

Дану розробку доцільно буде використовувати у сучасних реаліях, коли часто необхідно, щоб дрон міг нерухомо стабілізуватись на одному місці для подальшої роботи.

Розроблену систему буде використано для створення системи автоматичного навчання дрона вирішенню поставленої задачі. Така система зможе у короткий термін визначити ключові параметри та їх вплив на роботу дрона і оптимізувати алгоритми роботи дрона для найоптимальнішого розв'язання задачі.

Аналіз останніх джерел

У роботі Джемін Хванбо [1] навчання дрона відбувається за допомогою двох глибинних нейронних мереж у процесі навчання з підкріпленням: мережа значень та мережа політики. Як вхідні параметри використовуються значення матриці обертання а також вектори лінійних та кутових швидкостей. У даній реалізації було використано метод глибоко детермінованої політики оптимізації DDPG. В якості політики оптимізації було використано метод природного градієнтного спуску.

В публікації [2] автори зосереджуються на автономному керуванні дроном протягом заданого маршруту. Юньлонг Сонг та Матс Штайнвег створили безмодельну систему з нейронною мережею. Вони

формулюють задачу планування траєкторії оптимального часу в системі навчання з підкріпленням. З цією метою вони моделюють завдання за допомогою марковського процесу прийняття рішень з нескінченним горизонтом (MDP). У цій роботі вони представили заснований на навчанні метод навчання політики нейронної мережі, яка може генерувати майже оптимальні за часом траєкторії через кілька воріт для квадрокоптерів. Вони продемонстрували сильні сторони такого підходу, включаючи продуктивність, майже оптимальну за часом, здатність обробляти великі зміни доріжок, а також масштабованість і можливість узагальнення для вирішення великомасштабних макетів випадкових доріжок, зберігаючи ефективність обчислень. Автори підтвердили згенеровану траєкторію за допомогою фізичного квадрокоптера та досягли агресивного польоту на швидкостях до 60 км/год. Ці висновки свідчать про те, що глибока RL має потенціал для створення адаптивних оптимальних за часом траєкторій для квадрокоптерів і заслуговує на подальше дослідження.

У роботі [3] Вікторія Дж. Ходж, Річард Хокінс і Роб Александр створили алгоритм, що ґрунтується на алгоритмі глибокого підкріплення Proximal Policy Optimization (PPO) із поступовим навчанням навчальної програми для покращення навчання та рекурентним рівнем LSTM, щоб дозволити агенту запам'ятати, де він був, і повернутися назад, коли він застряг. Алгоритми навчання з глибоким підкріпленням здатні керувати досвідом навчання для реальних проблем, що робить їх ідеальними для їхнього завдання. Вони навмисно налаштували наш алгоритм так, щоб він був адаптованим і потенційно міг працювати в складних і динамічних середовищах.

У публікації [4] автори запропонували механізм передачі даних на основі навчання з підкріпленням (RL) для досягнення надійного зв'язку дронів у мережі дронів із стільниковим зв'язком. Використовуючи структуру Q-навчання, вони запропонували гнучкий спосіб прийняття рішень механізму передачі для заданої траєкторії польоту. Також показали, як мережа може мати компроміс між кількістю передач і потужністю отриманого сигналу, регулюючи відповідні ваги цих величин у функції винагороди. Результати моделювання показали, що запропонований підхід може значно зменшити кількість передач, зберігаючи надійний зв'язок, порівняно з базовою схемою передач, у якій дрон завжди підключається до найсильнішої комірки. Є кілька потенційних напрямків для майбутніх досліджень. По-перше, існуюча структура розглядає мобільність дронів у 2D. Природним розширенням буде забезпечення мобільності 3D-дронів. По-друге, район випробувань і маршрути польотів, які розглядаються в цій роботі, досить обмежені.

У документі [5] проведено загальний огляд можливостей використання алгоритмів навчання з підкріпленням для керування та роботи безпілотних літальних апаратів (БПЛА) розглядаються три основні проблеми, з якими стикаються БПЛА: (I) планування шляху, (II) навігація та (III) контроль. Кожен із цих елементів містить багато підзавдань, які потребують високого рівня контролю, щоб функціонувати належним чином. Алгоритми навчання з підкріпленням використовуються для допомоги в навігації в невідомих середовищах, які не мають математичної моделі, придатної для їх опису. Спочатку у статті розглядаються кілька алгоритмів навчання з підкріпленням, пов'язаних з БПЛА та його поведінкою при навчанні. Потім обговорюється планування шляху дронів, навігація та керування за допомогою згаданих підходів до навчання з підкріпленням.

У дослідженні [6] автори порівняли навчання з підкріпленням для дискретних і безперервних просторів дії в уникненні перешкод за допомогою дрона. Застосований ними метод із використанням мережі сегментації для простору безперервної дії навчається за допомогою мережі актор-критик із парадигми RL. Значною перевагою цього є, звичайно, те, що ручне маркування не потрібне, що економить робочу силу та час. Продуктивність моделі сегментації на основі U-net також значно покращена. Питання для RL з точки зору проблем автономної навігації полягало в тому, як можна мінімізувати розрив між реальним і навчальним середовищем. За допомогою серії експериментів вони демонструють, що розроблена та навчена модель здійснила успішні польоти не лише в навченому середовищі, але й у деяких змінених середовищах. Дане дослідження може бути першою спробою, коли пілот-людина здійснив перегони безпілотною за допомогою алгоритму та оцінки продуктивності між ними.

У дисертації [7] досліджуються різні алгоритми навчання з підкріпленням і знаходять алгоритм RL, який підходить для цього завдання. Простір дії задачі безперервний, оскільки всі чотири моторні команди безперервні. Там, де Q-навчання не здатне обробляти безперервні простори дій, DDPG і його варіантний алгоритм TD3 здатні обробляти ці простори дій. TD3 — це вдосконалена версія DDPG з трьома додатковими функціями щодо DDPG:

1. Обрізане подвійне Q-навчання
2. Затримка оновлень політики
3. Згладжування цільової політики

Перший прийом запобігає надмірним оцінкам у Q-функції. Другий прийом допомагає стабільності в тренуваннях. Третій трюк ускладнює використання помилок у Q-функції, додаючи шум до дій.

Структура функції винагороди вибирається щільною, а не розрідженою. Безперервний характер поточних завдань (відстеження точки шляху) робить цей варіант кращим. Крім того, під час навчання для виконання завдань, для яких цільові стани навряд чи відбудуться «випадково», рідкісні винагороди не є кращими. Для завдання наведення функція винагороди суттєво штрафує за помилку позиції та додає невелику від'ємну винагороду за похідну за часом команд двигуна. Для завдання контролю позиції реалізовано два типи функції винагороди: тип 1 штрафує як помилку позиції, так і позицію, тоді як тип 2 штрафує лише помилку позиції.

У статті [8] було представлено метод розробки агентів глибинного навчання з підкріпленням для безперервного детального керування безпілотником для отримання високоякісних кадрів фронтального виду людини. За допомогою HPID було розроблено реалістичне середовище моделювання. Це середовище було розширено за допомогою 3D-моделей разом із технікою вирівнювання обличчя та деформації, щоб дозволити симулювати ефекти безперервних команд керування, подолавши обмеження, пов'язані з обмеженою кількістю поз обличчя, які містяться в цьому наборі даних. Також був запропонований відповідний підхід до формування винагороди для підвищення стабільності використовуваного безперервного методу RL. Окрім виконання безперервного контролю, було продемонстровано, що CDC можна також ефективно поєднувати з середовищами моделювання, які підтримують лише дискретні команди керування, покращуючи точність керування, навіть у цьому випадку. Нарешті, запропонований підхід порівнювали як з агентом RL, який виконує дискретне керування, так і з традиційним контролером, який безпосередньо використовує вихід глибокої моделі, яка виконує оцінку пози. Експериментально доведено, що запропонований підхід покращує контроль.

Автори у своїй роботі [9] досліджували проблему планування траєкторії для групи DBS у непередбачуваних динамічних середовищах. У розглянутій системі DBS спільно дрони літають навколо розглянутого середовища, щоб надавати наземним користувачам послугу зв'язку висхідної лінії зв'язку на вимогу. Вони сформулювали досліджувану задачу в оптимізаційній постановці та запропонували алгоритм VD-RL для її вирішення. Запропонований алгоритм VD-RL змушує DBS самостійно оновлювати свої індивідуальні стратегії для досягнення максимальної командної корисності DBS, поділяючи лише свою корисність і цінність іншим DBS. Щоб покращити швидкість конвергенції алгоритму VD-RL у невидимих середовищах, вони також запропонували метод метанавчання для оптимізації ініціалізацій у рішенні VD-RL. Результати моделювання показують, що запропонований алгоритм VD-RL з механізмом метанавчання перевершує традиційні алгоритми MARL.

У статті [10] розглядаються алгоритми машинного навчання з доповненням та метаевристичні алгоритми. Результатом дослідження стала можливість комбінувати різні алгоритми DRL з генетичним алгоритмом і автоматично вибирати найкращі моделі DRL для вирішення. Під час експерименту популяція з 30 агентів CartPole була проаналізована у середовищі віртуального тренажерного залу. Результатом експерименту став вибір одного алгоритму DRL із вибірки з деякими відмінностями в гіперпараметрах моделі.

Метою роботи є створення системи що буде здатна стабілізувати дрон на основі алгоритмів глибинного навчання з підкріпленням.

Виклад основного матеріалу **Етапи процесу апроксимації віку**

У навчанні з підкріпленням створюється метод винагороди за бажану поведінку та покарання за негативну поведінку. Цей метод призначає позитивні значення бажаним діям, щоб заохотити агента, і негативні значення для небажаної поведінки. Це програмує агента прагнути довгострокової та максимальної загальної винагороди для досягнення оптимального рішення.

Час, необхідний для того, щоб навчання проходило належним чином за допомогою цього методу, може обмежити його корисність і затратити комп'ютерні ресурси. У міру того, як середовище навчання стає все більш складним, збільшуються вимоги до часу та обчислювальних ресурсів.

Замість того, щоб посылатися на конкретний алгоритм, область навчання з підкріпленням складається з кількох алгоритмів, які використовують дещо різні підходи. Відмінності в основному зумовлені їхніми стратегіями вивчення навколишнього середовища [3].

- Стан-дія-винагорода-стан-дія (SARSA). Цей алгоритм навчання з підкріпленням починається з надання агенту того, що відомо як політика. По суті, політика — це ймовірність, яка повідомляє їй про шанси певних дій, які призведуть до винагород або вигідних станів.

- Q-навчання. Цей підхід до навчання з підкріпленням використовує протилежний підхід. Агент не отримує жодної політики, а це означає, що його дослідження навколишнього середовища є більш самостійним.

- Глибокі Q-мережі. Ці алгоритми використовують нейронні мережі на додаток до методів навчання з підкріпленням. Вони використовують самостійне дослідження середовища навчання з підкріпленням. Майбутні дії засновані на випадковій вибірці минулих корисних дій, засвоєних нейронною мережею.

Загальна задача навчання з підкріпленням формалізується як стохастичний процес керування дискретним часом, де агент взаємодіє зі своїм середовищем таким чином: агент починає, у заданому стані у своєму середовищі $s_0 \in S$, збираючи початкове спостереження $\omega_0 \in \Omega$. На кожному кроці часу t агент повинен виконати дію $a_t \in A$. Як показано на рисунку 1, з цього випливає три наслідки:

- Агент отримує винагороду $r_t \in R$.
- Стан переходить до $s_{t+1} \in S$.
- Агент отримує спостереження $\omega_{t+1} \in \Omega$.

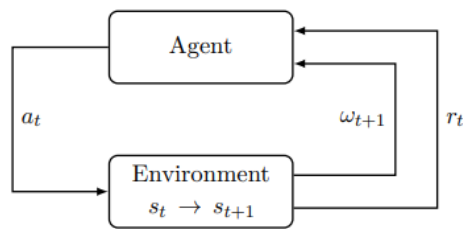


Рис. 1. Принцип роботи системи

Висновок

В даній статті було проведено дослідження можливостей використання алгоритмів глибинного навчання з підкріпленням для систем стабілізації дронів. Було визначено сильні та слабкі сторони таких алгоритмів. Основним завданням було створити систему, що могла б стабілізувати або повернути дрон у задане положення. Для цього спочатку було проведено комплексний аналіз проблеми та шляхів її вирішення. Оглянуто існуючі розробки у даній галузі. Проведено аналіз існуючих алгоритмів глибинного навчання з підкріпленням.

При дослідженні шляхів якими можна вирішити поставлену задачу було використано алгоритм DDPG так як він показав найбільшу ефективність. В подальшому планується провести більш комплексну порівняльну характеристику різних алгоритмів глибинного навчання з підкріпленням.

References

1. Jemin Hwangbo, Inkyu Sa, Roland Siegwart, Marco Hutter. Control of a Quadrotor with Reinforcement Learning. *IEEE Robotics and Automation Letters*, Volume: 2, Issue: 4, October 2017, doi: 10.1109/LRA.2017.2720851.
2. Song Y., Steinweg M., Kaufmann E., Scaramuzza D. Autonomous Drone Racing with Deep Reinforcement Learning. *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)*, Prague, 2021. doi: 10.1109/IROS51168.2021.9636053.
3. HODGE Victoria J., HAWKINS Richard, ALEXANDER Rob. Deep reinforcement learning for drone navigation using sensor data. *Neural Computing and Applications*, 2021, 33.6: 2015-2033.
4. CHEN Yun et al. Efficient drone mobility support using reinforcement learning. 2020 IEEE wireless communications and networking conference (WCNC). IEEE, 2020. p. 1-6. doi: 10.1109/WCNC45663.2020.9120595.
5. Azar A. T., Koubaa A., Ali Mohamed N., Ibrahim H. A., Ibrahim Z. F., Kazim M., Casalino G. (2021). Drone deep reinforcement learning: A review. *Electronics*, 10(9), 999. doi: 10.3390/electronics10090999.
6. SHIN Sang-Yun; KANG Yong-Won; KIM Yong-Guk. Obstacle avoidance drone by deep reinforcement learning and its racing with human pilot. *Applied sciences*, 2019, 9.24: 5571, doi: 10.3390/app9245571.
7. Koning Tim. Low level quadcopter control using Reinforcement Learning: Developing a self-learning drone. (2020).
8. PASSALIS Nikolaos; TEFAS Anastasios. Continuous drone control using deep reinforcement learning for frontal view person shooting. *Neural Computing and Applications*, 2020, 32.9: 4227-4238. doi: 10.1007/s00521-019-04330-6.
9. Hu Y., Chen M., Saad W., Poor H. V., & Cui S. (2021). Distributed multi-agent meta learning for trajectory design in wireless drone networks. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 39(10), 3177-3192, doi: 10.1109/JSAC.2021.3088689.
10. Petrenko D. Selection of Deep Reinforcement Learning Using a Genetic Algorithm. *COLINS-2022: 6th International Conference on Computational Linguistics and Intelligent Systems*, 12 05 2022.

КРИВЕНЧУК Юрій

Національний університет "Львівська політехніка"

<https://orcid.org/0000-0002-2504-5833>e-mail: Yurii.P.Kryvenchuk@lpnu.ua

ЩУР Гліб

Національний університет "Львівська політехніка"

e-mail: hlib.shchur.mknssh.2021@lpnu.ua

ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ НАВЧАННЯ ПЕРСОНАЛУ ПІДПРИЄМСТВ ЗАСОБАМИ ВІРТУАЛЬНОЇ РЕАЛЬНОСТІ

Використання віртуальної реальності у виробничому навчанні сприяє зменшенню витрат і ризиків, підтримуючи більш часте та різноманітне використання експериментальних навчальних занять. Даний підхід дає змогу тренеру структурувати весь навчальний курс віртуальної реальності в захоплюючому середовищі, визначаючи його підкомпоненти, моделі, інструменти та налаштування, а також визначати дії, які повинні виконувати учасники. Дії, які виконуються, записуються та узгоджуються з тими, що вказані тренером. У промисловому секторі здатність пристосовуватися до запитів із високим ступенем налаштування та складності передбачає довший час циклу. Застосування віртуальної реальності (VR) є перспективним підходом, який допомагає мінімізувати помилки та підвищити безпеку. Використання віртуального середовища для здійснення навчальної діяльності має широкий спектр переваг порівняно з навчанням у реальному контексті, а саме зниження витрат і ризиків, кращий контроль процедур навчання (наприклад, планування навчання заняття та визначення складності дій), сприяння експериментальному та ситуаційному навчанню, здатність забезпечити повторення симуляцій, виконаних слухачами, розширення можливостей процесів самонавчання та виклик емоцій, сприяючи інтересу та залученості учнів.

Ключові слова: навчання персоналу, віртуальна реальність, підприємство.

KRYVENCHUK Yurii, SHCHUR Hlib

Lviv Polytechnic National University

INFORMATION TECHNOLOGY FOR TRAINING THE PERSONNEL OF ENTERPRISES BY MEANS OF VIRTUAL REALITY

The use of virtual reality in industrial training reduces costs and risks, supporting more and more diverse use of experiential training sessions. This approach enables the trainer to structure the entire virtual reality training course in an immersive environment by defining its sub-components, models, tools and settings, as well as defining the actions that the participants should perform. Actions taken are recorded and coordinated with those specified by the trainer. In the industrial sector, the ability to apply to requests with a high degree of customization and complexity implies a longer cycle time. The application of virtual reality (VR) is a promising approach that will help minimize errors and increase safety. Virtual reality environments are also applied to operational tasks in industrial settings as an experiential learning approach that has shown good results in areas such as occupational safety, medicine, maintenance and mining. In addition, the use of a virtual environment for the implementation of learning activities has a wide range of advantages compared to learning in a real context, as well as reducing costs and risks, better control of the learning process (for example, planning lessons and determining the complexity of actions), facilitating experiential and situational learning, ability to ensure repetition of simulations performed by trainees, empowerment of self-learning processes and eliciting emotions, promoting student interest and engagement. Virtual reality provides new sources of efficiency for all organizations. It can also significantly reduce the costs of training, services, installation, design and other parts of the value chain. It can also significantly reduce production costs by reducing physical space requirements. The key indicators for the implementation of VR in the educational process are reduction of study time; more users who can perform the operation without previous experience; reduction of training costs; reducing the risk of injury.

Keywords: personnel training, virtual reality, enterprise.

Постановка проблеми

Віртуальна реальність забезпечує нові джерела ефективності для всіх організацій. Також, вона може значно знизити витрати на навчання, послуги, монтаж, проектування та інші частини ланцюжка створення вартості. Це також може значно знизити виробничі витрати за рахунок зменшення потреби у фізичному просторі. Ключовими показниками для впровадження VR у навчальний процес є:

- ✓ Скорочення часу навчання.
- ✓ Більша кількість користувачів, які можуть виконувати операцію без попереднього досвіду.
- ✓ Зменшення витрат на навчання.
- ✓ Зменшення ризику отримання травми.

Ефективність навчального процесу на основі віртуальної реальності безпосередньо залежить від якості підготовленого навчального матеріалу, або від якості підготовленого віртуального навчального середовища.

Аналіз останніх джерел

Запропонована в [1] робота значною мірою внесла розвиток у сферу медицини, збільшивши занурення, наприклад, завдяки повністю керованим аватаром користувачів, які отримують переваги від відстеження та оцінки всього тіла – функціональність, яку досі не було в медицині. Хоча деформація тканин існує в попередніх симуляторах, ця робота не включала відстеження та оцінку всього тіла. Ультразвукова

тактильна функція виявилася задовільною лише після поєднання з псевдо тактильною системою, унікальною комбінацією на час програмування

Запропонований в [2] проєкт зосереджений на створенні системи навчання безпеки у віртуальній реальності та оцінці сприйняття та поведінкових впливів середовища VR на слухача. Щоб зробити систему ефективною, у створенні VR-світів вивчаються перцептивна та екологічна психологія. Аналіз авторів визначив, що для підтримки гнучких, згенерованих комп'ютером варіацій світу віртуальної реальності потрібен спрощений конвеєр, що розробляє сценарії. Ця реконфігурована та повторно використовувана система створює тривимірні віртуальні зображення та створює незабутні враження для слухачів. Модулі різних віртуальних об'єктів і віртуальних факторів навколишнього середовища, таких як температура, склад повітря та видимість, також вивчаються та моделюються в запропонованій системі. Автори також планують оцінити сфери навчання безпеки, які можуть отримати найбільшу користь від використання VR. 1. ВСТУП Через властивий небезпечний характер будівництва управління безпекою є обов'язковим для будівельної галузі. Багато методів і типів операцій, необхідних будівельним компаніям для виконання та виконання завдань, призводять до плутанини щодо безпечних методів виконання робіт (Мінкс та Джонстон 2004).

У роботі [3] обговорюються контекстно-залежні вимоги та обмеження для розробки додатків віртуальної реальності, які застосовуються до навчання безпеки шахт. Зусилля реагування витрачаються на усунення небезпек і зниження ризиків шляхом застосування засобів контролю планування. У результаті цих зусиль розробка додатків віртуальної реальності як робочих інструментів безпеки стала предметом порядку денного. Це дослідження спрямоване на вивчення переваг віртуальної реальності для охорони праці та професійного навчання.

Автори [4] перевірили систему на вибірці користувачів, щоб порівняти ефективність традиційного навчання з нашою системою з точки зору теоретичного та практичного навчання. Продовжили дослідження за допомогою опитувальників і спостереження за поведінкою всіх користувачів у віртуальному середовищі. Також досліджували залученість слухачів і відчуття присутності, створюване системою, оскільки це важливий фактор залучення користувачів і, як наслідок, вплив на мотивацію та ефективність навчання.

Дослідження [6] включало створення програми безпеки будівельних розкопок, яка керувалася за допомогою гарнітури VR. Дослідники пілотували програму безпеки віртуальної реальності як контрольований експеримент, щоб оцінити ефективність адміністративного навчання віртуальній реальності порівняно з традиційним підходом, заснованим на лекціях. Значного покращення результатів не було помітно. Дослідники провели подальше вивчення елементів віртуального середовища, щоб визначити потенційні області для вдосконалення, які можна було б використовувати в майбутніх ітераціях цього дослідження. Експертиза виявила, що взаємодія учасника з елементами віртуального середовища була важливою для досягнення учасника. Це після експериментальне дослідження показало, що, хоча реалістичність не була обов'язковою вимогою для середовища віртуальної реальності, взаємодія учасника з персонажами в навчальній програмі віртуальної реальності мала певний негативний вплив. Крім того, рух (ходьба) у середовищі віртуальної реальності був значним відволікаючим фактором для учасників. Враховуючи ці проблеми, дослідники провели сильні, слабкі сторони, можливості та загрози (SWOT) аналіз досвіду віртуальної реальності та представили їх у цьому документі як запобіжний посібник для подальшого розвитку подібних інструментів навчання віртуальній реальності.

Метою роботи є розробка програмного продукту, який можна легко та швидко підстроювати під потреби навчань різних підприємств.

Виклад основного матеріалу

Щоб розпочати розробку додатка VR, одним із основних необхідних кроків є вибір наголовного дисплея VR (HMD). У нашому випадку вибраний HMD був Oculus Quest 2. Для створення кращої сумісності між додатком і HMD вибір основного ресурсу, спеціально зробленого для розробки додатків VR, був дуже важливим. Через це ми вирішили, що найкращим набором для розробки VR є Oculus Integration SDK.

Oculus Integration SDK, розроблений корпорацією Meta, є безкоштовним пакетом, спеціально створеним для роботи з гарнітурами VR, створеними Meta. Завдяки використанню цього пакету всі основні функції вже створено, а також виконано необхідну конфігурацію між програмою та гарнітурою. Завдяки сумісності між пакетом і HMD, щоб перевірити додаток, достатньо простого використання «Plug & Play».



Рис. 1. Етапи ремонту турбіни пристроєм

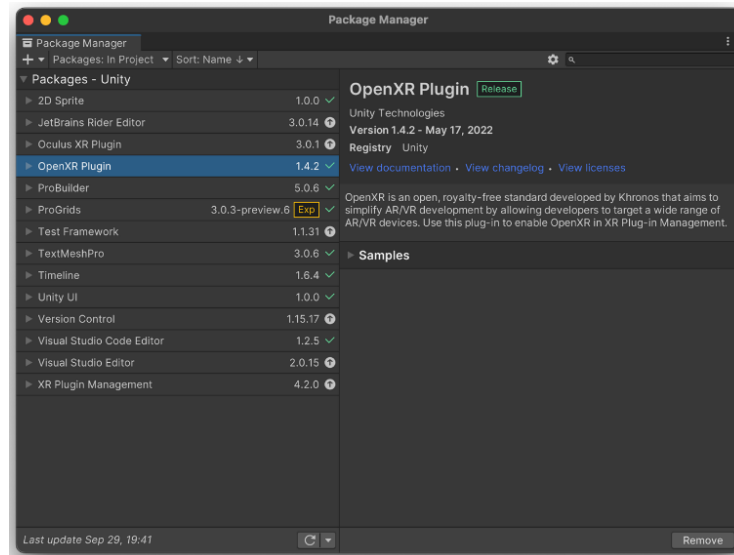


Рис. 2. Ресурс плагіна Oculus Integration SDK

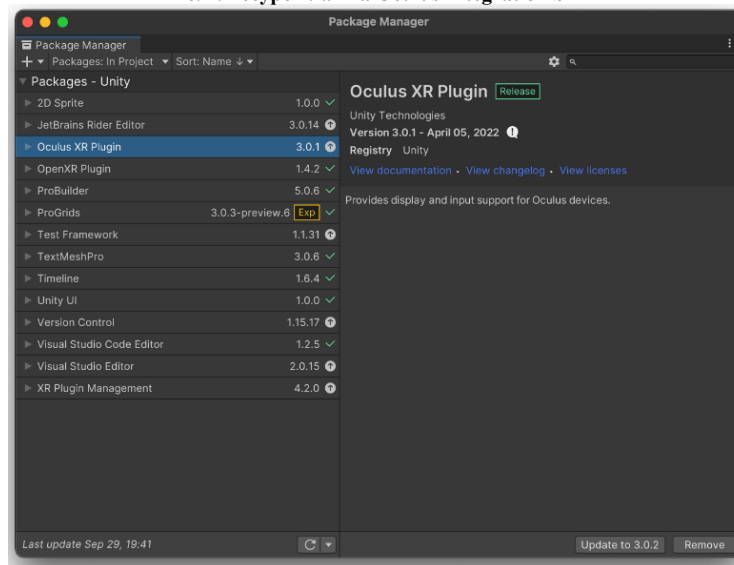


Рис. 3. Ресурс плагіна OpenXR SDK

Щоб сприяти створенню «середовища, максимально наближеного до реальності», в якому оператор почувався б дуже знайомим, ми вирішили створити віртуальну фабрику, яка б створила це відчуття.



Рис. 4. План підприємства з усіма створеними зонами

Висновок

Створено програму для Oculus Quest 2 HMD, для якої потрібен комп'ютер із операційною системою Windows, який буде підключено до гарнітури. Автори мають намір скомпілювати програму, щоб вона була сумісною з HMD на базі PCVR, наприклад Valve Index, яка є більш потужною гарнітурою віртуальної реальності. Запропонований робочий процес розробки віртуальної реальності можна використовувати для легкого розгортання додатків віртуальної реальності.

References

1. Puértolas Bálint, Luis. (2022). Virtual Reality Training Simulator for Physical Diagnosis. 10.13140/RG.2.2.36723.20003.
2. Xie, Haiyan & Tudoreanu, M & Shi, Wei. (2006). Development of a virtual reality safety-training system for construction workers.
3. Sariisik, Gencay. (2020). Occupational Safety Training with Virtual Reality in High Risk Industries.
4. Avveduto, Giovanni & Tanca, Camilla & Lorenzini, Cristian & Tecchia, Franco & Carrozzino, Marcello & Bergamasco, Massimo. (2017). Safety Training Using Virtual Reality: A Comparative Approach. 148-163. 10.1007/978-3-319-60922-5_11.
5. Kim, Jeffrey & Korlapti, Soundarya & Sargsyan, Nikolay & Akula, Satish & Wei, Xin & Seals, Cheryl & Zornnetr, Peesadech. (2020). Evaluating the Effectiveness of Virtual Reality Construction Safety Training and Lessons Learned.

ЛАТАНСЬКА Людмила

Національний університет кораблебудування ім. адмірала Макарова

<https://orcid.org/0000-0001-6473-7624>e-mail: llatanskaya@gmail.com

МАКАРОВА Лідія

Національний університет кораблебудування ім. адмірала Макарова

<https://orcid.org/0000-0003-2903-3001>e-mail: lidia.makarova@nuos.edu.ua

КОЛЬЦОВ Андрій

Національний університет кораблебудування ім. адмірала Макарова

<https://orcid.org/0000-0002-1917-3038>e-mail: andrew.koltsov@gmail.com

ДАВЛАТОВА Діана

Національний університет кораблебудування ім. адмірала Макарова

<https://orcid.org/0000-0003-2495-1305>e-mail: didi77777@ukr.net

НЕЛІНІЙНА РЕГРЕСІЙНА МОДЕЛЬ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ РОЗМІРУ ВЕБ-ЗАСТОСУНКІВ, ЩО СТВОРЮЮТЬСЯ З ВИКОРИСТАННЯМ PHP ФРЕЙМВОРКУ SYMFONY

Питання щодо визначення розміру програмного забезпечення на перших етапах роботи над проектом є важливим, адже отриманий розмір можна використати для прогнозування вартості, тривалості та трудомісткості. Частка веб-застосунків серед усіх розроблюваних проектів програмного забезпечення сьогодні є значною, як і популярність мов програмування, що використовуються у веб-розробці. Лідером за частотою використання є мова PHP з її численними фреймворками.

Метою дослідження є побудова нелінійної регресійної моделі для оцінювання розміру веб-застосунків, що створюються з використанням PHP фреймворку Symfony, за допомогою нормалізуючого перетворення на основі десятичного логарифму.

Для побудови моделі на платформі GitHub знайдено 50 проектів веб-застосунків, які створено з використанням фреймворку Symfony. З допомогою інструменту PhpMetrics отримано наступні метрики діаграми класів по цим проектам: кількість класів, середня кількість методів на кожен клас, глибина дерева наслідування. Такий вибір метрик зумовлений можливістю отримати таку інформацію про розроблюваний проект на ранніх стадіях проектування та відсутністю мультиколінеарності серед обраних метрик.

Емпіричні дані перевірено на нормальність. Перевірка показала, що дані є негаусівськими, тому їх нормалізовано за допомогою десятичного логарифму, виконано перевірку на наявність викидів, знайдені викиди усунуто та для даних, що лишилися, побудовано лінійну для нормалізованих даних та нелінійну для вихідних даних регресійні моделі. Для порівняння також побудовано лінійну регресійну модель для емпіричних даних у припущенні про нормальність розподілу. Порівняння моделей показало суттєве покращення якості оцінювання розміру веб-застосунків, що створюються з використанням фреймворку Symfony, при застосуванні саме нелінійного регресійного аналізу.

Ключові слова: оцінювання кількості строк коду, програмні застосунки, нелінійна регресійна модель, нормалізуюче перетворення, фреймворк Symfony.

LATANSKA Liudmyla, MAKAROVA Lidiia, KOLTISOV Andrii, DAVLATOVA Diana
Admiral Makarov National University of Shipbuilding

A NONLINEAR REGRESSION MODEL FOR ESTIMATING THE SIZE OF WEB APPLICATIONS CREATED USING SYMFONY FRAMEWORK

The issue of estimating the size of the software in the first stages of work on the project is important, because the obtained size can be used to predict the cost, duration and labor intensity. The share of web applications among all software projects developed today is significant, as is the popularity of programming languages used in web development. The leader in frequency of use is the PHP language with its numerous frameworks. The purpose of the study is to build a non-linear regression model for estimating the size of web applications created using the Symfony PHP framework, using a normalizing decimal logarithm transformation. To build the model, 50 web application projects were found on the GitHub platform, which were created using the Symfony framework. Using the PhpMetrics tool, the following class diagram metrics for these projects were obtained: the number of classes, the average number of methods per class, the depth of the inheritance tree. This choice of metrics is due to the possibility of obtaining such information about the project under development at the early stages of design and the absence of multicollinearity among the selected metrics.

Empirical data were tested for normality. The check showed that the data are non-Gaussian, so they were normalized using a decimal logarithm, an outlier check was performed, the outliers were eliminated, and for the remaining data, a linear regression model was built for the normalized data and a nonlinear one for the original data. For comparison, a linear regression model was also constructed for the empirical data under the assumption of normal distribution. The comparison of the models showed a significant improvement in the quality of estimating the size of web applications created using the Symfony framework when applying non-linear regression analysis.

Keywords: LOC estimation, software, non-linear regression model, normalizing transformation, Symfony framework.

Постановка проблеми у загальному вигляді

та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

Визначення розміру програмного забезпечення є важливим питанням в області управління проектами програмного забезпечення. Це пов'язано з тим, що кількість успішних проектів, тобто таких, що завершилися в строк, мають належні показники якості та не вийшли за рамки бюджету, – лише 30–40% [1]. Визначений розмір програмного забезпечення може бути використаний для оцінювання вартості, тривалості та трудомісткості відомими моделями COCOMO, COCOMO II, ISBSG з метою використання отриманої інформації для зменшення ризиків проекту.

На сьогоднішній день значна частина розроблюваних проектів програмного забезпечення припадає на веб-застосунки. Найпопулярнішою мовою веб-розробки є PHP, загальний відсоток використання якої складає приблизно 71,4% у 2022 році [2]. Також досить часто використовуються фреймворки мови PHP [3, 4], що пов'язано зі значним переліком переваг, серед яких можна виділити головні: наявність готових рішень, великі можливості для масштабування веб-застосунків, використання провідних практик.

До популярних фреймворків мови PHP відносять Laravel, Symfony, Codeigniter, Yii, CakePHP. Для фреймворків Laravel [5], CakePHP [6], Yii [7] побудовано нелінійні регресійні моделі для оцінювання розміру веб-застосунків, що створюються з використанням цих фреймворків, тоді як для фреймворку Symfony, який за даними опитування sitepoint та компанії JetBrains йде другим за популярністю [3, 4], – ні. Це слугує підставою для побудови нелінійної регресійної моделі для оцінювання розміру веб-застосунків, що створюються з використанням фреймворку Symfony.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

В роботах [8, 9] Hee Beng Kuan Tan, Yuan Zhao та Hongyu Zhang побудували багатофакторні лінійні регресійні моделі для оцінювання розміру інформаційних систем для Java, Visual Basic та PHP. Залежною величиною для побудованих моделей виступає кількість строк коду, а в якості незалежних змінних було обрано такі метрики концептуальної моделі даних у вигляді діаграми класів, які можна отримати на ранніх стадіях роботи над проектом: кількість класів, кількість відносин між класами, середня кількість атрибутів. Однак на практиці існують певні проблеми з застосуванням лінійного регресійного аналізу: для його застосування залишки регресії або залежна змінна повинні мати гаусівський розподіл, що в реальних умовах трапляється вкрай нечасто. Все це зумовлює необхідність використання методів нелінійного регресійного аналізу.

Відомі на сьогодні нелінійні регресійні моделі для оцінювання розміру інформаційних систем, що розробляються з використанням мови PHP, можна поділити на дві групи за використаними метриками. Так у [10] застосовано ті ж метрики, що і в [8, 9], а в [11] використали такий набір метрик: кількість класів; сума середньої кількості класів, на які впливає даний клас, і середньої кількості класів, з яких даний клас отримує ефекти; середня кількість методів. В свою чергу якість побудованих нелінійних регресійних моделей тісно пов'язана з видом нормалізуючих перетворень, що й показано в цих роботах.

В роботах [6, 7] розглядали побудову нелінійних регресійних моделей для популярних фреймворків мови PHP – CakePHP та Yii. З припущення про можливу залежність розміру веб-застосунків, що розробляються з використанням фреймворків мови PHP, від інших метрик, аніж використані у роботах [8–11], був обраний такий перелік метрик: кількість класів, середня кількість методів на кожен клас, глибина дерева наслідування.

Для фреймворку Laravel [6] відома нелінійна регресійна модель, для побудови якої використали такий же набір метрик, що і в [11].

Високий інтерес та різні підходи до побудови нелінійних регресійних моделей для оцінювання розміру веб-застосунків, що використовують мову PHP чи її фреймворки, є підставою для проведення досліджень.

Постановка завдання

Метою роботи є підвищення достовірності оцінювання розміру веб-застосунків, що створюються з використанням PHP фреймворку Symfony, за допомогою нелінійної регресійної моделі.

Для досягнення мети необхідно виконати наступні завдання:

- Провести дослідження існуючих моделей для оцінювання розміру веб-застосунків.
- Виконати збір емпіричних даних, для яких буде побудовано нелінійну регресійну модель для оцінювання розміру веб-застосунків, що створюються з використанням фреймворку Symfony.
- Виконати побудову нелінійної регресійної моделі для веб-застосунків, що створюються з використанням фреймворку Symfony, на основі нормалізуючого перетворення.

Виклад основного матеріалу

У випадку нормальності початкових даних в якості регресійної моделі можна взяти лінійну регресійну модель з наступним загальним виглядом:

$$Y = \hat{Y} + \varepsilon = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_kX_k + \varepsilon, \quad (1)$$

де \hat{Y} – результат передбачення за рівнянням лінійної регресії, b_i ($i = \overline{0, k}$) – параметри лінійного рівняння регресії, X_i ($i = \overline{1, k}$) – значення незалежної змінної, ε – залишки регресії, гаусівська випадкова величина, k – кількість факторів у моделі.

У випадку, коли початкові дані є негаусівськими, виникає потреба будувати нелінійну регресійну модель. Найкращим підходом до побудови нелінійних регресійних моделей є використання нормалізуючих перетворень, адже нормалізуючі перетворення вдається підібрати майже завжди.

Суть методу з використанням нормалізуючих перетворень можна представити наступним переліком кроків [12]:

- Нормалізувати емпіричні дані та вилучити викиди.
- За нормалізованими даними без викидів побудувати лінійну регресійну модель.
- Виконати перехід від лінійної регресійної моделі до нелінійної за зворотнім нормалізуючим перетворенням.

Нормалізуюче перетворення негаусівського випадкового вектору $P = \{Y, X_1, X_2, \dots, X_k\}^T$ у гаусівський випадковий вектор $T = \{Z_Y, Z_1, Z_2, \dots, Z_k\}^T$, задається як

$$T = \Psi(P), \quad (2)$$

а зворотнє перетворення до (2) як

$$P = \Psi^{-1}(T),$$

де Ψ – вектор, $\Psi = \{\Psi_Y, \Psi_1, \Psi_2, \dots, \Psi_k\}^T$.

Таким чином нелінійна регресійна модель, що побудована з використанням нормалізуючого перетворення, має вигляд

$$Y = \Psi_Y^{-1}(\hat{Z}_Y + \varepsilon) = \Psi_Y^{-1}(b_0 + b_1 Z_1 + b_2 Z_2 + \dots + b_k Z_k + \varepsilon),$$

де Ψ_Y – перша компонента вектору Ψ перетворення (2).

На першому кроці при побудові нелінійної регресійної моделі для оцінювання розміру веб-застосунків, що створюються з використанням фреймворку Symfony, було проведено пошук веб-застосунків, що використовують цей фреймворк. За допомогою платформи GitHub (<https://github.com/>) було знайдено 50 проектів веб-застосунків. За допомогою інструменту PhpMetrics (<https://phpmetrics.org/>) було отримано наступні метрики діаграми класів по цим проектам: кількість строк коду KLOC (Y), кількість класів NOC (X_1), середня кількість методів на кожен клас Methods by Class (X_2), глибина дерева наслідування DIT (X_3).

Побудова багатофакторної регресійної моделі пов'язана з перевіркою майбутніх факторів (предикторів) на предмет наявності мультиколінеарності. При наявності мультиколінеарності модель має лінійну, або близьку до неї, залежність між факторами (незалежними змінними).

Для того щоб впевнитись у відсутності мультиколінеарності майбутніх факторів, визначимо коефіцієнти впливу дисперсії (Variance Inflation Factors, VIFs). В множинній лінійній регресійній моделі з k -предикторами X_i ($i = \overline{1, k}$) VIFs – це елементи, що знаходяться на головній діагоналі в оберненій коваріаційній матриці розміру $k \times k$ k -предикторів. Зазвичай значення VIFs, які більше за 10 вважають сигналом проблем з мультиколінеарністю. Значення VIFs від 1 до 5 свідчать про відсутність мультиколінеарності [13].

Для залежних змінних NOC, Methods by Class, DIT отримано значення VIFs 1,027, 1,030 та 1,036 відповідно. Всі значення менші за 5, що показує відсутність мультиколінеарності в даних.

Для пошуку викидів застосували метод, що базується на нормалізуючих перетвореннях та квадрати відстані Махаланобіса SMD [13, 14]. Для окремо взятої точки нормалізованих даних i ($i = \overline{1, N}$) застосовується наступна формула

$$d_i^2 = (Z_i - \bar{Z})^T S_N^{-1} (Z_i - \bar{Z}),$$

де Z_i – i -а точка багатовимірних даних нормалізованого вектору Z ; \bar{Z} – вектор вибірових середніх; S_N – вибіркова коваріаційна матриця для нормалізованих даних. В нашому випадку розглядається 4-компонентний вектор.

$$S_N = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Z_i - \bar{Z})(Z_i - \bar{Z})^T.$$

Для отримання вектору нормалізованих емпіричних даних необхідно скористатись (1) та нормалізуючим перетворенням десятичного логарифму. Тоді перетворення (1) має наступний вигляд $\Psi = \{\lg Y, \lg X_1, \lg X_2, \lg X_3\}^T$.

Для багатовимірних гаусівських даних розподіл величин SMD подібний до розподілу χ^2 , тобто для великих вибірок $N - m$ (принаймні більше 25) відстань d_i^2 має значення, що є близькими до незалежної випадкової величини $\chi_{m,\alpha}^2$, де $\chi_{m,\alpha}^2$ – квантіль розподілу χ^2 з рівнем значимості α [15].

Також для багатовимірних гаусівських даних значення статистики T_{S_i} поводить подібно F -розподілу з відповідним значенням квантілю $F_{m,N-m,\alpha}$

$$T_{S_i} = \frac{N(N-m)d_i^2}{m(N^2-1)}.$$

Багатовимірним викидом вважається рядок або зі значенням SMD, яке перевищує значення квантілю розподілу χ^2 , або рядок з розрахованою статистикою T_{S_i} більшою за значення $F_{m,N-m,\alpha}$. Такий рядок необхідно вилучити та продовжувати розраховувати SMD або T_{S_i} до повного усунення викидів.

Для вилучення викидів з початкового набору даних на рівні значимості 0,05 знадобилось 4 ітерації. На кожній з ітерацій було розраховано значення статистики T_{S_i} . Отримані значення статистики T_{S_i} на кожній з чотирьох ітерацій наведено в таблиці 1. Нагадаємо, що критичне значення квантіля F розподілу для рівня значимості 0,05 дорівнює 2,5740, 2,5837, 2,5943 та 2,6000 на 1, 2, 3 та 4 ітераціях відповідно.

Таблиця 1

Процес вилучення викидів з емпіричних даних

№	T_{S_i-1}	T_{S_i-2}	T_{S_i-3}	T_{S_i-4}	№	T_{S_i-1}	T_{S_i-2}	T_{S_i-3}	T_{S_i-4}
1	1,5076	1,7728	1,7580	1,7163	26	0,4815	0,7261	0,8917	0,8670
2	0,8954	0,9023	0,8672	0,8499	27	0,6947	0,8274	0,9752	0,9526
3	6,6096	-	-	-	28	3,2828	-	-	-
4	0,8130	1,0713	1,0625	1,0355	29	0,6176	0,6373	0,6280	0,6306
5	1,2702	1,2371	1,2372	1,2063	30	0,9046	1,1557	1,3381	1,3156
6	0,9084	0,8611	0,9626	1,1053	31	0,2714	0,3647	0,4337	0,4919
7	0,7460	0,7434	0,8878	1,1718	32	1,8882	2,5850	-	-
8	0,4795	1,0184	1,1713	1,1904	33	0,3456	0,4837	0,4903	0,4739
9	1,5053	1,5938	1,9385	2,1175	34	0,6937	0,8906	0,9023	0,8848
10	0,3212	0,4327	0,4828	0,4854	35	0,2762	0,3944	0,4553	0,4811
11	0,5818	0,8016	1,0512	1,2592	36	0,7500	0,9047	0,9820	0,9562
12	0,3834	0,4951	0,6455	0,7043	37	0,2218	0,2430	0,3120	0,3113
13	1,9333	2,1728	2,6837	-	38	1,2530	1,2889	1,4077	1,6315
14	0,5640	0,5413	0,5248	0,5118	39	0,1767	0,1753	0,1883	0,1831
15	0,2883	0,6797	0,7541	0,7314	40	0,3946	0,3795	0,4471	0,4466
16	0,5933	0,7120	0,8147	0,8016	41	0,4372	0,4476	0,5272	0,5365
17	0,8682	0,8270	0,7970	0,8624	42	0,2616	0,2529	0,2492	0,2439
18	0,3989	0,5985	0,5700	0,6003	43	0,8692	0,8399	0,8481	0,9993
19	1,6867	3,2489	-	-	44	0,4245	0,5683	0,6257	0,6214
20	0,8035	1,1098	1,1821	1,1935	45	0,4875	0,7510	0,9096	1,0013
21	0,4930	0,6381	0,6650	0,6895	46	0,6178	0,6134	0,6315	0,6121
22	0,6057	0,7973	0,9619	1,1463	47	1,5328	1,9403	2,1387	2,0878
23	0,8793	1,1561	1,1166	1,2089	48	0,8454	0,8383	0,8763	0,8733
24	0,9362	0,9576	1,0254	1,1213	49	0,8002	0,8378	0,8642	0,8427
25	0,3986	0,4626	0,5775	0,6305	50	1,0192	1,0422	1,1602	1,2365

Для побудови нелінійної регресійної моделі для оцінювання розміру веб-застосунків, що створюються з використанням фреймворку Symfony, використаємо дані без викидів. Лінійна багатofакторна регресійна модель для нормалізованих даних має вигляд

$$Z_Y = \hat{Z}_Y + \varepsilon = \hat{b}_0 + \hat{b}_1 Z_1 + \hat{b}_2 Z_2 + \hat{b}_3 Z_3 + \varepsilon, \quad (3)$$

де $Z_Y = \lg Y; Z_i = \lg X_i, i = 1, 3$.

Оцінки параметрів побудованої моделі $\hat{b}_0, \hat{b}_1, \hat{b}_2, \hat{b}_3$ дорівнюють -1,6378, 0,9664, 0,9630 та -0,4627 відповідно. Залишки лінійної регресії для нормалізованих даних ε були перевірені на нормальність за допомогою критерію χ^2 Пірсона. Відповідна нульова гіпотеза була прийнята на рівні значимості 0,05.

За лінійним регресійним рівнянням (3) та взаємо-зворотнім нормалізуючим перетворенням отримуємо нелінійну регресійну модель

$$Y = 10^{\varepsilon + \hat{b}_0} X_1^{\hat{b}_1} X_2^{\hat{b}_2} X_3^{\hat{b}_3}. \quad (4)$$

Співвідношення (4) і є нелінійною регресійною моделлю для оцінювання розміру веб-застосунків, що створюються з використанням фреймворку Symfony.

Для моделі було визначено оцінки множинного коефіцієнту детермінації R^2 , середньої величини відносної похибки $MMRE$ та відсотку прогнозованих результатів $PRED(0,25)$, що дорівнюють 0,900, 0,187 та 0,756 відповідно. Оцінки показують належну якість отриманої моделі. Нагадаємо, що допустимі значення $MMRE$ і $PRED(0,25)$ складають не більше 0,25 і не менше 0,75 відповідно, а значення R^2 більше 0,75 [16, 17].

Для проведення порівняння за (1) побудуємо трифакторну лінійну регресійну модель для оцінювання розміру веб-застосунків, що створюються з використанням фреймворку Symfony, для вихідних даних. Модель має наступний вигляд

$$Y = \hat{Y} + \varepsilon = \hat{b}_0 + \hat{b}_1 X_1 + \hat{b}_2 X_2 + \hat{b}_3 X_3 + \varepsilon.$$

Для побудованої моделі оцінки параметрів $\hat{b}_0, \hat{b}_1, \hat{b}_2, \hat{b}_3$ дорівнюють -1,3253, 0,0590, 0,5311 та -0,3588 відповідно. Залишки лінійної регресії для емпіричних даних ε були перевірені на нормальність за допомогою критерію Пірсона. Відповідна нульова гіпотеза була прийнята на рівні значимості 0,05.

Прийняття нульової гіпотези щодо нормальності розподілу залишків регресії ε може слугувати теоретичним підґрунтям використання лінійного регресійного аналізу для оцінювання розміру веб-застосунків, що створюються з використанням PHP фреймворку Symfony, але розраховані оцінки середньої величини відносної похибки $MMRE$ та відсотку прогнозованих результатів $PRED(0,25)$, що дорівнюють 0,273 та 0,578, свідчать про незадовільну якість моделі.

Отримані оцінки лінійної та нелінійної регресійних моделей було порівняно, за результатами порівняння видно покращення якісних показників моделі у випадку використання нелінійного регресійного аналізу. Так R^2 , $MMRE$ та $PRED(0,25)$ для лінійної моделі дорівнюють 0,899, 0,273 та 0,578 відповідно, а ці ж оцінки для нелінійної моделі – 0,900, 0,187 та 0,756. Бачимо покращення суттєве покращення показників оцінок $MMRE$ та $PRED(0,25)$.

Висновки з даного дослідження та перспективи подальших розвідок у даному напрямі

В роботі було вирішено важливу задачу щодо підвищення достовірності оцінювання розміру веб-застосунків, що створюються з використанням PHP фреймворку Symfony, за рахунок побудови нелінійної регресійної моделі з використанням нормалізуючого перетворення на основі десяткового логарифму. Порівняння отриманої нелінійної регресійної моделі з лінійною моделлю показує значне покращення якості моделі за показниками $MMRE$, $PRED(0,25)$.

В майбутньому планується побудувати довірчі інтервали та інтервали передбачення нелінійної регресії. Також планується виконати побудову нелінійних регресійних моделей з використання різних нормалізуючих перетворень з метою підбору такого, що дозволить отримати найкращі показники якості моделі.

References

1. Arcidiacono G. Comparative research about high failure rate of IT projects. PM World Journal. 2017. Vol. VI, Issue II.
2. Usage statistics of PHP for websites. URL: <https://w3techs.com/technologies/details/pl-php> (20.10.2022).
3. The Best PHP Framework for 2015: SitePoint Survey Results. URL: <https://www.sitepoint.com/best-php-framework-2015-sitepoint-survey-results/> (20.10.2022).
4. PHP developer ecosystem survey. URL: <https://www.jetbrains.com/lp/devecosystem-2021/php/> (20.10.2022).
5. Prykhodko S. B. Nonlinear regression model for estimating the size of web-applications created using the Laravel framework. Information technology and computer engineering. 2021. Vol. 50, no. 1. P. 115–121.
6. Prykhodko S. B., Shutko I. S., Prykhodko A. S. A nonlinear regression model to estimate the size of web apps created using the CakePHP framework. Radio Electronics, Computer Science, Control. 2022. No. 4. P. 129–139.
7. Prykhodko S., Shutko Ivan, Prykhodko Andrii Early LOC estimation of web apps created using Yii framework by nonlinear regression models. WSEAS TRANSACTIONS ON COMPUTERS. 2021. Vol. 20. P. 321–328. DOI: <https://doi.org/10.37394/23205.2021.20.35>.
8. Hee Beng Kuan Tan, Yuan Zhao, Hongyu Zhang. Conceptual data model-based software size estimation for information systems. ACM Transactions on Software Engineering and Methodology. 2009. Vol. 19, no. 2. P. 1–37. DOI: <https://doi.org/10.1145/1571629.1571630>.
9. Hee Beng Kuan Tan, Yuan Zhao, Hongyu Zhang Estimating LOC for information systems from their conceptual data models. Proceeding of the 28th international conference, Shanghai, China, 20–28 May 2006. New York, New York, USA, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1145/1134285.1134331>.

10. Prykhodko S.B. Constructing the non-linear regression equation to estimate the software size of open source PHP-based information systems. *Problems of Information Technologies*. 2018. № 1 (023). P. 118–125.
11. Prykhodko S. B. Three-factor non-linear regression model to estimate the size of open source php-based applications. *Scientific notes of Taurida National V.I. Vernadsky University. Series: Technical Sciences*. 2020. Vol. 1, no. 1. P. 124–131. DOI: <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2020.1-1/23>.
12. Prykhodko N. V., Prykhodko S. B. Constructing the Nonlinear Regression Models on the Basis of Multivariate Normalizing Transformations. *Elektronnoe modelirovanie*. 2018. Vol. 40, no. 6. P. 101–110. DOI: <https://doi.org/10.15407/emodel.40.06.101>.
13. Prykhodko Sergiy. Detecting outliers in multivariate non-Gaussian data on the basis of normalizing transformations. 2017 IEEE First Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON), Kiev, 29 May – 2 June 2017. [S. l.], 2017. DOI: <https://doi.org/10.1109/ukrcon.2017.8100366>.
14. Prykhodko Sergiy. Application of the squared mahalanobis distance for detecting outliers in multivariate non-Gaussian data. 2018 14th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET), Lviv-Slavske, Ukraine, 20–24 February 2018. [S. l.], 2018. DOI: <https://doi.org/10.1109/tcset.2018.8336353>.
15. Handbook of regression analysis. *Choice Reviews Online*. 2013. Vol. 51, no. 02. P. 51–0931–51–0931. DOI: <https://doi.org/10.5860/choice.51-0931>.
16. Foss T. A simulation study of the model evaluation criterion mmre. *IEEE Transactions on Software Engineering*. 2003. Vol. 29, no. 11. P. 985–995. DOI: <https://doi.org/10.1109/tse.2003.1245300>.
17. Prykhodko S., Natalia Prykhodko. Mathematical Modeling of Non-Gaussian Dependent Random Variables by Nonlinear Regression Models Based on the Multivariate Normalizing Transformations. *Advances in Intelligent Systems and Computing*. Cham, 2020. P. 166–174. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-58124-4_16.

LYTVYN Oleg

Lanteria Dynamics Inc.

<https://orcid.org/0000-0002-7462-0531>e-mail: Oleg.lytvyn91@gmail.com

MAKATORA Dmytro

National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»

<https://orcid.org/0000-0002-1909-900X>e-mail: makatora_d@ukr.net

DZHIKIYA Nellie

Kyiv National University of Construction and Architecture

<https://orcid.org/0000-0003-0806-0027>e-mail: nelliesoroka@gmail.com

DEVELOPMENT OF AN AUTOMATED SYSTEM FOR DETERMINING THE "ID OF THE COMPETITIVE PROPOSAL" OF THE SPECIALTY (EDUCATIONAL PROGRAM)

The paper presents the results of the implementation of automated systems and the definition of the "ID of the competitive proposal" of the specialty (educational program) depending on the selected criteria, namely: educational level; admission base; specialty; form of education; the deadline for submitting documents allows you to choose CP in two versions: "Dates depending on the CP" – the search by date is not performed and all available competitive proposals are displayed in accordance with other criteria and "At the moment" – a search for competitive proposals that are available at a moment is added to the search criteria, which makes it possible to determine the "ID of the tender proposal". A flowchart of the algorithm has been developed that implements the above-described actions of automated systems and the definition of the "ID of the competitive proposal". The system has an adaptive design, and can be downloaded to various mobile devices, which will allow you to have information at the fingertips. Also, the system has a short reaction time, reduces the load on the server (since after receiving information from the database, it is processed on the user's computer). The automated system for determining the "ID of the competitive proposal" was posted on the <https://www.vstup.org/konkurs> portal, and the link to it on the site <https://iino.knuba.edu.ua/>. The system was tested during the admission campaign 2022 in the separate structural section and "Institute of Innovative Education of Kyiv National University of Construction and Architecture", confirmed its performance, the number of users who used the system was 1298 people, which is equal to 92% of the total number of applications for admission.

Keywords: admission campaign, ID of the competitive proposal, automated system, institutions of professional pre-higher education, institution and higher education, algorithm.

ЛИТВИН Олег

Лантерія Дайнемікс інкорпорейтед

МАКАТЮРА Дмитро

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ДЖІКІЯ Неллі

Київський національний університет будівництва і архітектури

РОЗРОБКА АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ВИЗНАЧЕННЯ «ID КОНКУРСНОЇ ПРОПОЗИЦІЇ» СПЕЦІАЛЬНОСТІ (ОСВІТНЬОЇ ПРОГРАМИ)

В роботі наведено результати впровадження автоматизованої системи визначення «ID конкурсної пропозиції» спеціальності (освітньої програми) в залежності від обраних критеріїв, а саме: освітній рівень; база вступу; спеціальність; форма здобуття освіти; термін подачі документів дозволяє обрати КП в двох варіантах: «Дати в залежності від КП» – пошук по даті не виконується і виводяться всі доступні конкурсні пропозиції відповідно до інших критеріїв та «Вданий момент часу» – в пошукові критерії додається пошук по конкурсних пропозиціях які доступні у даний момент часу, що дає можливість визначити «ID конкурсної пропозиції». Розроблена блок-схема алгоритму, що реалізовує описані вище дії автоматизованої системи визначення «ID конкурсної пропозиції». Система має адаптивний дизайн, та може бути завантажена на різні мобільні пристрої, що дозволить завжди мати інформацію під рукою вступника. Також система має малий час реакції, зменшує навантаження на сервер (оскільки після отримання інформації з бази даних її обробка відбувається на комп'ютері користувача). Автоматизована система визначення «ID конкурсної пропозиції» була розміщена на порталі <https://www.vstup.org/konkurs>, а посилання на неї на сайті <https://iino.knuba.edu.ua/>. Система пройшла опробування під час вступної кампанії 2022 в Відокремленому структурному підрозділі «Інститут інноваційної освіти Київського національного університету будівництва і архітектури», підтвердила свою працездатність, кількість користувачів що користувалися системою склала 1298 осіб, що дорівнює 92 % від загальної кількості поданих заявок на вступ.

Ключові слова: вступна кампанія, ID конкурсної пропозиції, автоматизована система, заклади фахової передвищої освіти, заклади вищої освіти, алгоритм.

Staging problems

During the admission campaign, institutions of professional pre-higher education (hereinafter referred to as IPPE) or higher education institutions (hereinafter referred to as HEIs) have their own unique admission conditions (Admission Rules), which are regulated by the Procedure for admission to study for higher education in 2022 [1], the Procedure for admission to study in institutions of professional pre-higher education in 2022 [2], and the Procedure for submitting and reviewing applications in electronic form for participation in the competitive selection to higher (professional pre-higher) education institutions of Ukraine in 2022 [3]. One of the components of the

Admission Rules are: the deadlines for accepting applications and documents, competitive selection and enrollment in each institution, depending on the type of competitive proposal (hereinafter – CP) (the number of places for admission of applicants to a certain level of higher education, educational program (educational programs), form of education, course, list of competitive subjects and creative competitions, term of study on the basis of the acquired educational level or degree (educational qualification level). There are open, fixed and non-budgetary competitive proposals" [1-3]), which in educational institutions (hereinafter – EI) may be the same and vary (there are several stages of the admission campaign (applies only to non-budget competitive proposals)) which complicates the selection and of the proposal when submitting and applying for admission in electronic form, since different EI have different names of the CP and several stages of the admission campaign (from one – there is no option of choosing a CP (it is the only one in the electronic cabinet), two or more – detailed identification of the CP is required, namely its ID), which requires additional analysis of the rules for admission to them. Given the large number of different variants of CP in the EI, this problem is not trivial and requires the use of IT-technologies in its solution.

Analysis of recent sources

In [4], the system for determining the specialty of training based on the results of the EIT was analyzed, which allowed the applicant to reduce the time for determining the specialties of the selected EI. Now, a <https://vstup.edbo.gov.ua/offers/> system has been developed [5], which provides information on CP, but does not provide their ID, which makes it impossible to identify them in an electronic cabinet.

The aim of the work is the development of an automated system for determining the ID of the competitive proposal of the specialty (educational program).

Presentation of the main material

During the admission campaign in different IPPE and HEIs, admission usually takes place in several stages (depending on the Admission Rules adopted in the EI, vary from one to several, for convenience, an automated system for determining the "ID of the competitive proposal" of the specialty (educational program) has been developed [6].

The description of the choice of IPPE and because the university is not presented, but the information about the cities (regions) of Ukraine is stored in the Region table, and information about the EI in the Universities table of the Education.myd database [4, 7]. When uploading the form, the combobox1 combined list is filled in with information from the Region table, and the combobox2 combined list with information from the Universities table [4, 8, 9].

After selecting the desired EI, go to the page with the search criteria for CP (Fig. 1).

Determination of the tender offer ID

The screenshot shows a web form titled "Criteria for searching for tenders". It contains five dropdown menus arranged in a grid-like fashion. The first row has "Educational level" and "Admission base", both set to "Bachelor". The second row has "Specialty" set to "022 Design". The third row has "Form of education" and "Deadline for submission of documents", both set to "Choose the form of education" and "Choose the criterion for the deadline for submitting documents" respectively. At the bottom center is a button labeled "Find offers".

Fig. 1. Main page of the CP

On the main page of the EI, a form is opened for searching for the ID of the competitive proposal. The form contains options which are the criteria for searching for "ID of the competitive proposal": "Educational level", "Admission base", "Specialty", "Form of education", "Deadline for submission of documents". All fields have a drop-down list, there is no possibility of texting, only options are available. After each selection, the selected criterion is displayed in the field. For example, for a higher education institution, the "Educational Level" contains two available values: Bachelor and Master (see Fig. 2).

Educational level

Bachelor

Bachelor

Master's degree

Fig. 2. Choosing an educational level

The same goes for fields:

"Admission Base" where you can choose: Master, Specialist, Bachelor, etc.; The "specialty" of the training in this field is filtered according to the specific selected EI and educational level;

"Form of education" with a fixed set of values provided for by the educational process of the EI, where you can choose the following forms of education: full time, part time, extra mural, distance;

"Deadline for submission of documents" are available with two values: depending on the CP ("Dates depending on the CP" – the search by date is not performed and all available competitive proposals are displayed in accordance with other criteria and "At the moment " – a search for competitive proposals that are available at a given time is added to the search criteria).

After selecting all the fields, the user clicks on the "Find a proposal" button, launches the search engine according to the criteria selected on the form. After that, an additional panel appears on the site in the form of a table, where the search results are displayed, where it is displayed (Fig. 3): offer ID, name of the proposal, start of submitting documents, the end of submission of documents (If there are more than five search results then they are divided into pages, the next page of results can be clicked on the button below the table).

Offer ID	The name of the offer	Start of submission of documents	End of submission of documents	Course	Training period
1046786	Design (I stage)	29/07/2022	23/08/2022	2 Course	2 years 10 m.
1046789	Design (II stage)	09/09/2022	27/09/2022	2 Course	2 years 10 m.
1073532	Design (III stage)	17/10/2022	31/10/2022	2 Course	2 years 9 m.
1003428	Design (II stage)	09/09/2022	27/09/2022	3 Course	1 year 10 m.
1043651	Design (I stage)	29/07/2022	23/08/2022	3 Course	1 year 10 m.

< 1 >

*Affinity is also determined taking into account the order of the Ministry of Education, Culture, Sports and Science of Ukraine dated November 6, 2015 No. 1151 "On the peculiarities of the introduction of the list of fields of knowledge and specialties for which higher education applicants are trained, approved by the Cabinet of Ministers of Ukraine Resolution No. 266 of April 29, 2015"

Fig. 3. Search result

A flowchart of the algorithm implementing the above actions is shown in Fig. 4. After selecting the search parameters described above, a search query is generated in the database table.

A search query consists of a set of values, each of which corresponds to a separate parameter for the search. Such search parameters as: "Educational level", "Specialty", "Form of education" are row parameters that correspond to specific values in the table with competitive proposals. In relation to them, when forming a corresponding query into the database, the comparative operation "Equal" is used, which corresponds to a logical check for equality [10].

The Entry Base field is compared to the value of the field in the Competitive Proposals table. When plotting a query into a database, the value of this parameter is added to the query using the search operator "Contains", which meets the search criterion: "One of...", because the corresponding field of the database table may contain one or more values of this parameter [11].

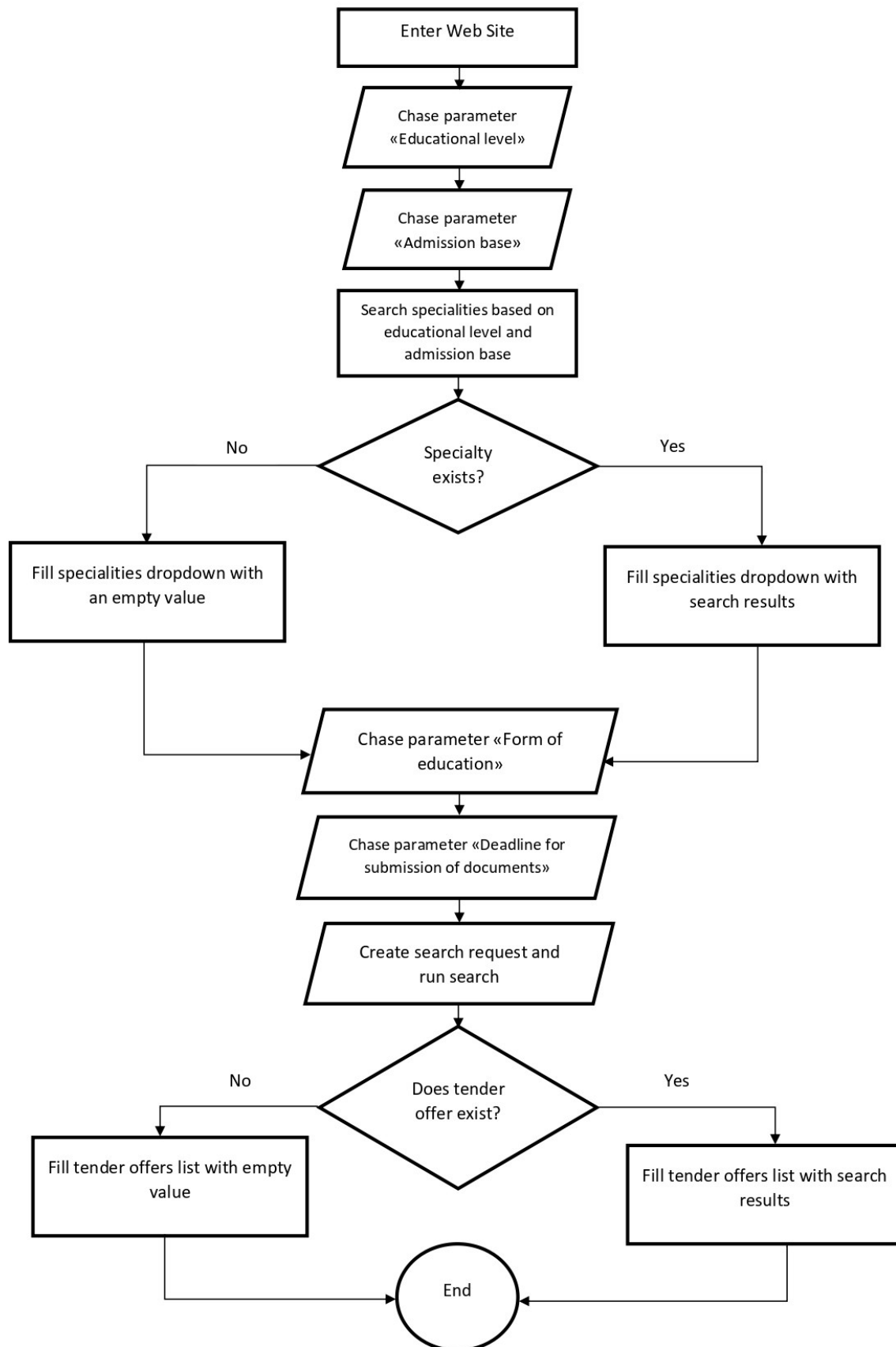


Fig. 4. Flowchart algorithm

One of the most important search criteria is the "Submission Deadline" parameter. If the deadline for submitting documents corresponds to the value: "At a moment", then when building a request to the database, we use a selection filter by the documentStartDate and documentEndDate fields, which correspond to the start and end dates of submission of documents, for the corresponding tender proposal. The criterion for comparison is the current date, which is determined by the system using the built-in function "Date()", which returns the current date for the

user's session on the system. Date comparison is implemented using logical operations: `documentStartDate <=` (less or equal) `Date()` AND `documentEndDate >=` (greater or equal) `Date()`.

In terms of the program code of the WIX system, the search code for the relevant bids is as follows:

```
let todayDate = new Date();
let query = wixLocation.query;
let filter = wixData.filter();
filter = filter.eq('specialityData', $w('#userSpeciality').value);
filter = filter.eq('educationLevel', $w('#userEducationalLevel').value);
filter = filter.contains('educationBase', $w('#userEducationBase').value);
filter = filter.eq('studyForm', $w('#userStudyForm').value);
if ($w('#userDates').value == '2')
{
    filter = filter.le('documentsStartDate', todayDate);
    filter = filter.ge('documentsEndDate', todayDate);
}
```

```
$w("#KonkursPropositionsDS").setFilter(filter);
```

```
$w('#searchResults').show();
```

```
$w('#table1').show();
```

The search results are displayed in the system Element `table1`, which graphically displays the table of results (see Fig. 3).

Conclusions

And the system and definition of the "ID of the competitive proposal" of the specialty (educational program) depending on the selected criteria, namely: education level; base of admission; specialty; form of education; terms of submission of documents allows you to choose CP in two versions: "Dates depending on the CP" – the search by date is not performed and all available proposals are displayed in accordance with other criteria and "At a moment" – a search for competitive proposals that are currently available at a given time is added to the search criteria, which makes it possible to determine the "ID of the tender proposal". The system has an adaptive design, and can be downloaded to various mobile devices, which will allow you always to have information at the fingertips. Also, the system has a short reaction time, reduces the load on the server (since after receiving information from the database, it is processed on the user's computer). The automated system for determining the "ID of the competitive proposal" was posted on the portal <https://www.vstup.org/konkurs>, and the link to it on the site <https://iino.knuba.edu.ua/>. The system was tested during the admission campaign 2022 in the Separate Structural Unit "Institute of Innovative Education of t Kyiv National University of Construction and Architecture", confirmed its performance, the number of users who used the system amounted to 1298 people, which is equal to 92% of the total number of applications for admission.

Література

1. Порядок прийому на навчання для здобуття вищої освіти в 2022 році : затв. наказом Міністерства освіти і науки України від 27.04.2022 № 392, зареєстрований в Міністерстві юстиції України від 03.05.2022 № 487/37823.
2. Порядок прийому на навчання до закладів фахової передвищої освіти в 2022 році : затв. наказом Міністерства освіти і науки України від 20.04.2022 № 364, зареєстровано в Міністерстві юстиції України 03.05.2022 № 486/37822.
3. Порядок подання та розгляду заяв в електронній формі на участь у конкурсному відборі до закладів вищої (фахової передвищої) освіти України в 2022 році : затв. наказом Міністерства освіти і науки України від 10.06.2022 № 542.
4. Голубев Л. П., Макарьора Д. А. Розробка автоматизованої системи визначення спеціальності навчання за результатами ЗНО. Вісник КНУТД. 2016. № 2 (96). С. 113–120. URL: [https://www.knutd.edu.ua/files/Visnyk/Visnyk%20\(96\)%202016.pdf](https://www.knutd.edu.ua/files/Visnyk/Visnyk%20(96)%202016.pdf).
5. Вступна кампанія 2022. URL: <https://vstup.edbo.gov.ua/offers/>
6. Авторське право. Літературний письмовий твір наукового характеру ; похідний твір. № 114559 України. Комп'ютерна програма «Веб-сайт ID «Визначення конкурсної пропозиції». О.А. Литвин, Д.А. Макарьора, Д.Р. Кузьміна, А.І. Белова ; заявник Д.А. Макарьора. заявл. 31.08.2022 ; опубл. 30.09.2022, Бюл. № 72.
7. Баррет Д. JavaScript. Web-професіоналам. Киев : БХВ – Киев, 2001.
8. Остапченко К.Б. Бази даних. Комп'ютерний практикум: навчальний посібник. К. : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. 151 с. URL: https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/47717/1/126-IZRS-BD-NPPR_2022.pdf.
9. Балик Н. Р., Мандзюк В. І. Бази даних MySQL : навч. посібник. Тернопіль : Навчальна книга – Богдан, 2010. 160 с. URL: <https://bohdan-books.com/upload/iblock/ebe/ebe73ff67804bc6dc1f6f464a3ca4469.pdf>.
10. eq(). Wix Pricing Plans Backend. URL: <https://www.wix.com/velo/reference/wix-pricing-plans-backend/publicplansquerybuilder/eq>.

11. Contains. Wix Pricing Plans Backend. URL: <https://www.wix.com/velo/reference/wix-pricing-plans-backend/publicplansquerybuilder/contains>.

References

1. Poriadok pryomu na navchannia dlia zdobuttia vyshchoi osvity v 2022 rotsi : zatv. nakazom Ministerstva osvity i nauky Ukrainy vid 27.04.2022 № 392, zareiestrovanyi v Ministerstvi yustytzii Ukrainy vid 03.05.2022 № 487/37823.
2. Poriadok pryomu na navchannia do zakladiv fakhovoi peredvyshchoi osvity v 2022 rotsi : zatv. nakazom Ministerstva osvity i nauky Ukrainy vid 20.04.2022 № 364, zareiestrovano v Ministerstvi yustytzii Ukrainy 03.05.2022 № 486/37822.
3. Poriadok podannia ta rozghliadu zaiav v elektronni formi na uchast u konkursnomu vidbori do zakladiv vyshchoi (fakhovoi peredvyshchoi) osvity Ukrainy v 2022 rotsi : zatv. nakazom Ministerstva osvity i nauky Ukrainy vid 10.06.2022 № 542.
4. Holubiev L. P., Makatora D. A. Rozrobka avtomatyzovanoi systemy vyznachennia spetsialnosti navchannia za rezultamy ZNO. Visnyk KNUVD. 2016. № 2 (96). S. 113–120. URL: [https://www.knutd.edu.ua/files/Visnyk/Visnyk%202\(96\)%202016.pdf](https://www.knutd.edu.ua/files/Visnyk/Visnyk%202(96)%202016.pdf).
5. Vstupna kampaniia 2022. URL: <https://vstup.edbo.gov.ua/offers/>
6. Avtorske pravo. Literaturnyi pysmovyi tvir naukovo kharakteru ; pokhidnyi tvir. № 114559 Ukrainy. Kompiuterna prohrama «Veb-sait ID «Vyznachennia konkursnoi propozyzii». O.A. Lytvyn, D.A. Makatora, D.R. Kuzmina, A.I. Bielova ; zaiavnyk D.A. Makatora. zaiavl. 31.08.2022 ; opubl. 30.09.2022, Biul. № 72.
7. Barret D. JavaScript. Web-professyonalam. Kyev : BKhV – Kyev, 2001.
8. Ostapchenko K.B. Bazy danykh. Kompiuternyi praktykum: navchalnyi posibnyk. K. : KPI im. Ihoria Sikorskoho, 2022. 151 s. URL: https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/47717/1/126-IZRS-BD-NPPR_2022.pdf.
9. Balyk N. R., Mandziuk V. I. Bazy danykh MySQL : navch. posibnyk. Ternopil : Navchalna knyha – Bohdan, 2010. 160 s. URL: <https://bohdan-books.com/upload/iblock/ebe/ebe73ff67804bc6dc1f6f464a3ca4469.pdf>.
10. eq(). Wix Pricing Plans Backend. URL: <https://www.wix.com/velo/reference/wix-pricing-plans-backend/publicplansquerybuilder/eq>.
11. Contains. Wix Pricing Plans Backend. URL: <https://www.wix.com/velo/reference/wix-pricing-plans-backend/publicplansquerybuilder/contains>.

МЕЛЬНИЧЕНКО Олександр

Хмельницький національний університет

<https://orcid.org/0000-0001-8565-7092>e-mail: oleksandr.melnychenko@live.com

МЕТОДИ ЗБОРУ ТА ОБРОБКИ ЗОБРАЖЕНЬ ОТРИМАНИХ З ВИКОРИСТАННЯМ БПЛА ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ ЗАДАНИХ ОБ'ЄКТІВ

У поданій роботі запропоновано новий підхід до виявлення та обчислення кількості заданих структурних об'єктів на прикладі фруктових плодів за зображеннями, що генеруються безпілотними літальними апаратами (БПЛА) в режимі реального часу. Запропонований підхід полягає у послідовному виконанні запропонованих методів, а саме, метод динамічного отримання зображень заданих структурних об'єктів в тривимірному просторі за допомогою групи БПЛА, метод синхронізації відеопотоків з різних БПЛА, метод виявлення заданих структурних об'єктів та спосіб отримання кількості структурних об'єктів. У результаті проведених експериментальних досліджень над розробленими методами було продемонстровано практичну значущість їхнього послідовного застосування до робочого середовища фруктового саду. Так, оцінка синхронізації відеопотоків за індексом SSIM коливається від 0,79 до 0,92, із середнім значенням 0,87, а за індексом PSNR – від 22 до 39, що свідчить про високу ефективність розробленого методу синхронізації та хорошу якість отриманих об'єднаних зображень. Середнє значення показника достовірності виявлення та обчислення кількості фруктових плодів становить 86,75%. Отримані значення свідчать про високий показник ефективності методів збору та обробки зображень отриманих з використанням БПЛА для виявлення заданих об'єктів.

Ключові слова: врожайність яблук, збір зображень, обробка зображень, синхронізація відеопотоків, виявлення об'єктів, YOLOv5, глибоке навчання.

MELNYCHENKO Oleksandr

Khmelnytskyi National University

METHODS OF COLLECTING AND PROCESSING IMAGES OBTAINED USING UAVS TO DETECT SPECIFIED OBJECTS

This study introduces a novel approach for identifying and quantifying specific structural objects, using fruit as an example, through images captured by drones in real time. The approach involves a series of steps: dynamically capturing images of the specified objects in 3D space using a fleet of drones, synchronizing video feeds from different drones, and finally, detecting and counting the objects. During the detection phase, a new version of the YOLOv5 model, YOLOv5-v1, was trained on a custom dataset of apple images to learn the features that differentiate apples from their surroundings. The initial size of the source network's binding block was adjusted to avoid misidentifying small objects in the image background, thereby improving counting accuracy. The authors conducted computational experiments on a dataset of apple images they created to assess the approach's effectiveness. The synchronization of video streams was assessed using the SSIM index, which ranged from 0.79 to 0.92, with an average value of 0.87, and the PSNR index, which ranged from 22 to 39. These values indicate the high efficiency of the developed synchronization method and the high quality of the resulting combined images. The results on the test dataset showed that the improved model could effectively identify fruits captured by the drone camera, with recall, precision, mAP, and F1-score of 92.13%, 84.59%, 87.94%, and 89.02%, respectively. The proposed approach was also compared with several other cutting-edge models, YOLOv3, YOLOv4, and YOLOv5, and was found to be superior in accuracy and speed. Our model's average recognition speed was 0.015 seconds per video frame (66.7 frames/s), which was 1.13 and 3.53 times faster than the YOLOv4, and YOLOv3 networks, respectively. The average reliability index for detecting and counting fruit was 86.75%. These results demonstrate the effectiveness of using drone-captured images to detect specified objects. Future research could also explore including additional features, such as fruit shape, by training the model on a larger dataset.

Keywords: apple yield, image collection, image processing, video stream synchronization, object detection, YOLOv5, deep learning.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

Яблука є однією з найбільших фруктових культур у світі, а Україна має найбільшу площу плантацій, що займає близько двох мільйонів гектарів і дає найвищий урожай у Європі. У центральних та південних регіонах України є чудові кліматичні та ґрунтові умови, сприятливі для вирощування яблук [1]. Крім того, технологічні вдосконалення сільськогосподарської практики в Україні призвели до збільшення врожайності яблук і покращення якості.

Виявлення врожайності яблук за допомогою візуального розпізнавання є ефективним та інтуїтивно зрозумілим методом. Однак, оскільки кожне плодове дерево має різний ріст і кількість плодів, для досягнення більшої точності потрібне індивідуальне визначення врожайності. У садах із великою кількістю дерев ефективність має вирішальне значення. Отже, необхідно мати модель виявлення яблук, яка є швидкою, точною та малою, що дає змогу швидше виявляти врожайність яблук під час роботи на різних вбудованих пристроях.

Аналіз досліджень та публікацій

Раніше для виявлення фруктів зазвичай використовували звичайні методи зору, такі як обробка зображень і машинне навчання. Ці методи розпізнавали фрукти за кольором, формою та текстурою. Наприклад, у роботі [2] досягли рівня точності 89,92 % для зеленого лічі та 94,50 % для червоного лічі,

навчивши модель розпізнавати плід лічі за ознаками кольору та текстури. Моделі глибокого навчання (ГН), зокрема згорткові нейронні мережі (CNN), мають можливість витягувати характеристики із зображень, що може призвести до автоматичного розпізнавання цілей і кращої адаптивності. Наприклад, у роботі [3] запропонували архітектуру Faster R-CNN для виявлення багатокатегорійних фруктів, яка досягла середньої точності 90,72 % і часу виявлення 58 мілісекунд (мс) на зображення.

В іншій роботі, як от, You Only Look Once (YOLO) [4], дослідники досягли більш збалансовану продуктивність щодо швидкості точності виявлення. Це призводить до загальної кращої продуктивності моделі. Наприклад, у дослідженні [5] запропонували покращений метод виявлення YOLOv3 для недозрілих яблук у саду та отримали точність 61,6, а в роботі [6] досягли точності розпізнавання яблук 97,13 % у складних садах за допомогою YOLOv4 із середнім часом розпізнавання 16,69 мс на одне зображення на одному графічному процесорі. Нещодавнє дослідження на основі YOLOv5 також продемонструвало відмінні результати в ідентифікації фруктових плодів [7].

Типові фруктові сади містять карликові та веретеноподібні дерева, які мають менш щільне листя, тобто менше яблук приховано від огляду. З усім тим, деякі яблука можуть бути закриті гілками або листям, а освітлення на задньому плані може бути нерівномірним або складним. Як наслідок, у фруктовому саду виникає недостатнє освітлення для захоплення зображення на стороні фонового освітлення фруктових дерев, що ускладнює виявлення яблук на зображенні підсвічування, знятому камерою.

Автоматичне виявлення фруктів на деревах відбувається в складному сітчастому середовищі, де фрукти ростуть на деревах, розташованих послідовними рядами. Під час робочої місії фрукти можуть бути зняті відеоканерою БПЛА та подані на передньому плані робочого сегмента (фруктове дерево), на задньому плані або на деревах інших рядів. Як наслідок, фрукти у відеокадрі можуть бути занадто малими, через що автоматизована система може їх помилково розпізнати, або вони можуть потрапити в різні відеокадри під час робочої місії, що призведе до кількох підрахунків однакових фруктів. Крім того, мінливі погодні умови, зміна освітлення впродовж дня, падіння листя та гілок у кадр можуть погіршити точність виявлення плодів. Тому, для усунення згаданих вище проблем у цій роботі пропонується новий підхід до виявлення фруктових плодів у вигляді заданих структурних об'єктів. Мета роботи полягає в автоматизації процесу виявлення та обчислення кількості заданих структурних об'єктів за зображеннями, що згенеровані з допомогою БПЛА.

Метод динамічного отримання зображень заданих структурних об'єктів

Забезпечення мети роботи можливе із впровадженням нового методу динамічного отримання зображень заданих структурних об'єктів використовуючи групу БПЛА. Вхідними даними методу динамічного отримання зображень заданих структурних об'єктів є множина даних: а) координати початкової точки робочого середовища; б) координати кінцевої точки робочого середовища; в) матриця координат початкових точок робочих сегментів; г) матриця координат кінцевих точок робочих сегментів; д) матриця координат початкової траєкторії руху БПЛА.

Метод динамічного отримання зображень структурних об'єктів однієї природи в тривимірному просторі полягає в покроковому виконанні наступних блоків.

Блок 1. Зліт групи БПЛА до першої початкової точки. Визначення стану для програмного модуля розташування кожного БПЛА включає перевірку координат та відповідність фізичного розташування всієї групи щодо вказаних програмних координат на початку. Занесення інформації в центральний модуль та всіх підсистем і визначення станів усіх системних модулів.

Блок 2. Формування відеоданих, отриманих від групи БПЛА в цільовій зоні. Прийняття рішень про подальшу роботу групи БПЛА, підтвердження цілісності програмної місії та визначення рівня критичності для продовження виконання роботи групи БПЛА, відбувається через визначення станів програмних модулів після виконання блоку 2. Вихідними даними методу є згенерований відеореєстр із цільовими об'єктами фруктового саду.

Отримані дані цільового блоку 2 визначають стан та ефективність роботи групи БПЛА в робочій зоні. Якщо програмні модулі набули всі необхідні ознаки для продовження місії, підсистема управління групою БПЛА відправляє сигнал на переміщення групи до наступного цільового фруктового дерева.

Під час перельоту групи БПЛА між цільовими робочими зонами фруктових дерев відеоканери БПЛА тимчасово деактивуються для отримання неспотворених цільових відеоданих. У результаті, система переходить у стан «завершення» виконання програмної місії групою БПЛА в робочій зоні в разі фізичного переміщення групи в кінцеву точку даного робочого сегменту. Отже, робота в зоні вважається завершеною.

Метод динамічного отримання зображень заданих структурних об'єктів у тривимірному просторі за допомогою декількох БПЛА забезпечує в процесі активації кожного БПЛА генерацію відеореєстру в центральну систему та прийняття рішень про подальшу роботу групи БПЛА, що покращує узгодження між різними БПЛА та досягнення переміщення всієї групи БПЛА від заданих початкових до кінцевих точок програмної місії автономно.

Метод синхронізації відеопотоків з різних БПЛА

Процес синхронізації відеопотоків із різних БПЛА може бути ускладнений багатьма чинниками, наприклад, БПЛА можуть мати різні типи відеоканер, швидкість отримання відеореєстрів може відрізнятися, а самі відеореєстри можуть спотворюватись або не отримуватись взагалі. Тому, щоб не допустити подібні проблеми з отриманням відеореєстрів, запропоновано новий метод синхронізації відеопотоків у режимі реального часу. Метод складається з трьох основних блоків.

Блок 1. Корегування швидкості передачі відеорядів. У процесі виконання програмної місії в робочих зонах група БПЛА утворює відеоряди, які транслуються через мережу в програмний модуль виявлення та обчислення кількості заданих структурних об'єктів. Результатом виконання блоку корегування швидкості є перехід блоку в стан "виконання" та передача утвореної множини програмних структур на наступний блок виконання.

Блок 2. Синхронізації відеопотоків у часі. Загальне функціонування блоку зумовлене кількістю множин програмних структур, отриманих від попереднього блоку щодо корегування швидкості передачі відеорядів. Першочергово блок синхронізації відеопотоків у часі здійснює перевірку кількості множини програмних структур, що призводить до оброблення наступних сценаріїв. Результатом виконання даного блоку є множина програмних структур, що слугують вхідними даними для наступного блоку злиття відеокадрів.

Блок 3. Злиття відеокадрів. Спершу блок злиття відеокадрів перевіряє еквівалентність часу утворення множини програмних структур даних. Виконання перевірки часових характеристичних забезпечує цілісність сформованих даних під час утворення однієї програмної структури даних. До отриманих із БПЛА відеокадрів застосовується алгоритм алгебраїчного перетворення зображень, що дає змогу утворити одне зображення через злиття множини відкоригованих зображень. Як наслідок, такого фільтрування, злиття відеокадрів в одне ціле зображення відбувається без помітних переходів та із чіткими краями. Відфільтровані відеокадри надсилаються в програмний механізм стиснення. Процедура стиснення відеокадру відбувається на основі афінного перетворення. Результатом виконання такої процедури є підготовлена до злиття множина відеокадрів.

Далі множина підготовлених відеокадрів надсилається до програмної функції злиття. Злиття декількох відеокадрів в одне цілісне зображення полягає в утворенні об'єктної програмної структури даних матричного вигляду. Кожен елемент матриці відповідає значенню коду кольору одного графічного пікселя. Утворена в такий спосіб матриця даних відображає суцільне плодове дерево, де всі відокремлені відеокадри, отримані від різних БПЛА, зливаються в одне ціле. Отримані дані заносяться до внутрішньої бази злитих відеокадрів. Насамкінець, матрична програмна структура даних надсилається до програмного модуля виявлення та обчислення кількості структурних об'єктів однієї природи.

Результатом успішного виконання блоку злиття відеокадрів є отримання на виході програмної структури даних у вигляді матриці кодів кольору. Розроблений елемент функціональності блоку злиття щодо занесення даних у внутрішню базу злитих відеокадрів забезпечує цілісність системи у випадку її критичного збою.

Метод виявлення заданих структурних об'єктів

Метою розроблення та впровадження методу виявлення заданих структурних об'єктів є підвищення точності розпізнавання та обчислення кількості заданих структурних об'єктів, зокрема плодів на деревах фруктового саду. Метод виявлення заданих структурних об'єктів полягає у формальному відображенні плодів на фруктових деревах.

Вхідними даними запропонованого в роботі підходу є цифрове зображення структурних об'єктів, представлене у вигляді матриці чисел, кожне з яких відображає інтенсивність відповідного пікселя на зображенні. Модель цифрового зображення структурних об'єктів представимо у вигляді лінійного представлення:

$$f: I \rightarrow \langle C_{xy}, P_{h \times w}^i, B_{u \times v}^i, B_{h \times w}^i \rangle, \quad (1)$$

де $C_{xy} = (c_x, c_y)$ – ширина c_x і висота c_y координатної сітки C_{xy} координатної площини XY , сформованої для виявлення структурних об'єктів; $P_{h \times w}^i = (p_h^i, p_w^i)$ – висота p_h^i та ширина p_w^i рамки прив'язки i -го цільового структурного об'єкта в координатній площині XY ; $B_{u \times v}^i = (b_u^i, b_v^i)$ – координати центру рамки прив'язки i -го цільового структурного об'єкта в координатній площині XY ; $B_{h \times w}^i = (b_h^i, b_w^i)$ – висота b_h^i та ширина b_w^i обмежувальної рамки, що окреслює i -й цільовий структурний об'єкт у координатній площині XY .

Для досягнення високої точності виявлення структурних об'єктів у режимі реального часу фізичний розмір оригінальної нейромережевої моделі YOLOv5 має бути мінімальним, а структура нейронної мережі – відповідно максимально стиснутою. Тому, магістральний блок нейронної мережі, який вилучає ознаки цільового об'єкта на вхідних зображеннях, було модифіковано через зменшення кількості вагових параметрів нейронної мережі. Вдосконалення магістрального блоку полягає в наступних змінах.

Блок 1. Модуль фокусування нейронної мережі модифіковано для зменшення часу навчання нейронної мережі, а саме: 1) вхідне зображення, що подане трьома каналами RGB та розміром $3 \times 640 \times 640$, було розбито на 4 частини розмірами $3 \times 320 \times 320$ кожна; 2) 4 частини зображення об'єднано в одну карту ознак за RGB каналом із результируючим розміром $12 \times 320 \times 320$; 3) до отриманої карти ознак розміром $12 \times 320 \times 320$ застосовано операцію згортки із 32 ядрами, яка генерує карту ознак розміром $32 \times 320 \times 320$; 4) до отриманої карти ознак розміром $32 \times 320 \times 320$ застосовано операцію пакетної нормалізації та активаційну

функцію Hardwish; вихідна карта ознак розміром $32 \times 320 \times 320$ передається на наступний етап оброблення нейронної мережі.

Блок 2. Модуль BottleneckCSPv1. Вдосконалення модуля BottleneckCSPv1 в архітектурі YOLOv5-v1 полягає у видаленні згорткового шару, що в оригінальному модулі BottleneckCSP поєднував вхідну карту ознак з операцією конкатенації.

Блок 3. Об'єднання карт ознак. Щоби підвищити точність виявлення структурних об'єктів на відеокадрах, до архітектури YOLOv5-v1 застосовано операцію об'єднання карт ознак різних розмірів в одну карту ознак із вищою дискримінаційною здатністю. З огляду на спрощену структуру модифікованого модуля BottleneckCSPv1 та об'єднання карт ознак, що виводяться зі згорткових шарів вдосконаленої архітектури YOLOv5-v1, об'єднання шарів 4 і 15, 6 і 11, 10 і 21 оригінальної архітектури YOLOv5 було замінено на об'єднання шарів 5 і 18, 8 і 14, 13 і 24 вдосконаленої архітектури YOLOv5-v1.

У результаті виконаних модифікацій отримано вдосконалений метод, який полягає в автоматизованому перетворенні вхідної інформації, що подана як цифрове зображення структурних об'єктів однієї природи (плодів фруктових дерев), у результуючу інформацію у вигляді множини координат, що відповідають розташуванню цих об'єктів на зображенні.

Спосіб отримання кількості заданих об'єктів

Для успішного обчислення кількості плодів за відеопотоком необхідним є встановлення унікальності кожного плоду на двох послідовних відеокадрах, отриманих від БПЛА. Визначення унікальності ґрунтується на характерних відмінних ознаках кожного об'єкта, їхньому положенні на послідовних кадрах через зміну траєкторії кожного БПЛА в групі та непередбачувані чинники довкілля. Тому особливістю способу отримання кількості структурних об'єктів є встановлення залежностей між візуальними ознаками виявлених структурних об'єктів, що відображаються на послідовних відеокадрах. Спосіб отримання кількості заданих об'єктів полягає в послідовному виконанні наступних блоків.

Блок 1. Попередню обробку вхідних даних виконано, відповідно до впроваджених та модернізованих алгоритмів у методі виявлення, де необхідним є сегментація малих, середніх та великих структурних об'єктів. Малі об'єкти вважаються нецільовими для відстеження, тому вони не підлягають обчисленню. Поведінковою сигнатурою поточного блоку є фільтрування даних через вилучення обмежувальних рамок виявлених малих структурних об'єктів. Утворена нова структура даних передається на наступний блок.

Блок 2. Першочергове порівняння споріднених координат виявлених об'єктів між двома сусідніми кадрами. На основі отриманої чисельної інформації з блоку 1 формується стан виявлених структурних об'єктів на поточному відео кадрі, кожен із яких представляється у вигляді:

$$(x, y, \gamma, h, v_x, v_y, v_\gamma, v_h), \quad (2)$$

де (x, y) – координати центра виявленого об'єкта, γ – відношення ширини до висоти обмежувальної рамки виявленого об'єкта, v_x, v_y, v_γ, v_h – швидкість зміни відстежувальної рамки між послідовними відеокадрами.

Результатом поточного блоку є матриця станів відстежених об'єктів, що передається на наступний блок.

Блок 3. Присвоєння унікальних ідентифікаторів нововиявлених об'єктів. У цьому блоці відбувається додавання нового характерного стану унікальності кожного виявленого об'єкта до стану розташування виявлених об'єктів, отриманого з блоку 2.

Блок 4. Обчислення кількості унікальних структурних об'єктів. Блок отримує на вхід реєстр структурних об'єктів, яка містить тимчасові дані про відстежувальний об'єкт: його тип, рух, унікальний ідентифікатор, стан активності та час запису до реєстру. Доки об'єкт перебуває в системі відстеження, він вважається "активним". Якщо об'єкт зникає з наступного відеокадру, система формує подію, за якої його стан змінюється на "неактивний" у системному реєстрі.

Блок 5. Обчислення прогнозних значень координат розташування об'єктів у наступного кадру. У поточному блоці формується множина прогнозних значень майбутнього розташування структурних об'єктів у наступних послідовних відеокадрах. Якщо об'єкт є присутнім на 100 наступних послідовних відеокадрах, у цьому часовому проміжку між початковим та кінцевим відеокадром об'єкт вважається ідентичним та унікальним. Прогнозні значення обраховуються за лінійною модифікацією фільтра Калмана з дискретним часом.

Підготовка робочого середовища та навчальних даних

Для підготовки та формування навчальних даних було використано робоче середовище сучасного фруктового саду, яке знаходиться в Хмельницькій області, Городецького району за координатами 49.265011, 26.548304. Відстань між рядами яблунь робочого середовища становить 4 м, відстань між плодовими деревами – майже 1 м, а висота дерев – майже 2 м. Відповідно до оціночної інформації Фермерського господарства "САМ+", кількість плодів, що росло на деревах фруктового саду на момент проведення експериментів, становила ~160 тисяч штук. Оригінальні зображення яблуневих плодів було отримано в

сонячні та похмурі дні. Для отримання зображень було використано камеру смартфона iPhone 13 Pro Max за різних погодних умов та на різних відстанях щодо дерев (0,5-1,5 м).

Перших 200 зображень (100 сонячних днів і 100 похмурих днів) були випадковим чином відібрані з 1 214 зображень, як тестовий набір даних, а решта 1 014 зображень – як навчальний набір. Також були додані зображення яблукових плодів інших кольорів та форм. Фінальний набір даних мав 16 224 зображень плодів, які використовуються як дані остаточного навчального набору для навчання моделі розпізнавання, включно з 15 210 покращеними зображеннями і 1014 необробленими зображеннями.

Створення детектора. За метрики оцінювання побудованого детектора взято: 1) precision; 2) recall; 3) середня точність класифікації (mAP); 4) F1-міра. Результати навчання нейронної мережі за вдосконаленою архітектурою YOLOv5-v1 подано на рис. 1.

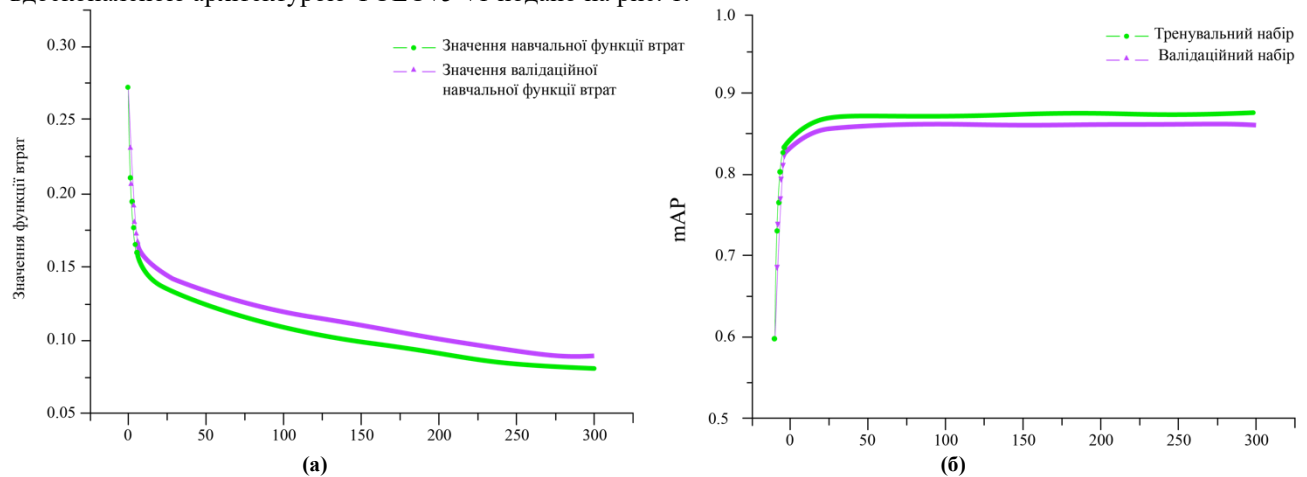


Рис. 1. Результати навчання мережі: (а) втрати під час навчання та перевірки; (б) середня точність класифікації навчальних наборів

Значення функцій втрат за валідаційним набором даних і значення функцій втрат за навчальним набором даних показані кривими на рис. 1а), вказують на те, що значення функції втрат швидко зменшуються на перших 100 ітерацій навчання нейронної мережі, водночас більш стабільна тенденція отримується після 250 ітерацій навчання. Таким чином, вихідна модель нейронної мережі утворюється після 300 ітерацій навчання. Показані вище значення діаграми на рис. 1б) показують, що модель нейронної мережі добре навчена без перенавчання.

Результати експериментальних досліджень

За оцінку ефективності розробленого методу синхронізації відеопотоків у режимі реального часу взято індекс SSIM та індекс PSNR. Досягнення ефективності синхронізації відеопотоків за індексом SSIM полягає в отриманні значення від 0,5 до 1, що вважається високим значенням ефективності. Значення індексу PSNR обраховується як співвідношення між максимально можливою потужністю візуального сигналу та шуму, який присутній у зображенні; чим вище значення, тим краща якість отриманого зображення.

У таблиці 1 наведено результати виконання модуля синхронізації відеопотоків автоматизованої системи, що реалізує відповідний метод, для потоку із 12 послідовних груп відеокадрів, який випадковим чином відібраний для тестування; кожна група містить три відеокадри, що отримані від трьох БПЛА, які надалі об'єднуються в одне зображення.

Таблиця 1

Результати дослідження ефективності методу синхронізації відеопотоків, отриманих групою БПЛА

Об'єднане зображення	SSIM	PSNR	Об'єднане зображення	SSIM	PSNR
1	0,90	35,20	6	0,91	39,10
2	0,45	27,22	7	0,86	31,43
3	0,72	37,50	8	0,47	27,87
4	0,85	29,11	9	0,90	30,12
5	0,87	36,90	10	0,83	31,54

Відповідно до таблиці 1, ефективність за індексом SSIM коливається від 0,79 до 0,92, із середнім значенням 0,87. Водночас зображення, для яких значення індексу SSIM менше, ніж 0,50, вважаються системою спотвореними. Заразом ті об'єднані зображення, для яких значення індексу PSNR перевищує 30, вважаються високої якості; водночас значення PSNR менше, ніж 30 свідчать про низьку якість зображення, що може бути зумовлено зовнішніми чинниками робочого середовища (сильні пориви вітру, опади тощо).

Далі було проведено експерименти із встановленням кількості фруктових плодів. Всього є 2336 зображень з фруктами, серед яких цільова кількість, які можна захопити, становить 1007, а цільова кількість фруктів, які неможливо захопити, – 1329. Результати виявлення яблук за нейромережевою моделлю YOLOv5-v1 подано в таблиці 2.

Таблиця 2

Результати виявлення яблук за нейромережевою моделлю YOLOv5-v1

Дані	Кількість об'єктів	Precision (%)	Recall (%)	mAP (%)	F1 (%)
К-сть, яку можна захопити	1007	85,51	94,33	89,23	89,70
К-сть, яку не можна захопити	1329	82,56	89,32	84,87	85,81
Загалом	2336	83,83	91,48	86,75	87,49

Специфічні результати розпізнавання методу, запропонованого в дослідженні, показано в таблиці 2, яка вказує на те, що для фруктів, які можна захопити, точність, запам'ятовування, значення mAP і оцінка F1 запропонованої моделі становили 85,51%, 94,33%, 89,23% і 89,70%, відповідно; для незрозумілих плодів, результати розпізнавання становили 82,56%, 89,32%, 84,87% і 85,81% відповідно. Загальне значення влучності виявлення структурних об'єктів, повноти, mAP і F1 становили 83,83%, 91,48%, 86,75% і 87,49% відповідно.

Приклади результатів розпізнавання запропонованої моделі нейронної мережі фруктів, які можна захопити, і фруктів, які не можна захопити, за різних погодних умов і умов освітлення показані на рис. 2.

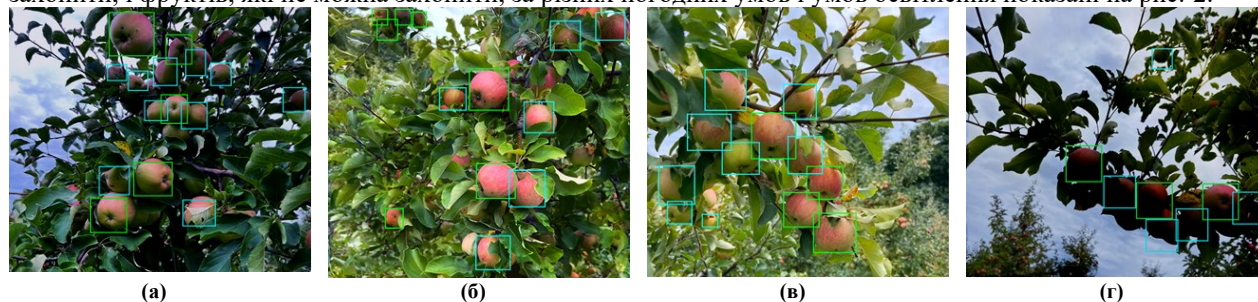


Рис. 2. Результати розпізнавання фруктових плодів за допомогою вдосконаленої мережі YOLOv5-v1. (а) Хмарно (б) Бічне сонячне світло (в) Підсвічування сонцем (г) Сонячний фронт

Обмежувальні рамки зеленого кольору використовувались, як мітки, які можна захопити, тоді як сині використовувались, як мітки, які неможливо захопити. Як видно на рис. 2, запропонована модель нейронної мережі виявляє структурні об'єкти на зображеннях знятих при рівномірному освітленні, похмурому освітленні, а також при сонячному освітленні. Крім цього, поточна модель виявляє структурні об'єкти в умовах переднього, заднього та бічного освітлення при сонячному освітленні.

Результати виявлення та обчислення кількості фруктових плодів наведено в таблиці 3.

Таблиця 3

Результати експериментів щодо виявлення та обчислення кількості фруктових плодів

№	Погодні умови	Виявлено та обчислено, шт.	Виявлено, але не обчислено, шт.	Виявлено багатьма камерами, але обчислено одноразово, шт.	Всього, шт.
1	Сонце (сонце в зеніті)	147 382	72 143	5 743	~160 000
2	Похмуро	145 223	69 944	6 611	~160 000
3	Сонце (сильна затіненість)	132 304	69 336	8 442	~160 000

У результаті проведених експериментів було правильно виявлено та обчислено 147 382, 145 223 та 132 304 (таблиця 3) фруктових плодів за трьох різних погодних умов. Водночас встановлено, що певна кількість фруктових плодів була виявлена, але не обчислена, а саме 72 143, 69 944 та 69 336 для трьох погодних умов; ці об'єкти були ідентифіковані детектором автоматизованої системи як фруктові плоди, проте не враховані під час обрахунку, оскільки вони перебували поза поточними робочими зонами. Певну кількість плодів, а саме 5 743, 6 611 та 8 442 за трьох погодних умов, було одночасно виявлено камерами двох або трьох БПЛА та обчислено одноразово, відповідно до логіки запропонованого методу обчислення структурних об'єктів.

Для подальшого аналізу ефективності розпізнавання запропонованого підходу у роботі удосконалену мережу YOLOv5-v1 було порівняно з оригінальною мережею YOLOv3 [6], YOLOv4 [7] та YOLOv5 [8] на 200 зображеннях тестового набору. В якості оціночних показників були прийняті значення та середня швидкість розпізнавання моделі. Результати виявлення, розмір і кількість параметрів кожної моделі мережі наведені в таблиці 4.

Відповідно до таблиці 4, значення mAP для вдосконаленої моделі розпізнавання YOLOv5-v1, запропонованої в дослідженні, було найвищим, і воно було вищим, ніж у вихідній мережі YOLOv5, і вищим, ніж у мережах YOLOv3, YOLOv4 і EfficientDet-D0 відповідно, що вказує на те, що запропонований метод є найкращим для задачі розпізнавання структурних об'єктів серед п'яти інших методів. Для швидкості розпізнавання моделі середня швидкість виявлення вдосконаленої моделі YOLOv5-v1 за зображенням (66,7 кадрів/с) (кадр/с, кадрів на секунду), яка становила 2,53 і час мережі EfficientDet-D0, YOLOv4 і YOLOv3 відповідно, вказуючи, що запропонована модель нейронної мережі може задовольнити вимоги групи БПЛА для розпізнавання плодів у режимі реального часу.

Таблиця 4 Результати порівняння моделей виявлення фруктових плодів

Мережі виявлення об'єктів	mAP (%)	Середня швидкість виявлення (s/pic)	Кількість параметрів	Розмір моделі (Мб)
YOLOv3 [6]	71,80	0,053	6,15×107	235,0
YOLOv4 [7]	82,01	0,017	6,39×107	244,0
YOLOv5 [8]	81,70	0,013	7,25×106	14,0
YOLOv5-v1	86,75	0,015	6,52×106	12,7

У підсумку, побудована модель YOLOv5-v1 у рамках запропонованого підходу краще підходить для розгортання на вбудованих пристроях і може легко адаптуватися до змінних погодних умов у фруктовому саду.

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

У поданій роботі запропоновано новий підхід до виявлення та обчислення кількості заданих структурних об'єктів на прикладі фруктових плодів за зображеннями, що генеруються безпілотними літальними апаратами в режимі реального часу. Підхід полягає в послідовному виконанні трьох розроблених методів та одного способу. У результаті проведених експериментальних досліджень отримано, що оцінка синхронізації відеопотоків за індексом SSIM коливається від 0,79 до 0,92, із середнім значенням 0,87, а за індексом PSNR – від 22 до 39, що свідчить про високу ефективність розробленого методу синхронізації та хорошу якість отриманих об'єднаних зображень. Результати експериментів на тестовому наборі даних демонструють, що вдосконалена модель YOLOv5-v1, як результат впровадження запропонованого підходу, може ефективно розпізнавати фрукти, зняті камерами БПЛА. Модель досягла 92,13%, 84,59%, 87,94% і 89,02% показників запам'ятовування, точності, mAP і класифікації F1 відповідно, а середня швидкість виявлення становила 0,015 секунди на кадр у відеопослідовності. Отримані значення свідчать про високий показник ефективності методів збору та обробки зображень отриманих із використанням БПЛА для виявлення заданих об'єктів.

Подальші дослідження також можуть бути проведені для включення додаткових ознак, таких як форма фрукта, використовуючи більший набір даних для навчання моделі.

Література

1. Medvedeva Y., Kucher A., Lipsa J., Heldak M. Human health risk assessment on the consumption of apples growing in urbanized areas: Case of Kharkiv, Ukraine. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. – 2021. – Vol. 18, No. 4. – P. 1504.
2. A litchi fruit recognition method in a natural environment using RGB-D images / L. Yu et al. *Biosystems Engineering*. – 2021. – Vol. 204. – P. 50–63.
3. Mai X., Zhang H., Jia X., Meng M.Q.-H. Faster R-CNN with classifier fusion for automatic detection of small fruits. *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*. – 2020. – Vol. 17, No. 3. – P. 1555–1569.
4. Wang S. Research towards YOLO-series algorithms: Comparison and analysis of object detection models for real-time UAV applications. *Journal of Physics: Conference Series*. – 2021. – Vol. 1948, No. 1. – P. 012021.
5. Huang Z., Zhang P., Liu R., Li D. Immature apple detection method based on improved YOLOv3. *ASP Transactions on Internet of Things*. – 2021. – Vol. 1, No. 1. – P. 9–13.
6. Chen W., Zhang J., Guo B., Wei Q., Zhu Z. An apple detection method based on Des-YOLO v4 algorithm for harvesting robots in complex environments. *Mathematical Problems in Engineering*. – 2021. – Vol. 2021. – P. e7351470.
7. Behera S.K., Mishra N., Sethy P.K., Rath A.K. On-tree detection and counting of apple using color thresholding and CHT. *2018 International Conference on Communication and Signal Processing (ICCSP-2018) : Proceedings*. – Vol. 2018. (India, Chennai, 3-5 April 2018). – IEEE Inc., 2018. – P. 0224–0228.

References

1. Medvedeva Y., Kucher A., Lipsa J., Heldak M. Human health risk assessment on the consumption of apples growing in urbanized areas: Case of Kharkiv, Ukraine. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. – 2021. – Vol. 18, No. 4. – P. 1504.
2. A litchi fruit recognition method in a natural environment using RGB-D images / L. Yu et al. *Biosystems Engineering*. – 2021. – Vol. 204. – P. 50–63.
3. Mai X., Zhang H., Jia X., Meng M.Q.-H. Faster R-CNN with classifier fusion for automatic detection of small fruits. *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*. – 2020. – Vol. 17, No. 3. – P. 1555–1569.
4. Wang S. Research towards YOLO-series algorithms: Comparison and analysis of object detection models for real-time UAV applications. *Journal of Physics: Conference Series*. – 2021. – Vol. 1948, No. 1. – P. 012021.
5. Huang Z., Zhang P., Liu R., Li D. Immature apple detection method based on improved YOLOv3. *ASP Transactions on Internet of Things*. – 2021. – Vol. 1, No. 1. – P. 9–13.
6. Chen W., Zhang J., Guo B., Wei Q., Zhu Z. An apple detection method based on Des-YOLO v4 algorithm for harvesting robots in complex environments. *Mathematical Problems in Engineering*. – 2021. – Vol. 2021. – P. e7351470.
7. Behera S.K., Mishra N., Sethy P.K., Rath A.K. On-tree detection and counting of apple using color thresholding and CHT. *2018 International Conference on Communication and Signal Processing (ICCSP-2018) : Proceedings*. – Vol. 2018. (India, Chennai, 3-5 April 2018). – IEEE Inc., 2018. – P. 0224–0228.

МІШАН Віктор

Хмельницький національний університет

<https://orcid.org/0000-0002-2771-7285>e-mail: v_mishan@ukr.net

КАРПОВА Леся

Хмельницький національний університет

<https://orcid.org/0000-0001-5015-2107>e-mail: rtlesya@gmail.com

ЛОБАЧОВА Інна

Хмельницький національний університет

e-mail: innabazilyk@gmail.com

АНТЕННА РЕШІТКА МІМО З РОЗНЕСЕННЯМ ДІАГРАМ СПРЯМОВАНOSTІ ДЛЯ СМАРТФОНІВ 5G

В роботі представлено конструкцію антени МІМО для смартфонів. Для антенної решітки смартфона було отримано хорошу смугу частот ($S_{11} \leq -10$ дБ) 3,3–3,9 ГГц. Тим не менш, для $S_{11} \leq -6$ дБ це значення становить 3,1–4,3 ГГц. Для одноелементного випромінювача досягнуто більше 3 дБ реалізованого підсилення та 80% загальної ефективності. Конструкція забезпечує не тільки достатнє покриття випромінюванням, що підтримує різні сторони материнської плати, але й різноманітність поляризації. Крім того, хороші властивості отримані поблизу людини-руки/людини-голови. Запропонована конструкція антени МІМО також здатна генерувати дво- або багатодіапазонну функцію.

Ключові слова: антена МІМО, діаграма спрямованості, фазована решітка, поляризація, смуга пропускання, 5G смартфони.

MISHAN Viktor, KARPOVA Lesia, LOBACHOVA Inna

Khmelnitskyi National University

MIMO ANTENNA ARRAY WITH DIRECTIONAL DIAGRAM SPREAD FOR 5G SMARTPHONES

Multiple-input/multiple-output technology can exponentially increase the data transfer rate and spectrum efficiency without any need of increasing the transmission power and bandwidth. It is the most promising technology to be used in the upcoming 5G communications. To be more accurate, the fourth generation smartphones are set to use the long-term evolution MIMO technology and operate in multi-bands. Therefore, MIMO antennas are to use in future portable devices such as mobile handsets and tablets. A new multiple-input/multiple-output (MIMO) antenna design is introduced for future smartphones. The proposed design contains four pairs of double-fed circular-ring resonators located at different edges of the smartphone printed circuit board (PCB) with an FR-4 substrate and a dimension of 75×150 mm². The antenna elements are fed by 50-Ohm microstrips and provide polarisation and radiation pattern diversity function due to the orthogonal placement of their feed lines. By inserting a rectangular slot under each microstrip feed-line, the mutual coupling characteristic of the antenna ports is reduced. A good frequency bandwidth ($S_{11} \leq -10$ dB) of 3.3–3.9 GHz has been obtained for the smartphone antenna array. Nevertheless, for $S_{11} \leq -6$ dB, this value is 3.1–4.3 GHz. More than 3 dB realised gain and 80% total efficiency are achieved for the single element radiator. The design provides not only sufficient radiation coverage supporting different sides of the mainboard but also the polarisation diversity. In addition, sufficient properties are obtained in the vicinity of human-hand/human-head. The proposed MIMO antenna design is also capable to generate dual- or multi-band function. Moreover, a new and compact phased array millimeter-wave (mm-wave) antenna design with end-fire radiation beams is introduced which can be easily integrated into smartphones.

Keywords: multiple-input/multiple-output MIMO antenna, beam pattern, phased array, polarization, bandwidth, 5G smartphones.

Вступ

Технологія множинних входів/множинних виходів (МІМО) може експоненціально збільшити швидкість передачі даних і ефективність використання спектра без необхідності збільшення потужності передачі та пропускної здатності [1]. Це найперспективніша технологія, яка буде використовуватися в майбутньому зв'язку 5G. Щоб бути більш точним, смартфони четвертого покоління (4G) налаштовані використовувати довгострокову еволюцію технології МІМО та працювати в кількох діапазонах. Тому антени МІМО повинні використовуватися в майбутніх портативних пристроях, таких як мобільні телефони та планшети [2].

Згідно з вимогами стільникового зв'язку, низькопрофільні, широкосмугові антенні елементи з достатнім взаємним зв'язком є нагальною потребою в терміналах 5G для портативних пристроїв [3]. Оскільки простір портативного пристрою обмежений, конфігурацію кількох антен важко встановити в такому обмеженому пристрої [4]. Таким чином, інтеграція кількох елементів антени в мобільний телефон є новим викликом. Нещодавно було запропоновано декілька типів МІМО антен для мобільних терміналів нижче 6 ГГц [5]. Ці конструкції антен для смартфонів або мають вузький робочий діапазон, використовують випромінювачі з одним живленням/одною поляризацією, або використовують одноплосинні структури, які займають багато місця на друкованій платі смартфона і призводять до збільшення складності системи.

У [5] для використання в мобільних терміналах запропоновано неплоскі антенні решітки з вузькими смугами пропускання імпедансу (< 200 МГц). Однак, оскільки конфігурація використовуваних елементів не є плоскою, реалізація цього типу антен є серйозною проблемою. У цьому дослідженні представлено конструкцію антени смартфона МІМО з компактними випромінювальними елементами, високою

ефективністю та широкою смугою пропускання для додатків 5G з частотою 3,6 ГГц. Частота 3,6 ГГц є однією із смуг-кандидатів для комерційних мобільних мереж 5G частотою 6 ГГц. Чотири випромінювальні елементи антени з подвійним живленням/різною поляризацією з круглим кільцем/щілиною розміщені в різних кутах плати смартфона для демонстрації ортогональної поляризації з діаграмою спрямованості та різноманіттям поляризації. В результаті антена MIMO забезпечує не тільки повне покриття випромінюванням, але й поляризаційне різноманіття для кожної сторони друкованої плати.

Конфігурація антенного елемента складається з компактного круглокілевого щілинного випромінювача з парою мікросмужкових живильних ліній. Щоб зменшити характеристику взаємного зв'язку портів, під кожною мікросмужковою лінією живлення була вирізана прямокутна щілина. Вона забезпечує досить хорошу смугу пропускання імпедансу (в межах 600 МГц для $S_{11} < -10$ дБ) і низький взаємний зв'язок, кращий за -15 дБ. На відміну від нещодавно представлених конструкцій антен MIMO [5], представлена конструкція демонструє ширшу смугу пропускання імпедансу та нижчу функцію коефіцієнта кореляції огинаючої (ECC). Висока ізоляція (18 дБ), висока ефективність (60–80%), широка смуга пропускання (600 МГц) і властивості подвійної поляризації були досягнуті для запропонованої конструкції. Крім того, розрахований загальний коефіцієнт активного відбиття (TARC) і властивості коефіцієнта кореляції огинаючої конструкції MIMO, який є дуже низькими ($<0,001$ і -20 дБ) у всьому діапазоні інтересів (особливо на резонансній частоті 3,6 ГГц), що підтверджує здатність представленої системи антени смартфона для прийому/передачі рознесеного прийому/передачі в каналах MIMO.

Виклад основного матеріалу

Конфігурація розробленої подвійної поляризованої круглої кільцевої антени проілюстрована на рис. 1. Вона розроблена на діелектрику FR-4 діаметром 1,6 мм ($\epsilon = 4,4$ і $\delta = 0,025$) для роботи на частоті 3,6 ГГц. Конфігурація антени містить пару мікросмужкових ліній живлення разом із кільцевим щілинним випромінювачем у заземленій площині. Крім того, пара прямокутних прорізів була вставлена в задній шар (площина заземлення), щоб зменшити характеристику зв'язку портів антени.

Конфігурації та результати S -параметрів щілинної антени з круглим кільцем, антени з щілинним випромінювачем із круглим кільцем і остаточної конструкції проілюстровано та порівняно на рис. 2а-в відповідно. Як показано на рис. 2, резонанс подвійної поляризованої антени з круглим щілинним випромінювачем відбувається на частоті 7 ГГц, а завдяки перетворенню її на кругле кільце розмір резонатора збільшується, і антена резонує приблизно на 4 ГГц. Нарешті, використовуючи представлену конструкцію, показану на рис. 2в, антена демонструє хороше узгодження імпедансу з широкою смугою пропускання та характеристиками високої ізоляції в потрібному діапазоні.

З отриманих результатів зрозуміло, що для $S_{11} \leq -6$ дБ і $S_{11} \leq -10$ дБ одноелементна антена забезпечує смугу пропускання $>1,2$ і $0,5$ ГГц відповідно. Крім того, характеристика взаємного зв'язку двопортової конструкції становить <-20 дБ на резонансній частоті антени (3,6 ГГц).

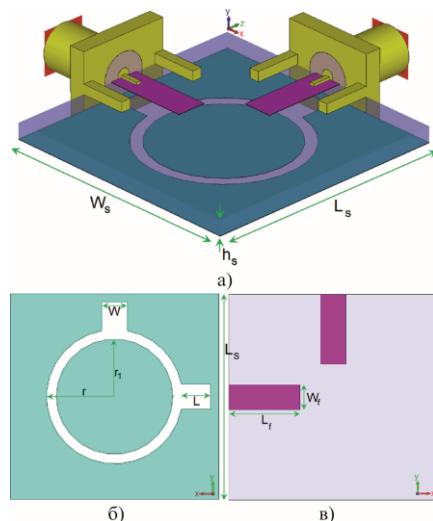


Рис. 1. Геометрія одноелементної антени
а) прозорий вигляд; б) нижній шар;
в) верхній шар

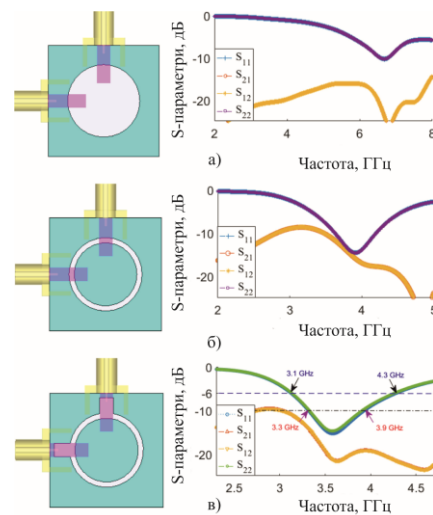


Рис. 2. Різні конфігурації та S -параметри
для конструкції антени: а) кругова; б) кругова кільцева;
в) запропонований щілинний радіатор

Щільність струму в задньому шарі антени, а також тривимірні (3D) діаграми спрямованості на робочій частоті (3,6 ГГц) від кожного порту показано на рис. 3. Як видно, струми в основному розподіляються навколо щілинно-кільцевого радіатора. Як можна помітити, для різних портів живлення антени струми течуть у протилежних напрямках завдяки функції рознесення двопортової конструкції. Крім того, використовувані прямокутні слоти виглядають дуже активними з високою щільністю на частоті 3,6 ГГц. Також можна побачити, що для кожного порту живлення: антена пропонує подібні діаграми спрямованості з реалізованим підсиленням >3 дБ і різними поляризаціями від портів живлення.

Основні характеристики випромінювання, включаючи випромінювання/загальну ефективність,

максимальне підсилення та спрямованість у робочому діапазоні антени, показані на рис. 4. Як показано на рис. 4а, антена забезпечує дуже високу ефективність через низький взаємний зв'язок. У всьому робочому діапазоні було досягнуто більш ніж 80% ефективності. Крім того, антена має ефективність >90% на робочій частоті (3,6 ГГц). Відповідно до отриманих результатів на рис. 4б, антена забезпечує майже постійну спрямованість і максимальні характеристики підсилення в смузі пропускання 600 МГц. Для антени досягнуто близько 3,5 дБі спрямованості та 3 дБі максимального підсилення.

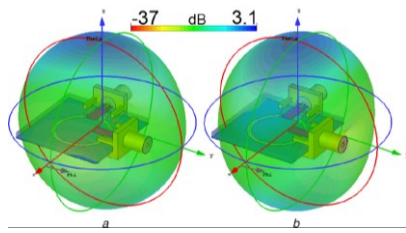


Рис. 3. Щільність струму та 3D діаграми спрямованості на частоті 3,6 ГГц

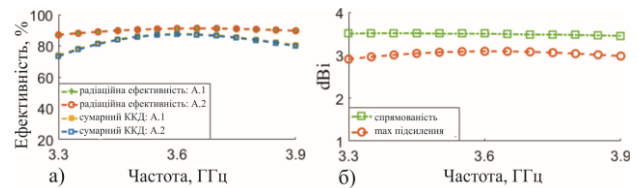


Рис. 4. Основні властивості рознесеної антени з подвійною поляризацією: а) ефективність антени (ККД); б) спрямованість і максимальне підсилення

На рис. 5 показані тривимірні діаграми спрямованості антен 1 і 2 на частоті 3,6 ГГц, у яких елементи антени мають квазіспрямовану діаграму спрямованості, яка в основному охоплює верхню та нижню сторони друкованої плати смартфона. Завдяки цьому кільцеподібна антена є хорошим вибором для використання в конструкції антени смартфона порівняно з іншими мікросмужковими антенами, такими як патч-антена, диполь та антена Yagi. Крім того, елементи антени є мініатюрними та забезпечують подвійне живлення/функцію подвійної поляризації. Таким чином, антена смартфона показала хороше покриття випромінюванням, а поляризаційне різноманіття підтверджує її потенціал для майбутніх додатків смартфонів.

Як видно з рис. 5, випромінювачі антени з подібною поляризацією та розміщенням демонструють подібні діаграми спрямованості. Таким чином, для виготовленого прототипу були виміряні діаграми спрямованості одноелементних/подвійних резонаторів для антен 1 і 2 на резонансній частоті (3,6 ГГц). Змодельовані та виміряні 2D полярні діаграми спрямованості проілюстровано на рис. 6. Як показано, конструкція демонструє хороші діаграми спрямованості. Крім того, елементи антени демонструють підсилення IEEE близько 5 дБі в центральній робочій смузі.

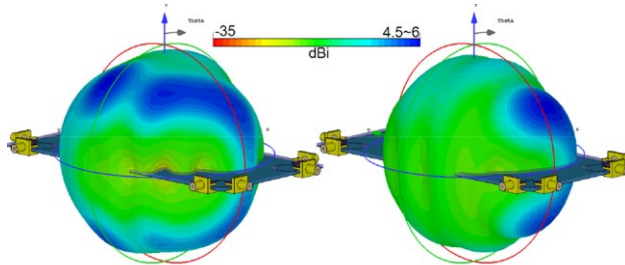


Рис. 5. Тривимірні діаграми спрямованості конструкції смартфона 5G

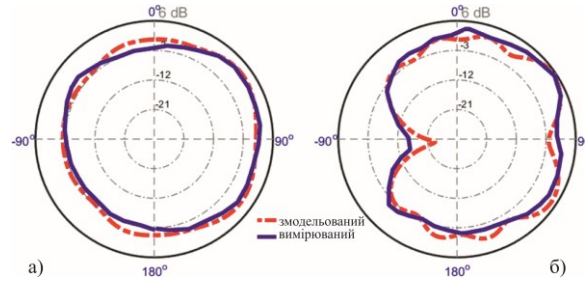


Рис. 6. Виміряні та змодельовані діаграми спрямованості полярного випромінювання на частоті 3,6 ГГц для: а) ант.1; б) ант.2

Для того, щоб переконатися, що антена є компетентною для рознесення в каналах MIMO, ECC і TARC є два важливі параметри, які слід досліджувати. Характеристики ECC і TARC антени MIMO можна розрахувати за результатами S-параметрів за допомогою наведених нижче формул

$$ECC = \frac{|S_{mm}^* S_{mn} + S_{nm}^* S_{nn}|^2}{(1 - |S_{mm}|^2 - |S_{mn}|^2)(1 - |S_{nm}|^2 - |S_{nn}|^2)^*} \quad (1)$$

$$TARC = \sqrt{\frac{(S_{mm} + S_{mn})^2 + (S_{nm} + S_{nn})^2}{2}} \quad (2)$$

Іншим важливим параметром для оцінки продуктивності MIMO багатоантенної конструкції є втрати в каналі, які утворюються в результаті взаємної кореляції елементів антени в системах MIMO. Рівень зниження продуктивності системи можна визначити втратою ємності. Втрата ємності системи MIMO в основному залежить від S-параметрів. Втрати в каналі системи 8×8 MIMO можна розрахувати за допомогою формул:

$$CL = -\log_2 \det(\Psi^R), \quad (3)$$

$$\Psi^R = \begin{bmatrix} \rho_{11} & \cdots & \rho_{18} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \rho_{81} & \cdots & \rho_{88} \end{bmatrix}, \quad (4)$$

де $\rho_{ii} = 1 - (|S_{ii}|^2 + |S_{ij}|^2)$; $\rho_{ij} = -(S_{ii}^* S_{ij} + S_{ji}^* S_{ij})$ для $i, j = 1, \dots, 8$

Слід зазначити, що прийнята межа втрат пропускної здатності каналу (CCL) становить $\leq 0,4$ біт/с/Гц. Як видно з рис. 7а, запропонована конструкція МІМО має дуже низький CCL у всьому робочому діапазоні: для системи МІМО досягається $< 0,4$ біт/с/Гц у діапазоні частот 3,3–3,9 ГГц. Для подальшого дослідження продуктивності МІМО запропонованої системи антени смартфона розрахована пропускна здатність каналу (CC) показана на рис. 7б. Пропускна здатність каналу можна визначити наступним чином:

$$CC = E \left\{ \log_2 \left[\det \left(I + \frac{SNR}{n_T} \right) H_{scale} H_{scale}^T \right] \right\}, \quad (5)$$

а матрицю каналу H_{scale} можна розрахувати наступним чином:

$$H_{scale} = \sqrt{\rho_{scale,RX}} H_{i.i.d} \sqrt{\rho_{scale, TX}} \quad (6)$$

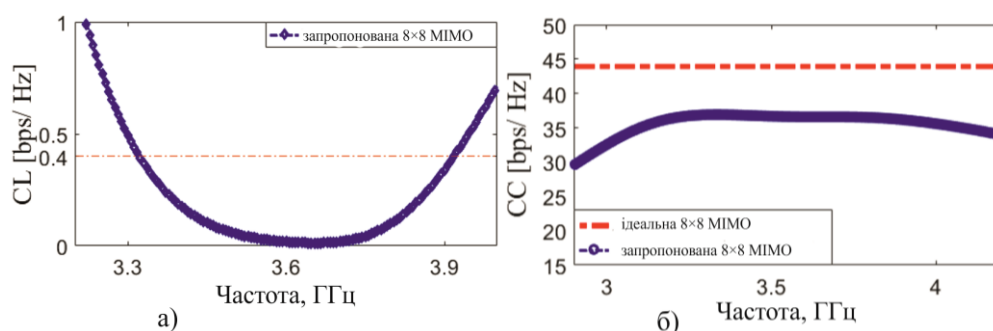


Рис. 7. Розрахункова продуктивність каналу: а) CC; б) CL

Як видно з рис. 7б, розрахована пропускна здатність каналу CC запропонованої конструкції в межах бажаного діапазону частот є кращою, ніж 35 біт/с/Гц, тоді як для ідеального випадку це значення становить 44 біт/с/Гц. Отже, запропонована конструкція забезпечує кращі характеристики з точки зору ефективності, ізоляції та ECC. Крім того, вона забезпечує ширшу смугу частот 3,3–3,9 ГГц (600 МГц) із функцією рознесення, що підтримує обидві сторони материнської плати.

Висновок

Представлено нову конструкцію антени МІМО з випромінювачами з ортогональною подвійною поляризацією для смартфонів 5G. Її конфігурація використовує вісім портів/чотири випромінювачі модифікованих круглих кільцевих випромінювачів, розташованих на чотирьох краях материнської плати мобільного телефону. Частота роботи випромінювачів становить від 3,3 до 3,9 ГГц з резонансом 3,6 ГГц. Досліджуються базові властивості конструкції антени смартфона, включаючи S-параметр, ефективність, діаграми спрямованості, результати ECC і TARC. Результати показали, що антена має достатні характеристики, що відповідають вимогам для використання в мобільних телефонах 5G. Використовуючи нову техніку живлення, запропонована антенна решітка смартфона також може генерувати дво- або багатодіапазонну характеристику.

References

1. Nadeem, Q.-U.-A., Kammoun, A., Debbah, M., et al.: 'Design of 5G full dimension massive MIMO systems', IEEE Trans. Commun., 2018, 66, pp. 726–740
2. Ojaroudi Parchin, N., Jahanbakhsh Basherlou, H., Al-Yasir, Y., et al.: 'Recent developments of reconfigurable antennas for current and future wireless communication systems', Electronics., 2019, 8, (2), pp. 1–17
3. Chen, Q., Lin, H., Wang, J., et al.: 'Single ring slot based antennas for metalrimmed 4G/5G smartphones', IEEE Trans. Antennas Propag., 2019, 67, (3), pp. 1476–1487
4. Al-Hadi, A.A., Ilvonen, J., Valkonen, R., et al.: 'Eight-element antenna array for diversity and MIMO mobile terminal in LTE 3500 MHz band', Microw. Opt. Technol. Lett., 2014, 56, (6), pp. 1323–1327
5. Li, M.-Y.: 'Eight-port orthogonally dual-polarised MIMO antennas using loop structures for 5G smartphone', IET Microw. Antennas Propag., 2017, 11, (12), pp. 1810–1816

МІШАН Віктор

Хмельницький національний університет

<https://orcid.org/0000-0002-2771-7285>e-mail: v_mishan@ukr.net

КАРПОВА Леся

Хмельницький національний університет

<https://orcid.org/0000-0001-5015-2107>e-mail: rtlesya@gmail.com

ЦІМАР Валерій

Хмельницький національний університет

e-mail: valet2103@gmail.com

МЕТОД ПРОЕКТУВАННЯ АНТЕН ШЛЯХОМ СИНТЕЗУ СМУГОВОГО ФІЛЬТРА

В роботі запропоновано новий метод проектування антени, який пропонує розширення смуги пропускання до меж, визначених ефективністю випромінювання елемента. Дана техніка називається підтягуванням частоти, оскільки вона імітує методологію проектування внесених втрат смугових фільтрів. По суті, це підхід до широкосмугового узгодження, що підвищує ефективність антени до меж, встановлених ефективністю випромінювання. Подальше розширення смуги пропускання за допомогою FP для елементів антени з властивими множинними резонансами, як патчі зі слотами або усіченими краями, є нашим наступним завданням. Очікується, що притаманна їм більш широка смуга пропускання забезпечить кілька вищих смуг пропускання при використанні техніки FP.

Ключові слова: антенні решітки, антени, смугові фільтри, широкосмугові антени, узгодження імпедансу.

MISHAN Viktor., KARPOVA Lesia., TSIMAR Valerii

Khmelnitskyi National University

METHOD OF DESIGNING ANTENNAS BY SYNTHESIS OF A BAND FILTER

A novel antenna design technique is proposed, which offers bandwidth enhancement up to the limits defined by element radiation efficiency. The employed technique is referred as frequency pulling (FP) as it mimics the insertion loss design methodology of bandpass filters. This is essentially a wideband matching approach pushing the antenna efficiency to the limits set up by radiation efficiency. There are three options towards this trend: (1) first to enhance a single element bandwidth (compact element) exploiting its possibly multiple symmetrical feeding points as distinct resonator ports, (2) frequency pulled array as to design a small antenna array (less than about 10 elements) where each element acts as a resonator and (3) second order frequency-pulled array as to build a small array using compact elements of category (1). Similar to the band-pass filter design, all antennas or distinct-port circuits resonate at the same resonant frequency when isolated, cascading two or more of them; FP yields to multiple-overlapping successive resonances in their overall response. Although the proposed technique is general within this first effort, it is applied to simple patch antenna elements exhibiting multiple symmetrical feeding points, namely two-for rectangular, four-for square and five-for pentagonal. The third option is applied to an array of three compact 4-feeding point square elements offering triple bandwidth with respect to the already wideband single element. However, this is achieved at the expense of a significant beam squint. Thus, in general, these wideband compact elements should be used within a classical array design. Further bandwidth enhancement using FP to antenna elements with inherent multiple resonances as patches with slots or truncated edges constitutes our next task. Their inherent wider bandwidth in radiation efficiency is expected to allow multiply higher bandwidths when exploited with our FP technique.

Keywords: antenna arrays, antenna feeds, band-pass filters, broadband antennas, impedance matching

Вступ

З адаптацією зв'язку 5G виникла потреба у збільшенні пропускну здатності без значного перепроектування існуючих антен. Кілька методів мініатюризації антен і розширення смуги пропускання класичних антен були представлені в [1, 2]. Зокрема, розширення смуги пропускання в патч-антенах може бути досягнуто шляхом використання різних модифікацій, таких як використання слотів [3], нижчої діелектричної проникності або невеликого збільшення висоти. Ще один спосіб збільшити пропускну здатність – це змінити джерело живлення антени. Наприклад, розміщення L -подібного живильного зонда, який діє як еквівалентний резонансний контур між патчем і фідером та змінює добротність структури, додатково збільшує смугу пропускання та зменшує розмір антени [4].

Загальна концепція у вищезгаданих методів відноситься до встановлення множинних резонансів у випромінювальній структурі, тобто одночасного збудження двох або трьох резонуючих мод в патч-антені або комбінації резонансного патча та резонансного слота. Ці резонанси розділені, але досить близькі, щоб загальна характеристика була єдиною розширеною смугою частот. Питання полягає в тому, чи можна розширити робочу смугу пропускання кожного з них (що працюють на одному або кількох резонансах) шляхом маніпулювання їх структурою живлення. Загальновідомо, що ефективність випромінювання цих антен має набагато більшу смугу пропускання, ніж ефективність їхніх антен. Рішення в цьому напрямі впливає з синтезу смугового фільтра, де ряд високоякісних (вузькосмугових) каскадів, що резонують на одній центральній частоті, об'єднуються, щоб запропонувати фільтр із широкою смугою пропускання. Концепція, що лежить в основі цього синтезу, полягає в підтягуванні частоти (FP), тобто, коли два з цих резонаторів з'єднані каскадом, схема представляє три резонанси, що накладаються один на одного. А саме їх

загальна резонансна частота тягнеться вниз і вгору, в той час як початковий загальний резонанс зберігається. Що стосується цієї концепції, ми почали модифікувати мережу живлення класичних патч-антен, спостерігаючи суттєве розширення смуги пропускання, як це передбачено FP у синтезі смугового фільтра [4].

Загалом, у статті представлено нову загальну технологію проектування антени, яка систематично використовує принцип FP смугових фільтрів для розширення смуги пропускання, зберігаючи мінімальні розміри. Технологія, наведена в статті, застосована на трьох етапах: 1) окремі звичайні ділянки з декількома симетричними точками живлення для отримання компактних широкосмугових антен; 2) невеликий масив типу біжучої хвилі, призначений для широкосмугової роботи, а не для формування променя; 3) FP другого порядку як малочастотна антена з компактними елементами антени, що підвищує смугу пропускання до верхньої межі, що встановлена ефективністю випромінювання. Однак лінії чверті хвилі, які використовуються як інвертори опору між послідовними елементами для реалізації FP, відповідають зсуву фази на $-90^\circ(\pi/2)$, що спричиняє керування променем на $kd\sin\theta_0 = \pi/2$, що для інтерелемента відстань $d = \lambda/2$ дає косий кут променя на $\theta_0 = 30^\circ$. Таким чином, такі масиви можуть складатися лише з кількох елементів (наприклад, до 4) і для застосувань, де важлива широкосмугова робота, щоб ширина променя залишалася широкою, а максимальна орієнтація променя не була критичною. Навпаки, отримані широкосмугові компактні елементи можуть бути використані в рамках класичних методологій проектування антенної решітки, що дозволяє формувати звичайний промінь у межах смуги пропускання, яку пропонують ці елементи.

Виклад основного матеріалу

У конструкції застосовується процес синтезу смугового фільтра. Використовуючи метод внесених втрат і рівні пульсацій Чебишева від прототипу низьких частот, побудовано смугові фільтри (рис. 1а,б). Таким чином, створюється структура шунтованих паралельних резонаторів. На наступному етапі замінено шунтові резонатори відповідними заглушками, які ведуть себе так само. Резонансні контури можна еквівалентно замінити короткозамкнутими на чверть довжини хвилі або розімкнутими на половину довжини хвилі, обидва з яких поводяться як паралельні резонансні контури (рис. 1в). Хоча існують альтернативні реалізації, тут було обрано мікросмугову технологію. Таким чином, використано шлейфи з розімкнутим колом на половинній довжині хвилі, які як і резонатори еквівалентні патч-антенам і мають більшу ймовірність випромінювання. Таким чином, побудований смуговий фільтр набуває форми масиву біжучої хвилі (рис. 1з). Важливо зазначити, як пояснювалося вище, що частотна антена націлена лише на більш широку робочу смугу, а не на формування променя, яким у цьому випадку якимось чином нехтують, приймаючи кут променя до 30° . Опір навантаження на клемі замінюється резисторами, що представляють втрати на кожному елементі антени. Отже, шляхом живлення однієї антени в різних симетричних точках живлення, очікується, що створена структура (рис. 1д) матиме таку саму частотну характеристику, як і передбачуваний синтез смугового фільтра.

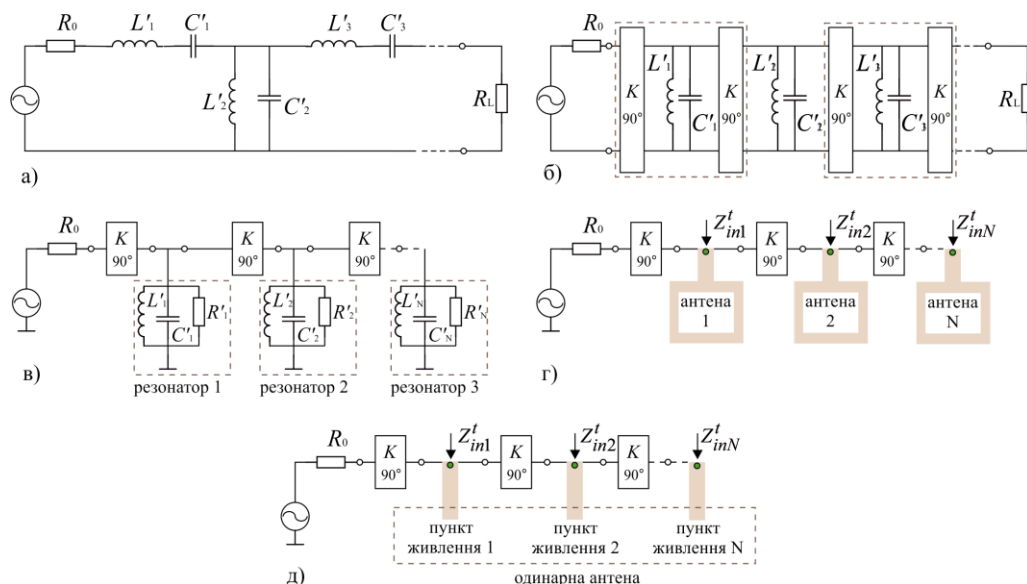


Рис. 1. Основні етапи розробки частотної антени: а) конструкція смугового фільтра; б) перетворення послідовних резонаторів на паралельні; в) заміна резонаторів із дискретними елементами на шлейфи з відкритим контуром; г) заміна шлейфів з патч-антенами; д) заміна антен із симетричними точками живлення однієї антени

Сконструйований смуговий фільтр працює з розширеною смугою пропускання та у формі схеми сходинкового типу з послідовних і паралельних резонансних контурів або на кінцевій стадії решітки біжучої хвилі, що складається з серії патч-антен, які можна використовувати для пояснення FP. Більша смуга пропускання зумовлена кількома послідовними резонансами, створеними FP, що виникають, коли

резонансні контури каскадовані. Фактично ФР генерує нові резонансні частоти, які ідентичні власним частотам сполучених резонаторів. Це те саме явище, що й у теорії фільтрів. Каскадні схеми, що утворюють синтез смугового фільтра, зазнають фазового зсуву майже так само, як короткі та відкриті шлейфи, що використовуються для узгодження широкосмугового імпедансу. Слід мати на увазі, що ці резонанси, що перекриваються, виникають у вхідному порту конструкції, тоді як антенний елемент (резонатор) зберігає свої режимні характеристики випромінювання. Таким чином, застосовуваний ФР впливає на підсилення вхідного порту, який відповідає лінії живлення, але не порушує радіаційні властивості елемента.

Аналіз технології проектування

Щоб продемонструвати, відношення ФР до розширення смуги пропускання, ми використовуємо синтез смугового фільтра другого порядку в його початковій формі, як показано на рис. 2. Включення омичних опорів у послідовні та паралельні резонатори забезпечує еквівалентність резонаторів для патч-антен з найменшими втратами випромінювання надаючи значення існуванню їх фактора якості. Встановлено, що всі ізольовані елементи фільтра повинні резонувати на одній частоті, але з різним коефіцієнтом якості, заданим як $Q_{Si} = \omega_0 L_i / R_i$ та $Q_{Pi} = \omega_0 R_i C_i$ для послідовного та паралельного резонаторів відповідно, де ω_0 є резонансною частотою.

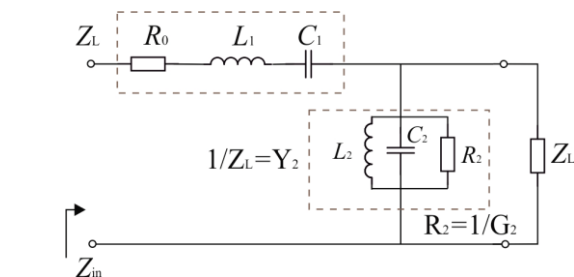


Рис. 2. Еквівалентна схема смугового фільтра другого порядку.
 R_1, R_2 представляють омичні втрати резонансних контурів

Підтягування частоти у ряді послідовних і паралельних резонансних контурів, що призводить до додаткових резонансів, ω_{r1} і ω_{r2} , нижче і вище ω_0 відповідно. А саме, резонансна частота другого резонатора, як видно на вході смугового фільтра, тягнеться попереднім першим резонатором вниз і вгору на рівну величину $\Delta\omega$. Щоб прояснити цей ефект, вхідний опір смугового фільтра другого порядку на рис. 2 досліджується на наявність резонансів. Вхідний опір кола визначається як

$$Z_{in} = \frac{(Z_1 + R_L) + Z_1 R_L Y_2}{1 + R_L Y_2} = \frac{1 + Z_1 Y_2 + Z_1 / R_L}{1 + R_L Y_2}. \quad (1)$$

Вивчення резонансів відкритого контуру при $R_L \rightarrow \infty$, рівняння (1) зводиться до $Z_{in}^{oc} = Z_1 + 1/Y_2 = Z_1 + Z_2$. Очікуючи резонансного зсуву від ω_0 до $\omega_r = \omega_0 \pm \Delta\omega_r$ і апроксимуючи Z_1 і Y_2 як $Z_1 \approx R_1 + j2L_1\Delta\omega_r$, $Y_2 \approx 1/R_2 + j2C_2\Delta\omega_r$. Нові резонанси при $\omega_0 \pm \Delta\omega_r$ можна оцінити, прирівнявши фазу Z_{in} до нуля. Після деяких розрахунків ми знаходимо, що

$$\Delta\omega_{r1,2} = \pm \frac{1}{2R_2C_2} \sqrt{\frac{R_2^2 C_2^2}{L_1} - 1}. \quad (2)$$

За допомогою симулятора схеми ФР можна пояснити графічно з результатів, показаних на рис. 3. Амплітуда та фаза Z_{in} смугового фільтра на рис. 2 зображені для послідовного та паралельного резонансних контурів, кожного окремо та для їх комбінації, тобто послідовного резонансу, каскадованого паралельним резонансом. Резонанс виникає на нульовій фазі: $\theta^{oc} = 0 \leftrightarrow |Z_1| \sin \theta_1 = |Z_2| \sin \theta_2$. Це можна зрозуміти з рис. 3б, де на деякій частоті $\omega_0 \leq \Delta\omega_r$, вище резонансу ω_0 , і негативна фаза $-\Delta\phi$, введений Z_1 , компенсується позитивним зсувом фази $+\Delta\phi$, внесеним Z_2 . Зворотне відбувається при меншій частоті $\omega_0 - \Delta\omega_r$. Отже, для каскадного контуру з двох резонаторів на рис. 2 єдиний резонанс спочатку існував при ω_0 , відбувається одночасно на двох нових частотах $\omega_0 - \Delta\omega_r$ і $\omega_0 + \Delta\omega_r$. Початковий резонанс при ω_0 , зберігається між новими, але для іншого імпедансу, як показано на рис. 3а. Важливо зауважити, що два нових резонанси при $\omega_0 \pm \Delta\omega_r$ мають нижчий коефіцієнт якості та еквівалентно ширшу смугу, ніж резонанс при ω_0 , як показано на рис. 3в.

На рис. 4 показано діаграму Сміта, де геометричне місце імпедансу двох резонаторів та їх каскадну комбінацію смугового фільтра для рис. 2. Видно, що траєкторії послідовного та паралельного резонаторів, коли вони одні, перетинають x вісь при ω_0 рухається в протилежних напрямках. Їхня каскадна комбінація перетинає вісь x ще двічі, де ці точки відповідають новим резонансам при $\omega_0 \pm \Delta\omega_r$. Він також проходить

від ω_0 , що знаходиться між ними, і відбувається для вищого імпедансу, але все ще може вважатися таким, що сприяє єдиній розширеній смузі пропускання. У всіх трьох випадках смуга пропускання 3 дБ визначається постійними траєкторіями $Q = X/R = 1$.

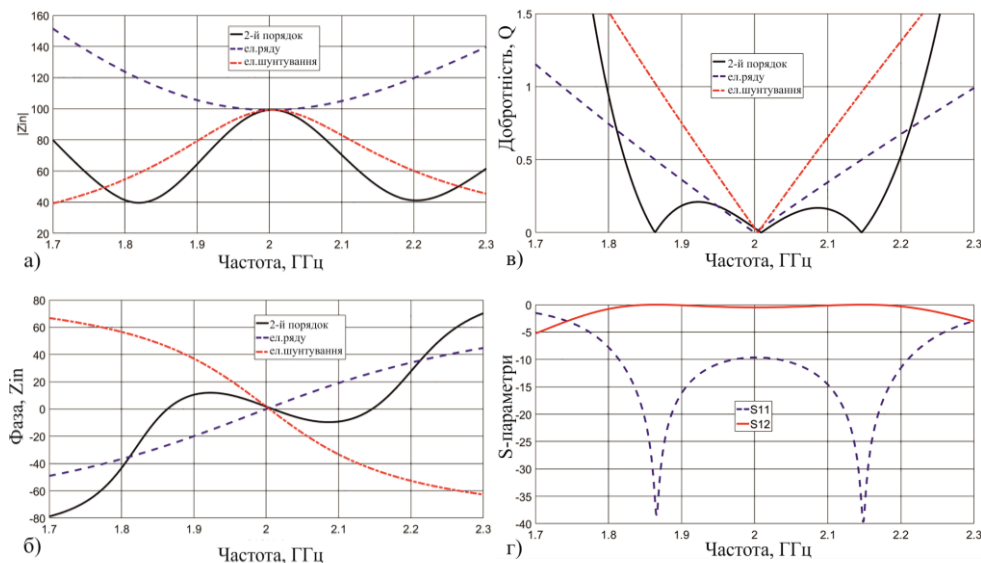


Рис. 3. Графіки залежностей: а) амплітуди; б) фази вхідного імпедансу; в) коефіцієнта якості послідовного та паралельного резонаторів; г) S-параметри смугового фільтра

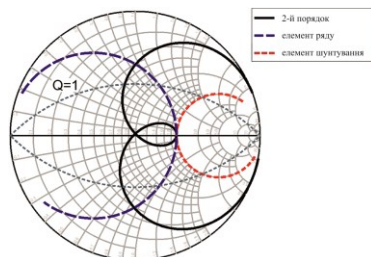


Рис. 4. Географічне місце імпедансу шунтового резонансу, послідовного резонансу та їх каскадного з'єднання на $f_0 = 2$ ГГц

Як уже було описано, послідовні резонансні контури перетворюються на еквівалентні паралельні за допомогою трансформаторів чвертної довжини хвилі як інверторів опору. Таким чином будується структура тільки шунтових або паралельних резонаторів. Наступним кроком є заміна шунтових резонаторів зосереджених елементів на резонатори розподіленої форми за допомогою відповідних шлейфів. Їх можна еквівалентно замінити короткозамкнутими на чверть хвилі або на половину довжини хвилі з відкритим контуром, які поведуться як паралельні резонансні контури. Класичний підхід синтезу смугового фільтра заснований на використанні шлейфів чвертної довжини хвилі, короткозамкнених на площину заземлення через металізовані переходи. Навпаки, у цьому документі шлейфи половинної довжини хвилі з відкритою схемою використовуються як патч-антени. Для обраної відповіді параметри прототипу g_n задані стандартними таблицями. У звичайному синтезі смугового фільтра шляхом узгодження вхідних опорів шлейфів і резонатора характерний імпеданс шлейфів розраховується як [5]

$$Z_{0,n} = \pi Z_0 \Delta / (4g_n), \quad (3)$$

де Δ – дробова смуга пропускання, а Z_0 – характеристичний опір інвертора адмітансу (рис. 1б). Ці шунтові шлейфи можна легко замінити прямокутними патч-антенами, щоб безпосередньо отримати частотну антену.

Однак дані антени працюють у своєму паралельному резонансі, коли їх довжина дорівнює половині довжини хвилі, а їхні краї розімкнені. Отже, синтез смугового фільтра має бути реалізовано з використанням шунтів із розімкнутим колом на половині довжини хвилі. У цьому випадку елементи паралельної еквівалентної схеми оцінюються шляхом вилучення підходу, подібного до [5],

$$\left. \begin{aligned} L_n &= \frac{\Delta Z_0}{\omega_o g_n} = \frac{2Z_{0,n}}{\pi \omega_o} \\ C_n &= \frac{g_n}{\omega_o \Delta Z_0} = \frac{\pi}{2\omega_o Z_{0,n}} \end{aligned} \right\} \leftrightarrow Z_{0,n} = \frac{\pi \Delta Z_0}{2g_n}. \quad (4)$$

Висновок

Було представлено техніку FR для проектування компактних патч-антен із розширеною смугою пропускання та показано характерні випадки проектування. Підхід одного патча з кількома каналами дає змогу збільшити пропускну здатність, але з розміром одного патча. Вибір більшої кількості точок живлення з використанням різних форм патчів може додатково збільшити пропускну здатність. Комбінація антени біжучої хвилі з багатоканальними випромінювачами справді дає значне розширення смуги пропускання, але за рахунок косоного променю через різницю фаз у -90° , спричинену інверторами імпедансу. Важливо, що отримані широкосмугові компактні елементи можна використовувати в стандартній конструкції масиву, але лише з притаманною їм круговою поляризацією. Для лінійної поляризації можна використовувати компактні елементи як прямокутні ділянки з двома симетричними точками живлення, оскільки поляризація зберігається через FR. Детальний аналіз цих обмежень і використання окремих елементів з властивими множинними резонансами буде предметом майбутньої роботи.

Література

1. Tawk Y., et al. Antenna Design for Cognitive Radio. ArtechHouse, Norwood (2016).
2. Xiao S., et al. Bandwidth enhancing ultralow-profile compact patch antenna. IEEE Trans. Antennas Propag. 53(11), 3443–3447 (2005).
3. Koutinos A., et al. A wideband matching technique for polarization versatile applications. In: Progress in Electromagnetics Research Symposium, Prague, Czech Republic, pp. 2081–2086 (2015).
4. Pozar D. Microwave Engineering, 4th ed., pp. 380–450. Wiley, London (2011).
5. Шкапа В.В. Смуговий фільтр на основі мікросмужкових резонаторів з чвертьхвильовими зв'язками / В. В. Шкапа, Б. А. Коцержинський // Вісник Національного технічного університету України «КПІ». Серія – Радіотехніка. Радіоапаратобудування. – 2011. – № 44. – С. 68–75.

References

1. Tawk Y., et al. Antenna Design for Cognitive Radio. ArtechHouse, Norwood (2016).
2. Xiao S., et al. Bandwidth enhancing ultralow-profile compact patch antenna. IEEE Trans. Antennas Propag. 53(11), 3443–3447 (2005).
3. Koutinos A., et al. A wideband matching technique for polarization versatile applications. In: Progress in Electromagnetics Research Symposium, Prague, Czech Republic, pp. 2081–2086 (2015).
4. Pozar D. Microwave Engineering, 4th ed., pp. 380–450. Wiley, London (2011).
5. Shkapa V.V. Smuhovyi filtr na osnovi mikrosmuzhkovykh rezonatoriv z chvertkhvyl'ovymy zviazkamy / V. V. Shkapa, B. A. Kotserzhynskiy // Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu Ukrainy «KPI». Seriya – Radiotekhnika. Radioaparatobuduvannia. – 2011. – № 44. – S. 68–75.

ОБЕЛЮВСКА Квітослава

Національний університет "Львівська політехніка"

<https://orcid.org/0000-0002-8714-460X>e-mail: kvitoslava.m.obelovska@lpnu.ua**ПЕЛЕХ Христина**

Національний університет "Львівська політехніка"

<https://orcid.org/0000-0002-9554-0493>e-mail: khrystyna.pelekh.mknus.2021@lpnu.ua**ПЕЛЕХ Юрій**

Національний університет "Львівська політехніка"

<https://orcid.org/0000-0003-4153-5418>e-mail: yurii.m.pelekh@lpnu.ua**СНАЙЧУК Яромір**

Національний університет "Львівська політехніка"

<https://orcid.org/0000-0002-9403-824X>e-mail: yaromir.l.snaichuk@lpnu.ua

АНАЛІЗ СХЕМИ CSMA/CA БЕЗПРОВІДНИХ ЛОКАЛЬНИХ МЕРЕЖ

Ефективність бездротових локальних мереж значною мірою залежить від способу доступу до спільного фізичного середовища. Основним методом доступу, що використовується для розподілу фізичного середовища між активними станціями, є множинний доступ з прослуховуванням несучої та запобіганням колізій (CSMA/CA). Для опису схеми CSMA/CA використано запропоновану спрощену діаграму переходів станів станції безпроводної локальної мережі, описано її системою диференціальних рівнянь та отримано аналітичні вирази для оцінки ймовірностей перебування станції мережі у всіх можливих станах.

Ключові слова: безпроводна локальна мережа, множинний доступ із прослуховуванням несучої та запобіганням колізій (CSMA/CA), діаграма переходів станів.

OBELOVSKA Kvitoslava, PELEKH Khrystyna, PELEKH Yury. SNAICHUK Yaromir
Lviv Polytechnic National University

ANALYSIS OF THE CSMA/CA SCHEME FOR WIRELESS LOCAL AREA NETWORKS

The current stage of telecommunication technologies development is characterized by the rapid growth use of wireless technologies in access networks and the growth requirements for its quality. The bottleneck that significantly reduces the bandwidth of each subscriber connection is that the total bandwidth of the wireless local network is shared among its active members by the shared technology used. The access management sub-layer to the shared physical environment is responsible for this in the network architecture. The main method used at this sub-layer is the Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance (CSMA/CA) scheme. This work is devoted to the analysis of CSMA/CA scheme and the development of an analytical model for its further study and use for the improvement of wireless local networks. The input data is a transition state diagram of a local area wireless network station in data transmission mode. According to the CSMA/CA scheme, stations cannot change their state after starting frame transmission until a confirmation frame of successful reception arrives from the addressee or until the time to wait for it expires. Considering this, it is proposed to use a simplified transition state diagram for the analysis. The operation of the station by the simplified transition state diagram is described using a system of differential equations. As a result of the solution of this system, expressions representing the probability of the station being in each of its states as a function of the intensities of the station's transitions from each state to another are derived. The values of these intensities depend on both the outgoing traffic of the station and the traffic in the network. The resulting expressions can be used in further work on the analysis of the CSMA/CA scheme, as they make it possible to estimate the operation of the station at different ratios of the station's output traffic and external traffic generated by other stations of the network. This can be used to develop an enhanced algorithm station operation of wireless local area networks by adapting the parameters of the CSMA/CA scheme to specific current loads of both the station and the network.

Keywords: Wireless Local Area Network, Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance (CSMA/CA), State Transition Diagram.

Постановка проблеми

Одним з важливих завдань щодо вдосконалення безпроводного зв'язку є підвищення ефективності безпроводних локальних мереж і забезпечення ними потрібної якості сервісу. Безпроводний зв'язок швидко розвивається, і на даному етапі можна відзначити значні успіхи у зростанні швидкості передачі на фізичному рівні мережевої архітектури. Однак фізичне середовище безпроводної локальної мережі є загальним для всіх її вузлів, а спеціальні методи організації доступу станцій до загального середовища ділять це середовище між активними станціями і вимагають використання певних значних ресурсів, в тому числі, і часових. У результаті навіть із використанням найефективніших технологій фізичного рівня ефективність використання безпроводних каналів бажає бути кращою. Тому аналіз і вдосконалення одного з вузьких місць безпроводних локальних мереж, підрівня управління доступом до спільного фізичного середовища (Media Access Control Sublayer, MAC-sublayer), який відповідає за доступ станцій до спільного середовища, є актуальним і важливим завданням.

Аналіз останніх досліджень

Сучасна тенденція розвитку телекомунікаційних технологій спрямована на збільшення використання бездротового зв'язку та підвищення вимог до його якості. Однією з головних проблем

безпроводного зв'язку є розподіл ресурсів спільного фізичного середовища між активними учасниками. В мобільних мережах 5G актуальним напрямком досліджень на сьогодні є аналіз і оптимізація розподілу ресурсів для передачі різних типів трафіку [1, 2], в локальних – аналіз і вдосконалення методів доступу до фізичного середовища [3]. Існує кілька категорій доступу до спільного фізичного середовища, серед яких найчастіше використовується метод на основі конкуренції. Конкурентний метод доступу використовують такі відомі стандарти, як IEEE 802.11 для безпроводних локальних мереж (Wireless Local Area Network, WLAN) [4] та IEEE 802.15.4 для низькошвидкісних безпроводних персональних мереж (Low-Rate Wireless Personal Area Network, LR-WPAN) [5]. Метод доступу, що описується в цих стандартах, реалізовано як множинний доступ із прослуховуванням несучої та запобіганням колізій (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance, CSMA/CA).

Існує багато робіт, присвячених вивченню та вдосконаленню методів доступу до фізичного середовища, в тому числі CSMA/CA. Одні з них відносяться до безпроводних локальних мереж [6, 7], інші до безпроводних сенсорних LR-WPAN, як, наприклад, робота [8].

В [8] автори з метою підвищення продуктивності неслотового CSMA/CA пропонують модифікований несловотворний CSMA/CA, який розділяє затримку відтермінування (Backoff) на дві складові: основну та додаткову. Аналіз модифікованого CSMA/CA здійснено з використанням моделі Маркова, отримано вирази для оцінки середньої затримки, споживання енергії та надійності. Пакет моделювання OPNET був застосований для перевірки запропонованої моделі Маркова та порівняння модифікованого методу зі стандартним. Результати демонструють, що модифікований CSMA покращує надійність, одночасно зменшуючи середню затримку.

Статті [6, 7] можуть бути прикладом з вдосконалення схеми CSMA/CA для безпроводних локальних мереж та ілюстрацією використання для цих цілей машинного навчання. Для збільшення продуктивності протоколу CSMA/CA MAC-підрівня використовується підкріплене навчання, за допомогою якого оптимізується значення вікна конкуренції шляхом пристосування до трафіку в безпроводній локальній мережі. В результаті запропонована схема доступу має вищу пропускну здатність, ніж існуюча схема CSMA/CA.

Стаття [9] пропонує модифіковану схему CSMA/CA, яка забезпечує координацію каналів між різнорідними безпроводними технологіями. Як технології WLAN і WPAN використовуються мережі Wi-Fi (IEEE 802.11) і Zigbee (IEEE 802.15.4). Важливим позитивним аспектом є те, що запропонований метод не потребує модифікації апаратного забезпечення та стандартів ні для WLAN, ні для WPAN.

Для дослідження MAC-підрівня використовують різні математичні апарати, наприклад, марківські процеси [2, 8], машинне навчання [6, 7], аналітичне та імітаційне моделювання [1–3, 7, 8]. Використовують як власні розроблені програми [3], так і спеціальний інструментарій, такий як Network Simulator, OMNET+, OPNET, Graphical Network Simulator, Matlab/Simulink, Maple, CISCO Packet Tracer та інші.

Основні режими функціонування безпроводних локальних мереж на MAC-підрівні описано у роботі [4]. В [10] представлено опис роботи станції безпроводної локальної мережі та наведена діаграма переходів між її станами, що використана в [11] для подальшого аналізу. В [11] робота станції WLAN описана системою диференціальних рівнянь, а результатом є отримані аналітичні вирази, що дозволяють оцінити ймовірність перебування станції WLAN в кожному з її можливих станів в залежності від інтенсивностей переходів між станами. За схемою CSMA/CA станції не можуть змінювати свій стан після початку передачі кадру до тих пір, поки від адресата не прийде кадр підтвердження успішного прийому або поки не закінчиться час його очікування. Враховуючи це, метою даної роботи є модифікація діаграми станів з метою її спрощення та розробка моделі для її опису.

Виклад основного матеріалу

Діаграма переходу станів методу CSMA/CA безпроводної станції при організації передачі кадру включає в себе наступну сукупність станів [10]: холостий стан (idle state), стан прослуховування без відтермінування (non-Backoff carrier sensing state), стан замороження Backoff (Backoff state), стан колізії (collision state), стан успішної передачі (successful transmit state), стан очікування підтвердження або отримання негативної квитанції NAK (wait for acknowledge or receive NAK state) і стан отримання кадру-квитанції ACK (receive ACK acknowledge state).

Оскільки станція після успішної передачі за замовчуванням мусить очікувати поки від адресата не прийде кадр підтвердження успішного прийому ACK і тільки тоді переходити до наступних дій, то з метою спрощення моделі доцільним є об'єднати стан успішної передачі та стан отримання кадру-квитанції ACK в один – стан успішної передачі та отримання квитанції ACK. На рисунку 1 представлена діаграма переходів станів, що реалізує це спрощення.

Діаграма переходів станів CSMA/CA має 6 станів:

- 1 – холостий стан;
- 2 – стан прослуховування каналу;
- 3 – стан замороження Backoff;
- 4 – стан колізії;
- 5 – стан очікування підтвердження або отримання NAK;
- 6 – стан успішної передачі та отримання квитанції ACK.

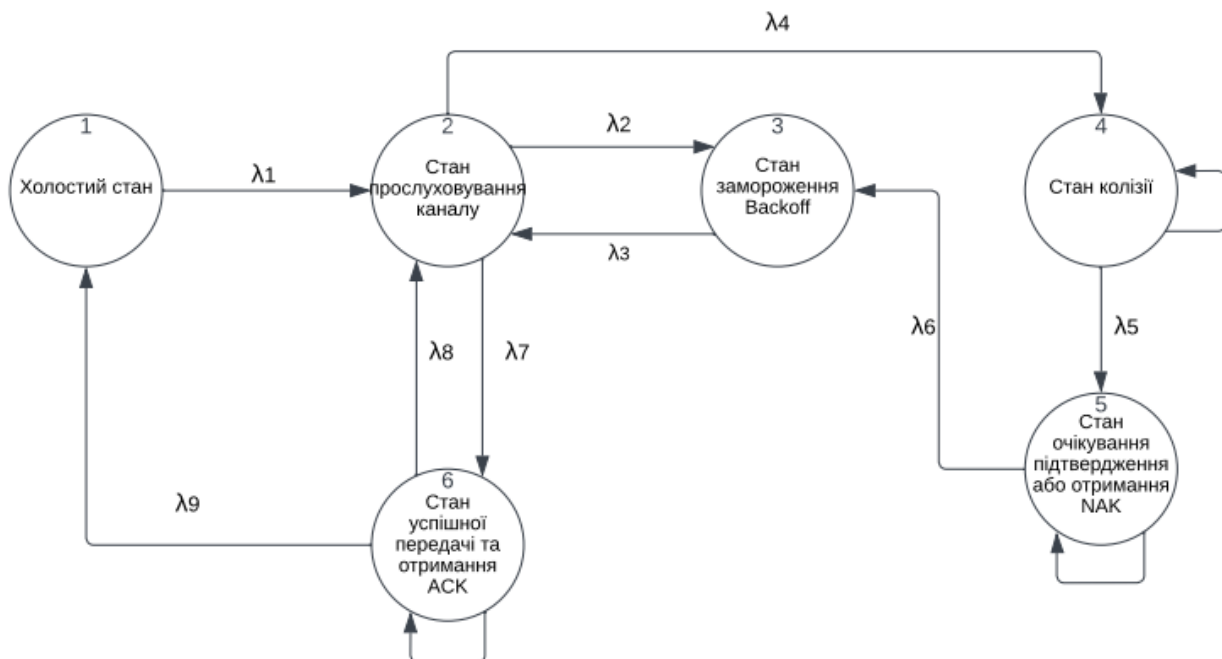


Рис. 1. Діаграма переходів станів для схеми CSMA/CA

Позначимо через λ інтенсивність переходу станції на каналному рівні архітектури з одного стану в інший. Тоді у відповідності з рисунком 1:

- λ_1 – інтенсивність переходу станції із холостого стану у стан прослуховування каналу;
- λ_2 – інтенсивність переходу станції із стану прослуховування каналу у стан замороження Backoff;
- λ_3 – інтенсивність переходу станції зі стану замороження Backoff у стан прослуховування;
- λ_4 – інтенсивність переходу станції із стану прослуховування каналу у стан колізії;
- λ_5 – інтенсивність переходу станції зі стану колізії у стан очікування підтвердження або отримання NAK;
- λ_6 – інтенсивність переходу станції зі стану очікування підтвердження або отримання NAK у стан замороження Backoff;
- λ_7 – інтенсивність переходу станції зі стану прослуховування каналу у стан успішної передачі та отримання ACK;
- λ_8 – інтенсивність переходу станції зі стану успішної передачі та отримання квитанції ACK у стан прослуховування каналу;
- λ_9 – інтенсивність переходу станції зі стану успішної передачі та отримання квитанції ACK у холостий стан.

У випадку, коли система описується випадковим процесом, який характеризується дискретними станами і неперервним часом, то її математичною моделлю буде система диференціальних рівнянь [11]. Для приведеного на рис. 1 графа система може бути записана наступним чином:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dP_1(t)}{dt} = -\lambda_1 P_1(t) + \lambda_9 P_6(t) \\ \frac{dP_2(t)}{dt} = -\lambda_2 P_2(t) - \lambda_4 P_2(t) - \lambda_7 P_2(t) + \lambda_3 P_3(t) + \lambda_1 P_1(t) + \lambda_8 P_6(t) \\ \frac{dP_3(t)}{dt} = -\lambda_3 P_3(t) + \lambda_2 P_2(t) + \lambda_6 P_5(t) \\ \frac{dP_4(t)}{dt} = -\lambda_5 P_4(t) + \lambda_4 P_2(t) \\ \frac{dP_5(t)}{dt} = -\lambda_6 P_5(t) + \lambda_5 P_4(t) \\ \frac{dP_6(t)}{dt} = -\lambda_8 P_6(t) - \lambda_9 P_6(t) + \lambda_7 P_2(t) \end{array} \right. \quad (1)$$

Для дослідження роботи станції в стаціонарному режимі систему рівнянь (1) можна переписати у вигляді системи алгебраїчних рівнянь:

$$\begin{cases} 0 = -\lambda_1 p_1 + \lambda_9 p_6 \\ 0 = -\lambda_2 p_2 - \lambda_4 p_2 - \lambda_7 p_2 + \lambda_3 p_3 + \lambda_1 p_1 + \lambda_8 p_6 \\ 0 = -\lambda_3 p_3 + \lambda_2 p_2 + \lambda_6 p_5 \\ 0 = -\lambda_5 p_4 + \lambda_4 p_2 \\ 0 = -\lambda_6 p_5 + \lambda_3 p_4 \\ 0 = -\lambda_8 p_6 - \lambda_9 p_6 + \lambda_7 p_2 \end{cases} \quad (2)$$

Загальна ймовірність того, що система перебуває в будь-якому з дискретних станів, дорівнює 1, що дає тотожність нормалізації.

$$\sum_{k=1}^6 p_k = 1 \quad (3)$$

Для розв'язку системи використаємо метод підстановок і представимо всі ймовірності через ймовірність p_1 .

З першого рівняння системи (2) виведено ймовірність перебування станції у шостому стані через ймовірність p_1 :

$$p_6 = \frac{\lambda_1}{\lambda_9} p_1 \quad (4)$$

З шостого рівняння системи (2) з врахуванням рівняння (4):

$$p_2 = \frac{\lambda_8 + \lambda_9}{\lambda_7} p_6 = \frac{\lambda_8 + \lambda_9}{\lambda_7} \frac{\lambda_1}{\lambda_9} p_1 \quad (5)$$

З четвертого рівняння системи (2) з врахуванням рівняння (5) отримаємо ймовірність перебування у четвертому стані:

$$p_4 = \frac{\lambda_4}{\lambda_5} p_2 = \frac{\lambda_4}{\lambda_5} \frac{\lambda_8 + \lambda_9}{\lambda_7} \frac{\lambda_1}{\lambda_9} p_1 \quad (6)$$

З п'ятого рівняння системи (2) з врахуванням рівняння (6) отримуємо ймовірність перебування у п'ятому стані:

$$p_5 = \frac{\lambda_5}{\lambda_6} p_4 = \frac{\lambda_5}{\lambda_6} \frac{\lambda_4}{\lambda_5} \frac{\lambda_8 + \lambda_9}{\lambda_7} \frac{\lambda_1}{\lambda_9} p_1 = \frac{\lambda_4}{\lambda_6} \frac{\lambda_8 + \lambda_9}{\lambda_7} \frac{\lambda_1}{\lambda_9} p_1 \quad (7)$$

З третього рівняння системи (2) з врахуванням рівняння (7):

$$p_3 = \frac{\lambda_2}{\lambda_3} p_2 + \frac{\lambda_6}{\lambda_3} p_5 = \frac{\lambda_1 \lambda_2 (\lambda_8 + \lambda_9)}{\lambda_3 \lambda_7 \lambda_9} p_1 + \frac{\lambda_1 \lambda_4 (\lambda_8 + \lambda_9)}{\lambda_3 \lambda_7 \lambda_9} p_1 = \frac{\lambda_1 (\lambda_2 + \lambda_4) (\lambda_8 + \lambda_9)}{\lambda_3 \lambda_7 \lambda_9} p_1 \quad (8)$$

Підставимо (4) - (8) в (3) і представимо загальну ймовірність перебування системи у будь-якому із шести станів:

$$p_1 + \frac{\lambda_8 + \lambda_9}{\lambda_7} \frac{\lambda_1}{\lambda_9} p_1 + \frac{\lambda_1 (\lambda_2 + \lambda_4) (\lambda_8 + \lambda_9)}{\lambda_3 \lambda_7 \lambda_9} p_1 + \frac{\lambda_4}{\lambda_5} \frac{\lambda_8 + \lambda_9}{\lambda_7} \frac{\lambda_1}{\lambda_9} p_1 + \frac{\lambda_4}{\lambda_6} \frac{\lambda_8 + \lambda_9}{\lambda_7} \frac{\lambda_1}{\lambda_9} p_1 + \frac{\lambda_1}{\lambda_9} p_1 = 1 \quad (9)$$

$$p_1 = 1 / \left(1 + \frac{\lambda_8 + \lambda_9}{\lambda_7} \frac{\lambda_1}{\lambda_9} + \frac{\lambda_1 (\lambda_2 + \lambda_4) (\lambda_8 + \lambda_9)}{\lambda_3 \lambda_7 \lambda_9} + \frac{\lambda_4}{\lambda_5} \frac{\lambda_8 + \lambda_9}{\lambda_7} \frac{\lambda_1}{\lambda_9} + \frac{\lambda_4}{\lambda_6} \frac{\lambda_8 + \lambda_9}{\lambda_7} \frac{\lambda_1}{\lambda_9} + \frac{\lambda_1}{\lambda_9} \right) \quad (10)$$

Для спрощення введемо позначення:

$$B = \left(1 + \frac{\lambda_1}{\lambda_9} \left[1 + \frac{\lambda_8 + \lambda_9}{\lambda_7} \left(1 + \frac{\lambda_2 + \lambda_4}{\lambda_3} + \frac{\lambda_4}{\lambda_5} + \frac{\lambda_4}{\lambda_6} \right) \right] \right)^{-1} \quad (11)$$

Таким чином, стаціонарні ймовірності p_i визначаються за формулами:

- ймовірність перебування станції у холостому стані:

$$p_1 = B \quad (12)$$

- ймовірність перебування станції у стані прослуховування каналу:

$$p_2 = \frac{\lambda_8 + \lambda_9}{\lambda_7} \frac{\lambda_1}{\lambda_9} B \quad (13)$$

- ймовірність перебування станції у стані замороження Baskoff:

$$p_3 = \frac{\lambda_1 (\lambda_2 + \lambda_4) (\lambda_8 + \lambda_9)}{\lambda_3 \lambda_7 \lambda_9} B \quad (14)$$

- ймовірність перебування станції у стані колізії:

$$p_4 = \frac{\lambda_4}{\lambda_5} \frac{\lambda_8 + \lambda_9}{\lambda_7} \frac{\lambda_1}{\lambda_9} B \quad (15)$$

- ймовірність перебування станції у стані очікування підтвердження або отримання NAK:

$$p_5 = \frac{\lambda_4}{\lambda_6} \frac{\lambda_8 + \lambda_9}{\lambda_7} \frac{\lambda_1}{\lambda_9} B \quad (16)$$

- ймовірність перебування станції у стані успішної передачі та отримання квитанції ACK:

$$p_6 = \frac{\lambda_1}{\lambda_9} B \quad (17)$$

Отримані аналітичні вирази (12)–(17) дають змогу оцінити ймовірність перебування станції WLAN в кожному з її можливих станів залежно від інтенсивностей переходів між станами.

Висновки

Станція бездротової локальної мережі розглядається як стохастична система, умови роботи якої та характеристики її станів залежать від багатьох випадкових факторів. Опис роботи станції базується на діаграмі переходів станів для множинного доступу з прослуховуванням несучої та запобіганням колізій.

Запропоновано спрощену діаграму переходів станів методу CSMA/CA при роботі станції безпроводної локальної мережі в режимі передачі. Роботу станції описано за допомогою системи диференціальних рівнянь, у результаті розв'язку якої отримано аналітичні вирази для ймовірностей перебування станції в усіх станах. Отримані формули можуть бути використані при подальшому аналізі та вдосконаленні схеми CSMA/CA.

References

1. Kovtun V., Izonin I., Gregus M. (2022). Modeling a session of subject-system interaction in a wireless communication infrastructure with a mixed resource. *PLoS ONE* 17(7): e0271536. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0271536>
2. Viacheslav Kovtun, Ivan Izonin, Michal Gregus. Model of functioning of the centralized wireless information ecosystem focused on multimedia streaming. *Egyptian Informatics Journal*. 2022. (in press). <https://doi.org/10.1016/j.eij.2022.06.009>
3. Olga Panova, Kvitoslava Obelovska. An Adaptive ACs Number Adjusting Algorithm for IEEE 802.11 EDCA. *Proceedings of the 8-th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications*. September 24-26, 2015, Warsaw, Poland. IEEE Catalog Number: CF11803-PRT, 2015, vol. 2, pp. 823–856, 2015.
4. National Instrument, Introduction to Wireless LAN Measurements: From 802.11a to 802.11ac. 2014. URL: http://download.ni.com/evaluation/rf/Introduction_to_WLAN_Testing.pdf (accessed on 18 February 2022).
5. IEEE Standard 802.15.4Part 15.4: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs), IEEE: Manhattan, NY, USA, 2006.
6. Kim T.-W., Hwang G.-H. (2021). Performance Enhancement of CSMA/CA MAC Protocol Based on Reinforcement Learning. *Journal of Information and Communication Convergence Engineering*, 19(1), 1–7. <https://doi.org/10.6109/JICCE.2021.19.1.1>
7. Cruz S.C.D.S., Ahmed Ouameur M. Figueiredo F.A.P.D. Reinforcement Learning-based Wi-Fi Contention Window Optimization. *Preprints* 2022, 2022110011. doi: 10.20944/preprints202211.0011.v1.
8. Mahmoud Gamal, Nayera Sadek, Mohamed R.M. Rizk, Magdy Abd ElAzim Ahmed. Optimization and modeling of modified unslotted CSMA/CA for wireless sensor networks. *Alexandria Engineering Journal*, vol. 59, issue 2, 2020, p. 681-691, ISSN 1110-0168, <https://doi.org/10.1016/j.aej.2020.01.035>
9. Kim S. Enabling WLAN and WPAN Coexistence via Cross-Technology Communication. *Sensors* 2022, 22, 707. <https://doi.org/10.3390/s22030707>
10. Khattab T.M.S., El-Hadidi M.T., Mourad H.-A.M. Analysis of Wireless CSMA/CA Network Using Single Station Superposition (SSS). *AEU - International Journal of Electronics and Communications*, 56/2, pp. 73–83 (2002).
11. Auzinger W., Obelovska K., Dronyuk I., Pelekh K., Stolyarchuk R.A Continuous Model for States in CSMA/CA-Based Wireless Local Networks Derived from State Transition Diagrams. In Saraswat M., Roy S., Chowdhury C., Gandomi A.H. (eds) *Proceedings of International Conference on Data Science and Applications*. Lecture Notes in Networks and Systems, vol. 287. Springer, Singapore. (2022).

ОЛЕКСАНДРЕНКО Віктор

Хмельницький національний університет

<https://orcid.org/0000-0002-2404-2104>e-mail: oleksandrenkovp@gmail.com**СВІДЕРСЬКИЙ Владислав**

Хмельницький національний університет

<https://orcid.org/0000-0003-4816-6977>e-mail: svidersky.vladyslav@gmail.com**КИРИЧЕНКО Людмила**

Хмельницький національний університет

<https://orcid.org/0000-0001-6382-8911>e-mail: kirichenko47@ukr.net**ДАНІЛЕНКО Ігор**

Донецький фізико-технічний інститут НАН України

<https://orcid.org/0000-0002-0016-1045>e-mail: Danilenko.I@nas.gov.ua**СФІМЕНКО Валерій**

Національний авіаційний університет

<https://orcid.org/0000-0002-4903-6174>e-mail: e.valerij.ua@gmail.com

РОЗРОБКА І ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ НАНОМОДИФІКОВАНИХ ФТОРОПЛАСТОВИХ ПОКРИТТІВ, НАНЕСЕНИХ НА МЕТАЛЕВІ ПОВЕРХНІ

Проаналізовано шляхи підвищення фізико-механічних характеристик і зносостійкості фторопластових покриттів на металевих поверхнях. Досліджено вплив складу і температурно-часових умов формування багат шарових фторопластових покриттів на їх адгезійну міцність, еластичність, стійкість до удару та абразивостійкість. Описані режими технологічних операцій. Наведені властивості розроблених покриттів на основі фторополімеру Ф-30П. Окреслено особливості формування ґрунтувального, проміжного і зовнішнього шарів фторопластового покриття. Розроблена технологія нанесення наномодифікованого фторопластового покриття електроосадженням на металеві поверхні. Дані рекомендації з використання результатів виконаних досліджень для отримання наномодифікованих фторопластових покриттів з високою адгезією до металевих поверхонь ґрунтувального шару і зносостійкістю зовнішнього шару.

Ключові слова: покриття, зносостійкість.

OLEKSANDRENKO Victor., SVIDERSKYI Vladislav, KIRICHENKO Ludmila

Khmelnitskyi National University

DANILENKO Igor

Donetsk physic technical institute of HAN of Ukraine

YEFYMENKO Valerij

National Aviation University

DEVELOPMENT AND RESEARCH OF THE NANOMODIFIED FLUOROPLASTIC COVERAGES INFLICTED ON METALLIC SURFACES

Ways of increasing of physical and mechanical characteristics and wear resistance of fluoroplastic coatings on metal surfaces are analyzed. The influence of the composition and temperature-time conditions of the formation of multilayer fluoroplastic coatings on their adhesive strength, elasticity, shock resistance and abrasion resistance was studied. Primer layer for three-layer F-30P fluoropolymer coatings contained fluoropolymer F-30P - 72 wt. %, graphite C-1 - 25 wt. %, aminoorganosilica on the basis of aerosil - 3 wt. %.. The composition of the intermediate fluoropolymer layer: fluoropolymer F-30P - 79 wt. %, graphite C-1 - 20 wt. % aminoorganosilica based on aerosol - 1 wt. %. As the main task of applying the outer layer of fluoroplastic coating based on F-30P is to increase wear resistance, so its composition included 1-3 wt. % ZrO₂ + 3% Y₂O₃ (500 °C) or 1-3 wt. % ZrO₂ + 3% Y₂O₃ (700 °C) or 1-3 wt. % zirconium hydroxide doped yttrium ions (the amount of yttrium in terms of oxides is 3 mol %): Zr(Y)O(OH) 2 and 17 wt. % graphite C-1, as well as 1 wt. % aminoorganosilica on the basis of aerosil. The analysis of the obtained results showed that the introduction of nanomodifiers of zirconium oxides encourages intense matrix structuring, as nanoparticles can create cluster-type ensembles. As a result a reinforced polymer system is created, which is characterized by increased strength and tribotechnical characteristics. Thus strength to scratch damage increased for three-layer fluoroplastic coatings, the outer layer of which includes: a) 17 wt. % graphite C-1 + 1 wt. % aminoorganosilica based on aerosil + 1 wt. % ZrO₂ + 3% Y₂O₃ (500 °C) by 5.02 times, b) 17 wt. % graphite C-1 + 1 wt. % aminoorganosilica based on aerosil + 1 wt. % ZrO₂ + 3% Y₂O₃ (700 °C) by 8.98 times, c) 17 wt. % graphite C-1 + 1 wt. % aminoorganosilica based on aerosil + 2 wt. % of zirconium hydroxide doped with yttrium ions (the amount of yttrium in terms of oxides is 3 mol %): Zr(Y)O(OH) 2 by 14.35 times compared to the unmodified fluoroplastic coating F-30 P. The modes of technological operations are described in detail. The properties of the developed coatings based on F-30P fluoropolymer are given. Features of formation of priming, intermediate and outer layers of fluoroplastic coating are outlined. The technology of nano-modified application of fluoroplastic coating by electrodeposition on metal surfaces has been developed. Therecommendations for using the results of the performed research for obtaining nanomodified fluoroplastic coatings with high adhesion to metal surfaces of the primer layer and wear resistance of the outer layer are given.

Key words: adhesion, fluoroplastic coatings, strength, composition, technological factors, metal surface, elasticity, firmness to the blow, hardness, anti-abrasion.

Вступ

Надійність роботи машин і механізмів визначається в першу чергу якісним станом робочих поверхонь деталей, що цілеспрямовано формуються на фінішних операціях технологічних процесів (геометрична точність, макро- і мікрогеометрія, фізико-механічні властивості матеріалу, напружено-деформований стан поверхневого шару). Нанесення на металеві робочі поверхні фторопластових композиційних покриттів дозволяє успішно вирішити завдання створення поверхонь тертя з певним комплексом необхідних експлуатаційних параметрів за надійністю, зносостійкістю, контактною витривалістю і втомною міцністю, а застосування тонких фторопластових покриттів є дуже перспективним напрямом, що відкриває широкі можливості управління фізико-механічними властивостями спряжених поверхонь [1, 2].

Аналіз останніх досліджень

Однією із найважливіших задач при формуванні фторполімерних покриттів на металевих поверхнях є отримання металополімерних з'єднань з високою адгезійною міцністю і зносостійкістю. Низька адгезійна здатність фторполімерів, які застосовуються в якості матеріалів для антикорозійних, електроізоляційних і антифрикційних покриттів викликає необхідність здійснення процесів модифікування металів або полімерів з метою підвищення міцності і стійкості адгезійних металополімерних з'єднань за рахунок встановлення чи підсилення хімічних, фізичних або фізико-хімічних зв'язків, а також за рахунок збільшення площі адгезійного контакту [3,4].

Різні види зносостійких і антифрикційних покриттів для роботи в режимі самозмащування описані в роботах [5,6]. Проблемам створення антифрикційних покриттів на основі високомолекулярних з'єднань з поліпшеними характеристиками термо- і теплостійкості присвячені праці [6,7]. В роботі [7] узагальнений досвід з дослідження, конструювання і розрахунку підшипників ковзання з полімерними покриттями, ущільнень, працюючих без мастила, а також в агресивних середовищах і за аномальних температур. Фторопластові покриття відрізняються високою хімічною і термічною стійкістю, низьким і стабільним коефіцієнтом тертя. Проте через порівняно низьку механічну міцність і холодотекучість фторопластові покриття в чистому вигляді не застосовуються в навантажених антифрикційних вузлах [7].

Найкращі результати за зносостійкістю фторопластових покриттів досягнуто при використанні комплексних наповнювачів, що складаються з синтетичних волокон та металевого порошку. В якості компонентів-наповнювачів для фторопластових покриттів, що самозмащуються, застосовуються графіт, кокс, дисульфід молібдену, нітрид бору, мілкодисперсні порошки металів (свинець, мідь, бронза), подрібнене скловолокно, вуглеграфітові або синтетичні волокна, а також інші антифрикційні добавки [5–7].

Слід зазначити, що в цілях забезпечення необхідної електричної міцності покриття містять графітові складові. Вміст наповнювачів у покриттях складає 1–20 мас. %. Більш високе наповнення призводить до погіршення міцнісних характеристик.

Перспективним методом модифікації полімерів з метою підвищення їх фізико-механічних характеристик та зносостійкості є використання нетрадиційних компонентів твердих речовин в ультрадисперсному стані [8,9]. Ультрадисперсні з'єднання (УДЗ) є перехідним станом конденсуючих речовин – макроскопічні ансамблі мікроскопічних частинок з розмірами від 1 до 100 нм. Основні фізичні властивості УДЗ істотно відрізняються від властивостей матеріалів у звичайному стані. Системам з компонентами в ультрадисперсному стані властиві унікальні поєднання електричних, магнітних, теплових, механічних, сорбційних, радіопоглинаючих та інших властивостей, що не зустрічаються в масивних кристалах. Поява подібних властивостей пов'язана з розмірними ефектами УДЗ. Ці ефекти реалізуються, коли розмір частинок стає співвимірним з характерним кореляційним масштабом того або іншого фізичного явища (наприклад, розміру домена) або характерною довжиною якого-небудь процесу перенесення (довжина вільного пробігу електронів та інших елементарних частинок).

В якості УДЗ використовують вуглеграфітові наночастинки детонаційного синтезу (УДАГ, УДАВ), фторованої сажі (ФС), фуллеренів (ФЛ), вуглецевих нанотрубок (УН), порошок металів, оксидів [8,9].

Нанокерамічні матеріали на основі ZrO_2 володіють унікальним комплексом фізико-механічних властивостей [9]: на відміну від існуючих аналогів, внаслідок особливої технології синтезу, кераміка має одночасно високі значення міцності, в'язкості руйнування і зносостійкості; – високі експлуатаційні властивості в умовах дії високих температур (понад 1600 °C) та корозійно-активних середовищ без значної деградації механічних властивостей.

Завдяки своїм таким неповторним властивостям як висока зносостійкість, неймовірно гладка поверхня і практично відсутність негативної взаємодії, наприклад з дротом та кабелем, найнижча з усіх відомих керамічних матеріалів теплопровідність, оксид цирконію знаходить застосування в багатьох галузях техніки [9].

Таким чином, для покращення фізико-механічних та антифрикційних характеристик покриттів фторполімерних матеріалів доцільно використати принцип багаторівневого модифікування полімерної матриці [10]. Реалізація даного принципу здійснюється шляхом введення у фторопласти суміші наповнювачів різного складу і дисперсності та нанодисперсних частинок, вибраних з групи оксидів цирконію.

Постановка проблеми

Фторопластові покриття знаходять широке застосування в харчовому та хімічному машинобудуванні. Нанесення фторопластових покриттів дозволяє суттєво знизити прилипання речовин, що переробляються, до робочих поверхонь деталей і вузлів тертя, резервуарів, бункерів, транспортерів, що викликає втрати сировини і готової продукції, погіршення їх якостей, а також зниження продуктивності праці через необхідність частого очищення і змащування обладнання. Фторопластові покриття ефективні для захисту хімічного обладнання, що працює в агресивних середовищах: ротори центрифуг, деталі фільтрів, змішувачі, ємнісне обладнання та ін.. Вони унікальні за своїми властивостями, особливо за хімічною стійкістю, стійкі практично до всіх хімічних речовин. Покриття з фторопластів мають низький коефіцієнт тертя, стійкі до зношування та ударів. Фторопластові плівки широко застосовуються для ізоляції нагрівостійких обмотувальних, монтажних і спеціальних дротів, в електродвигунах, генераторах, трансформаторах та ін..

Недоліком фторопластових покриттів є їх низька адгезійна міцність до металевої підложки і недостатньо висока зносостійкість. Тому дослідження спрямовані на подолання цих недоліків є досить актуальними.

Мета та завдання

Метою роботи є: створення фторопластового покриття ґрунтувальний шар якого має високу адгезію до металевої поверхні, а зовнішній – зносостійкість і відпрацювання технології нанесення електроосадженням фторопластового покриття на основі фторполімеру Ф-30П.

Для досягнення поставленої мети вирішувались наступні задачі:

- розробити склад і температурно-часовий режим формування фторполімерного покриття з високою адгезією до металевих поверхонь ґрунтувального шару і зносостійкістю зовнішнього шару;
- розробити технологію електростатичного нанесення фторполімерного покриття на металеву поверхню та дослідити його властивості.

Виклад основного матеріалу

Матеріали та методика дослідження. Для досліджень використовували фторопластові покриття на основі сополімеру трифторхлоретилену з етиленом: фторопласту-30 марки П (Formoplast, Росія) (ГОСТ 30333-2007,) з наповненням промоторами адгезії і наномодифікаторами.

Як наповнювач композицій для фторопластового покриття використовували колоїдно-графітовий препарат С-1 (ТУ 113–08–48–63–90) (ТОВ Укрспецмасла) і високодисперсний аміноорганокремнезем на основі аеросилу. Як функціональна добавка використовували нанопорошки оксиду цирконію: $ZrO_2 + 3\% Y_2O_3$ (500 °C), $ZrO_2 + 3\% Y_2O_3$ (700 °C) і гідроксиду цирконію, легованого іонами ітрію (кількість ітрію в перерахунку на оксиди складає 3 моль %): $Zr(Y)O(OH)_2$. Нанопорошки аналізувались методами рентгенівської дифракції (РСА) на рентгенівському дифрактометрі Dron-3 (IC Bouvestnik, Росія) в Cu-K α випромінюванні для визначення розмірів кристалітів та кількісного фазового аналізу. Розміри частинок порошків оцінювали за допомогою трансмісійної електронної мікроскопії (ТЕМ) (JEM 200, Jeol, Japan). За даними РСА та ТЕМ розміри частинок були 18 ± 2 нм.

Матеріал металевої поверхні – лист сталевий холоднокатаний ст. 08кп. Для приготування композиції використовували дробарку-млинок МРП-1 (Granat, Росія) з подовими ножами та частотою обертання 7000 об/хв.

Технологічний процес нанесення фторполімерного покриття на металеву поверхню складається з наступних стадій: а) підготовка поверхні: знежирення, видалення забруднень і окисів, а також перетворення (конверсія) поверхні для підвищення адгезії та захисту від корозії (фосфатування); б) нанесення шару порошкового покриття на поверхню; в) формування плівки покриття: оплавлення, затвердіння, охолодження. Для видалення окисних плівок використано абразивне очищення з допомогою піскоструменевої обробки металевої поверхні на піскоструменевій установці – 620-1109. Абразивне очищення здійснюється за допомогою часток піску, що подаються на поверхню з великою швидкістю в струмені стислого повітря. Частки абразиву, ударяючись об поверхню, відколюють від неї невеликі шматочки металу разом з окисними плівками та іншими забрудненнями. При цьому забезпечується висока якість очищення практично від усіх забруднень. Абразивне очищення забезпечує рівномірну шорсткість, що сприяє підвищенню адгезії покриття.

Після обробки поверхні частками піску її обдували очищеним повітрям. Для поліпшення захисних властивостей і подовження терміну служби, особливо при експлуатації в атмосферних умовах, для підготовки поверхні перед нанесенням фторопластового покриття застосовували фосфатування. Фосфатування – отримання на металевій поверхні плівки з важко розчинних фосфорнокислих солей. Фосфатні плівки збільшують адгезію покриття і перешкоджають поширенню підплівкової корозії.

Нанесення фторопластових покриттів здійснювали шляхом електростатичного напилення. Метод нанесення тонкошарових полімерних покриттів в електростатичному полі полягає в осіданні заряджених частинок полімеру на поверхні деталі, що має протилежний заряд. Схема процесу зарядження і осаження частинок полімеру на виріб в полі коронного розряду наведена у роботі [3].

Фторопласт-30П і наповнювачі перед нанесенням покриття висушувались. Фторопласт-30П, графіт С-1, аміноорганокремнезем на основі аеросилу, нанопорошки оксиду і гідроксиду цирконію перемішували у

млинку МРП-1. Після цього виконували фракціонування порошку з метою отримання композиції з розмірами частинок 40–80 мкм і піддавали її термообробці протягом однієї години при 150 °С. Нанесення фторопластових покриттів здійснювали за допомогою установки "Optima-01С" (м. Запоріжжя, Україна, «Елем»).

Нанесення покриття на металеву поверхню здійснювали способом електростатичного напилення порошку першого шару при напруженості електричного поля 50 кВ, а для наступних шарів при напруженості 60–70 кВ. Після цього металеву пластину з нанесеним покриттям витримували при температурі 228–235 °С протягом двох годин та охолоджували до кімнатної температури зі швидкістю 30–40 °С за годину.

Методика дослідження композиційних матеріалів для покриттів містила визначення товщини покриттів, адгезії і стійкості до пошкодження шкрябанням, міцності та еластичності, стійкості до удару та інтенсивності зношування.

Товщину покриттів визначали за допомогою приладу NOVOTEST ТП-2020. Товщиномір відповідає ДСТУ ISO 2808, ДСТУ 4219, ISO 2808, ГОСТ 31993. До складу приладу входить блок обробки інформації і перетворювач Ф-0,5. Перетворювач Ф-0,5 призначений для вимірювання товщини діелектричних і електропровідних неферомагнітних, а також гальванічних покриттів на електропровідних феромагнітних основах. При використанні індукційного перетворювача типу Ф за командою від контролера формується імпульс струму у первинній обмотці вимірювального перетворювача. При цьому на вторинній обмотці наводиться електрорушійна сила (ЕРС). Наведена ЕРС, що є функцією товщини поступає на контролер і перетворюється у величину товщини. Товщина покриття відображається на дисплеї.

Дослідження адгезії і стійкості до пошкодження шкрябанням виконували за ASTM D 2197 «Метод визначення адгезії органічних покриттів з допомогою шкрябання» з застосуванням приладу NOVOTEST ЦІ-М. Прилад відповідає вимогам ISO 12137-1, ASTM D 5178, ASTM D 2197. Конструктивно прилад відповідає вимогам стандартів і являє собою установку з рухомих столом, на якому зразок для дослідження протягується під дією індентора. Принцип дії приладу оснований на дії індентора на покриття з певним навантаженням.

Покриття попередньо наносили на металеву підложку. Підложку з покриттям встановлювали на рухомий столик і виконували його протягування під дією індентора. Після цього відбувалась візуальна оцінка покриття і встановлювалось його руйнування (вишкрябуванням). Ступінь проникнення індентора в покриття може бути різним – в залежності від мети дослідження і прикладеного навантаження. Це може бути або поверхневий слід виробу, або повне руйнування [3].

Дослідження стійкості фторопластових покриттів до розтягу, розтріскуванню, відшаруванню від металевої поверхні виконували з допомогою штампу Еріксена методом вдавлювання на певну глибину пуансона зі сферичним наконечником.

Метод визначення міцності покриттів за Еріксом у відповідності з ГОСТ 29309 і ISO 1520 є ефективним комплексним методом дослідження якості покриття оскільки одночасно дозволяє оцінити міцність, адгезію і еластичність покриття. Прилад дозволяє точно виміряти міцність нанесеного покриття на металеву поверхню, на яку при подальшій експлуатації діють статичні і динамічні навантаження. Прилад складається з сталевого корпусу у вигляді скріплених станин, притискного поворотного механізму для фіксування досліджуваних зразків та пристрою розрахунку глибини вдавлювання пуансона з двома видами шкал (кругової і вертикальної). Зовнішній вид приладу з позначеннями складових частин представлено на рис. 1. Робота приладу полягає у методі вимірювання глибини вдавлювання металевієї пластини з покриттям в момент його руйнування при вдавлюванні сферичного пуансона. Металева пластинка з покриттям фіксується притискним пристроєм на матриці і піддається поступовій дії пуансона, який вдавлюється у поверхню пластини зі сторони без покриття. Дослідження закінчується коли покриття починає розтріскуватись. Результатом дослідження є глибина вдавлювання, що викликає руйнування покриття. Ця глибина вказана на шкалі пристрою розрахунку глибини вдавлювання пуансона.

Дослідження міцності при ударі фторопластових покриттів виконували з допомогою приладу NOVOTEST УДАР У1-4219-0,5 м. Прилад виготовлено згідно ДСТУ 4219 і відповідає вимогам стандартів.

Конструктивно прилад – це установка, на якій зразок для дослідження зазнає удару, шляхом

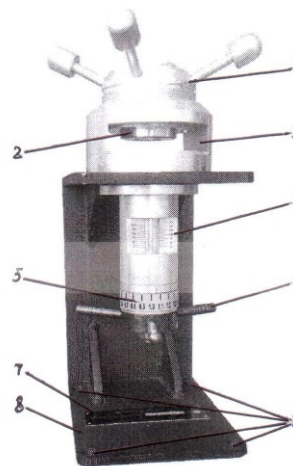


Рис. 1. Штамп Еріксена NOVOTEST SHE-1: 1 – поворотний притискний пристрій; 2 – матриця; 3 – прорізь для зразків; 4 – пристрій розрахунку глибини вдавлювання пуансона (вертикальна шкала); 5 – пристрій розрахунку глибини вдавлювання пуансона (кругова шкала); 6 – кермо; 7 – маркування; 8 – станина; 9 – отвори для фіксування приладу

скидання на нього вантажу. Вантаж скидається всередині труби, на якій по всій довжині виконано розріз для переміщення вантажу. Поздовж розрізу нанесена шкала для визначення висоти скидання. Основа приладу (1) – сталевая трикутна плита товщиною 5 мм з гвинтами-ніжками (4) розміром М5×5мм з відстанню між ними 100 мм, що дозволяють встановлювати ударний пристрій на труби будь-якого діаметру. Прилад можна застосовувати і для плоских поверхонь. Направляюча (3) з шкалою від 0 до 50 см – сталевая труба, що закріплена під прямим кутом до основи, висотою 700 мм, внутрішнім діаметром 60 мм, товщиною стінки 0,5 мм з поздовжнім прорізом 600×5 мм. Вільно падаючий вантаж (7) з постійною масою, рівною ($3 \pm 0,001$) кг, містить в собі: – сталевий стакан зовнішнім діаметром 59 мм, висотою 150 мм, товщиною стінки 1 мм; – сталевий ударник (6) сферичної форми радіусом 12,5 мм закріплений біля основи стакану. Зовнішній вид приладу з позначеними складовими частинами представлено на рис. 2.

Робота приладу основана на методі скидання на досліджуваній зразок вантажу масою $3 \pm 0,001$ кг з певної розрахованої висоти (висота вибирається, виходячи з ударної міцності покриття). Захисне покриття вважають задовільним, якщо після дослідження в 10 точках покриття не зруйновано, тобто при падінні вантажу з висоти в місцях удару немає пошкоджень. Пошкодження визначають візуально або більш точно іскровим дефектоскопом.

Міцність покриття при ударі визначають за формулою:

$$U = mgH, \quad (1)$$

де U – міцність покриття при ударі, Дж; m – маса вантажу, що рівна 3кг; g – прискорення вільного падіння (9.8 м/с^2); H – висота падіння вантажу, м.

Дослідження на стирання фторопластових покриттів виконували з допомогою приладу для випробування матеріалів на стійкість до стирання ДИТ-М. Методика випробування матеріалів на стійкість до стирання з допомогою приладу ДИТ-М була модернізована. Зразок закріплювався в затискному кільці на спеціально виготовленій підставці стороною з покриттям доверху. Автоматичний пристрій для зупинки приладу за умови повного зносу по товщині покриття було вимкнено оскільки щупи шкрябають покриття і були зняті. Випробування на стирання фторопластових покриттів виконували за швидкості стираючих головок 300 хв^{-1} ($5,0 \text{ с}^{-1}$). В якості абразиву використовували сіро шинельне сукно артикул 6405 (ГОСТ 6621-72). Розмір круга абразиву діаметром 25 мм. Зміну абразиву виконували після дослідження кожного зразка покриття. Якщо зразок має високу стійкість до стирання то зміну абразиву виконують після кожних 5 тисяч циклів. Установку досліджуваного зразка з покриттям у затискному кільці виконували за опущеного конусу. Після цього обережно піднімали зразок з затискним кільцем до контакту з абразивом і вмикали прилад (покази лічильника встановлювали на нульову позначку). Через кожних 1 тисячу циклів установку зупиняли і вимірювали товщину покриття. Дослідження припиняли за суттєвого зносу фторопластового покриття: товщина зношеного шару складала більше половини всієї товщини покриття.

Результатом випробування фторопластового покриття за абразивостійкістю є відношення середньої товщини зношеного шару покриття до числа циклів дослідження.

Результати вирішення основних завдань проблеми і їх обговорення

Застосовуючи прилад для визначення адгезії та стійкості покриттів до пошкодження шкрябанням NOVOTEST ЦІ-М, проведені дослідження стійкості покриттів до пошкодження шкрябанням при навантаженні 7 кг (68.6 Н) для тришарових покриттів фторполімеру Ф-30П у яких ґрунтувальний шар містив фторполімер Ф-30П – 72 мас. %, графіт С-1 – 25 мас. %, аміноорганокремнезем на основі аеросилу – 3 мас. %.

Склад проміжного фторполімерного шару відрізняється від ґрунтувального дещо меншою кількістю промоторів адгезії, яких повинно бути достатньо для зчеплення з ґрунтувальним шаром. Крім того, до складу проміжного шару доцільно вводити наповнювачі з високою тепло- та електропровідністю. Це особливо важливо при електростатичному нанесенні фторполімерних покриттів. Склад проміжного фторполімерного шару: фторполімер Ф-30П – 79 мас. %, графіт С-1 – 20 мас. %, аміноорганокремнезем на основі аеросилу – 1 мас. %.

Оплавлення ґрунтувального і проміжного шарів на основі фторполімеру Ф-30П виконували за температури $245\text{--}250^\circ\text{C}$ протягом однієї години.

Оскільки основне завдання нанесення зовнішнього шару фторопластового покриття на основі Ф-30П – підвищення зносостійкості, то до його складу було введено 1–3 мас. % $\text{ZrO}_2 + 3\% \text{ Y}_2\text{O}_3$ (500°C) або 1–3 мас. % $\text{ZrO}_2 + 3\% \text{ Y}_2\text{O}_3$ (700°C) або 1–3 мас. % аморфного гідроксиду цирконію, легованого іонами ітрію

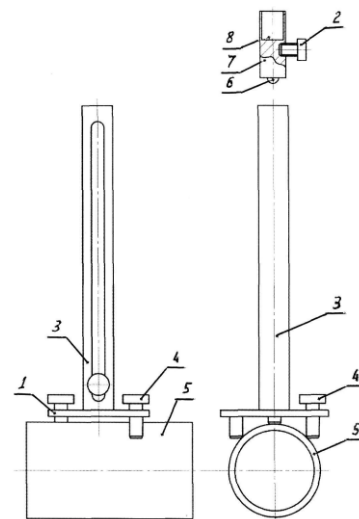


Рис. 2. Прилад ударний NOVOTEST УДАР У1-4219-0,5 м:

1 – основа; 2 – гвинт-рукоятка; 3 – направляюча; 4 – гвинти-ніжки; 5 – труба з досліджуваним покриттям; 6 – сталевий ударник; 7 – вантаж; 8 – підсилювач вантажу

(кількість ітрію в перерахунку на оксиди складає 3 моль %): $Zr(Y)O(OH)_2$ і 17 мас. % графіту C-1, а також 1 мас. % аміноорганокремнезему на основі аеросилу. Масовий вміст графіту C-1 у зовнішньому шарі в порівнянні з проміжним був зменшений від 20 % до 17 % для забезпечення достатньої адгезійної міцності, теплопровідності і електропровідності покриття.

Оплавлення зовнішнього шару тришарового покриття на основі фторполімеру Ф-30П виконували при температурі 228–235 °С протягом двох годин та охолоджували до кімнатної температури зі швидкістю 30–40 °С за годину.

Аналіз отриманих результатів показав, що введення наномодифікаторів оксидів цирконію сприяє інтенсивному структуруванню матриці, оскільки наночастинки можуть створювати ансамблі за типом кластерів. В результаті створюється армована полімерна система, що відрізняється підвищеними міцнісними і триботехнічними характеристиками. Так, стійкість до пошкодження шкрябанням збільшилась для тришарових фторопластових покриттів до складу зовнішнього шару якого входять: а) 17 мас. % графіту C-1 + 1 мас. % аміноорганокремнезему на основі аеросилу + 1 мас. % $ZrO_2 + 3\% Y_2O_3$ (500 °С) у 5,02 разів, б) 17 мас. % графіту C-1 + 1 мас. % аміноорганокремнезему на основі аеросилу + 1 мас. % $ZrO_2 + 3\% Y_2O_3$ (700 °С) у 8,98 разів, в) 17 мас. % графіту C-1 + 1 мас. % аміноорганокремнезему на основі аеросилу + 2 мас. % аморфного гідроксиду цирконію, легованого іонами ітрію (кількість ітрію в перерахунку на оксиди складає 3 моль %): $Zr(Y)O(OH)_2$ у 14,35 разів в порівнянні з немодифікованим фторопластовим покриттям Ф-30 П (рис. 3).

Ефект збільшення адгезійної взаємодії між матрицею фторполімеру та частинками наповнювача реалізується в результаті впливу наночастинок на макромолекули граничного шару і формування мілкосферолітних молекулярних утворень в об'ємі композиту. Частинки наномодифікатора збільшують адгезійну взаємодію полімеру та наповнювача і сприяють підвищенню рухомості структурних елементів фторполімеру [7]. Це полегшує протікання деформаційних процесів та приводить до підвищення міцнісних характеристик композиту. Особливо це проявляється при застосуванні аморфного гідроксиду цирконію, легованого іонами ітрію (кількість ітрію в перерахунку на оксиди складає 3 моль %): $Zr(Y)O(OH)_2$.

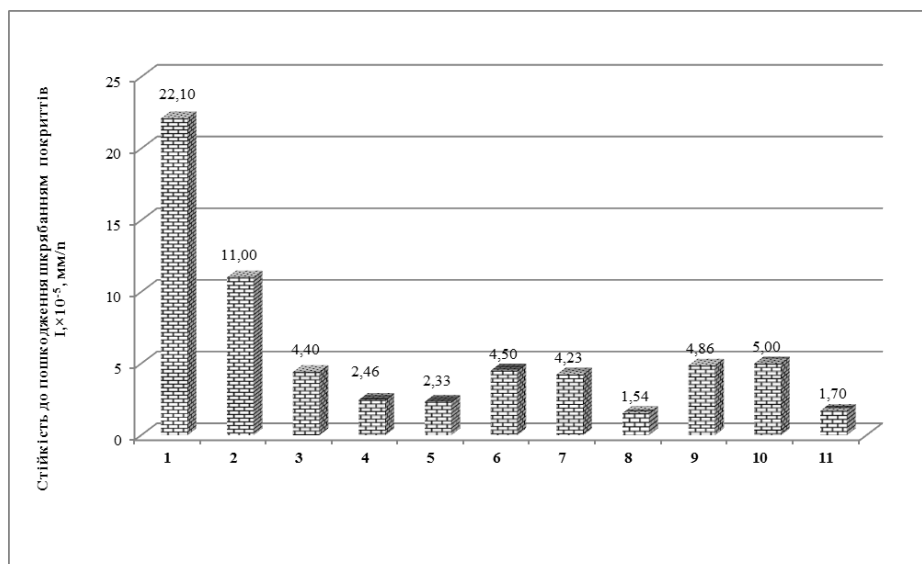


Рис. 3. Гістограма стійкості до пошкодження шкрябанням тришарових фторопластових покриттів на основі Ф-30П, за навантаження на індентор $P = 68,6 \text{ Н}$, n – кількість протягувань до руйнування за таких складів зовнішнього шару: 1 – Фторполімер Ф-30П; 2 – Фторполімер Ф-30П + 17 мас. % графіту C-1; 3 – Фторполімер Ф-30П + 17 мас. % графіту C-1 + 1 мас. % аміноорганокремнезему на основі аеросилу + 1 мас. % $ZrO_2 + 3\% Y_2O_3$ (500 °С); 4 – Фторполімер Ф-30П + 17 мас. % графіту C-1 + 1 мас. % аміноорганокремнезему на основі аеросилу + 1 мас. % $ZrO_2 + 3\% Y_2O_3$ (700 °С); 5 – Фторполімер Ф-30П + 17 мас. % графіту C-1 + 1 мас. % аміноорганокремнезему на основі аеросилу + 1 мас. % аморфного гідроксиду цирконію, легованого іонами ітрію (кількість ітрію в перерахунку на оксиди складає 3 моль %): $Zr(Y)O(OH)_2$; 6 – Фторполімер Ф-30П + 17 мас. % графіту C-1 + 1 мас. % аміноорганокремнезему на основі аеросилу + 2 мас. % $ZrO_2 + 3\% Y_2O_3$ (500 °С); 7 – Фторполімер Ф-30П + 17 мас. % графіту C-1 + 1 мас. % аміноорганокремнезему на основі аеросилу + 2 мас. % $ZrO_2 + 3\% Y_2O_3$ (700 °С); 8 – Фторполімер Ф-30П + 17 мас. % графіту C-1 + 1 мас. % аміноорганокремнезему на основі аеросилу + 2 мас. % аморфного гідроксиду цирконію, легованого іонами ітрію (кількість ітрію в перерахунку на оксиди складає 3 моль %): $Zr(Y)O(OH)_2$; 9 – Фторполімер Ф-30П + 17 мас. % графіту C-1 + 1 мас. % аміноорганокремнезему на основі аеросилу + 3 мас. % $ZrO_2 + 3\% Y_2O_3$ (500 °С); 10 – Фторполімер Ф-30П + 17 мас. % графіту C-1 + 1 мас. % аміноорганокремнезему на основі аеросилу + 3 мас. % $ZrO_2 + 3\% Y_2O_3$ (700 °С); 11 – Фторполімер Ф-30П + 17 мас. % графіту C-1 + 1 мас. % аміноорганокремнезему на основі аеросилу + 3 мас. % аморфного гідроксиду цирконію, легованого іонами ітрію (кількість ітрію в перерахунку на оксиди складає 3 моль %): $Zr(Y)O(OH)_2$.

Дослідження міцності при ударі фторопластових покриттів виконували за допомогою приладу NOVOTEST УДАР У1-4219-0,5 м. Результати досліджень представлені на рис.4.

Дослідження на міцність при ударі тришарових фторопластових покриттів на основі Ф-30П модифікованих нанопорошками оксидів і гідроксиду цирконію показали досить велику ефективність при введенні їх до складу в кількості 1–3 мас. % (рис. 4). Найбільшу міцність при ударі виявили для

тришарового фторопластового покриття до складу зовнішнього шару якого входить 17 мас. % графіту С-1 + 1 мас. % аміноорганокремнезему на основі аеросилу + 2 мас. % аморфного гідроксиду цирконію, легованого іонами ітрію (кількість ітрію в перерахунку на оксиди складає 3 моль %): $Zr(Y)O(OH)_2$ – 13,82 Дж, що у 2,76 разів перевищує міцність при ударі порівнянні з немодифікованим фторопластовим покриттям Ф-30 П.

Визначена оптимальна концентрація наномодифікатора для тришарових фторопластових покриттів на основі Ф-30П – 2 мас. % нанопорошків оксидів і гідроксиду цирконію. При введенні до складу зовнішнього шару тришарового фторопластового покриття на основі Ф-30П 17 мас. % графіту С-1 + 1 мас. % аміноорганокремнезему на основі аеросилу + 2 мас. % $ZrO_2 + 3\% Y_2O_3$ (500 °С) міцність при ударі покриття зростає у 2 рази, а при заміні нанопорошку $ZrO_2 + 3\% Y_2O_3$ (500 °С) на $ZrO_2 + 3\% Y_2O_3$ (700 °С) міцність при ударі покриття зростає у 2,65 рази в порівнянні з немодифікованим фторопластовим покриттям Ф-30 П (рис. 4).

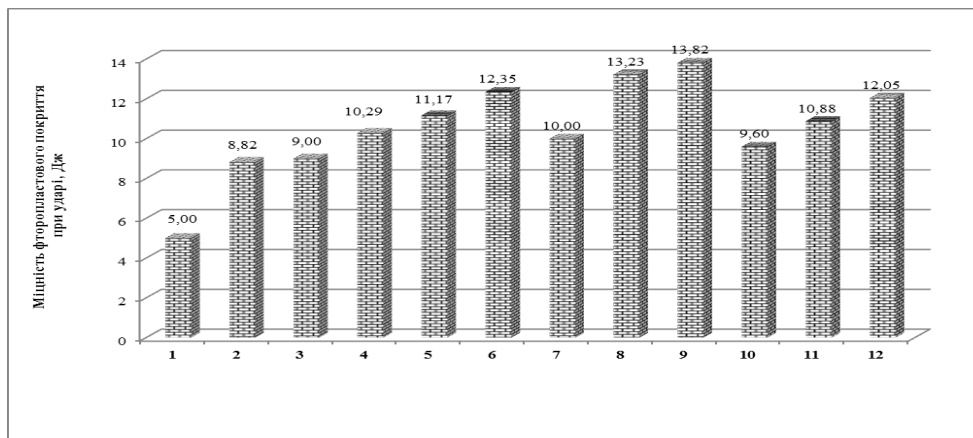


Рис. 4. Гістограма міцності при ударі тришарових фторопластових покриттів на основі Ф-30П за таких складів зовнішнього шару: 1 – Фторполімер Ф-30П; 2 – Фторполімер Ф-30П + 17 мас. % графіту С-1; 3 – Фторполімер Ф-30П + 17 мас. % графіту С-1 + 1 мас. % аміноорганокремнезему на основі аеросилу + 1 мас. % $ZrO_2 + 3\% Y_2O_3$ (500 °С); 4 – Фторполімер Ф-30П + 8 мас. % графіту С-1 + 1 мас. % аміноорганокремнезему на основі аеросилу + 1 мас. % $ZrO_2 + 3\% Y_2O_3$ (700 °С); 5 – Фторполімер Ф-30П + 17 мас. % графіту С-1 + 1 мас. % аміноорганокремнезему на основі аеросилу + 1 мас. % $ZrO_2 + 3\% Y_2O_3$ (700 °С); 6 – Фторполімер Ф-30П + 17 мас. % графіту С-1 + 1 мас. % аміноорганокремнезему на основі аеросилу + 1 мас. % аморфного гідроксиду цирконію, легованого іонами ітрію (кількість ітрію в перерахунку на оксиди складає 3 моль %): $Zr(Y)O(OH)_2$; 7 – Фторполімер Ф-30П + 17 мас. % графіту С-1 + 1 мас. % аміноорганокремнезему на основі аеросилу + 2 мас. % $ZrO_2 + 3\% Y_2O_3$ (500 °С); 8 – Фторполімер Ф-30П + 17 мас. % графіту С-1 + 1 мас. % аміноорганокремнезему на основі аеросилу + 2 мас. % $ZrO_2 + 3\% Y_2O_3$ (700 °С); 9 – Фторполімер Ф-30П + 17 мас. % графіту С-1 + 1 мас. % аміноорганокремнезему на основі аеросилу + 2 мас. % аморфного гідроксиду цирконію, легованого іонами ітрію (кількість ітрію в перерахунку на оксиди складає 3 моль %): $Zr(Y)O(OH)_2$; 10 – Фторполімер Ф-30П + 17 мас. % графіту С-1 + 1 мас. % аміноорганокремнезему на основі аеросилу + 3 мас. % $ZrO_2 + 3\% Y_2O_3$ (500 °С); 11 – Фторполімер Ф-30П + 17 мас. % графіту С-1 + 1 мас. % аміноорганокремнезему на основі аеросилу + 3 мас. % $ZrO_2 + 3\% Y_2O_3$ (700 °С); 12 – Фторполімер Ф-30П + 17 мас. % графіту С-1 + 1 мас. % аміноорганокремнезему на основі аеросилу + 3 мас. % аморфного гідроксиду цирконію, легованого іонами ітрію (кількість ітрію в перерахунку на оксиди складає 3 моль %): $Zr(Y)O(OH)_2$

Дослідження на абразивостійкість фторопластових покриттів виконували з допомогою приладу для випробування матеріалів на стійкість до стирання ДИТ-М.

Результати досліджень представлені на рисунку 5.

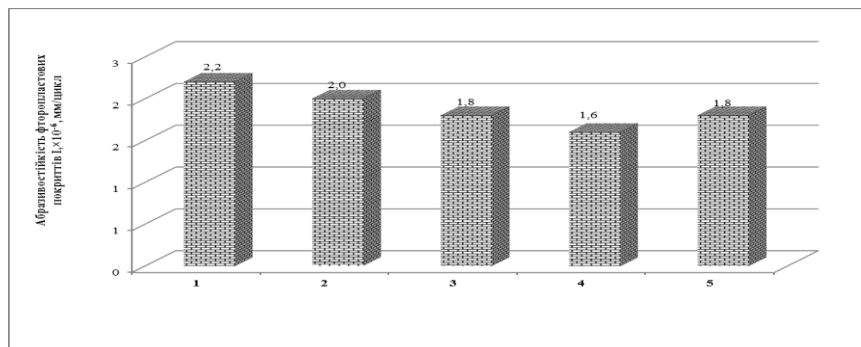


Рис. 5. Гістограма абразивостійкості тришарових фторопластових покриттів на основі Ф-30 П за таких складів зовнішнього шару: 1 – Фторполімер Ф-30П; 2 – Фторполімер Ф-30П + 17 мас. % графіту С-1; 3 – Фторполімер Ф-30П + 17 мас. % графіту С-1 + 1 мас. % аміноорганокремнезему на основі аеросилу + 1 мас. % $ZrO_2 + 3\% Y_2O_3$ (500 °С); 4 – Фторполімер Ф-30П + 17 мас. % графіту С-1 + 1 мас. % аміноорганокремнезему на основі аеросилу + 2 мас. % $ZrO_2 + 3\% Y_2O_3$ (500 °С); 5 – Фторполімер Ф-30П + 17 мас. % графіту С-1 + 1 мас. % аміноорганокремнезему на основі аеросилу + 3 мас. % $ZrO_2 + 3\% Y_2O_3$ (500 °С)

Встановлено, що при введенні до складу зовнішнього шару тришарового фторопластового покриття

на основі Ф-30 П 17 мас. % графіту С-1 + 1 мас. % аміноорганокремнезему на основі аеросилу + 2 мас. % $ZrO_2 + 3\% Y_2O_3$ (500 °C) абразивостійкість покриття зростає у 1,38 разів (рис.5).

Дослідження стійкості фторопластових покриттів до розтягу, розтріскуванню, відшаруванню від металевої поверхні виконували з допомогою штампів Еріксена методом вдавлювання на певну глибину пуансона зі сферичним наконечником. Результати досліджень представлені на рис. 6

Встановлено, що еластичність збільшилась для тришарового фторопластового покриття до складу зовнішнього шару якого входять : а) 17 мас. % графіту С-1 + 1 мас. % аміноорганокремнезему на основі аеросилу + 2 мас. % $ZrO_2 + 3\% Y_2O_3$ (500 °C) у 1,64 рази, б) 17 мас. % графіту С-1 + 1 мас. % аміноорганокремнезему на основі аеросилу + 2 мас. % $ZrO_2 + 3\% Y_2O_3$ (700 °C) у 1,68 разів, в) 17 мас. % графіту С-1 + 1 мас. % аміноорганокремнезему на основі аеросилу + 2 мас. % аморфного гідроксиду цирконію, легованого іонами ітрію (кількість ітрію в перерахунку на оксиди складає 3 моль %): $Zr(Y)O(OH)_2$ у 1,84 рази в порівнянні з немодифікованим фторопластовим покриттям Ф-30 П. (рис. 6).

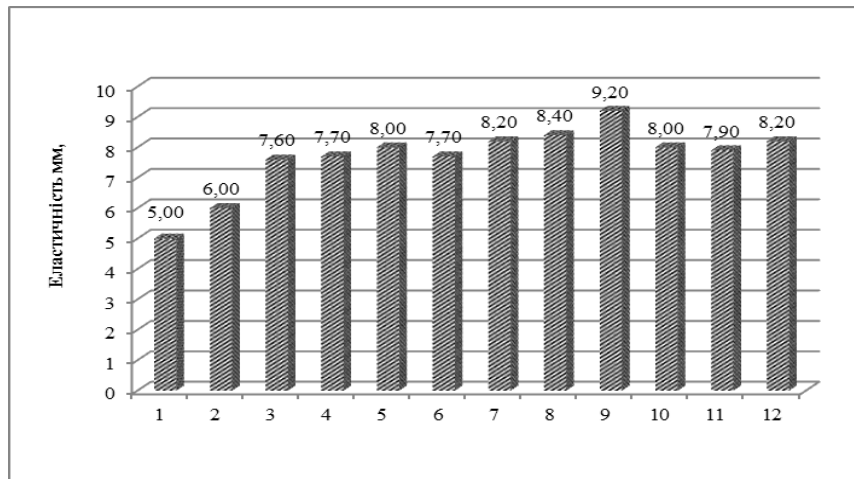


Рис. 6. Гістограма еластичності тришарових фторопластових покриттів на основі Ф-30П за таких складів зовнішнього шару: 1 – Фторполімер Ф-30П; 2 – Фторполімер Ф-30П + 17 мас. % графіту С-1; 3 – Фторполімер Ф-30П + 17 мас. % графіту С-1 + 1 мас. % аміноорганокремнезему на основі аеросилу + 1 мас. % $ZrO_2 + 3\% Y_2O_3$ (500 °C); 4 – Фторполімер Ф-30П + 8 мас. % графіту С-1 + 1 мас. % аміноорганокремнезему на основі аеросилу + 1 мас. % $ZrO_2 + 3\% Y_2O_3$ (700 °C); 5 – Фторполімер Ф-30П + 17 мас. % графіту С-1 + 1 мас. % аміноорганокремнезему на основі аеросилу + 1 мас. % $ZrO_2 + 3\% Y_2O_3$ (700 °C); 6 – Фторполімер Ф-30П + 17 мас. % графіту С-1 + 1 мас. % аміноорганокремнезему на основі аеросилу + 1 мас. % аморфного гідроксиду цирконію, легованого іонами ітрію (кількість ітрію в перерахунку на оксиди складає 3 моль %): $Zr(Y)O(OH)_2$; 7 – Фторполімер Ф-30П + 17 мас. % графіту С-1 + 1 мас. % аміноорганокремнезему на основі аеросилу + 2 мас. % $ZrO_2 + 3\% Y_2O_3$ (500 °C); 8 – Фторполімер Ф-30П + 17 мас. % графіту С-1 + 1 мас. % аміноорганокремнезему на основі аеросилу + 2 мас. % $ZrO_2 + 3\% Y_2O_3$ (700 °C); 9 – Фторполімер Ф-30П + 17 мас. % графіту С-1 + 1 мас. % аміноорганокремнезему на основі аеросилу + 2 мас. % аморфного гідроксиду цирконію, легованого іонами ітрію (кількість ітрію в перерахунку на оксиди складає 3 моль %): $Zr(Y)O(OH)_2$; 10 – Фторполімер Ф-30П + 17 мас. % графіту С-1 + 1 мас. % аміноорганокремнезему на основі аеросилу + 3 мас. % $ZrO_2 + 3\% Y_2O_3$ (500 °C); 11 – Фторполімер Ф-30П + 17 мас. % графіту С-1 + 1 мас. % аміноорганокремнезему на основі аеросилу + 3 мас. % $ZrO_2 + 3\% Y_2O_3$ (700 °C); 12 – Фторполімер Ф-30П + 17 мас. % графіту С-1 + 1 мас. % аміноорганокремнезему на основі аеросилу + 3 мас. % аморфного гідроксиду цирконію, легованого іонами ітрію (кількість ітрію в перерахунку на оксиди складає 3 моль %): $Zr(Y)O(OH)_2$

Механізмом модифікуючої дії наномодифікаторів на структуру фторполімеру Ф-30 П є збільшення густини структурних елементів в результаті формування міжфазних шарів з певним розташуванням на межі розділу полімер – наповнювач. За малих вмістів наповнювача (1–3 мас. %) швидкість кристалізації зростає, а при збільшенні концентрації наповнювача більше 3 мас. % – зменшується в результаті координації частинок одна з одною, збільшення їх розмірів і зниження структурної активності. За вмісту наповнювача від 1 до 3 мас. % відбуваються такі структурні зміни в фторопластовій композиції: утворюються сфероліти спочатку неоднорідні за своїми геометричними параметрами, далі однорідність їх зростає, спостерігається збільшення густини упакування, частинки наповнювача розташовуються в міжелементних об'ємах матриці, координаційно зв'язуються один з одним з утворенням каркасної структури. Зносостійкість матеріалу при цьому зростає, а фізико-механічні характеристики дещо підвищуються або залишаються на рівні вихідного матеріалу. Збільшення вмісту наповнювача від 1 до 3 мас. % в складі фторопластової композиції супроводжується інтенсифікацією в поверхневих шарах деструктивних і структуруючих процесів. В них наповнювач виступає агентом зшивання фрагментів триборозкладу макромолекул. Це і пояснює механізм підвищення зносостійкості композиційних фторопластових матеріалів. Окрім цього, частинки наповнювача приймають участь у формуванні зносостійкого шару композиту з підвищеним опором до контактних деформацій, спостерігається підвищення адгезії плівки переносу до контртіла за рахунок координаційної активності наночастинок [7].

Товщина полімерного шару залежить від часу електроосадження, опору полімерних частинок і напруженості електростатичного поля. Для кожного матеріалу при певній напруженості електричного поля існує гранична товщина шару частинок, що осідають. Це пояснюється накопиченням полімерним шаром

заряду, що компенсує зовнішнє поле. Чим вище напруженість електростатичного поля, тим більший заряд набувають частинки і тим швидше утворюється шар, що перешкоджає подальшому осадженню. З ростом напруженості поля підвищується густина шару та адгезія. Збільшенню густини шару сприяє зниження питомого опору матеріалу і зменшення розмірів частинок полімеру.

До недоліків електростатичного нанесення фторопластових покриттів необхідно віднести те, що при значному підвищенні напруженості поля спостерігається зниження товщини полімерного шару. Це викликано виникненням явища зворотного коронування або процесами розрядки для матеріалів з високою електропровідністю. Також суттєвий вплив має вологість навколишнього повітря. Так, збільшення відносної вологості повітря на 15 % приводить до зменшення кількості матеріалу, що осідає більш ніж в 2 рази.

Тому перший ґрунтувальний шар наносили при напруженості електростатичного поля в 50 кВ, а для наступних шарів напруженість збільшували до 60–70 кВ.

Запропоновані фторполімерні покриття дають можливість продовжити термін експлуатації технологічного обладнання, замінити нержавіючу сталь і кольорові метали на вуглецеву сталь, вартість якої значно менша. При цьому підвищується якість продукції, рентабельність виробництва і збільшується термін використання технологічного інвентарю та оснащення.

Висновки

1. Встановлено, що введення наномодифікаторів оксидів цирконію сприяє інтенсивному структуруванню матриці, оскільки наночастинки можуть створювати ансамблі за типом кластерів. В результаті створюється армована полімерна система, що відрізняється підвищеними міцнісними і триботехнічними характеристиками. Так, стійкість до пошкодження шкрябанням збільшилась для тришарових фторопластових покриттів до складу зовнішнього шару якого входять: а) 17 мас. % графіту C-1 + 1 мас. % аміноорганокремнезему на основі аеросилу + 1 мас. % $ZrO_2 + 3\% Y_2O_3$ (500 °C) у 5,02 разів, б) 17 мас. % графіту C-1 + 1 мас. % аміноорганокремнезему на основі аеросилу + 1 мас. % $ZrO_2 + 3\% Y_2O_3$ (700 °C) у 8,98 разів, в) 17 мас. % графіту C-1 + 1 мас. % аміноорганокремнезему на основі аеросилу + 2 мас. % аморфного гідроксиду цирконію, легованого іонами ітрію (кількість ітрію в перерахунку на оксиди складає 3 моль %): $Zr(Y)O(OH)_2$ у 14,35 разів в порівнянні з немодифікованим фторопластовим покриттям Ф-30 П.

2. Наномодифікатори оксидів цирконію сприяють покращенню еластичності і міцності при ударі розроблених фторопластових покриттів. Так, еластичність збільшилась для тришарового фторопластового покриття до складу зовнішнього шару якого входять : а) 17 мас. % графіту C-1 + 1 мас. % аміноорганокремнезему на основі аеросилу + 2 мас. % $ZrO_2 + 3\% Y_2O_3$ (500 °C) у 1,64 рази, б) 17 мас. % графіту C-1 + 1 мас. % аміноорганокремнезему на основі аеросилу + 2 мас. % $ZrO_2 + 3\% Y_2O_3$ (700 °C) у 1,68 разів, в) 17 мас. % графіту C-1 + 1 мас. % аміноорганокремнезему на основі аеросилу + 2 мас. % аморфного гідроксиду цирконію, легованого іонами ітрію (кількість ітрію в перерахунку на оксиди складає 3 моль %): $Zr(Y)O(OH)_2$ у 1,84 рази в порівнянні з не модифікованим фторопластовим покриттям Ф-30 П. Встановлено, що найбільша міцність при ударі характерна для тришарового фторопластового покриття до складу зовнішнього шару якого входить 17 мас. % графіту C-1 + 1 мас. % аміноорганокремнезему на основі аеросилу + 2 мас. % аморфного гідроксиду цирконію, легованого іонами ітрію (кількість ітрію в перерахунку на оксиди складає 3 моль %): $Zr(Y)O(OH)_2$ – 13,82 Дж, що у 2,76 разів перевищує міцність при ударі в порівнянні з немодифікованим фторопластовим покриттям Ф-30 П.

3. Дослідження на стійкість до стирання розроблених фторопластових покриттів показали, що при введенні до складу зовнішнього шару тришарового фторопластового покриття на основі Ф-30 П 17 мас. % графіту C-1 + 1 мас. % аміноорганокремнезему на основі аеросилу + 2 мас. % $ZrO_2 + 3\% Y_2O_3$ (500) °C абразивостійкість покриття зростає у 1,38 разів.

4. Розроблена технологія електростатичного нанесення наномодифікованого фторопластового покриття на металеву поверхню: перший ґрунтувальний шар необхідно наносити при напруженості електростатичного поля в 50 кВ, а для наступних шарів напруженість збільшувати до 60–70 кВ.

5. Запропоновані фторопластові покриття дають можливість продовжити термін експлуатації технологічного обладнання, підвищити якість продукції, рентабельність виробництва і збільшити термін використання технологічного інвентарю та оснащення.

Література

1. Sina Ebnesajjad. Fluoroplastics Volume 1: Non-Melt Processible Fluoropolymers. The Definitive User's Guide and Data Book. Second Edition. 2015. 698 p.
2. Sina Ebnesajjad. Fluoroplastics Volume 2: Melt Processible Fluoropolymers. The Definitive User's Guide and Data Book. Second Edition. 2016. 745 p.
3. Олександренко В. П. Вплив складу і технологічних факторів на адгезійну міцність фторопластових покриттів до металевих поверхонь / В. П. Олександренко, В. П. Свідерський, Л. М. Кириченко, В. В. Єфіменко // Вісник Хмельницького національного університету: Технічні науки . – 2021. – № 5. – С. 45–51. – DOI 10.31891/2307-5732-2021-301-5-45-51, ISSN 2307-5732
4. Пат. № 112246 Україна, МПК C09D 127/00. Антиадгезійне, зносостійке покриття / Свідерський В. П., Кириченко Л. М., заявник і патентовласник Хмельницький національний університет, заявка у 2016 05670 від 26.05.2016, опубл. 12.12.2016, Бюл. № 23, 5 с.

5. Sina Ebnesajjad and Pradip R. Khaladkar. Fluoropolymer Applications in the Chemical Processing Industries The Definitive User's Guide and Handbook A volume in Plastics Design Library. 2017. 436 p.
6. Berladir K. V., Budnik O. A., Dyadyura K. A., Svidersky V. A., Kravchenko Ya. O. Physicochemical principles of polymer composite materials technology based on polytetrafluoroethylene. High Temperature Material Processes. 2016. № 20 (2). P. 157–184.
7. Dykha A., Svidersky V., Danilenko I., Bilichenko V., Kukurudzyak Yu., Kirichenko L. et. al. (2020). Design and study of nanomodified composite fluoropolymer materials for tribotechnical purposes. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 5(12-107), pp. 38-48, doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.205779>
8. Yan Y., Jia Z., Yang Y. Preparation and mechanical properties of PTFE/nano-EG composites reinforced with nanoparticles. Procedia Environmental Sciences. 2011. V. 10. P. 929-935.
9. Пат. № 81966 Україна, МПК (2006) : C01G 25/00, C04B 35/48, F26B 3/32, F26B 5/04. Процес одержання порошків оксидів / Т. Є. Констатінова, М. П. Пилипенко, В. І. Алексєєнко, І. А. Даніленко ; заявник і патентовласник Донецький фізико-технічний інститут ім. О.О. Галкіна НАН України. – № 200601880 ; заявл. 21.02.2006, опубл. 25.02.2008, Бюл. № 10. – 24 с.
10. Наукові основи розробки полімерних композиційних матеріалів триботехнічного призначення на основі політетрафторетилену : монографія / Х. В. Берладір, О. А. Будник, К. О. Дядюра та ін. ; за заг. ред. К. О. Дядюри. – Суми : Сумський державний університет, 2017. – 176 с.

References

1. Sina Ebnesajjad. Fluoroplastics Volume 1: Non-Melt Processible Fluoropolymers. The Definitive Users Guide and Data Book. Second Edition. 2015. 698 p.
2. Sina Ebnesajjad. Fluoroplastics Volume 2: Melt Processible Fluoropolymers. The Definitive Users Guide and Data Book. Second Edition. 2016. 745 p.
3. Oleksandrenko V. P. Vplyv skladu i tekhnolohichnykh faktoriv na adheziinu mitsnist ftoroplastovykh pokryttiv do metalevykh poverkhon / V. P. Oleksandrenko, V. P. Sviderskyi, L. M. Kyrychenko, V. V. Yefimenko // Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu: Tekhnichni nauky . – 2021. – № 5. – S. 45–51. – DOI 10.31891/2307-5732-2021-301-5-45-51, ISSN 2307-5732
4. Пат. № 112246 Україна, МПК S09D 127/00. Antyadheziine, znosostiike pokryttia / Sviderskyi V. P., Kyrychenko L. M., zaiavnyk i patentovlasnyk Khmelnytskyi natsionalnyi universytet, zaiavka u 2016 05670 vid 26.05.2016, opubl. 12.12.2016, Biul. № 23, 5 s.
5. Sina Ebnesajjad and Pradip R. Khaladkar. Fluoropolymer Applications in the Chemical Processing Industries The Definitive Users Guide and Handbook A volume in Plastics Design Library. 2017. 436 p.
6. Berladir K. V., Budnik O. A., Dyadyura K. A., Svidersky V. A., Kravchenko Ya. O. Physicochemical principles of polymer composite materials technology based on polytetrafluoroethylene. High Temperature Material Processes. 2016. № 20 (2). P. 157–184.
7. Dykha A., Svidersky V., Danilenko I., Bilichenko V., Kukurudzyak Yu., Kirichenko L. et. al. (2020). Design and study of nanomodified composite fluoropolymer materials for tribotechnical purposes. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 5(12-107), pp. 38-48, doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.205779>
8. Yan Y., Jia Z., Yang Y. Preparation and mechanical properties of PTFE/nano-EG composites reinforced with nanoparticles. Procedia Environmental Sciences. 2011. V. 10. P. 929-935.
9. Пат. № 81966 Україна, МПК (2006) : S01G 25/00, C04B 35/48, F26B 3/32, F26B 5/04. Protsees oderzhannia poroshkiv oksydiv / Т. Ye. Konstantinova, М. P. Pylypenko, V. I. Aliksieienko, І. А. Danilenko ; zaiavnyk i patentovlasnyk Donetskyy fizyko-tekhnichnyi instytut im. O.O. Halkina NAN Ukrainy. – № 200601880 ; zaiavl. 21.02.2006, opubl. 25.02.2008, Biul. № 10. – 24 s.
10. Naukovi osnovy rozrobky polimernykh kompozytsiynykh materialiv trybotekhnichnoho pryznachennia na osnovi politetraforetylenu : monohrafiia / Kh. V. Berladir, O. A. Budnyk, K. O. Diadiura ta in. ; za zah. red. K. O. Diadiury. – Sumy : Sumskyyi derzhavnyi universytet, 2017. – 176 s.

ПАВЛЮК Анна

Київський національний університет технологій та дизайну

e-mail: anna.pavlyuk17@gmail.com

КЕРНЕСІ Вікторія

Київський національний університет технологій та дизайну

<https://orcid.org/0000-0003-0572-4107>e-mail: kievfoot@ukr.net

ВИКОРИСТАННЯ ЦИФРОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ В ДИЗАЙНІ ЖІНОЧОГО КОСТЮМУ

В сучасних і динамічних умовах життя мегаполісу бізнес набуває оберти переформатування, оскільки військові події в Україні та пандемія перевели моду на новий рівень розвитку та функціонування для підтримання конкурентоспроможності виробників та задля задоволення споживачів. Для постійного оновлення асортименту підприємствам доводиться швидко реагувати на зміни ринку, тенденції в моді та розвиток інновацій в галузі комп'ютерної техніки і програмного забезпечення, адже зараз більшість сфер діяльності людини перейшла в цифровий формат. Для підвищення ефективності бізнесу і конкурентоспроможності продукції конкретного виробника велике значення має правильно організована і спланована конструкторсько-технологічна підготовка виробництва із застосуванням автоматизованого проектування САПР.

В статті досліджено, проаналізовано та надано порівняння можливостей використання сучасних програмних продуктів, а саме програм для візуалізації виробів індустрії моди на віртуальному манекені. Розглянуто такі програми, як CLO3D, Browzwear, «Електронний манекен», Marvelous Designer, OptiTex 11, Vidya Assyst. Продемонстровано можливості програми CLO3D та виконано порівняння віртуального виробу та вже відшитого готового зразка.

Визначено, що програми CLO3D, Browzwear, «Електронний манекен» призначені для візуалізації виробів та організації роботи на підприємствах, адже можливість друку лекал дає велику перевагу в автоматизації виробництва, вони мають широкий вибір матеріалів та спектр функцій для оптимізації роботи на виробництві. Програми, такі як, Marvelous Designer, Vidya Assyst призначені для маркетингових цілей, створення анімації та для презентації виробу. Дійшли висновку, що програма OptiTex 11 має недостатню реалістичність виконання 3D виробів через нестачу різноманіття матеріалів та має застарілий інтерфейс. Доведено теоретико-практичним шляхом доцільність даної розробки.

Ключові слова: віртуальний манекен, візуалізація виробу, 3D технології, 3D моделювання, CLO3D, Browzwear, «Електронний манекен», Marvelous Designer, OptiTex 11, Vidya Assyst.

PAVLIUK Anna, KERNESH Victoria
National University of Technology and Design

USE OF DIGITAL TECHNOLOGIES IN WOMEN'S DRESS DESIGN

In the modern and dynamic life conditions of the metropolis, business is gaining momentum of reformatting, as the military events in Ukraine and the pandemic have brought fashion to a new level of development and functioning to maintain the competitiveness of manufacturers and to satisfy consumers. In order to constantly update the assortment, companies have to quickly respond to market changes, fashion trends and the development of innovations in the field of computer technology and software, because now most areas of human activity have gone digital. Properly organized and planned design and technological preparation of production using automated CAD design is of great importance to increase business efficiency and competitiveness of a specific manufacturer's products. The article researched, analyzed and provided a comparison of the possibilities of using modern software products, namely programs for visualizing products of the fashion industry on a virtual mannequin. Such programs as CLO3D, Browzwear, "Electronic Mannequin", Marvelous Designer, OptiTex 11, Vidya Assyst were demonstrated and a comparison of the virtual product and the finished sample was made. It was determined that the programs CLO3D, Browzwear, "Electronic mannequin" are intended for visualization of products and organization of work at enterprises, because the possibility of printing patterns gives a great advantage in the automation of production, they have a wide selection of materials and a range of functions to optimize work in production. Programs like Marvelous Designer, Vidya Assyst are for marketing purposes, animation creation and product presentation. We came to the conclusion that the OptiTex 11 program has insufficient realism in the execution of 3D products due to the lack of variety of materials and has an outdated interface. The expediency of this development has been proven in a theoretical and practical way.

Key words: virtual mannequin, product visualization, 3D technologies, 3D modeling, CLO3D, Browzwear, "Electronic mannequin", Marvelous Designer, OptiTex 11, Vidya Assyst.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

Конкуренція і споживчий попит на ринку товарів і послуг індустрії моди визначаються під впливом змін вподобань споживача. Обмеження в роботі бізнесу різного рівня спричинені COVID-19 та війною в Україні, продукували інтенсивний соціокультурний розвиток і віртуально-виробничий розвиток індустрії моди, які, як наслідок, зумовили появу інноваційних технологій та методів управління виробництвом, а також змінили поведінку споживача.

За нинішнього сценарію індустрія моди переживає переломний момент. Нарощування темпів розвитку та ефективної роботи галузі залежить від впровадження цифрових технологій, таких як мобільний Інтернет, передова аналітика, віртуальна та доповнена реальність, передова робототехніка, штучний

інтелект тощо. Це глибоко змінює свідомість людей, адаптує галузь і готує основу для вирішального етапу впровадження цифрових технологій як основи виробництва. Відповідно, цифрові технології в поєднанні з гаджетами є безумовною перевагою компаній, які працюють з новими технологіями, адже вони мають більший контакт із споживачами, їм простіше донести свій продукт до потенційного покупця [1].

В класичному варіанті розробка ескізів колекції жіночого костюму виконувалась дизайнером вручну на папері, пізніше для ефективності роботи на підприємствах стали використовувати прості графічні редактори Adobe Photoshop, Adobe Illustrator, CorelDRAW та ін. [2]. Сьогодні, з розвитком цифрових технологій, тривимірна графіка має велику перевагу у порівнянні з класичним форматом роботи, оскільки кінцевий результат в програмі для візуалізації виробу, буде представлено максимально реалістично. Крім того, за допомогою програмного забезпечення можна коригувати і візуалізувати правильність виготовлення лекал, здійснити підбір кольору і фактури матеріалу поєднуючи на віртуальному манекені рухи тіла людини та тканини.

Сучасні технічні можливості додають виробникам нових викликів, спрямовують їх на розвиток і переоснащення виробництв в цілому, тому сучасний бізнес дедалі більше звертає увагу на сучасні 3D програми і їх технічні можливості у виготовленні одягу, адже тепер немає необхідності виконувати ескізи, технічні рисунки та креслення на папері, робота спрощена і доведена до автоматизації. З появою 3D технологій сфера індустрії моди отримала нові можливості у створенні форми костюму, представленні колекцій та у використанні віртуального одягу. Тепер час від виникнення ідеї до її втілення в матеріалі і реалізації продукту значно скорочується. Тому в даній розробці при проектуванні жіночого костюму було використано віртуальне моделювання одягу на 3D манекені, обрані оптимальні конструктивні та композиційні рішення, відповідно до концепції створення колекції для подальшої апробації на виробництві.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Віртуальна мода, цифрова мода, 3D візуалізація, діджиталізація – це новомодні слова, які до недавнього часу мало що значили в індустрії моди та світі загалом. Зараз же це сталий тренд та запорука успіху в багатьох галузях, які використовують в своїй роботі сучасні технології та програмні продукти.

Світові бренди дедалі більше випускають цифровий одяг та звертаються до комп'ютерних технологій, задля проектування виробів індустрії моди. По-перше, це зручність для компаній та розвиток соціальних мереж без яких зараз неможливо уявити сучасне життя. По-друге, це шлях до збереження матеріальних ресурсів і екологічності в цілому. Індустрія моди одна з багатьох галузей, яка засмічує планету надмірною кількістю речей, що виробляє та відходів виробництва [3].

Аналізуючи останні дослідження та публікації можна зазначити, що на сьогодні існує безліч компаній які пропонують 3D моделювання, наприклад Browzwear. Вона розробила програми, кожна з яких відповідає за конкретну частину роботи. Наприклад, програма Vstitcher для створення одягу з заданими параметрами фігури, дає можливість використовувати якісний рендер для візуалізації виробів. Викрійки можливо перенести в 3D формат, де буде продемонстровано різноманітні варіації роботи від фізичних властивостей тканини до припусків, шарів, аксесуарів тощо. Також значною перевагою є створення цифрової специфікації, що дає можливість кожному члену команди отримати всю необхідну інформацію про виріб. Програма Stylezone дає можливість ефективно управляти колекціями від дизайну до виробництва задля скорочення відходів, зменшення часу на виготовлення виробу та збільшення прибутку. Для створення дизайну і нових стилів з безкінечним різноманіттям тканин, фурнітури, кольорової палітри та багато іншого програма Lotta. Можлива демонстрація в 3D форматі, синхронізація з програмами Photoshop Adobe Illustrator, що дає можливість приміряти виготовлені логотипи, рисунки та інше в 3D форматі. Fabric Analyzer дозволяє проаналізувати властивості матеріалу, товщину, вигин тканини та інше і автоматично загрузити ці дані в Vstitcher або інші 3D програми [4, 5].

Marvelous Designer (від розробників CLO3D) – також програма для створення віртуального одягу на манекенах, але у більш спрощеному вигляді, адже програма не зовсім підходить для швейного виробництва, вона не має можливості друкувати лекала, що є необхідним для оптимізації виробничого процесу. Але ця програма дозволяє дизайнеру відтворити одяг будь-якої складності, реалістично симулювати тканину, дає можливість створювати принти та логотипи на речах [6].

«Електронний манекен» – це програма, яка є частиною великого комплексу САПРу Julivi. Дана програма надає можливість віртуальної примірки виробу, але працює вона лише з додатковим модулем «Конструктор», в якому спочатку створюються лекала, і лише після їх перевірки в модулі «Електронний манекен» на правильність посадки, правильність побудови та інші характеристики дає можливість оцінити баланс виробу, формування складок тощо. Лекала зшиваються між собою, як і в попередніх програмах, для примірки на манекені. Програма дозволяє на віртуальному манекені відобразити тиск тканини на людину, оцінити комфортність виробу при носінні. Ця функція схожа до примірки на справжній людині, але з підвищеною точністю, що мінімізує помилки і похибки пошиття виробу партіями [7].

Виробник Assyst створив програмне забезпечення Vidya Assyst, яке забезпечує реалістичну 3D візуалізацію виробів. Як і в інших програмах можливе реалістичне переформатування чи оцифровка лекал в 3D модель, які можливо змінювати і коригувати в процесі моделювання. Можливість створення аватара під свої задані параметри індивідуальної або типової фігури. Зображення драпіровок, складок в залежності від натягу тканини. Створення та редагування принтів, імітація швів, обтачок. Можливе створення аплікацій, гудзиків, петель та інших частин виробу. Матеріал можливо змінювати по текстурі, кольору, структурі.

Кінцева презентація моделі може бути оформлена згідно власного дизайну, тобто задати напрям світла, створити власний фон та інше [8].

Багато розробок у сфері цифрової моди розроблено за останні роки, багато науковців і зараз працюють над удосконаленням технологій діджиталізації, серед яких К. Пашкевич, М. Колосніченко [4], С. Березненко, С. Донченко, Н. Чупріна, Н. Остапенко [9], О. Захаркевич [2] та інші. Проте використання не стандартних колористичних, конструктивних та технологічних рішень, для візуалізації та презентації одягу щодо виготовлення і оздоблення виробів та організації роботи на швейному підприємстві на даний час потребує подальшого дослідження, зокрема в індустрії моди, що обумовлює доцільність і актуальність даного дослідження. Створення одягу в цифровому форматі з використанням різних програм для представників fashion-індустрії, які підтримують напрям усвідомлене споживання, ті, хто активно цікавляться технологічними новинками та стежать за трендами у діджитал, який можна опублікувати в Instagram та інших місцях або займаються творчістю, дедалі стає все більш популярним напрямом [10].

Формулювання цілей статті

Метою даної наукової роботи є розробка дизайну колекції жіночого костюму з використанням вишивки на основі особливостей роботи інтерфейсу програми *CLO3D* для 3D візуалізації виробів швейної галузі на віртуальних манекенах для подальшого впровадження у виробництво.

Виклад основного матеріалу

Світові бренди зараз стрімко розвиваються у створенні віртуального одягу, або організацією віртуального показу моделей. І в цьому є як позитивні, так і негативні сторони, а саме: віртуальні покази забезпечують безпеку для людей, тому що не дає розповсюдженню вірусу; покази стають доступними для більшої аудиторії, але це не завжди добре для брендів, адже деякі з них є ексклюзивними, і недоступність для усіх людей – це їх перевага. Також віртуальні покази дають можливість дизайнерам зробити більш цікавий сценарій, але і багато хто говорить, що тепер шоу стають менш емоційними, ніж коли були на фізичному рівні [11].

В нашому сьогоденні можливо майже все, тепер не потрібно робити лекала, десятки разів їх перевіряти, відшиваючи виріб, робити примірки, сумніватися в правильному виборі кольору, фасону тощо. Тепер все можливо робити в автоматизованому режимі за допомогою однієї людини. На підприємстві дана особа може виконати роботу дизайнера, конструктора, швачки. За допомогою програм 3D проектування виробів на віртуальних манекенах можна розробити дизайн виробу, оцінити посадку та вибрати припуски на вільне облягання, змінювати колір, тканину виробу та приміряти на віртуальній фігурі змінюючи параметри. Функція показу тиску дає можливість оцінити на фігурі комфорт та ергономічні показники виробу на людині.

Проаналізувавши програми для 3D візуалізації виробів швейної галузі можна сказати, що всі вони схожі, але є і відмінності. Як приклад, програми *CLO3D*, *Browzwear*, «Електронний манекен» – програми, які не лише візуалізують в 3D майбутній виріб, а й допоможуть організувати роботу на швейному підприємстві. На відміну від решти програм, ці програми мають можливість зберігати файли в форматі *dxl* для подальшої роботи над лекалами в інших САПР та велика перевага виводити лекала на друк. Програми *Vidya Assyst*, *Marvelous Designer*, *OptiTex 11* мають більш простий функціонал програми. *Marvelous Designer* найбільш підійде для дизайнерів комп'ютерних ігор, адже це буде ідеальна програма для візуалізації виробів різної складності в 3D. *OptiTex 11* має простішу візуалізацію виробів на 3D манекені, що не дає повної реалістичності спроектованого виробу. Серед розглянутих нами програмах, *CLO3D* має найбільший вибір в бібліотеці матеріалів, а отже, більшу реалістичність зображуваних моделей.

Ідея створення колекції «Відтінки сафарі» з використанням електронного манекену була натхнена Ів Сен Лораном, коли в 1966 році, яку він започаткував як новий стиль в моді – сафарі. Для процесу розробки та виготовлення однієї моделі сукні жіночої була використана програма *CLO3D*. Але оскільки має бути не лише комфортний одяг, але й вишуканий, розробникам прийшла ідея поєднати не поєднуване, а саме стиль сафарі з витонченою вишивкою *Couture*. Ця колекція створена насамперед для жінок середнього віку, які цінують комфорт, але бажають виглядати вишукано. Кожна жінка незалежно від типу фігури знайде в даній колекції варіант одягу для себе. В роботі використали градацію всіх природних відтінків від коричневого до світло-бежевого. Переважно використовували тканини на натуральній основі. Динамічність образів обумовлює те, що напівприлеглі силуети, які не сковують рухи, але при цьому підкреслюють жіночність. Вишивка, яка об'єднує всі костюми, являється тим меседжем, яким автори розробки хотіли донести те, що люди у повсякденному житті втратили відчуття прекрасного і перейшли на більш прості речі, а ми наполягаємо, що це можна поєднати. На рис.1 представлений moodboard колекції «Відтінки сафарі». На рисунку 2 представлені ескізи жіночої колекції виробів «Відтінки сафарі» з елементами вишивки.

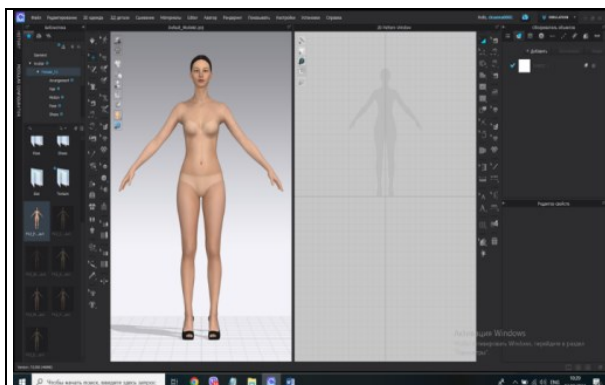
Після розробки джерела натхнення візуалізуємо майбутній виріб в програмному середовищі *CLO3D* (рис. 3). Починається візуалізація з папки *Avatar*, в якій ми можемо обрати необхідного аватара. Манекену можливо змінювати зовнішність, фігуру, параметри, зачіски, взуття та інше. Ми додали аватара, який відобразився в 3D та 2D вікні.



Рис. 1. Moodboard колекції «Відтинки сафарі»



Рис. 2. Ескізи жіночого колекції «Відтинки сафарі» з елементами вишивки



Щоб почати працювати з лекалами та безпосередньо з майбутнім виробом, ми можемо експортувати вже готові лекала з іншої програми, або ж створити нові в CLO3D в 2D вікні за допомогою функції Полігон:

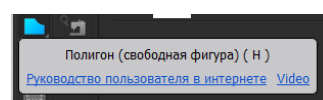


Рис. 3. Процес розробки сукні жіночої в програмному середовищі CLO3D

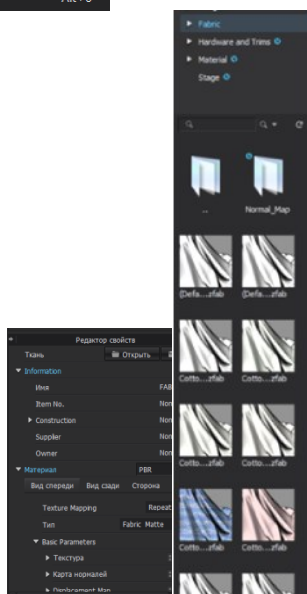
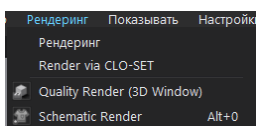
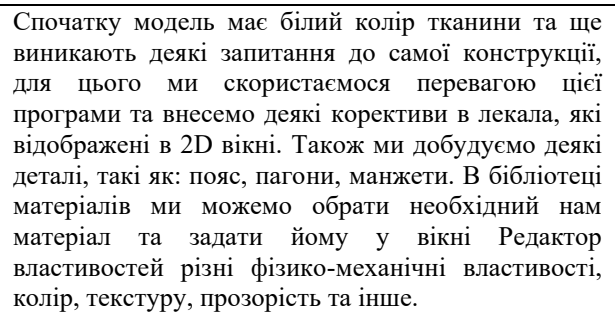
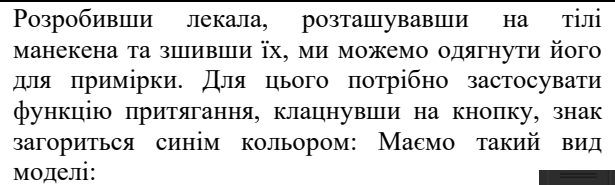
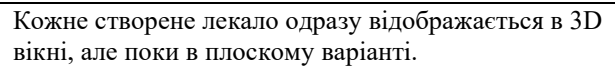


Рис. 3. Процес розробки сукні жіночої в програмному середовищі CLO3D (продовження)


	<p>Завершальним етапом проектування є Рендер – це функція за допомогою якої можливо побачити та отримати зображення у гарній якості та у більш реалістичному виді. Увімкнувши Рендерінг маємо результат (рис.4):</p>
---	--

Рис. 3. Процес розробки сукні жіночої в програмному середовищі CLO3D (продовження)

Для порівняння результатів роботи на рисунках подано візуалізацію об'єктів цифрової розробки (рис. 4) та реально виготовленої моделі жіночої сукні (рис. 5).



Рис. 4. Віртуальна модель сукні жіночої розробленої в програмі CLO3D



Рис. 5. Готовий виріб

Висновки

Проведено аналіз програм для 3D візуалізації виробів на віртуальних манекенах. Розглянуто, проаналізовано та виконано порівняння програм CLO3D, «Електронний манекен», Browzwear, Marvelous Designer, OptiTex 11 та Vidya Assyst в швейній галузі.

Аналіз інформації показав, що CLO3D, Browzwear та «Електронний манекен» – це програми, які мають широкі можливості та функціонал у створенні 3D моделей, ці програми призначені для великих підприємств задля оптимізації, автоматизації виробництва, для економії часу на виготовлення виробу. Програми мають великий спектр можливостей для розробки віртуальних виробів та виведення на друк лекал. Програми Marvelous Designer, OptiTex 11 та Vidya Assyst є також програмами з достатніми технічними можливостями для 3D візуалізації виробів, але в сегменті анімаційних видів робіт. Програма OptiTex 11 є більш застарілою та має не досконалу бібліотеку матеріалів, що заважає в повній мірі показати всю реалістичність віртуального виробу. Програма Vidya Assyst створена більше для маркетингових цілей. В даній програмі можна створювати колекції, робити анімації для презентаційних каталогів, але не для організації виробництва.

Для наочності результатів дослідження розроблено 3D модель у програмі CLO3D і проведено порівняння віртуальної моделі з реальним зразком виробу. Зрозуміло, що дана програма досить реалістично

відображає виріб. Попрацювавши в цій програмі, можна зазначити, що вона проста у використанні та має широкий спектр функцій для проектування виробу.

Отже, підсумовуючи можна зазначити, що багато підприємств вважає витрачені кошти на купівлю коштовних програм не виправданими витратами. Але варто задуматися над тим, скільки виробники витрачають коштів на виготовлення експериментальних зразків, часу на оцінку якості посадки виробу. Ці програми дозволяють процес пришвидшити і до того ж допомагають організувати роботу колективу та призводять до економії коштів і часу на виготовлення продукту. Вважаємо, що переваги програм для швейного виробництва очевидні. Зручніше в онлайн режимі коригувати лекала одразу, в 3D вікні бачити посадку на фігурі і роздрукувати лекала, що є більш прогресивним методом ведення робіт блоку конструкторсько-технологічної підготовки виробництва у порівнянні з ручним процесом розробки та коригування лекал в експериментальному цеху.

Література

1. Statista (2020a). Digital Economy Compass 2020. URL: <https://www.statista.com/study/83121/digital-economy-compass/>
2. Захаркевич О. В. Практикум з комп'ютерного проектування одягу : навч. посіб. / О. В. Захаркевич, С. Г. Кулешова, О. М. Домбровська. – Хмельницький : ХНУ, 2016. – 311 с. – URL: <https://tksv.khmn.edu.ua/metod/2019/okd.pdf>
3. «Діджиталізація, сталість та інклюзивність»: що потрібно знати про моду майбутнього. URL: <https://folga.com.ua/ua/articles/didzitalizaciya-ustoicivost-i-inklyuzivnost-cto-nuzno-znat-o-mode-budushhego> (дата звернення: 22.09.2022).
4. Пашкевич К. Можливості сучасних програм для візуалізації одягу / К. Пашкевич, М. Колосніченко, О. Хівріна, Н. Дячук // Актуальні проблеми сучасного дизайну : збірник матеріалів III Міжнародної науково-практичної конференції, м. Київ, 22 квітня 2021 року : в 2-х т. Т. 1. – Київ : КНУТД, 2021. – С. 298-301. – URL: <https://er.knutd.edu.ua/handle/123456789/17974>
5. Browzwear's 3D fashion design software. URL : <https://browzwear.com/> (дата звернення 23.09.2022).
6. MARVELOUS DESIGNER. URL: <https://www.marvelousdesigner.com/> (дата звернення: 25.09.2022).
7. Электронный манекен. Программа для надевания модели на 3D-манекен. Интерактивный режим работы параллельно в окне манекена и окне лекал. URL: <https://julivi.com/3d-%D0%BC%D0%BE%D0%B4%D1%83%D0%BB%D1%8C.html> (дата звернення: 25.09.2022).
8. VIDYA реальность в 3D. URL: <https://assyst-cis.com/3d-modelirovanie/> (дата звернення: 26.09.2022).
9. Ostapenko N.V. Dizain-rozrobka kolektsii zhinochoho odiahu z vykorystanniam avtorskykh pryntiv / N.V. Ostapenko, S.V. Verba, T.V. Lutsker, A.Iu. Antoniuzhenko, T.V. Avramenko // Art and Design. – 2018. – № 1 (01). – С. 114–125.
10. Тенденції цифрової моди. URL: <https://ukrainian.fashion/tendencii-cifrovoj-mody/> (дата звернення 22.09.2022).
11. Тимошенко О. Особливості процесів діджиталізації у фешн-індустрії / О. Тимошенко, А. Мисюк, К. Коцюбівська, С. Хрущ // Цифрова платформа: інформаційні технології в соціокультурній сфері. – 2021. – Т. 4. – № 1. – С. 18–30.

References

1. Statista (2020a). Digital Economy Compass 2020. URL: <https://www.statista.com/study/83121/digital-economy-compass/>
2. Zakharkovich O. V. Praktikum z kompiuternoho proektuvannia odiahu : navch. posib. / O. V. Zakharkovich, S. H. Kuleshova, O. M. Dombrovska. – Khmelnytskyi : KhNU, 2016. – 311 s. – URL: <https://tksv.khmn.edu.ua/metod/2019/okd.pdf>
3. «Didzhytalizatsiia, stalist ta inkliuzyvnist»: shcho potribno znaty pro modu maibutnoho. URL: <https://folga.com.ua/ua/articles/didzitalizaciya-ustoicivost-i-inklyuzivnost-cto-nuzno-znat-o-mode-budushhego> (data zvernennia: 22.09.2022).
4. Pashkevych K. Mozhlyvosti suchasnykh prohran dlia vizualizatsii odiahu / K. Pashkevych, M. Kolosnichenko, O. Khivrina, N. Diachuk // Aktualni problemy suchasnogo dyzainu : zbirnyk materialiv III Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii, m. Kyiv, 22 kvitnia 2021 roku : v 2-kh t. T. 1. – Kyiv : KNUITD, 2021. – S. 298-301. – URL: <https://er.knutd.edu.ua/handle/123456789/17974>
5. Browzwear's 3D fashion design software. URL : <https://browzwear.com/> (data zvernennia 23.09.2022).
6. MARVELOUS DESIGNER. URL: <https://www.marvelousdesigner.com/> (data zvernennia: 25.09.2022).
7. Elektronnyj maneken. Programma dlya nadevaniya modeli na 3D-maneken. Interaktivnyj rezhim raboty parallelno v okne manekena i okne lekal. URL: <https://julivi.com/3d-%D0%BC%D0%BE%D0%B4%D1%83%D0%BB%D1%8C.html> (data zvernennia: 25.09.2022).
8. VIDYA realnost v 3D. URL: <https://assyst-cis.com/3d-modelirovanie/> (data zvernennia: 26.09.2022).
9. Ostapenko N.V. Dizain-rozrobka kolektsii zhinochoho odiahu z vykorystanniam avtorskykh pryntiv / N.V. Ostapenko, S.V. Verba, T.V. Lutsker, A.Iu. Antoniuzhenko, T.V. Avramenko // Art and Design. – 2018. – № 1 (01). – С. 114–125.
10. Tendentsii tsyfrovoyi mody. URL: <https://ukrainian.fashion/tendencii-cifrovoj-mody/> (data zvernennia 22.09.2022).
11. Tymoshenko O. Osoblyvosti protsesiv didzhytalizatsii u feshn-industrii / O. Tymoshenko, A. Mysiuk, K. Kotsiubivska, S. Khrushch // Tsyfrova platforma: informatsiini tekhnolohii v sotsiokulturnii sferi. – 2021. – T. 4. – № 1. – С. 18–30.

ПАШКЕВИЧ ОлегЗВО Університет Короля Данила
<https://orcid.org/0000-0001-7254-3512>
e-mail: oleh.pashkevych@ukd.edu.ua**ВАЩИЩАК Сергій**ЗВО Університет Короля Данила
<https://orcid.org/0000-0002-1753-1540>
e-mail: serhii.vaschyshak@ukd.edu.ua**БОЙЧУК Андрій**ЗВО Університет Короля Данила
<https://orcid.org/0000-0003-3357-8274>
e-mail: andrii.m.boichuk@ukd.edu.ua**СТИСЛО Тарас**ЗВО Університет Короля Данила
<https://orcid.org/0000-0002-2377-7985>
e-mail: taras.styslo@ukd.edu.ua**ДЕМЧИНА Микола**ЗВО Університет Короля Данила
e-mail: mykola.demchyna@ukd.edu.ua

ЗАСТОСУВАННЯ МОДЕЛЕЙ МАШИННОГО НАВЧАННЯ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ ЦІН НА РИНКУ НЕРУХОМОСТІ

В роботі наведено результати використання машинного навчання для прогнозування змін цін на ринку нерухомості. Проаналізовано економічні моделі та чинники, що впливають на формування ціни. Ці дані використано як основу для побудови моделі машинного навчання. Особлива увага зосереджена на виборі базових даних для побудови такої моделі. Проаналізовано різні типи регресійних моделей, які можуть бути реалізовані у відповідних програмних середовищах. В кінцевому результаті створена статистична модель для прогнозування ціни на житло за допомогою лінійної регресії. Вона використана для визначення тенденцій змін цін на ринку нерухомості в середньостроковому і довгостроковому періодах. Детально розглянуто всі бібліотеки, які використовуються в розробці статистичної моделі, проаналізовано їх переваги та недоліки. Розглянуто та реалізовано наступні кроки створення моделі: імпорт бібліотек та модулів, розроблено зчитування даних з датасету, аналіз даних, очистка та середня статистична оцінка. Як результат, лінійну регресію використано для аналізу масиву даних, отриманих з відкритого ресурсу – сайту продажу та оренди нерухомості Zillow. Об'єкти нерухомості. Описані на цьому ресурсі, стосуються міста Сіетл. Використано кластеризацію за основними параметрами об'єктів нерухомості, зокрема площею, розміщенням, віком. Щоб оцінити співвідношення різноманітних характеристик об'єкта нерухомості проведено 3D-моделювання з використанням конструктора Axes3D. На основі аналізу виконана візуалізація даних з використанням різних бібліотек. Аналізовані дані відображено на карті за допомогою Folium. Реалізовано кластеризацію даних та тестування на реальних даних, що показало доволі непогані результати прогнозу ціни. Отриманий результат моделювання перевірено на реальних об'єктах нерухомості та встановлено, що точність роботи такої моделі становить 76%. Такий високий результат вказує на правильність її побудови та раціональність використання програмних рішень для її втілення. Вона в майбутньому може бути використана для аналізу подібних масивів даних в цій галузі.

Ключові слова: машинне навчання, регресійні моделі, ціна нерухомості, економічні моделі, кластеризація даних.

PASHKEVYCH Oleh, VAHSCHYSHCHAK Serhii, BOICHUK Adrii,
STYSLO Taras, DEMCHYNA Mykola
HEI King Danylo University

APPLICATION OF MACHINE LEARNING MODELS FOR PREDICTING PRICES ON THE REAL ESTATE MARKET

The work shows the results of using machine learning to forecast price changes in the real estate market. Economic models and factors affecting price formation are analyzed. This data was used as a basis for building a machine learning model. Special attention is focused on the selection of basic data for building such a model. Various types of regression models, which can be implemented in appropriate software environments, have been analyzed. As a result, a statistical model was created for predicting housing prices using linear regression. It is used to determine trends in price changes on the real estate market in the medium and long term. All libraries used in the development of statistical models are examined in detail, their advantages and disadvantages are analyzed. The following steps of model creation were considered and implemented: import of libraries and modules, developed data reading from the dataset, data analysis, cleaning and average statistical evaluation. As a result, linear regression was used to analyze an array of data obtained from an open resource - the real estate sales and rental site Zillow. The real estate objects described on this resource relate to the city of Seattle. Clustering was used according to the main parameters of real estate objects, in particular, area, location, age. In order to evaluate the ratio of various characteristics of the real estate object, 3D modeling was carried out using the Axes3D designer. Based on the analysis, data visualization was performed using various libraries. Data clustering and testing on real data were implemented, which showed quite good price forecast results. The obtained modeling result was checked on real estate objects and it was established that the accuracy of the model is 76%. Such a high result indicates the correctness of its construction and the rationality of using software solutions for its implementation. In the future, it can be used to analyze similar data sets in this field.

Keywords: machine learning, regression models, real estate price, economic models, data clustering.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

Машинне навчання та основи штучного інтелекту використовують в багатьох сучасних сферах науки, технологій, бізнесу – всюди, де є можливість опрацювати масиви даних, які взаємодіють між собою за сталими алгоритмами. Найважливішою частиною процесу машинного навчання є правильна інтерпретація даних і використання їх у задачі яку потрібно вирішити.

Останнім часом для всіх є актуальними проблеми купівлі чи оренди житла, тому виникає проблема аналізу формування цін. Динаміка зміни цін на ринку нерухомості в умовах кризи, спричиненої військовими діями, кардинально відрізняється від динаміки зміни вартості в умовах економічного зростання, або економічної стабільності. Відомо, що основою ціноутворення на будь-якому ринку, у ринку нерухомості, є співвідношення мікроекономічних чинників – попиту і пропозиції, які є похідною від макроекономічних показників розвитку країни, регіону, міста. Всі ці параметри можна аналізувати в рамках певних моделей, що визначаються вхідними умовами, зокрема, регресійними. Регресійні моделі використовуються для передбачення цільових змінних в безперервній шкалі, що робить їх привабливими для вирішення багатьох питань в науці і для додатків в інформаційній галузі, такими як розуміння зв'язків між змінними, оцінювання тенденцій або створення прогнозів. Одним із прикладів може бути прогнозування за допомогою моделей продажів квартир компаніями в майбутні місяці.

Аналіз останніх джерел

В моделюванні динаміки ринку використовуються положення методології розрахунку ціни на об'єкт житлової нерухомості. В межах одного міста ціни на всі типи нерухомості зростають, зменшуються, або є у межах певного стабільного рівня. Причому подібні зміни відбуваються приблизно пропорційно. На це впливають локальні та глобальні чинники. Локальні призводять до того, що ціни на нерухомість відрізняються між собою. Ці чинники більше впливають на вартість, коли загальний рівень цін залишається приблизно постійним, але майже зникають на тлі сильного зростання чи зниження цін. Глобальні чинники пов'язані з макроекономічними параметрами, якими є рівень розвитку економіки та бізнесу в країні, регіоні, місті. Загальний рівень цін є відображенням впливу зміни макроекономічних чинників у часі і не залежить від локальних чинників. Тому загальний рівень цін є тільки функцією часу, що особливо актуально в умовах фінансово-економічної кризи [1].

Для прогнозування цін на ринку нерухомості застосовуються різноманітні підходи та моделі машинного навчання [2–6]. Але достовірність цих моделей залежить від впливу факторів, значна частина з яких спрощується, або не враховується через різноманітність завдань досліджень. Через, поки що, це немає єдиного концептуального підходу до прогнозування цін на житлові об'єкти в межах певного району чи міста.

Формулювання цілей статті

Метою роботи є розроблення концептуальної моделі прогнозування ціни об'єкта на ринку житлової нерухомості в межах одного міста для систематизації загальних положень щодо прогнозування та моделювання політики ціноутворення.

Виклад основного матеріалу

Аналіз даних у моделі здійснено за допомогою Pandas, Numpy, Sklearn з використанням візуалізації Matplotlib, PyLab, Folium та інших допоміжних бібліотек, кластеризацію даних – за допомогою методу KMeans. Опрацювання даних і програмний код реалізовано на мові Python 3 з використанням інструменту Jupyter notebook [7].

Для реалізації моделі спочатку було створено фігуру-каркас за допомогою %matplotlib.inline та задано необхідні параметри розмірів фігури. Через певну закритість статистики українського ринку нерухомості модель було побудовано згідно даних відкритого сайту Kaggle. Далі було зчитано дані (рис. 1), які взято з файлу kc_house_data.csv сайту Kaggle. Цей набір даних містить ціни продажу будинку для округу Кінг у Сієтлі. Сюди входять будинки, продані в період з травня 2017 року по травень 2018 року. Результати виведення даних наведено на рис. 2. Після цього дані були систематизовані і впорядковані. За допомогою методу describe() отримано основні статистичні оцінки даних (рис.3) по кожній числовій ознаці (типи int64 і float64): число непропущених значень, середнє, стандартне відхилення, діапазон, медіана і т.д. За допомогою методу corr() проведено кореляційний аналіз даних. Оскільки обчислений коефіцієнт кореляції більший за критичне його значення ($0,6 > 0,3809$), то з вірогідністю 0,95 можна стверджувати про статистично достовірну залежність між даними. Тому для нашої моделі ми застосували лінійну регресію [8], де взаємозв'язок між даними моделюється за допомогою лінійних функцій, а невідомі параметри моделі оцінюються за вхідними даними. Модель запускається з набором навчальних даних і продукує результат, який потім порівнюється з ціллю для кожного вхідного вектора в тренувальному наборі. На підставі результату порівняння та відповідно до обраного алгоритму навчання, параметри моделі коригуються. Далі, підібрана модель використовується при прогнозуванні відповідей для спостережень у другому наборі даних – даних для затвердження. Цей набір даних забезпечує об'єктивну оцінку моделі, яка відповідає навчальному набору при налаштуванні гіперпараметрів моделі.


```
In [2]: %matplotlib inline
rcParams['figure.figsize'] = 5, 4
sb.set_style('whitegrid')

In [3]: houses = pd.read_csv("kc_house_data.csv")
houses.head()
```

Рис. 1. Зчитування даних з файлу

	id	date	price	bedrooms	bathrooms	sqft_living	sqft_lot	floors	waterfront	view	...	grade	sqft_above	sqft_basement	yr_built
0	7129300520	20141013T000000	221900.0	3	1.00	1180	5650	1.0	0	0	...	7	1180	0	...
1	6414100192	20141209T000000	538000.0	3	2.25	2570	7242	2.0	0	0	...	7	2170	400	...
2	5631500400	20150225T000000	180000.0	2	1.00	770	10000	1.0	0	0	...	6	770	0	...
3	2487200875	20141209T000000	604000.0	4	3.00	1960	5000	1.0	0	0	...	7	1050	910	...
4	1954400510	20150218T000000	510000.0	3	2.00	1680	8080	1.0	0	0	...	8	1680	0	...

5 rows × 21 columns

id ідентифікатор date дата коли був проданий будинок price ціна (цільовий показник) bedrooms кількість спальень bathrooms кількість ван sqft_living житлова площа sqft_lot площа лоту floors кількість поверхів waterfront будинок з видом на набережну view перегляд condition наскільки хороші умови в цілому grade загальна оцінка sqft_above квадратні метри крім підвалу sqft_basement квадратний метр підвалу yr_built рік побудови yr_renovated рік реставрації zipcode код індекс lat координати широт long координати довготи sqft_living15 додаткова площа забудови sqft_lot15 додаткова площа лоту

Рис. 2. Результат виведення даних

houses.describe().T

	count	mean	std	min	25%	50%	75%	max
id	21613.0	4.580302e+09	2.876566e+09	1.000102e+06	2.123049e+09	3.904930e+09	7.308900e+09	9.900000e+09
price	21613.0	5.400881e+05	3.671272e+05	7.500000e+04	3.219500e+05	4.500000e+05	6.450000e+05	7.700000e+06
bedrooms	21613.0	3.370842e+00	9.300618e-01	0.000000e+00	3.000000e+00	3.000000e+00	4.000000e+00	3.300000e+01
bathrooms	21613.0	2.114757e+00	7.701632e-01	0.000000e+00	1.750000e+00	2.250000e+00	2.500000e+00	8.000000e+00
sqft_living	21613.0	2.079900e+03	9.184409e+02	2.900000e+02	1.427000e+03	1.910000e+03	2.550000e+03	1.354000e+04
sqft_lot	21613.0	1.510697e+04	4.142051e+04	5.200000e+02	5.040000e+03	7.618000e+03	1.068800e+04	1.651359e+06
floors	21613.0	1.494309e+00	5.399889e-01	1.000000e+00	1.000000e+00	1.500000e+00	2.000000e+00	3.500000e+00
waterfront	21613.0	7.541757e-03	8.651720e-02	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	1.000000e+00
view	21613.0	2.343034e-01	7.663176e-01	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	4.000000e+00
condition	21613.0	3.409430e+00	6.507430e-01	1.000000e+00	3.000000e+00	3.000000e+00	4.000000e+00	5.000000e+00
grade	21613.0	7.656873e+00	1.175459e+00	1.000000e+00	7.000000e+00	7.000000e+00	8.000000e+00	1.300000e+01
sqft_above	21613.0	1.788391e+03	8.280910e+02	2.900000e+02	1.190000e+03	1.560000e+03	2.210000e+03	9.410000e+03

Рис. 3. Виведення основних статистичних характеристик моделі

```
In [17]: train_data, test_data = train_test_split(houses, train_size = 0.8, random_state = 3)
reg = linear_model.LinearRegression()
x_train = np.array(train_data['sqft_living']).reshape(-1,1)
y_train = np.array(train_data['price']).reshape(-1, 1)
reg.fit(x_train, y_train)
#evaluate simple model
x_test = np.array(test_data['sqft_living']).reshape(-1, 1)
y_test = np.array(test_data['price']).reshape(-1, 1)
pred = reg.predict(x_test)
print('Simple Model')

print('R-squared (training) ', round(reg.score(x_train, y_train), 3))
print('R-squared (testing) ', round(reg.score(x_test, y_test), 3))
print('Intercept: ', reg.intercept_)
print('Coefficient:', reg.coef_)

Simple Model
R-squared (training) 0.492
R-squared (testing) 0.496
Intercept: [-47235.8113029]
Coefficient: [[282.2468152]]

In [18]: _, ax = plt.subplots(figsize=(10, 12))
plt.scatter(x_test, y_test, color='darkgreen', label = 'data')
plt.plot(x_test, reg.predict(x_test), color='red', label= ' Predicted Regression line')
plt.xlabel('Living Space (sqft)')
plt.ylabel('price')
plt.legend()
plt.gca().spines['right'].set_visible(False)
plt.gca().spines['right'].set_visible(False)
```

Рис. 4. Код створення моделі

Набори даних для затвердження були використані для регуляризації шляхом ранньої зупинки: навчання переривалося, коли помилка на наборі даних для затвердження збільшувалась, оскільки це є ознакою перенавчання на навчальному наборі даних. Ця процедура ускладнювалась тим, що помилка набору даних для затвердження могла коливатися під час тренування, утворюючи декілька локальних мінімумів. Таке ускладнення призвело до появи багатьох ad-hoc правил для визначення того, що перенавчання справді почалося (рис. 4).

За допомогою метода `fit()` модель навчається, викликається метод `predict()` – результат прогнозування з використанням лінійної регресії (рис. 5).



Рис. 5. Результат прогнозування з використанням лінійної регресії

```
n [25]: #split in X,y
y=houses.loc[:, "price"].apply(lambda x: log(x))

X=houses.loc[:, ["sqft_living", "grade", "floors", "lat", "long", "bathrooms", "bedrooms", "yr_built", "yr_renovated", "view"]]
X["sqft_living"] = X["sqft_living"].apply(lambda x: log(x))
X["lat"] = X["lat"].apply(lambda x: abs(47.63-x))
X["long"] = X["long"].apply(lambda x: log(abs(x)))
X["yr_built"] = X["yr_built"].apply(lambda x: log(abs(x-1955)+1))
X["yr_renovated"] = X["yr_renovated"].apply(lambda x: log(x+1))
X["sqft_lot"] = X["sqft_lot"].apply(lambda x: log(x))

X["lat*long"] = X["lat"] * X["long"]
X["sqft_living*sqft_lot"] = X["sqft_living"] * X["sqft_lot"]

# split in train, test
X_train, X_test, y_train, y_test = train_test_split(X, y, test_size=0.40, random_state=123)
#split in validation, test
X_val, X_test, y_val, y_test = train_test_split(X_test, y_test, test_size=0.5, random_state=123)
```

Рис. 6. Код вдосконалення моделі

```
In [26]: # Validation Set
regr= linear_model.LinearRegression()
regr.fit(X_train,y_train)
y_pred= regr.predict(X_val)

print("Validation Set")
print("Root Mean Square Error: %.6f" % sqrt(mean_squared_error(np.exp(y_val.values),np.exp(y_pred))))
print("R2 score: %.6f" % r2_score(np.exp(y_val.values),np.exp(y_pred)))

Validation Set
Root Mean Square Error: 142748
R2 score: 0.841722

In [27]: #Test set
y_pred= regr.predict(X_test)
print("Test Set")
print("Root Mean Square Error (squared): %.2f" % sqrt(mean_squared_error(np.exp(y_test.values),np.exp(y_pred))))
print("R2 score: %.2f" % r2_score(np.exp(y_test.values),np.exp(y_pred)))

Test Set
Root Mean Square Error (squared): 154262
R2 score: 0.83
```

Рис. 7. Результати моделювання з навчальними і тестовими даними

Але, як видно з рис. 5, результат прогнозування вийшов доволі грубим, бо розподіл даних є далеким від лінійного закону, тому було вирішено удосконалити модель з використанням додаткових ознак, що є в даних. Ці ознаки, наприклад розміщення об'єктів на карті, координати широта та довготи, житлова площа, поштовий індекс мали допомогти підвищити якісь результати моделювання (рис. 6 та 7). На останньому етапі для забезпечення об'єктивної оцінки кінцевої моделі, яка відповідає навчальному набору даних

використовувався тестовий набір даних. Результат на наборі для перевірки та тестових даних набагато піднявся до кращої оцінки (рис. 8).

```
In [28]: # Predicting real life data (Training)
#split in X,y
y=houses.loc[:, "price"].apply(lambda x: log(x))

X=houses.loc[:, ["sqft_living", "sqft_lot", "yr_built", "bedrooms", "bathrooms", "lat", "long", "waterfront"]]
X["sqft_living"] = X["sqft_living"].apply(lambda x: log(x))
X["sqft_lot"] = X["sqft_lot"].apply(lambda x: log(x))
X["lat"] = X["lat"].apply(lambda x: abs(47.63-x))
X["long"] = X["long"].apply(lambda x: abs(x))
X["yr_built"] = X["yr_built"].apply(lambda x: log(x))

X["lat*long"] = X["lat"] * X["long"]
X["sqft_living*sqft_lot"] = X["sqft_living"] * X["sqft_lot"]

# split in train, test
X_train, X_test, y_train, y_test = train_test_split(X, y, test_size=0.30, random_state=123)

regr_test = linear_model.LinearRegression()
regr_test.fit(X_train, y_train)
y_pred = regr_test.predict(X_test)
p = r2_score(np.exp(y_test.values), np.exp(y_pred))
print(p)
print("Root Mean Square Error: %2.f" % sqrt(mean_squared_error(np.exp(y_test.values), np.exp(y_pred))))
print('R2 score: %.6f' % p)

0.7622146910961412
Root Mean Square Error: 179697
```

Рис. 8. Результати моделювання набору для перевірки з тестовими даними

Результат, показаний на навчальних даних (підмножині всього набору даних) виявився навіть кращим, за попередній. Але важливо відзначити, що результат на тестових даних є гіршим. В нашому випадку відмінність між вірністю на навчальних і на тестових даних невелика. Але, якщо модель складна, то цілком можливо на навчальних даних отримати стовідсоткову вірність, а на тестових – не більшу, ніж при випадковому вгадуванні.

Суттєве покращення ситуації дає застосування методу перехресної перевірки. Одна з його форм називається перехресною перевіркою з виключенням по одному. В нашій моделі вибирається який-небудь приклад з навчальних даних, навчається модель на всіх даних, крім цього прикладу, а потім перевіряється, чи правильно модель класифікує цей приклад. Такий процес повторюється для всіх елементів набору даних. У цьому циклі тестується послідовність моделей на всіх прикладах, а по його завершенні друкується середній результат. При використанні перехресної перевірки зацикленість не виникає, тому що кожна модель тестується на прикладі, який вона не бачила при навчанні. Отже, прогнозуючи таким чином оцінку можна вважати надійним показником загальної моделі на нові дані.

Основна проблема перехресної перевірки з вилученням по одному полягає в тому, що доводиться навчати по суті нову модель для кожного прикладу, і з ростом набору даних суттєво зростає складність процесу моделювання. Зменшити складність виключення по одному дозволяє х-прохідна перехресна перевірка, де x – невелике ціле число. В нашому випадку дані точкової прохідної перевірки розбиваються на 5 груп. Потім навчаються p п'ять моделей, при цьому кожен раз виділяється з навчального набору одна група. Добутий код резервується відразу 20% даних, а не одним елементом. Всі навчені моделі тестуються на даних, що входять у виключену групу, а результати усереднюються. Після виконання тренування нашої моделі можна поглянути на значення кожного параметра. Наприклад, P_0 , так званий зсув або перетин, можна переглянути за допомогою атрибута `intercept()`.

Основною перевагою лінійної регресії є її інтерпретованість (рис. 9) в значній мірі тому, що модельні коефіцієнти є хорошими показниками.

```
actual_values = y_test
predictions = y_pred
sb.scatterplot(actual_values, predictions)
```

<matplotlib.axes._subplots.AxesSubplot at 0x7fa25e70d9e8>

Рис. 9. Код для відображення результатів моделювання

На рис. 10 наведено найкращий результат прогнозування з використанням удосконаленої моделі.



Рис. 10. Результат прогнозування з використанням удосконаленої моделі

Для покращення візуалізації залежності даних ще раз застосовуємо лінійну регресію (рис. 11, 12).

```
In [30]: y_train_pred = regr_test.predict(X_train)
         y_test_pred = regr_test.predict(X_test)

In [31]: # Plot residuals
         plt.scatter(y_train_pred, y_train_pred - y_train, c = "blue", marker = "s", label = "Training data")
         plt.scatter(y_test_pred, y_test_pred - y_test, c = "lightgreen", marker = "s", label = "Validation data")
         plt.title("Linear regression")
         plt.xlabel("Predicted values")
         plt.ylabel("Residuals")
         plt.legend(loc = "upper left")
         plt.hlines(y = 0, xmin = 11.5, xmax = 15.5, color = "red")
         plt.show()
```

Рис. 11. Код програми для повторного застосування лінійної регресії

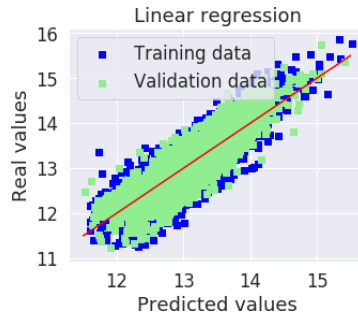


Рис. 12. Графік лінійної регресії для навчальних та тренувальних даних

Після цього здійснено сортування отриманих даних до максимальних, мінімальних, середніх значень для кожного атрибута (параметра) (рис. 13 та 14).

```
In [33]: index=["min", "max", "mean", "coef"]
         columns=list(X_test)
         test = pd.DataFrame(index=index, columns=columns)
         test.loc["min"]=list(X_test.min())
         test.loc["max"]=list(X_test.max())
         test.loc["mean"]=list(X_test.mean())
         test.loc["coef"]=regr_test.coef_
```

Рис. 13. Код програми для виводу середньої статистики

```
In [34]: test
```

```
Out[34]:
```

	sqft_living	sqft_lot	yr_built	bedrooms	bathrooms	lat	long	waterfront	lat*long	sqft_living*sqft_lot
min	6.04025	6.39693	7.54961	0	0	0.0001	121.676	0	0.0121911	44.3775
max	9.19928	13.9681	7.60837	10	7.75	0.4524	122.515	1	55.1978	113.265
mean	7.55232	8.99356	7.58617	3.37276	2.11636	0.122584	122.215	0.0089451	14.9804	68.0463
coef	0.636933	0.00800451	-0.348176	-0.0477763	0.0823561	682.224	1.05851	0.728813	-5.60684	0.00903068

Рис. 14. Вивід результату статистичного аналізу

Для того, щоб оцінити співвідношення різноманітних характеристик об'єкта нерухомості (наприклад, житлової площі, житлового лоту і спальень з ваннами) проведено 3D-модельовання з використанням конструктора Axes3D (рис. 15, 16).

```
In [20]: fig = plt.figure(figsize=(19,12.5))
         ax=Axes3D(fig)
         ax.scatter(houses['sqft_living'], houses['sqft_lot'], houses['bathrooms'], c="darkgreen", alpha=.5)
         ax.set(xlabel='\n sqft Living', ylabel='\n sqft Lot', zlabel='\n Bathrooms / Bedrooms')
         ax.set(ylim=[0, 250000])
```

```
Out[20]: [(0, 250000)]
```

Рис. 15. Код програми побудови 3D графіка

Сегментація 3D-моделі – непросте завдання. Навіть якщо сегментація задана попередньо (рис. 16), складно з точністю визначити місця стикування, симетрію і паралелізм в деталях зображення. Тому було створено 3D-графік, щоб визначити співвідношення між видом, загальною оцінкою та роком побудови об'єкта нерухомості (рис. 17, 18). З графіка видно, що нові будинки мають кращі оцінки, але все одно виявити точні дані візуальним спостереженням досить важко.

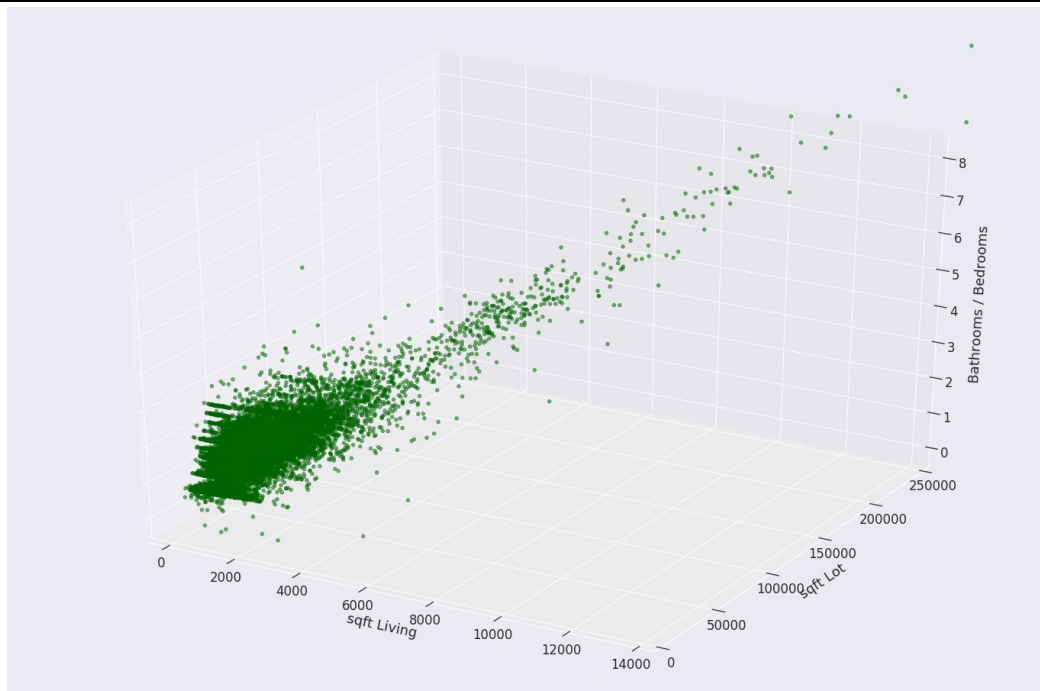


Рис. 16. 3D графік співвідношення характеристик об'єкта нерухомості

```
In [22]: fig=plt.figure(figsize=(9.5,6.25))
ax=Axes3D(fig)
ax.scatter(train_data['view'],train_data['grade'],train_data['yr_built'],c="darkgreen",alpha=.5)
ax.set(xlabel='\nView',ylabel='\nGrade',zlabel='\nYear Built');
```

Рис. 17. Код програми побудови 3D графіка

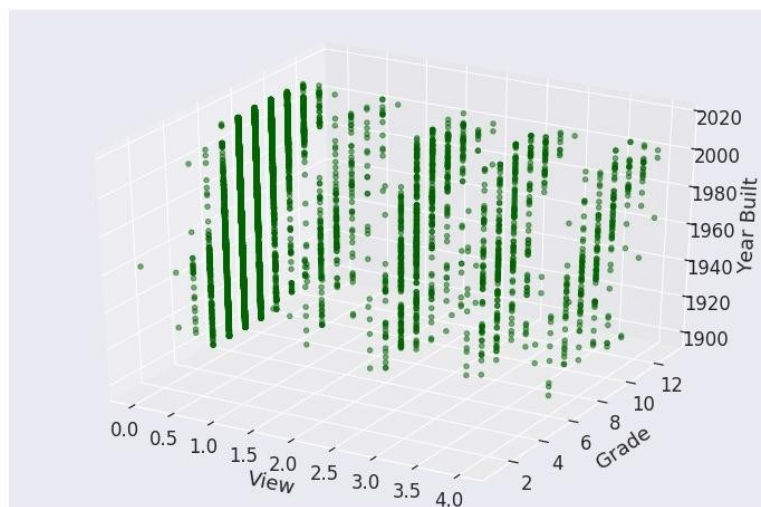


Рис. 18. 3D візуалізація взаємозв'язків характеристик об'єкта нерухомості

Для зменшення наслідків незначних помилок спостереження застосовано метод зв'язування даних (data binning). В нашій моделі використовуються `yr_built` та `yr_renovated`. До даних додано вік та епоху ремонту будинків, коли вони продавались. Також розділено ці стовпці на інтервали, і можна це спостерігати на наведених нижче гістограмах (рис. 19). Після цього створено веб-карту з використанням бібліотеки для візуалізації географічних даних та інформації Folium, яка містить координати та місцезнаходження (рис. 20).

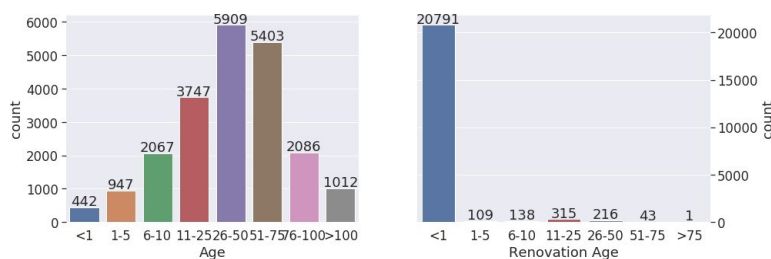


Рис. 19. Візуалізація зв'язування даних

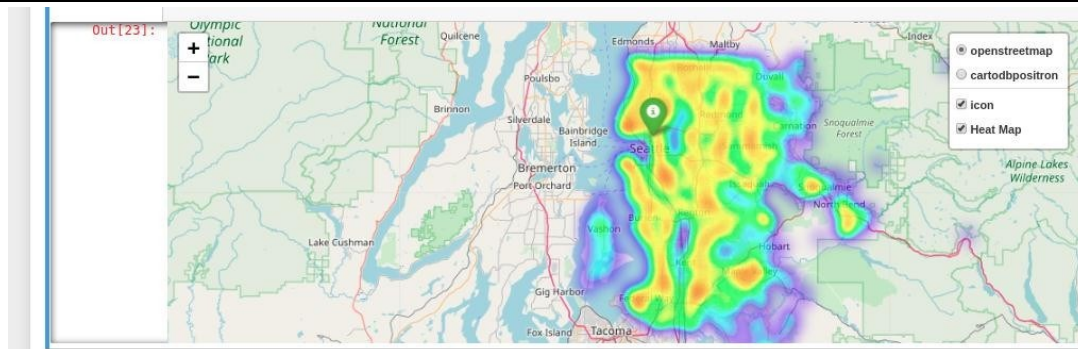


Рис. 20. Зображення на карті

Останнім етапом проектування моделі було проведення кластеризації даних для знаходження груп схожих об'єктів у вибірці за допомогою методу k-середніх. Місто Сіетл має 7 районів. Тому партії об'єктів нерухомості поділяються на сім кластерів за координатами. Кластери розділяються за місцем розташування і поділяються за ціною та відстанню від центру. Також Сіетл має 127 мікрорайонів. Отже, координати розділяються на 127 кластерів, тому що кластеризація по мікрорайонах може дати вищу точність у прогнозуванні ціни, ніж кластеризація по районах (рис. 21).

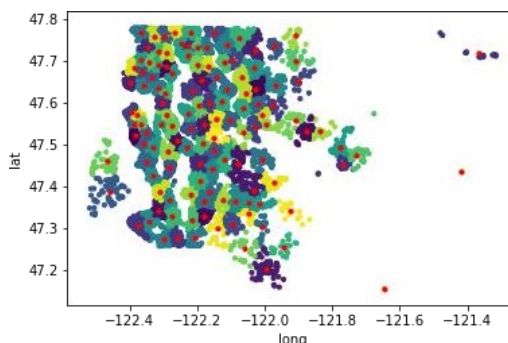


Рис. 21. Кластеризація по мікрорайонах

Модель було протестовано на десяти об'єктах Zillow – сайту, що дозволяє отримати детальну інформацію про об'єкт нерухомості, оренду та викупи, які не можна знайти в MLS. Результати тестування дали 76% збіжності, що свідчить про адекватність моделі прогнозування.

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

На основі аналізу даних була розроблена концептуальна модель прогнозування ціни об'єкта на ринку житлової нерухомості, яка складається з п'яти основних блоків, а саме: вхідні дані, оцінка впливу факторів, блок моделювання, синтез моделей та, безпосередньо, прогнозування ціни. Побудова концептуальної моделі дозволяє систематизувати загальні положення щодо прогнозування та моделювання політики ціноутворення та дає змогу не тільки спрогнозувати середній показник рівня ціни для наступного періоду, але й вводити в майбутньому в модель принципово нові корегуючі коефіцієнти для підвищення достовірності прогнозування.

Література

1. Прогнозування цін на нерухомість в умовах фінансово-економічної кризи. Сейл Прайс Компані [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://www.saleprice.com.ua/ua/publications/real_estate_price_forecasting.html (дата звернення: 03.10.2022 р.).
2. Мірошніченко І.В., Крашеніннікова О.В. Прогнозування ціни на нерухомість з використанням алгоритмів машинного навчання. Ефективна економіка. 2022. № 1. URL: <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=9890> (дата звернення: 05.11.2022). DOI: 10.32702/2307-2105-2022.1.81
3. Григорків В. С., Ярошенко О. І., Філіпчук Н. В. Нейронні мережі та їх використання для прогнозування тенденцій ринку нерухомості. Науковий вісник НЛТУ України. 2012. Вип. 22.5. С. 324-330.
4. Шаповалова В.О. Прогнозування цін на нерухомість з урахуванням тенденцій ділових циклів. Економіка та держава. 2015. № 9/2015. С. 37-41.
5. Калиніченко Ю.В., Добровольська В.В., Абрамчк А.Р. Моделювання тенденцій ринку нерухомості. Економічний аналіз : зб. наук. праць Тернопільського національного економічного університету, 2016. Том 23. № 1. С. 28-36.
6. Хлевна Ю.Л., Буря Ю.С. Інформаційне забезпечення прогнозування цін на нерухомість методами

машинного навчання. *Sciences of Europe*. 2021. № 71. Р. 54–62.

7. Элбон К. Машинное обучение с использованием Python. Петербург : СПб БХВ, 2019. 890 с.

8. Лінійна регресія. Sandro Skansi, *Introduction to Deep Learning*. Springer. 2018 [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://uk.wikipedia.org/>.

References

1. Prohnozuvannia tsin na nerukhomist v umovakh finansovo-ekonomichnoi kryzy. Seil Prais Kompani [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : http://www.saleprice.com.ua/ua/publications/real_estate_price_forecasting.html (data zvernennia: 03.10.2022r.).
2. Miroshnychenko I.V., Krashenninnikova O.V. Prohnozuvannia tsiny na nerukhomist z vykorystanniam alhorytmiv mashynnoho navchannia. *Efektivna ekonomika*. 2022. № 1. URL: <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=9890> (data zvernennia: 05.11.2022). DOI: 10.32702/2307-2105-2022.1.81
3. Hryhorkiv V. S., Yaroshenko O. I., Filipchuk N. V. Neironni merezhi ta yikh vykorystannia dlia prohnozuvannia tendentsii rynku nerukhomosti. *Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy*. 2012. Vyp. 22.5. S. 324-330.
4. Shapovalova V.O. Prohnozuvannia tsin na nerukhomist z urakhuvanniam tendentsii dilovykh tsyktiv. *Ekonomika ta derzhava*. 2015. № 9/2015. S. 37–41.
5. Kalynichenko Yu.V., Dobrovolska V.V., Abramchik A.R. Modeliuvannia tendentsii rynku nerukhomosti. *Ekonomichnyi analiz : zb. nauk. prats Ternopil'skoho natsionalnoho ekonomichnoho universytetu*, 2016. Tom 23. № 1. S. 28-36.
6. Khlevna Yu.L., Bura Yu.S. Informatsiine zabezpechennia prohnozuvannia tsin na nerukhomist metodamy mashynnoho navchannia. *Sciences of Europe*. 2021. № 71. R. 54–62.
7. Elbon K. *Mashynnoe obuchenie s ispolzovaniem Python*. Peterburh : SPb BKhV, 2019. 890 s.
8. Liniina rehresii. Sandro Skansi, *Introduction to Deep Learning*. Springer. 2018 [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : <https://uk.wikipedia.org/>.

ПЕТРУШАК Володимир
Хмельницький національний університет
<https://orcid.org/0000-0002-7232-1044>
e-mail: petrushak@ukr.net

РЕАЛІЗАЦІЯ ЧАСТОТОМІРА КОІНЦИДЕНЦІЇ НА ПЛІС

Вказано на недоліки відомих методів вимірювання частоти періодичного сигналу. На основі відомого методу коінцидентності розроблено функціональну схему 16-розрядного пристрою для вимірювання частоти, яку реалізовано на базі ПЛІС фірми Intel(Altera). Розроблений частотомір коінцидентності має динамічний діапазон 96дБ. Представленні часові діаграми, які отримано в середовищі автоматизованого проектування Quartus Prime 18.0 і підтверджують працездатність розробленої функціональної схеми 16-розрядного пристрою для вимірювання частоти методом коінцидентності. Представлена аналітична залежність для визначення частоти періодичного сигналу під час вимірювання частоти, методом коінцидентності.

Ключові слова: активний сенсор, частота, інтернет речей, періодичний сигнал, метод коінцидентності, телекомунікаційна мережа, ПЛІС.

PETRUSHAK Volodymyr
Khmelnytskyi National University

IMPLEMENTATION OF THE COINCIDENCE FREQUENCY METER ON FPGA

Means of measuring various parameters and technical characteristics of radio equipment have always occupied leading positions in science and technology. Without an accurate definition of the relevant values, it is impossible to build modern high-quality radio communication systems, radar, navigation ground and satellite systems. In ultrasound diagnostics, which are used in medicine, the speed of blood flow in vessels is studied by determining the frequency of the reflected signal. At the same time, it is necessary to use high-speed frequency measurement tools in systems with active sensors used in telecommunication networks based on Internet of Things technology. For example, in active radar, using the frequency of the reflected signal, it is possible to calculate not only the coordinates, but also the circular speed of the moving target. Modern research is aimed at improving the metrological and technical indicators of existing measuring devices, in particular at developing new methods for correcting the characteristics of the transformation of the measuring channel, which is their main component. At the same time, most digital frequency meters are built on the method of counting the number of pulses N with an unknown period T_x that arrive at the input of the device during a calibrated time interval. All this leads to an increase in measurement time and requires additional hardware costs for fast processing of measurement results. The coincidence method belongs to vernier methods and is promising for use when measuring the frequency of periodic signals.

This paper points out the shortcomings of known methods of measuring the frequency of a periodic signal. On the basis of the well-known method of coincidence, a functional scheme of a 16-bit device for measuring frequency, which is implemented on the basis of a FPGA from Intel (Altera), has been developed. The developed coincidence frequency meter has a dynamic range of 96dB. Representation of time diagrams obtained in the Quartus Prime 18.0 automated design environment and confirming the operability of the developed functional scheme of the 16-bit device for frequency measurement by the coincidence method. An analytical dependence for determining the frequency of a periodic signal during frequency measurement by the coincidence method is presented.

Keywords: active sensor, frequency, Internet of Things, periodic signal, coincidence method, telecommunication network, FPGA.

Постановка проблеми

Зусилля видатних науковців спрямовані на покращення метрологічних та технічних показників існуючих засобів вимірювання, зокрема на розробку нових методів корекції характеристики перетворення вимірювального каналу, що є їх головною складовою [1].

Відповідно вдосконалення відомих методів для створення нових перетворювачів високочастотних періодичних сигналів в код є перспективною задачею на сьогоднішньому етапі розвитку вимірювальної техніки [2].

Аналіз останніх джерел

Засоби вимірювання різноманітних параметрів та технічних характеристик радіотехнічних засобів завжди займали провідні позиції в науці та техніці. Без точного визначення відповідних значень неможлива побудова сучасних якісних систем радіозв'язку, радіолокації, навігаційних наземних та супутникових систем.

Україна має значні досягнення в галузі метрології та радіовимірювань. Так, в практиці електрорадіовимірювань вимірювання частоти є поширеною операцією.

В ультразвуковій діагностиці, що використовуються в медицині через визначення частоти відбитого сигналу досліджують швидкість кровотоку в судинах [3]. Разом з тим необхідним є застосування високошвидкісних засобів вимірювання частоти в системах з активними сенсорами [4], що використовуються в телекомунікаційних мережах на базі технології інтернет речей. Так наприклад, в активній радіолокації за допомогою частоти відбитого сигналу можна вирахувати не лише координати, а й колову швидкість цілі, що рухається.

Сучасні дослідження спрямовані на покращення метрологічних та технічних показників існуючих засобів вимірювання, зокрема на розробку нових методів корекції характеристики перетворення вимірювального каналу, що є їх головною складовою [1].

Разом з тим, більшість цифрових частотомірів побудовано на методі підрахунку числа імпульсів N з невідомим періодом T_x , які поступають на вхід приладу за калібрований інтервал часу. Все це веде до

збільшення часу вимірювання і потребує додаткових апаратних витрат для швидкої обробки результатів вимірювання.

Досить ясно метод коінциденції для вимірювання частоти періодичного сигналу описано в [5].

Формулювання цілей

Реалізація частотоміра коінциденції на програмованих логічних інтегральних схемах (ПЛІС) дозволить уникнути проблем з електромагнітною сумісністю цифрових блоків схеми. Крім того така реалізація дозволить отримати максимально можливу швидкість обробки результатів перетворення частоти в двійковий код. Відповідно, метою роботи є розробка та дослідження функціональної схеми частотоміра коінциденції на програмованих логічних інтегральних схемах.

Виклад основного матеріалу

Процес вимірювання частоти за методом коінциденції можна розділити на наступні етапи:

Формування першого моменту співпадіння;

Формування другого моменту співпадіння;

Підрахунок кількості періодів N_x сигналу невідомої частоти F_x ;

Підрахунок кількості періодів N_0 сигналу відомої частоти F_0 ;

Знаходження частки N_x / N_0 .

Таким чином можна відмітити, що частотомір коінциденції складається із двох каналів обробки сигналів. Перший канал обробляє сигнал невідомої частоти, а другий – сигнал опорної частоти. Разом з тим слід зауважити, що принцип роботи приладу базується на часовому співпадінні фронтів прямокутних сигналів. На даний момент є можливість реалізувати всі ці етапи апаратно в складі однієї ПЛІС. Варіант функціональної схеми такого частотоміра коінциденції на реалізованого ПЛІС представлено на рис. 1, а осцилограми, що пояснюють його принцип роботи – на рис. 2.

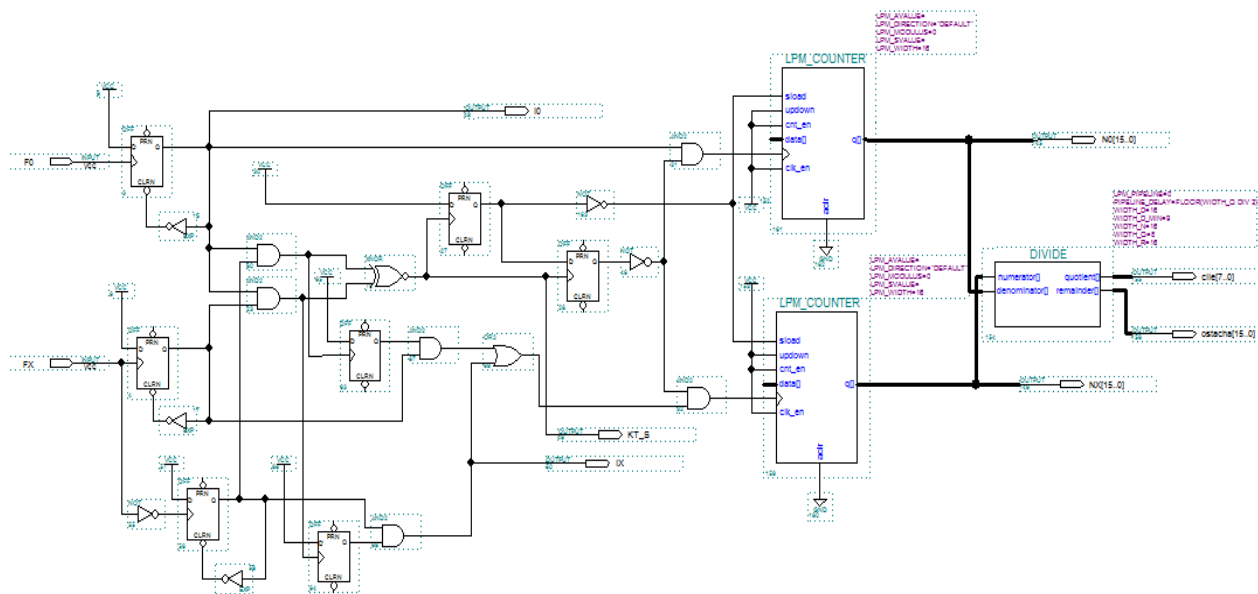


Рис. 1. Функціональна схема частотоміра коінциденції на ПЛІС

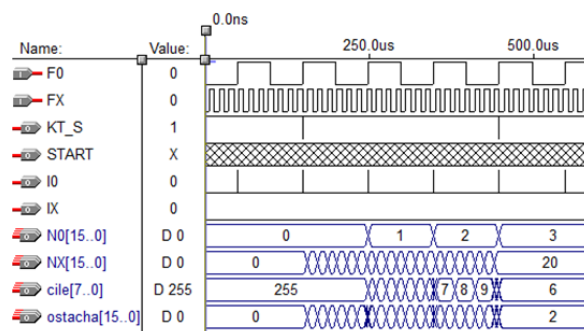


Рис. 2. Осцилограми роботи частотоміра коінциденції на ПЛІС

Для отримання інформації про фронти імпульсів необхідно виділити їх на фоні самого імпульсу. Для цього служить блок формувача коротких імпульсів. Даний блок дублюється для каналу обробки сигналу опорної частоти. На вхід блоку надходять прямокутні імпульси, для каналу обробки опорної частоти – із генератора опорної частоти, для каналу обробки сигналу невідомої частоти – із формувача прямокутних імпульсів. З точки зору схемотехніки, блок представляє собою D-тригер із колом зворотного зв'язку на інверторі, що при зміні стану прямого виходу тригера скидає його в нульовий стан, подачею сигналу скидання на вхід R. Таким чином довжина генерованого імпульсу залежить тільки від одного

параметра – затримки розповсюдження сигналу в інверторі. Так як дана затримка, для сучасних типів мікросхем є величина стала, та надзвичайно мала, то протяжність вихідного імпульсу також надзвичайно мала.

З виходу формувача коротких імпульсів сигнали, що дають представлення про часове положення фронтів сигналів, надходять на вхід схеми співпадіння. Основна задача даного блоку – визначення моменту співпадіння фронтів імпульсів. Причому цих моменти визначається два. Перший імпульс з'явиться на виході схеми в момент першого співпадіння фронтів імпульсів. Другий імпульс на виході з'явиться через певну кількість періодів як одного так і іншого сигналів. Дану ситуацію можна описати математично, використовуючи поняття найменшого спільного кратного (НСК). Разом з тим, період повторення моментів співпадіння фронтів сигналів можна визначити за формулою:

$$T = \text{НСК}(T_1, T_2), \quad (1)$$

де T_1, T_2 – періоди повторення сигналу невідомої та опорної частот;

З точки зору схемотехніки, даний блок представляє собою схему з логічною функцією "І".

Принцип роботи приладу базується на підрахунку кількості імпульсів невідомої частоти, та кількості імпульсів опорної частоти, між моментами їх співпадіння. Для подальшого підрахунку імпульсів необхідно керувати надходженням їх на входи лічильників. Тобто, при надходженні першого імпульсу співпадіння, необхідно запустити лічбу; при надходженні другого імпульсу співпадіння – зупинити лічбу; передати обраховану інформацію на обробку, та скинути виходи лічильників в нульовий стан. Всі ці функції виконує блок управління лічильниками.

Сформований сигнал про співпадіння фронтів імпульсів надходить на блок керування лічильником. Дана схема представляє собою лічильник на D-тригерах із межею лічби "2". Тобто, при надходженні першого імпульсу співпадіння на вхід блоку, на виході з'являється логічна одиниця, що дозволяє надходження імпульсів на вхід лічильників. При надходженні другого імпульсу співпадіння, лічильник блоку переходить в стан логічного нуля, що забороняє проходження імпульсів.

З виходів блоків керування кожного каналу, імпульси проходять на входи 16-розрядних двійкових лічильників. Лічильники підраховують кількість імпульсів між моментами співпадіння фронтів сигналів. Розрядність лічильників вибрана з урахуванням можливого діапазону різниць частот невідомого та опорного сигналів. Обрана розрядність забезпечує відношення сигналів у межах 96 дБ:

$$\frac{F_x}{F_0} = 2^{16}, \quad (2)$$

де F_x, F_0 – відповідно невідома та опорна частота.

Наступний блок виконує зразу декілька функцій. Головна з них – обрахування частоти сигналу. Суть арифметичних операцій, виконуваних даним блоком описується аналітично за допомогою формули [5]:

$$\frac{N_x}{N_0} = \frac{F_x}{F_0}, \quad (3)$$

де N_x, N_0 – кількість підрахованих імпульсів, між моментами співпадіння фронтів сигналів відповідно невідомої та опорної частот;

Зробивши очевидні перетворення матимемо:

$$F_x = \frac{N_x \cdot F_0}{N_0} \quad (4)$$

З виходів лічильників 16-розрядний двійковий код, відповідний кількості підрахованих імпульсів в кожному каналі, потрапляє на вхід блоку апаратного ділення DIVIDE. Блок апаратного ділення DIVIDE, в асинхронному режимі, визначає цілочисельну частку (cile) і остачу (ostacha). Отримане значення з блоку апаратного ділення DIVIDE можна помножити на значення відомої частоти і матимемо частоту невідомого сигналу.

Висновки

На основі відомого методу коінциденції розроблено функціональну схему 16-розрядного пристрою для вимірювання частоти, яку реалізовано на базі ПЛІС фірми Intel (Altera). Розроблений частотомір коінциденції має динамічний діапазон 96дБ. Представленні часові діаграми, які отримано в середовищі автоматизованого проектування Quartus Prime 18.0 і підтверджують працездатність розробленої функціональної схеми 16-розрядного пристрою для вимірювання частоти методом коінциденції. Представлена аналітична залежність для визначення частоти періодичного сигналу під час вимірювання частоти, методом коінциденції.

Література

1. Пат. № 133686 Україна, МПК G01L 9/08, G01L 9/12. Вимірювальний перетворювач на основі механотронного п'єзоакустичного датчика тиску / А. А. Таранчук, С. К. Підченко, А. А. Акулінічев, А. В. Співак, А. І. Жизневський ; заявник і патентовласник Хмельницький нац. університет. – № u201807922 від

16.07.2018 ; опубл. 25.04.2019, Бюл. № 8/2019. – 6 с. : іл.

2. Petrushak V. S. Measurement of the amplitude of periodic signals using the Fibonacci method / V. S. Petrushak // Приборы и методы измерений. – 2018. – Т. 9. № 2. – С. 168–173.

3. Шутко В.М. Застосування ефекту Доплера в вимірювачі швидкості кровотоку АВІА-2015 / В.М. Шутко, І.В. Федоренко // Міжнар. наук.-техн. конф., 28-29 квітня 2015. – К., 2015. – С. 125.

4. Perry Lea, Parkash Karki. Internet of Things for Architects. Packt Publishing, 2018. 454 p.

5. Орнатский П.П. Автоматические измерения и приборы (аналоговые и цифровые) / П.П. Орнатский. – К. : Вища шк., 1986. – 504 с.

References

1. Pat. № 133686 Ukraina, MPK G01L 9/08, G01L 9/12. Vymiriuvalnyi peretvoriuvach na osnovi mekhanotronnoho piezoakustychnoho datchyka tysku / A. A. Taranchuk, S. K. Pidchenko, A. A. Akulynichev, A. V. Spivak, A. I. Zhyznevskyi ; zaiavnyk i patentovlasnyk Khmelnytskyi nats. universytet. – № u201807922 vid 16.07.2018 ; opubl. 25.04.2019, Biul. № 8/2019. – 6 s. : il.

2. Petrushak V. S. Measurement of the amplitude of periodic signals using the Fibonacci method / V. S. Petrushak // Prybory y metody yzmerenyi. – 2018. – Т. 9. № 2. – С. 168–173.

3. Shutko V.M. Zastosuvannia efektu Doplera v vymiriuvalnii shvydkosti krovotoku AVIA-2015 / V.M. Shutko, I.V. Fedorenko // Mizhnar. nauk.-tekhn. konf., 28-29 kvitnia 2015. – K., 2015. – S. 125.

4. Perry Lea, Parkash Karki. Internet of Things for Architects. Packt Publishing, 2018. 454 p.

5. Ornatskyi P.P. Avtomatycheskye yzmerenyia y prybory (analogovye y tsyfrovye) / P.P. Ornatskyi. – K. : Vyscha shk., 1986. – 504 s.

ПУКАЧ Павло

Національний університет «Львівська політехніка»

<https://orcid.org/0000-0002-0488-6828>e-mail: pavlopukach@gmail.com

ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ ОСНОВНИХ КАРКАСНИХ МЕРЕЖ ВИЯВЛЕННЯ ОЗНАК ДЛЯ КЛАСИФІКАЦІЇ ЗОБРАЖЕНЬ МРТ В МОДЕЛЯХ ГЛИБИННОГО НАВЧАННЯ

У цій статті представлено оцінку сучасних моделей глибокого навчання для класифікації зображень МРТ колінного суглоба. Серед усіх робіт, пов'язаних з цим дослідженням, було кілька спроб перенавчити оригінальну модель MRNet на більш сучасні архітектури комп'ютерного зору. Крім того, ще не повідомлялося про спроби задокументувати поступове покращення точності прогнозування MRNet за допомогою нових архітектур комп'ютерного бачення. У даній роботі представлено порівняльний аналіз сучасних архітектур комп'ютерного бачення для вилучення ознак з МРТ-зображень колінного суглоба в задачах класифікації ушкоджень та аномалій колінного суглоба. Такий аналіз є необхідним як інструмент для створення прикладних архітектур моделей машинного навчання, спрямованих на автоматизовану діагностику травм коліна в медичних пристроях і системах.

Алгоритми глибокого навчання можуть бути застосовані безпосередньо до багатьох різноманітних завдань рентгенології опорно-рухового апарату, включаючи реконструкцію зображення, синтез зображення, сегментацію тканин, а також діагностику та виявлення характеристик захворювань опорно-рухового апарату на рентгенограмах, ультразвуку, зображеннях КТ та МРТ. Щоб сформулювати такий порівняльний аналіз, у цій статті порівнюється продуктивність базової архітектури MRNet для завдання класифікації зображень МРТ колінного суглоба, використовуючи різні найсучасніші архітектури комп'ютерного бачення як каркасні мережі для виділення ознак. Це також демонструє поступове підвищення точності прогнозування цих моделей відповідно до еволюції самих каркасних моделей. Досить важливим аспектом представленого дослідження є той факт, що всі моделі машинного навчання, розроблені та навчені в розглянутому експерименті, мають уніфіковану архітектуру, за винятком шару виділення ознак, і всі вони були навчені з нуля з використанням однакових гіпер-параметрів моделі та параметрів навчання. Також, для порівняння результатів класифікації було використано додаткову метрику — показник Кappa Коена, який є значущим через незбалансованість використаного набору даних.

Ключові слова: МРТ, каркасна мережа, MRNet, глибоке навчання, комп'ютерне бачення.

PUKACH Pavlo
Lviv Polytechnic National University

REVIEW AND ANALYSIS OF BASIC FEATURE DETECTION NETWORKS FOR CLASSIFICATION OF MRI IMAGES IN DEEP LEARNING MODELS

This paper presents an evaluation of modern deep learning models for the classification of MRI images of the knee joint. Among all the work related to this research, there have been several attempts to retrain the original MRNet model on more modern computer vision architectures. Also, no attempt has yet been reported to document the incremental improvement in MRNet prediction accuracy using newer computer vision architectures. This paper presents a comparative analysis of modern deep architectures of computer vision for extracting features from MRI images of the knee joint in the tasks of classification of injuries and anomalies of the knee. Such an analysis is needed, at least as a guide to creating applied architectures of machine learning models aimed at automated diagnosis of knee injuries in medical devices and systems.

In the field of artificial intelligence, deep learning (DL) algorithms can be applied directly to many different musculoskeletal radiology tasks, including image reconstruction, synthetic imaging, tissue segmentation, and diagnosis and detection of musculoskeletal disease characteristics on radiographs, ultrasound, CT and MRI images. Ideally, such systems should also help radiologists focus on rare diseases as well as very complex abnormalities. At the same time, the task of automating the process of diagnosing typical injuries and anomalies is set. The level of confidence in the result of prediction should be similar to the conclusions of commissions of expert radiologists. To frame such a benchmarking analysis, this paper compares the performance of the basic MRNet architecture for the knee MRI image classification task, using various state-of-the-art computer vision architectures as framework networks for feature extraction. It also demonstrates a gradual increase in the prediction accuracy of these models in accordance with the evolution of the framework models themselves. A rather important aspect of the presented research is the fact that all machine learning models developed and trained in the considered experiment have a unified architecture, except for the feature extraction framework, and they were all trained from scratch using the same model parameters and training parameters. In addition, the model estimation strategies in this work use an additional metric that has not yet been measured and compared in any related work, namely Cohen's Kappa metric. This metric is significant because the MRNet dataset used in this paper is not balanced.

Keywords: MRI, framework network, MRNet, deep learning, computer vision.

Постановка проблеми

Магнітно-резонансна томографія (МРТ) є одним з найефективніших методів діагностування травм і відхилень колінних суглобів, що існують донині. МРТ є найкращим способом візуалізації коліна, щоб виявити можливі патології та скерувати пацієнта на лікування [1].

Даний вид діагностування дозволяє робити послідовності зображень, які називаються «зрізами» в трьох різних розрізах – аксильному, корональному і сагітальному (показані на рис. 1), створюючи повноцінне представлення внутрішньої будови будь-якої частини тіла. МРТ є незамінним інструментом для

лікарів-експертів, у тому числі рентгенологів опорно-рухового апарату, які ставлять пацієнтам кінцевий діагноз та підбирають методи лікування. Зі зростанням населення, пропорційно зростає і попит на лікарів, зокрема, на рентгенологів опорно-рухового апарату. Останні статистичні дослідження прогнозують значний дефіцит експертів-рентгенологів, а також інших спеціалістів у галузі медицини. Лише в США нестача лікарів у галузі рентгенології може перевищити 35 000 до 2034 року, згідно з нещодавно опублікованим щорічним аналізом потреби у лікарських спеціальностях, зробленим Асоціацією американських медичних коледжів [2].

У всіх сегментах медичного обслуговування ця цифра може досягти 124 000. Як старіння, так і зростання кількості населення є головною рушійною силою цієї нестачі. Кількість населення у віковому сегменті 65 і вище за прогнозами протягом наступного десятиліття зросте більш ніж на 42%.

У вказаному вище звіті не вказується конкретна цифра суто для лікарів-рентгенологів, оскільки цю спеціальність об'єднують з анестезіологами, неврологами та працівниками невідкладної медицини. Проте їх частку в цьому звіті усе одно можна вважати суттєвою. Прогнозується, що до 2034 року в цьому сегменті буде нестача від 10 300 до 35 600 лікарів. Усі ці результати є частиною згаданого аналізу, опублікованого 11 червня 2021 року. Такі статистичні прогнози підводять до висновку, що існує потреба в надійних комп'ютеризованих системах, які могли б допомогти рентгенологам у виявленні патологічних станів під час аналізу МРТ пацієнтів. Основним застосуванням вказаних систем має бути зменшення робочого навантаження таких спеціалістів, яке на даний момент постійно зростає. Як відомо, на стику штучного інтелекту (ШІ) та рентгенології вже зараз використовуються різноманітні методи комп'ютерних наук для підтримки прийняття рішень медичних працівників у завданнях діагностування. З еволюційним покращенням результативності даних технологій, інтерес до них зростає пропорційно як від науковців у галузі штучного інтелекту, які можуть досліджувати і застосовувати сучасні методи машинного навчання для подібних задач, так і від рентгенологів, для яких основною цінністю подібних технологій є спрощення задач діагностування, і можливість першочергово сфокусуватися на незвичайних випадках [3].

В галузі штучного інтелекту алгоритми глибинного навчання (DL) можуть використовуватися безпосередньо до багатьох різних завдань кістково-м'язової рентгенології, включаючи реконструкцію зображень, створення синтетичних зображень, сегментацію тканин, а також діагностування та виявлення характеристик захворювань опорно-рухового апарату на рентгенограмах, УЗД, КТ та зображеннях МРТ. При цьому ставиться задача автоматизації процесу діагностування типових травм та аномалій. У роботі представлено оцінку сучасних моделей глибинного навчання для задач класифікації зображень МРТ колінного суглоба.

Аналіз останніх джерел

Серед усіх робіт, пов'язаних із даним дослідженням, було декілька спроб перетренувати оригінальну модель MRNet на більш сучасних архітектурах комп'ютерного бачення. Також досі не було зафіксовано жодної спроби задокументувати поступове вдосконалення точності передбачення MRNet із використанням новіших архітектур комп'ютерного бачення.

Оригінальна архітектура MRNet та пов'язані із нею дослідження здебільшого використовують попередньо натреновану мережу AlexNet як каркас виділення ознак. У роботі [5] автори використовують власний каркас виділення ознак, який, як стверджується, має більшу ефективність і у декілька разів меншу кількість параметрів навчання порівняно з AlexNet [6].

Шар виділення ознак, який використовується в MRNet на базі відносно нової архітектури комп'ютерного бачення згадувався лише в [7], де автори використали один із модифікованих варіантів архітектури Resnet – Resnet18. Навіть враховуючи той факт, що архітектура Resnet для виділення ознак вже згадувалася в роботі [8], використання цієї архітектури в якості каркасу виділення ознак все ще є актуальним. По-перше, у даній роботі ставиться за мету демонстрація поступового підвищення точності передбачення моделей для автоматизованого діагностування, співставне із використанням більш нових та прогресивних архітектур комп'ютерного бачення. По-друге, перенавчання такої моделі з нуля слугує забезпеченню прозорості порівняння показників точності передбачення, оскільки на ці показники могли б вплинути відмінності в параметрах самої моделі, або ж в параметрах навчання між моделлю у цій роботі, та версією, зазначеною в [9]. Це є ідеальним середовищем для порівняння точності передбачення, оскільки недетерміністичні фактори, такі як випадкові початкові значення для ініціалізації ваг у шарі класифікатора та параметри навчання (швидкість навчання, спад ваги, кількість епох), є уніфікованими для кожної окремої моделі, представленої у цій роботі.

Метою роботи є огляд та аналіз різних типів каркасних мереж виявлення ознак для архітектур машинного навчання, які здійснюють класифікацію зображень магнітно-резонансної томографії коліна. Ставиться задача порівняння різних типів мереж, зокрема, виділення ознак для одного й того ж класифікатора, в рамках точності та продуктивності. Було проаналізовано кілька варіантів моделей машинного навчання на основі архітектури MRNet.

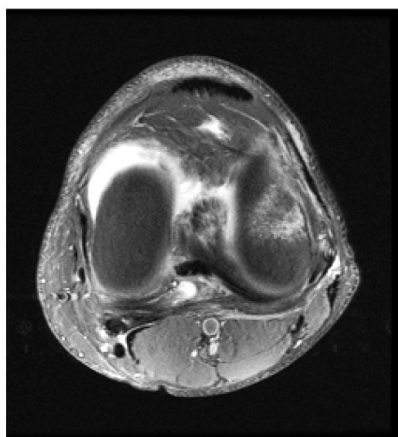
Виклад основного матеріалу

Однією з перших спроб використання методів штучного інтелекту для діагностування травми коліна під час сканування МРТ, яка призвела до утворення загальнодоступного набору даних мічених МРТ-сканувань колінного суглоба, зібраних на основі значної кількості клінічних випадків, була робота [10]. Отриманий набір даних має назву KneeMRI.

Набір даних KneeMRI, отриманий шляхом придушення жирової тканини за протонною щільністю, було зібрано ретроспективно із записів обстежень, зроблених на МРТ-сканері Siemens Avanto 1.5T у Клінічному лікарняному центрі Рієки, Хорватія, з 2006 по 2014 рр. Набір даних складається з 917 12-бітних чорно-білих зображень лівого або правого коліна. Кожному зображенню було присвоєно діагноз щодо стану переднього відділу хрестоподібної зв'язки подвійним сліпим методом, тобто кожне зображення було позначено відповідно до стану зв'язки: (1) здорова, (2) частково ушкоджена або (3) повністю розірвана. Доволі великий набір даних було виділено вручну з оригінальних зображень, це також описано в [10]. Цей набір даних було створено, щоб надати науковцям, які займаються комп'ютерним баченням та (або) машинним навчанням, простий спосіб роботи з даними.

Натомість, для цієї статті, набір даних MRNet був обраний як основа для навчання та налаштування наших моделей машинного навчання. Він був створений Школою медицини Стенфордського університету як засіб для полегшення розробки моделей глибокого навчання, здатних передбачити аномалії в представлених МРТ колінних суглобів. Набір даних MRNet складається з 1370 МРТ колінних суглобів, проведених у медичному центрі Стенфордського університету. Набір даних містить 1104 (80,6%) аномальні обстеження, з 319 (23,3%) розривами ACL і 508 (37,1%) розривами меніска; мітки були отримані шляхом ручного вилучення з клінічних звітів [11]. Приклади МРТ-зображень середнього зрізу колінного суглоба показано на рис. 1. Найпоширенішими показаннями до МРТ колінного суглоба в наборі даних були гострий і хронічний біль, контрольне або передопераційне обстеження, а також пошкодження (травми). Обстеження проводили за допомогою сканерів GE (GE Discovery, GE Healthcare, Waukesha, WI, USA) зі стандартною котушкою для МРТ колінного суглоба та звичайним протоколом МРТ колінного суглоба без контрасту, який включав наступні послідовності: корональний T1 зважений, корональний T2 з насиченням жиру, сагітальну протонну щільність (PD), зважену за сагітальною T2 із насиченістю жиру, а аксіальну PD, зважену з насиченістю жиру. Загалом у 775 (56,6%) обстеженнях використовувалося магнітне поле 3,0 Тл; інші використовували магнітне поле 1,5 Тл [11].

З моменту введення та початкової публікації набору даних MRNet було зроблено багато спроб створити надійні системи підтримки прийняття рішень для класифікації МРТ колінного суглоба. Більшість із них використовували підхід глибокого навчання та згорткові нейронні мережі. Основною сучасною моделлю є оригінальна архітектура MRNet, реалізована в [11]. У своїй роботі автори створили комбіновану модель для виявлення травми коліна з окремою моделлю для кожного зрізу МРТ. Один блок MRnet є максимальним рівнем об'єднання, поверх попередньо навченої магістральної мережі – AlexNet [6] як екстрактор функцій, за яким слідує повністю підключений рівень з активацією softmax для класифікації. Потім для кожної площини МРТ – аксіальної, корональної та сагітальної – окремий блок MRnet навчається класифікувати травми та аномалії. Нарешті, логістична регресія використовується як підхід для об'єднання цих різних блоків MRNet в один бінарний класифікатор для розривів ACL, розривів меніска та загальних аномалій колінного суглоба.



(а) Аксіальна площина



(б) Корональна площина



(в) Сагітальна площина

Рис. 1. Приклади вхідних зображень MRNet. Три зображення представляють (а) аксіальну, (б) корональну та (в) сагітальну площини МРТ коліна

У праці [7], автори показали, що тримодельна архітектура MRNet з логістичною регресією має найкращу ефективність перевірки порівняно з різними варіаціями тієї самої архітектури, включаючи AlexNets із самонавчанням як рівень вилучення функцій та окремі моделі, які працюють на конкатенації зрізів у всіх трьох площинах МРТ. Таким чином, у цій статті прийнято рішення використовувати ту саму базову архітектуру MRNet для порівняння різних магістральних мереж для одного блоку. У роботі [5] автори представляють архітектуру Efficiently-Layered Network (ELNet), оптимізовану для діагностики колінного суглоба за допомогою МРТ. Основним результатом їхньої роботи є нова мережа виділення ознак, яка включає в себе багатозрізову нормалізацію разом із шаром дискретизації BlurPool замість пулу

максимумів, чи адаптивного пулу середніх значень, які можна побачити в інших пов'язаних роботах.

Як зазначено в [12], загальновизнаною є думка, що більші набори даних призводять до кращих моделей глибокого навчання. Однак збір величезних наборів даних може бути дуже важким завданням через значні зусилля з ручного збору та маркування даних. Обмежені набори даних є особливо поширеною проблемою в аналізі медичних зображень. MRNet можна вважати невеликим набором даних, тому методи пом'якшення перенавчання, перелічені у згаданій статті, дуже корисні для цієї програми, щоб допомогти побудованим моделям узагальнити раніше невідомі їм дані.

Щоб запобігти перенавчання, ми використовуємо підхід аугментації зображень. Це метод синтетичного збільшення кількості вхідних зображень шляхом застосування випадкових перетворень зображень. Кожне вхідне зображення обробляється, і з нього створюється набір нових «перетворених» зображень. Процес збільшення зображення для вхідних МРТ-зображень колінного суглоба показано на рис. 2. Це допомагає створити більш широкий і різноманітний вхідний сигнал для моделей машинного навчання, а також допомагає вирішити проблему перенавчання. Доведено, що розширення даних створює багатообіцяючі способи підвищення точності класифікаційних завдань. Навіть традиційні способи збільшення зображення, без залучення додаткових мереж Generative Adversarial Network (GAN), виявилися дуже ефективними, як описано у [13].

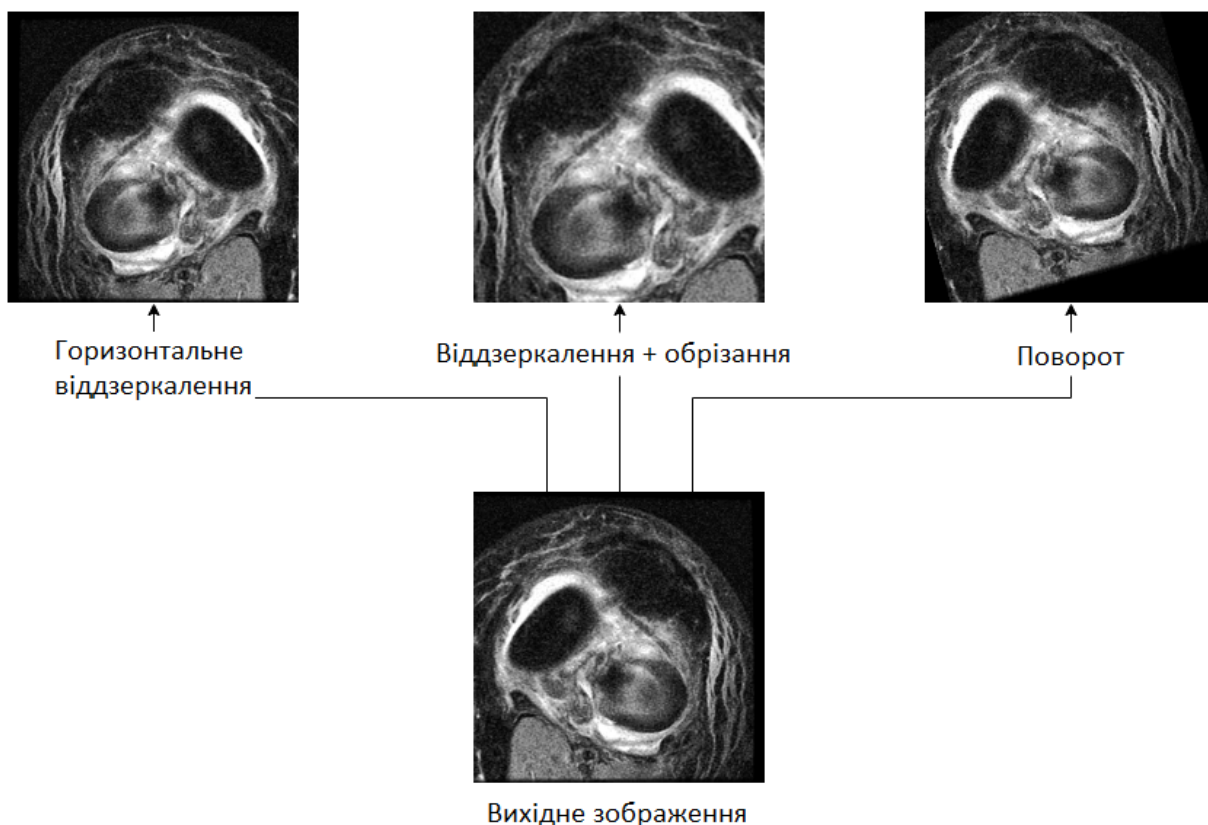


Рис. 2. Випадкові перетворення вихідного зображення, застосовані до середнього аксіального зрізу зображення для доповнення оригінальних даних зображення MRNet

Висновки

Експериментальним шляхом досліджено постійне загальне підвищення продуктивності моделі від використання Alexnet до мереж типу VGG11 і VGG16 для класифікації оригінальних зображень набору MRNet. Цей результат означає, що одна лише заміна архітектури Alexnet аналогами VGG вже є вигіднішою з точки зору ефективності класифікації.

Іншим фактом, який впливає з роботи, є досить низька продуктивність найновіших архітектур комп'ютерного бачення. ResNet, як і Efficientnet є найсучаснішими моделями з усього набору, на якому проводилися оцінки. Вони, перевершують як Alexnet, так і VGG за результатами конкурсу ImageNet. Однак для класифікації МРТ колінного суглоба вони, як впливає з отриманих у цій статті результатів, не використали весь свій потенціал. Ймовірно, це пов'язано з етапом попередньої обробки зображення, і, можливо, цю проблему можна вирішити за допомогою індивідуальних методів попередньої обробки зображення для цих каркасних мереж виділення ознак.

Проведено порівняльний аналіз для набору класифікаційних моделей на основі оригінальної архітектури MRNet з різними каркасними мережами виявлення ознак для блоків MRNet, включаючи Alexnet, VGG11, VGG16, Resnet і Efficientnet. Показано, що варіант моделі MRNet-VGG16 дає найкращі результати для виявлення розриву зв'язок (ACL). Для виявлення аномальної форми коліна, над MRNet-

Resnet домінує MRNet-VGG16 з пороговими значеннями в межах 0,5 і 0,75, а MRNet-VGG11 домінує для порогових значень, більших за 0,8.

References

1. Nacey N.C. Magnetic resonance imaging of the knee: An overview and update of conventional and state of the art imaging / N.C. Nacey, M.G. Geeslin, G.W. Miller, J. L. Pierce // *J. Magn. Reson. Imaging*. – 2017. – № 45. – P. 1257–1275.
2. IHS Markit Ltd (Prepared for the AAMC). The Complexities of Physician Supply and Demand: Projections from 2019 to 2034 AAMC, Washington, DC, USA, June 2021. <https://www.aamc.org/media/54681/download>.
3. Gore J.C. Artificial intelligence in medical imaging / J.C. Gore // *J. Magn. Reson. Imaging*. – 2020. – № 68. – P. A1-A4.
4. He K. Deep Residual Learning for Image Recognition / K. He, X. Zhang, S. Ren, J. Sun. // *arXiv*. – 2015. – arXiv:1512.03385.
5. Tsai C. Knee Injury Detection using MRI with Efficiently-Layered Network (ELNet) / C. Tsai, N. Kiryati, E. Konen, I. Eshed, A. Mayer // *Proceedings of the Third Conference on Medical Imaging with Deep Learning*, Montreal, QC, Canada, 6–8 July 2020, Volume 121, p. 784–794.
6. Krizhevsky A. ImageNet Classification with Deep Convolutional Neural Networks / A. Krizhevsky, I. Sutskever, E.G. Hinton // *Proceedings of the Advances in Neural Information Processing Systems 25 (NIPS 2012)*, Lake Tahoe, NV, USA, 3–8 December 2012. <https://papers.nips.cc/paper/2012/hash/c399862d3b9d6b76c8436e924a68c45b-Abstract.html>
7. Azcona D. A Comparative Study of Existing and New Deep Learning Methods for Detecting Knee Injuries using the MRNet Dataset / D. Azcona, K. McGuinness, A.F. Smeaton // *Proceedings of the 2020 International Conference on Intelligent Data Science Technologies and Applications (IDSTA)*, Valencia, Spain, 19–22 October 2020, p. 88–94.
8. Simonyan K. Very Deep Convolutional Networks for Large-Scale Image Recognition / K. Simonyan, A. Zisserman // *arXiv*. – 2015. – arXiv:1409.1556.
9. Tan M. EfficientNet: Rethinking Model Scaling for Convolutional Neural Networks / M. Tan, Q.V. Le // *arXiv*. – 2019. – arXiv:1905.11946.
10. Štajduhar I. Semi-automated detection of anterior cruciate ligament injury from MRI / I. Štajduhar, M. Mamula, D. Miletić, G. // *Unal Comput. Methods Programs Biomed*. – 2017. – 140. – P. 151–164.
11. Bien N. Deep-learning-assisted diagnosis for knee magnetic resonance imaging: Development and retrospective validation of MRNet / N. Bien, P. Rajpurkar, R.L. Ball, J. Irvin, A. Park, E. Jones, M. Bereket, B.N. Patel, K.W. Yeom, K. Shpanskaya // *LoS Med*. – 2018. – 15. – e1002699.
12. Shorten C. A survey on Image Data Augmentation for Deep Learning / C. Shorten, T.M. Khoshgoftaar // *J. Big Data*. – 2019. – 6. – P. 1–48.
13. Wang J. The Effectiveness of Data Augmentation in Image Classification using Deep Learning / J. Wang, L. Perez // *arXiv*. – 2017. – arXiv:1712.04621.

РУБАНКА Микола

Київський національний університет технологій та дизайну

<https://orcid.org/0000-0003-2367-0333>e-mail: rubanka.mm@kntud.edu.ua**ДВОРЖАК Володимир**

Київський національний університет технологій та дизайну

<https://orcid.org/0000-0002-1693-9106>e-mail: dvorzhak.vm@kntud.edu.ua**РУБАНКА Алла**

Київський національний університет технологій та дизайну

<https://orcid.org/0000-0003-0298-0850>e-mail: rubanka.ai@kntud.edu.ua**ПОЛІЩУК Олег**

Хмельницький національний університет

<https://orcid.org/0000-0002-9764-8561>e-mail: opolishchuk71@gmail.com**ГОРЯЩЕНКО Сергій**

Хмельницький національний університет

<https://orcid.org/0000-0001-6623-2523>e-mail: gsl7@ukr.net

ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ПРИ ВИГОТОВЛЕННІ ШВЕЙНИХ ВИРОБІВ: ОБЛАДНАННЯ РОЗКРІЙНОГО ВИРОБНИЦТВА

В статті розглянуто технологічний процес виробництва розкрійного цеху швейного підприємства та типового обладнання, що при цьому використовується. Встановлено, що збільшення асортименту швейних виробів, поява нових матеріалів, швидкість змінюваності моделей, методів обробки тощо зумовлюють необхідність системного пошуку раціональних та ефективних рішень технологічного процесу виготовлення, в тому числі за рахунок впровадження сучасного інноваційного обладнання. Розроблено узагальнену класифікаційну схему типового обладнання розкрійного цеху швейного виробництва. Окреслено основні проблеми, які потрібно вирішити для успішного розвитку середньостатистичного швейного підприємства.

Ключові слова: технологічний процес, розкрійний цех, швейне підприємство, обладнання розкрійного виробництва, розкрій, швейні матеріали.

RUBANKA Mykola, DVORZHAK Volodymyr, RUBANKA Alla

Kyiv National University of Technologies and Design

POLISHCHUK Oleh, HORIASHCHENKO Serhiy

Khmelnytsky National University

INNOVATIVE TECHNOLOGIES IN THE PRODUCTION OF SEWING PRODUCTS: CUTTING PRODUCTION

The article considers the technological process of production of the cutting department of a sewing enterprise and the typical equipment used during such a process. It is revealed that the increase in the range of sewing products, the appearance of new materials, the speed of changing models, methods of processing, etc., necessitates a systematic search for rational and effective solutions for the technological process of production, including through the introduction of modern innovative equipment. The most used standard equipment of the cutting department of a sewing enterprise has been analyzed. The main requirements for the equipment involved in the technological process of production of the cutting department of a sewing enterprise have been determined. Also, the ways of possible improvement of the cutting department of a sewing enterprise have been outlined. The object of the research is a typical cutting department of a Ukrainian sewing enterprise, i.e. the technological process of production and the equipment used during such process. The method of system analysis is used. Theoretical studies are based on the main provisions of light industry production technologies. A generalized classification scheme of the standard equipment of the cutting department of a sewing enterprise has been developed, which can be used at light industry enterprises, in particular the cutting department of a sewing enterprise, when choosing energy-efficient and high-tech equipment. Also, the main problems that need to be solved for the successful development of an average sewing enterprise are outlined. The results of the study can be used in the design of new and modernization of existing cutting departments of sewing enterprises.

Keywords: technological process, cutting department, sewing enterprise, cutting production equipment, cutting, sewing materials.

Вступ

На сьогоднішній день швейне підприємство являє собою досить складний механізм, робота якого спрямована на виготовлення високоякісних виробів для задоволення потреб населення. З метою підвищення прибутковості підприємства, технологічний процес виготовлення продукції має бути енергоефективним, високотехнологічним, ресурсозаощадливим, а готові вироби належної якості. Вище перелічені фактори успішного розвитку швейного підприємства, в першу чергу, залежать від обладнання, якими оснащено відповідні цеха. Технічний прогрес не стоїть на місці і топові підприємства швейної промисловості України постійно слідкують за систематичним оновленням свого величезного парку обладнання в кожному із наявних цехів виробництва. Саме така політики раціонального господарювання дозволяє створювати «здорову» конкуренцію на насиченому ринку товарів вітчизняного та закордонного виробництва.

Об'єкт та методи дослідження

Об'єктом досліджень є типовий розкрійний цех швейного підприємства України: технологічний процес виробництва та обладнання, що при цьому використовується. При вирішенні поставлених задач використано метод системного аналізу. Теоретичні дослідження базуються на основних положеннях технології виробництв легкої промисловості.

Постановка завдання

Збільшення асортименту швейних виробів, поява нових матеріалів, швидкість змінюваності моделей, методів обробки тощо зумовлює необхідність системного пошуку раціональних та ефективних рішень технологічного процесу виготовлення, в тому числі за рахунок впровадження сучасного інноваційного обладнання.

Результати та їх обговорення

Основними завданнями розкрійного виробництва швейного підприємства є розкрій матеріалів, дублювання матеріалів верху та ритмічне забезпечення кроєм швейного цеху [1].

До типового обладнання розкрійного цеху швейного виробництва можна віднести:

- обладнання для настиляння матеріалу (столи для ручного настиляння, настільні столи з відрізною лінійкою, напівавтоматизовані настільні комплекси, автоматизовані настільні комплекси);
- обладнання для розкрою матеріалу (дироколи-спікачі, обладнання для ручного розкрою матеріалу, обладнання для точного розкрою матеріалу, обладнання для автоматизованого розкрою матеріалу);
- обладнання для специфічних умов виробництва (машини для різання декоративної тасьми, текстильних застібок тощо, бейкорізки, термоножі);
- обладнання для маркування та нумерації частин крою (нумератори крою);
- обладнання для вирубівання деталей крою (вирубні преси);
- обладнання для дублювання матеріалу крою (дублюючі преси прохідного типу, дублюючі преси планшетного типу);
- обладнання для альтернативних способів розкрою матеріалу.

Розкрійні столи (рис. 1) використовуються для настилу матеріалу (тканини, штучної шкіри, нетканих матеріалів) та його подальшого розкрою в декілька шарів (настилами) розкрійними ножами шабельного або дискового типу. Стільниці сучасних розкрійних столів мають полімерне покриття, стійке до механічних навантажень, негативних впливів навколишнього середовища, стирання тощо [2]. Також, при необхідності, розкрійні столи можуть бути дооснащені розмотувачами для рулонів тканини [3]. Зазвичай каркас розкрійного столу являє собою збірну секційну конструкцію, що дозволяє варіювати загальною довжиною в залежності від потреб підприємства.



Рис. 1. Розкрійні столи: а – односекційний; б – багатосекційний; в – дооснащений розмотувачем для рулонів тканини

Відрізні лінійки (рис. 2) використовуються для точного розкрою рулонів тканини на шматки необхідного розміру. Вони складаються із розмотувального пристрою, дискового ножа та направляючої рейки.



Рис. 2. Відрізні лінійки: а – ручна LEJIANG D108; б – напівавтоматична Dison DS-B-2; в – автоматична DAYANG DYDB-2

Відрізні лінійки для тканин можуть бути на ручному управлінні (працівник сам розмотує рулон, включає, виключає, переміщує дисковий ніж, підіймає та опускає лінійку), напівавтоматичні (матеріал подається вручну, лінійка переміщується також вручну, а дисковий ніж рухається автоматично), автоматичні (працівник тільки включає систему та контролює подачу рулону), як частина настільного комплексу (відрізними лінійками

можуть бути дооснащені розкрійні столи, перемотувальні або мірно-вибракувальні машини) [4].

Настилочні комплекси (рис. 3) використовуються для настилу всіх видів матеріалів. Існують ручні, напівавтоматичні та автоматичні настилочні комплекси. Автоматичні настилочні комплекси оснащені відкидною системою рухомої каретки, рухомою кареткою, автоматичним поворотом каретки, напрямними штативами та регулятором подачі рулону. Повністю автоматичними є процес скручування та розкручування матеріалу, а також присутні динамічний контроль швидкості та контроль країв [5]. Основною перевагою настилочного комплексу є його швидкість, точність, зручність використання; недоліком – висока вартість.

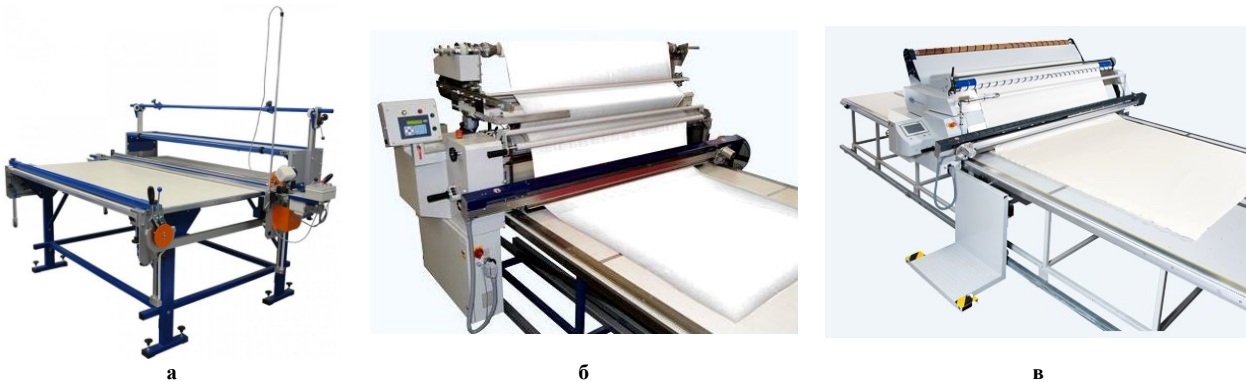


Рис. 3. Настилочні комплекси: а – ручний Rexel UL-3; б – напівавтоматичний Kuris Shuttle; автоматичний Oshima K9-190-L

Вертикальні шабельні розкрійні ножі (рис. 4) використовуються для точного та швидкого розрізування покладеної в настил тканини зі швидкістю 0,4-0,5 м/с. Обравши потрібне лезо (з хвилястою або з прямою кромкою) можна розкрити тканини різної щільності. Хвилясті леза використовують для щільних, грубих, важких тканин. Прямі підходять для легких матеріалів та тканин середньої щільності. До переваг цього виду обладнання можна віднести запобігання зсуву настилу при розкрої як по прямій лінії, так і під час вирізання дрібних деталей, складних фігурних елементів. Його повнопривідна підшошва плавно рухається по поверхні тканини, а спеціальний механізм автоматично заточує лезо [6].

Дискові розкрійні ножі (рис. 5) використовуються у швейних цехах і ательє для розкрою тканин великого розміру. Вони оснащені ріжучим елементом у формі диску і опорною підшошвою з роликками для зручності переміщення; відрізняється універсальністю і застосовується для крою різних тканин [7]. Діаметр диску може бути 50, 70, 100, 110, 125 мм. Слід відмітити наявність спеціального пристрою для заточування [8]. Дане обладнання не даремно вважається кращим в своїй категорії, оскільки може легко і швидко впоратися з будь-яким видом тканини, що потрібно розкрити. До того ж, дискові розкрійні ножі досить прості у використанні і доступні за ціною [9]. Дискові ножі розрізняють на мережеві (рис. 5 а, б, в, д) та акумуляторні (рис. 5 г, е). Перевагою акумуляторних є унеможливлення перерізання проводу під час різання та підвищена маневреність під час роботи, недоліком – збільшена вага за рахунок наявності акумулятора.

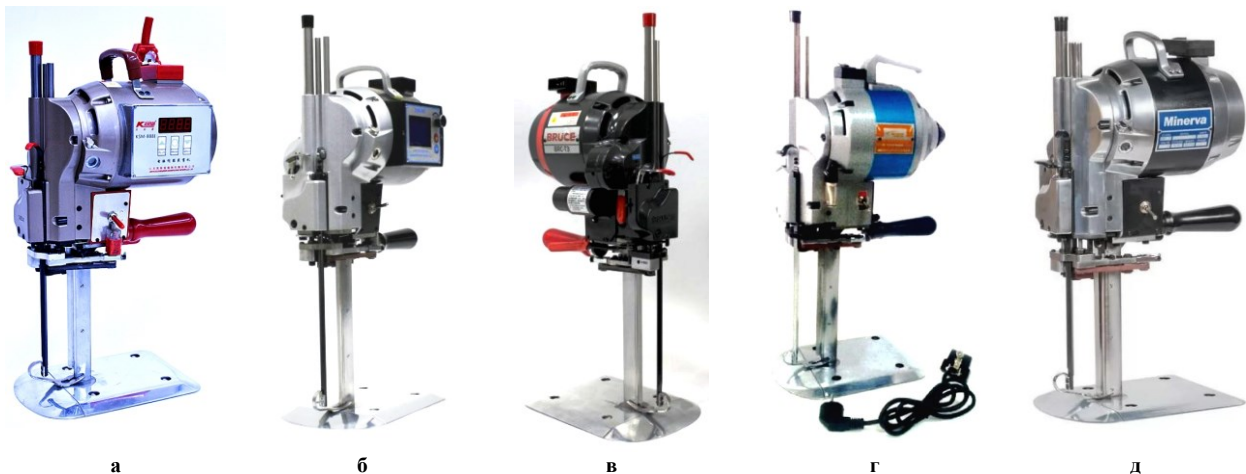


Рис. 4. Вертикальні шабельні розкрійні ножі: а - Kaisiman KSM-8881 (10 "); б - KAIGU ZCD210-MSD (10"); в - BRUCE BRC-T3 (12"); г - SPARK SPECIAL SM-103 (10"); д - Minerva CZD 3-550 (12")

Термоножі (рис. 6) використовуються для зручного та якісного розкрою синтетичної тканини (поліестер, шовк, атлас, капрон тощо). Розкрій синтетичної тканини має свої особливості. Використовуючи термоніж можна вести криволінійний різ з одночасним запаюванням та закріпленням країв матеріалу, що надає естетичного вигляду, додає зручності в подальшій роботі та оберігає тканину від обсіпання краю [10]. Слід відмітити, що при роботі з таким видом обладнання може знадобитися додаткова вентиляція або витяжка для видалення шкідливого диму, що утворюється в процесі плавлення синтетичного матеріалу.



Рис. 5. Дискові розкрійні ножі: а - CHERYING RCS-100; б - Mareew RC-100; в - Anysew RSD-100; г - Type Special RSD-70B; д - DAYANG RSD-70; е - Cheering RCS-125B



Рис. 6. Термоножі: а – AMTH AMT-0; б – CANTY CD 8-3; в – Canty KD-5-3

Розкрійні стрічкові машини (рис. 7) використовуються для точного розкрою бавовняних, вовняних, лляних, шовкових, штучних тканин, а також шкіри, поролону та трикотажу та ін. [11]. Сучасні розкрійні стрічкові машини оснащені повітряною подушкою, що суттєво полегшує переміщення великогабаритних деталей по столу розкрійної машини та заточними пристроями, які можна використовувати безпосередньо в процесі роботи. Для безпеки закрийника стрічкова розкрійна машина оснащена механічним уловлювачем стрічки. У разі обриву стрічки уловлювач блокує її перед неконтрольованим падінням, запобігаючи цим отримання травми користувачем [12]. Рекомендовано працювати на стрічковій машині в кольчужній рукавиці.

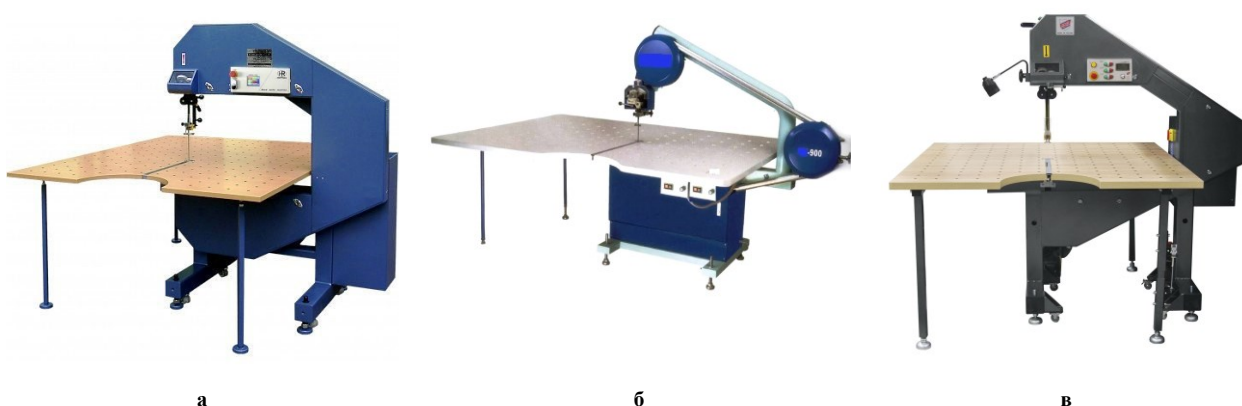


Рис. 7. Розкрійні стрічкові машини: а - HOFFMAN HF-200T/750/1; б - DAYANG DY-1200A; в - Rexel R750

Автоматизовані розкрійні комплекси (АРК) (рис. 8) мають в своєму активі розкрійні цехи великих швейних підприємств. Сучасні високотехнологічні автоматизовані розкрійні комплекси з числовим програмним керуванням дозволяють суттєво підвищити продуктивність праці швейного підприємства. Завдяки можливості підключення до САПР з'являється можливість управляти процесом крою безпосередньо з робочого місця конструктора [13]. Перевагою АРК є висока точність і швидкість різання, простота у використанні; недоліком – велика площа встановлення, вартість, сумісність з САПР.

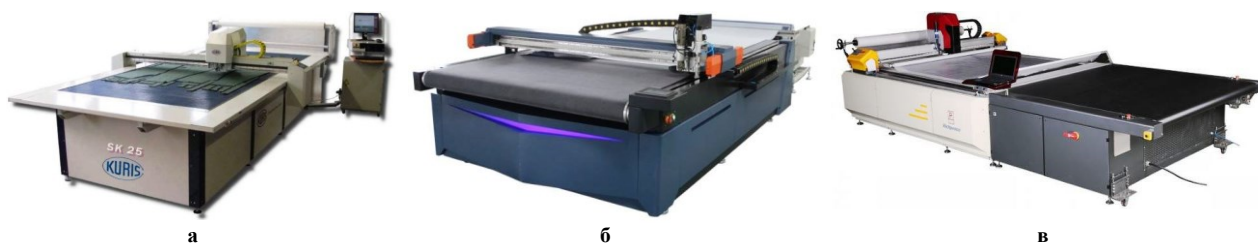


Рис. 8. Автоматизовані розкрійні комплекси: а – KURIS CNC CUTTER SK25; б – YOZO YZ1625; в – Richpeace RPAC-NW-MC6-1

Розкрійні ножиці (рис. 9) використовуються для ручного розкрою будь якого виду тканин. Це можуть бути як щільні невіддатливі матеріали, так і делікатні тканини (шовк, гіпюр тощо). В процесі роботи даним інструментом кількість прикладених зусиль має бути незначна, а навантаження рівномірно розподілятися по всій довжині леза [14]. Якісні розкрійні ножиці покликані полегшити процес крою, особливо тонких або підкладкових тканин [15]. Розкрійні ножиці теж постійно удосконалюються, виробники покращують їх ергономічність. Наприклад, з'явилися ножиці з покриттям ручок матеріалом з soft touch ефектом.



Рис. 9. Розкрійні ножиці: а - Bruce 10"; б – Kretzer 10"; в - Mundial 490-10"; г - Taksun Golden 10"



Рис. 10. Маркувальники тканин (дироколи-спікачі): а – Kaixuan CZ-201; б – Oshima OB-201L; в – KRAFT KF-201L; г – Nicro Top SM-201L

Маркувальники тканини (дироколи-спікачі) (рис. 10) використовуються для наколювання (маркування) в шарах тканини певних точок розкрою або спікати один з одним всі шари настилу за допомогою розігрітої голки, щоб унеможливити їх зсув. Товщина матеріалу, що обробляється визначає геометричні параметри (довжина та діаметр) робочого органу (підігрітої голки) даного виду обладнання [16].

Нумератори крою (рис. 11) використовуються для маркування та нумерації частин крою в процесі шиття. Сама робота пристрою полягає у послідовній нумерації даних кожної наступної етикетки з певним кроком. Крім цього, пристрій використовують для маркування товарів на складі, нанесення цінників, для промислової нумерації матеріалів і товарів [17].

Машини для нарізки бейки (бейкорізки) (рис. 12) використовуються для розкрою та нарізки тканини

та трикотажу на прямі або косі тонкі смуги [18]. Бейку у швейному виробництві застосовують для обробки деталей з відкритими краями. Це можуть бути рукави, коміри тощо. Їх якісне виконання важливе з точки зору завершеності та естетичності зовнішнього вигляду пошитого виробу [19]. Наявність на швейному підприємстві даного виду обладнання свідчить про перехід від морально застарілого ручного до високотехнологічного машинного способу нарізки бейки; дозволяє підвищити точність та швидкість виконання поставлених задач, суттєво підвищити ефективність роботи в цілому [19].



Рис. 11. Нумератори крою: а - OPEN TEXT 2644 ; б - Printex 3426-Textil; в - METO PROLINE S PA722; г - Prix ncl 22-12



Рис. 12. Бейкорізки: а - Weijie WJ-933; б - Dison DS-911A; в - Minerva 911A

Машини для різання декоративної тасьми та текстильних застібок (рис. 13) неабияк стануть в нагоді швейному підприємству, якому в найкоротші терміни потрібно виготовити партію виробів з великою кількістю текстильних застібок, ремінних стрічок, бейок, шнурів тощо. Особливо важливою є точність нарізання при подальшому нашиванні такої фурнітури на автоматизованому обладнанні швейного цеху. Розрізняють машини холодного та/або гарячого способу різання. Даний вид обладнання має свої особливості та характеристики. Тому при покупці важливо це враховувати [20]. Також вони можуть бути оснащені датчиками для нарізання по намітці на стрічці.



Рис. 13. Машини для різання декоративної тасьми та текстильної застібки: а - cuTex TBC-50 для холодного різання; б - cuTex TBC-50N для гарячого різання ; в - SK 988 для холодного та гарячого різання

Поряд із існуючими механічними способами розкрою матеріалів мають місце альтернативні:

- безконтактний променем лазера;
- електроіскровий;
- плазмовий.

Безконтактний розкрій швейних матеріалів променем лазера заснований на тепловій дії променя на тканину, при якому відбувається згорання тканини по заданій лінії. Краї матеріалу при цьому оплавляються, що забезпечує відсутність обсіпання тканини [1].

Лазерні розкрійні машини (рис. 14) характеризуються високими показниками ефективності та надійності [21]. Різання тканини відбувається за допомогою лазера в один шар. Цей процес повністю автоматизований. Тканина подається прямо з рулону на транспортуєчу стрічку. Це вважається одним із найефективніших видів розкрою, оскільки одношарове різання зводить до мінімуму розмір незакінченого виробництва та виключає проблему розбіжності відтінків виробів [22]. Застосування лазера для розкрою тканин збільшує продуктивність виробництва, заощаджує час та матеріал, забезпечує високу швидкість.

Лазерна розкрійна машина забезпечує цілий комплекс операцій - пряме різання, фігурний розкрій, перфорація, дизайнерське оформлення тощо [23]. За допомогою лазерного різання можна створювати оригінальні предмети інтер'єру і оригінальні м'які іграшки, аплікації та одяг, шкіргалантерейні вироби та взуття [24].

Поява автоматизованого газолазерного устаткування для розкрою дозволила підвищити можливості не тільки настільного способу розкрою, але і здійснити безнастильний розкрій окремих видів матеріалів [1].

Електроіскровий спосіб розкрою базується на тому, що на текстильний матеріал наносять лінії контурів деталей крою із графіту, який проводить електрику. До протилежних кінців графітової лінії підводять електроди та подають високу напругу. Під дією електричного розряду матеріал вигорає по графітовій лінії [1].

Плазмовий розкрій – розкрій іонізованим газом (найчастіше, аргонном) високої температури (10000-20000 °C). Швидкість струї аргонного газу (плазми) при цьому складає більше 660 м/с. Діаметр газового пальника біля 0,7 мм, довжина – 5-10 мм. Це забезпечує тонкий та чистий зріз. При роботі з синтетичними матеріалами можливе одночасне оплавлення країв деталей. Швидкість розкрою – 50 м/хв. На відстані 20 см від устаткування температура повітря лише незначно перевищує кімнатну, а використання інертного газу аргону виключає можливість виникнення пожежі. Такий спосіб розкрою має перевагу над лазерним способом розкрою з точки зору безпеки експлуатації та більш простої конструкції устаткування, яке потребує мінімального техобслуговування. Також для розкрою можуть бути застосовані водяний струмінь чи струмінь кислоти [1].



Рис. 14. Лазерні розкрійні машини: а – GL16100 Track; б – GN16010; в – MSL 1610C

Вирубні преси (рис. 15) використовуються для розкрою будь-яких неметалічних матеріалів шляхом вирубку за лекалом (різака). Широко використовуються у виробництві взуття для викрійки будь-яких деталей взуття від верху до устілок. На даних пресах також можна кроїти будь-яку тканину, в тому числі найбільш щільну, таку як джинс, брезент тощо [25]. Основною перевагою такого крою є висока точність, тому ці преси досить часто використовуються на швейному підприємстві для вирубання дрібних деталей (кишень, хомутиків, пат тощо).



Рис. 15. Вирубні преси: а – GSB-160; б – Filiz 2120; в – Atom S120



Рис. 16. Дублюючі преси притискного типу: а – Juck JK-T38; б – Weijie WJ-62; в – IPT M115/230V/TM

Дублюючі преси притискного типу (рис. 16) використовуються для дублювання матеріалів крою та термотрансферного друку різного роду зображень на деталі крою, або готові вироби (наприклад процес нанесення логотипу на футболку). Дане обладнання досить просте та практичне у використанні, характеризується широким спектром виконуваних робіт та високою продуктивністю [26].

Дублюючі преси прохідного типу (рис. 17) використовують для обробки матеріалів при виробництві великого обсягу текстильних виробів. Пристрій доречний як на великій швейній фабриці, так і в маленькому цеху або в ательє. Здавлення, склеювання та дублювання матеріалів проводиться за допомогою клею або ниток під оптимальним тиском. У процесі роботи обладнання поверхня матеріалів оплавляється та склеюється, надійно з'єднуючись, що дозволяє гарантувати кращу міцність виробу, його довговічність та збереження первісної форми протягом тривалого періоду часу. Дублюючий прес прохідного типу відрізняється особливою технологією роботи, завдяки чому деталі готового виробу добре зберігають свою форму [27].



Рис. 17. Дублюючі преси прохідного типу: а – Dison NHG-500-B; б – Worden WD 500MS; в – Juck JK-500B

Узагальнену класифікаційну схему типового обладнання розкрійного цеху швейного виробництва представлено на рис. 18.

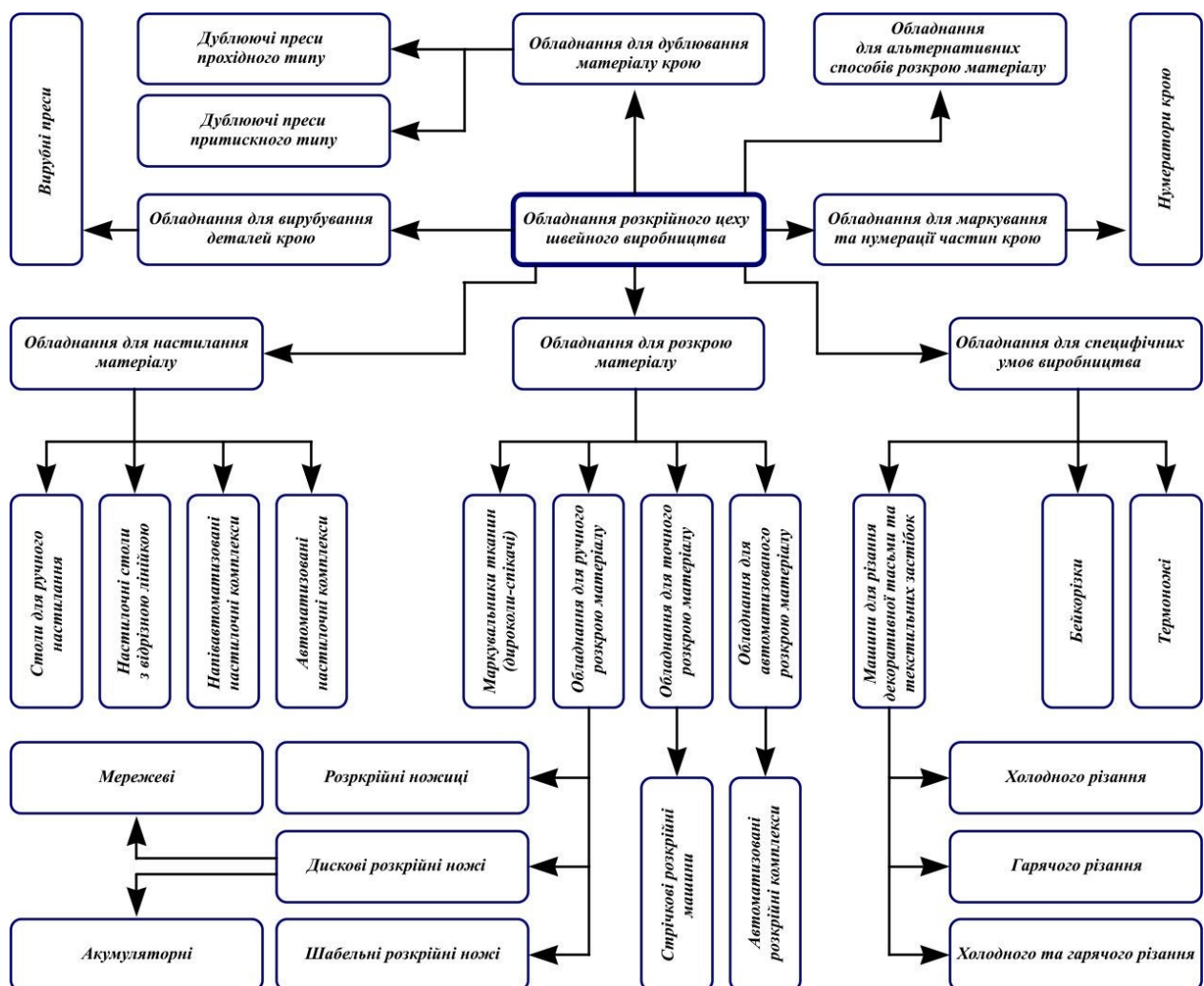


Рис. 18. Узагальнена класифікаційна схема типового обладнання розкрійного цеху швейного виробництва

Варто зазначити, що у розкрійному цеху швейного виробництва в ході виконання ряду технологічних процесів утворюється ціла низка різноманітних відходів, які в подальшому можна переробити та використати в якості вторинної сировини [28-30].

Висновки

Виконані дослідження показують наступне:

- збільшення асортименту швейних виробів, поява нових матеріалів, швидкість змінюваності моделей, методів обробки тощо зумовлює необхідність системного пошуку раціональних та ефективних рішень технологічного процесу виготовлення, в тому числі за рахунок впровадження сучасного інноваційного обладнання;
- запропоновану узагальнену класифікаційну схему типового обладнання розкрійного цеху швейного виробництва може бути використано при проектуванні нових і модернізації існуючих розкрійних цехів швейних підприємств;
- визначено основні вимоги до обладнання, що задіяне в технологічному процесі виробництва розкрійного цеху швейного підприємства;
- визначено шляхи можливого удосконалення розкрійного цеху швейного підприємства.

Література

1. Основи технологій експериментального та підготовчо-розкрійного виробництв : навч. посіб. / С. М. Березненко, О. І. Водзінська, Л. Б. Білоцька, С. В. Донченко. – К. : КНУТД, 2017. – 171 с.
2. Розкрійні столи. URL: <https://soliy.com.ua/collection/raskroynye-stoly?lang=ua> (дата звернення 12.07.2022).
3. Розмотувач рулону тканини. URL: https://leg-prom.com.ua/ua/raskrojnoe_oborudovanie/razmotchik-rulona-tkani (дата звернення 12.07.2022).
4. Кінцеві відрізи лінійки. URL: <https://sm-ua.com/kncev-vdrzn-lnyki> (дата звернення 14.07.2022).
5. Настільні машини та столи. URL: https://shvejnik.com.ua/ua/nastilochni-mashini-ta-stoli?from_store=ua (дата звернення 12.07.2022).
6. Вертикальні шабельні розкрійні ножі. URL: <https://sm-ua.com/vertikalyn-sabelyn-nogh> (дата звернення 13.07.2022).
7. Розкрійні ножі. URL: <https://sweika.com.ua/ua/30-promyshlennyeraskroynye-nozhi> (дата звернення 13.07.2022).
8. Дискові розкрійні ножі. URL: https://leg-prom.com.ua/ua/raskrojnoe_oborudovanie/diskovie_nodzi/ (дата звернення 13.07.2022).
9. Дискові розкрійні ножі. URL: <https://tex-prom.com.ua/ua/raskrojnoe-oborudovanie/diskovye-raskrojnye-nozhi/> (дата звернення 13.07.2022).
10. Термоножі для тканини. URL: <https://soliy.com.ua/collection/termonozhi?lang=ua> (дата звернення 14.07.2022).
11. Розкрійні машини. URL: <https://soliy.com.ua/collection/raskroynye-mashiny?lang=ua> (дата звернення 12.07.2022).
12. Rexel L1000. URL: https://softorg.com.ua/ru/product/rexel_r1000 (дата звернення 12.07.2022).
13. Комп'ютеризовані розкрійні комплекси. URL: <https://sewtech.com.ua/uk/stegalnoe-obladnannya/kompyuterizovani-rozkrijni-kompleksi/> (дата звернення 14.10.2022).
14. Ножі кравецькі. URL: <https://sewtech.com.ua/uk/zapchastini-ta-aksesuari/aksessuary/nozhici/> (дата звернення 13.10.2022).
15. Розкрійні ножі – робимо правильний вибір! URL: <https://spool.com.ua/ua/raskroynye-nozhnicy-delaem-pravilnyy-vybor> (дата звернення 13.10.2022).
16. Дироколи, термоножі і праски для лекал. URL: <https://shvejnik.com.ua/ua/dirokoli-termonozhi-i-praski-dlya-lekal> (дата звернення 13.10.2022).
17. Нумераторы кроя для швейного производства. URL: https://termoprinter.org.ua/numeratori_kroya.html (дата звернення 17.10.2022).
18. Машини для нарізання бейки (бейкорізки). URL: <https://tex-prom.com.ua/ua/raskrojnoe-oborudovanie/mashiny-dlya-narezaniya-bejki-bejkorezki/> (дата звернення 13.10.2022).
19. Машини для нарізання бейки (бейкорезки). URL: https://sofitex.com.ua/raskrojnoe_oborydovanie/machini_dlya_narezaniya_bejki/ (дата звернення 13.10.2022).
20. Машини для різки ленти липучки. URL: <https://tex-prom.com.ua/ru/raskrojnoe-oborudovanie/mashiny-dlya-rezki-lenty-lipuchki/> (дата звернення 14.10.2022).
21. Лазерные раскройные машины. URL: <https://angeli.net.ua/raskrojnoe-oborudovanie/lazernye-raskrojnye-mashiny/> (дата звернення 17.10.2022).
22. Особенности раскройного оборудования. URL: <https://sofitex.com.ua/osobennosti-raskroynogo-oborudovaniya.html> (дата звернення 17.10.2022).
23. Лазерные станки по ткани. URL: <https://mirstankov.com/shop/oborudovanie/lazernye-gravery/lazernye-stanki-po-tkani/> (дата звернення 17.10.2022).
24. Особливості використання лазерних пристроїв при виготовленні колекції сучасного жіночого

одягу / А. Д. Кепко, А. І. Рубанка, Т. В. Луцкер, М. М. Рубанка // Молодь – науці і виробництву – 2019: Інноваційні технології легкої промисловості : матер. Міжн. наук.-практ. конф. здобувачів вищої освіти і молодих учених, м. Херсон, 16-17 травня 2019 року. – Херсон : ХНТУ, 2019. – С. 64–66.

25. Вырубочные пресса. URL: <https://geovorkyan.com.ua/ua/g10953100-vyrubochnye-pressa> (дата звернення 17.10.2022).

26. Дублюючі преси притискного типу. URL: <https://shvejnik.com.ua/ua/dublyuyuchi-presi-pritisknogo-tipu> (дата звернення 20.10.2022).

27. Пресса дублирующие проходного типа. URL: <https://sewtech.com.ua/pressa-dubliruyushchie/pressa-dubliruyushchie-prohodnogo-tipa/> (дата звернення 17.10.2022).

28. Рубанка М. М. Способи переробки і області подальшого використання відходів матеріалів швейної промисловості / М. М. Рубанка // Легка промисловість. – 2017. – № 2. – С. 48–55.

29. Рубанка М. М. Відходи легкої промисловості, способи переробки та області подальшого використання / М. М. Рубанка, В. П. Місяць // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. – 2015. – № 4 (88) : Серія "Технічні науки". – С. 34–39.

30. Рубанка А. І. Екологічні технології при використанні матеріалів для фешн-індустрії / А. І. Рубанка, В. А. Барна, Т. В. Луцкер // Молодь – науці і виробництву - 2020: Інноваційні технології легкої промисловості : матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти і молодих учених, м. Херсон, 14-15 травня 2020 року. – Херсон : ХНТУ, 2020. – С. 59-60.

References

1. Osnovy tekhnolohii eksperymentalnoho ta pidhotovcho-rozkrinnoho vyrobnytstv : navch. posib. / S. M. Berezenko, O. I. Vodzinska, L. B. Bilotska, S. V. Donchenko. – K. : KNUTD, 2017. – 171 s.
2. Rozkriini stoly. URL: <https://soliy.com.ua/collection/raskroynnye-stoly?lang=ua> (data zvernennia 12.07.2022).
3. Rozmotuvach rulonu tkany. URL: <https://leg-prom.com.ua/ua/raskrojnoe-oborudovanie/razmotchik-rulona-tkani> (data zvernennia 12.07.2022).
4. Kintsevi vidrizni liniiky. URL: <https://sm-ua.com/kncev-vdrzn-lynyi> (data zvernennia 14.07.2022).
5. Nastylochni mashyny ta stoly. URL: https://shvejnik.com.ua/ua/nastilochni-mashini-ta-stoli/?__from_store=ua (data zvernennia 12.07.2022).
6. Vertykalni shabelni rozkriini nozhi. URL: <https://sm-ua.com/vertikalyn-sabelyn-nogh> (data zvernennia 13.07.2022).
7. Rozkriini nozhi. URL: <https://sweika.com.ua/ua/30-promyshlennyraskroynnye-nozhi> (data zvernennia 13.07.2022).
8. Dyskovi rozkriini nozhi. URL: https://leg-prom.com.ua/ua/raskrojnoe-oborudovanie/diskovie_nodzi/ (data zvernennia 13.07.2022).
9. Dyskovi rozkriini nozhi. URL: <https://tex-prom.com.ua/ua/raskrojnoe-oborudovanie/diskovye-raskrojnye-nozhi/> (data zvernennia 13.07.2022).
10. Termonozhi dla tkany. URL: <https://soliy.com.ua/collection/termonozhi?lang=ua> (data zvernennia 14.07.2022).
11. Rozkriini mashyny. URL: <https://soliy.com.ua/collection/raskroynnye-mashyny?lang=ua> (data zvernennia 12.07.2022).
12. Rexel L1000. URL: https://softorg.com.ua/ru/product/rexel_r1000 (data zvernennia 12.07.2022).
13. Kompiuteryzovani rozkriini komplekxy. URL: <https://sewtech.com.ua/uk/stegalnoe-obladnannya/kompyuterizovani-rozkrijni-kompleksi/> (data zvernennia 14.10.2022).
14. Nozhytsi kravetski. URL: <https://sewtech.com.ua/uk/zapchastini-ta-aksesuari/aksessuary/nozhici/> (data zvernennia 13.10.2022).
15. Rozkriini nozhytsi – robymo pravyl'nyi vybir! URL: <https://spool.com.ua/ua/raskroynnye-nozhnitsy-delaem-pravilnyy-vybor> (data zvernennia 13.10.2022).
16. Dyrokoly, termonozhi i prasky dla lekal. URL: <https://shvejnik.com.ua/ua/dirokoli-termonozhi-i-praski-dlya-lekal> (data zvernennia 13.10.2022).
17. Numeratory kroya dla shvejnogo proizvodstva. URL: https://termoprinter.org.ua/numeratori_kroya.html (data zvernennia 17.10.2022).
18. Mashyny dla narizannia beiky (beikorizky). URL: <https://tex-prom.com.ua/ua/raskrojnoe-oborudovanie/mashyny-dlya-narezaniya-bejki-bejkorezki/> (data zvernennia 13.10.2022).
19. Mashyny dla narezaniya bejki (bejkorezki). URL: https://softex.com.ua/raskrojnoe-oborudovanie/machini_dlya_narezaniya_bejki/ (data zvernennia 13.10.2022).
20. Mashyny dla rezki lenty lipuchki. URL: <https://tex-prom.com.ua/ru/raskrojnoe-oborudovanie/mashyny-dlya-rezki-lenty-lipuchki/> (data zvernennia 14.10.2022).
21. Lazernye raskrojnye mashyny. URL: <https://angeli.net.ua/raskrojnoe-oborudovanie/lazernye-raskrojnye-mashyny/> (data zvernennia 17.10.2022).
22. Osobennosti raskroynogo oborudovaniya. URL: <https://softex.com.ua/osobennosti-raskroynogo-oborudovaniya.html> (data zvernennia 17.10.2022).
23. Lazernye stanky po tkani. URL: <https://mirstankov.com/shop/oborudovanie/lazernye-gravery/lazernye-stanky-po-tkani/> (data zvernennia 17.10.2022).
24. Osoblyvosti vykorystannia lazernykh prystroiv pry vyhotovlenni kolektsii suchasnoho zhinochoho odiahu / A. D. Kepko, A. I. Rubanka, T. V. Lutsker, M. M. Rubanka // Molod – nautsi i vyrobnytstvu – 2019: Innovatsiini tekhnolohii lehkoi promyslovosti : mater. Mizhn. nauk.-prakt. konf. zdobuvachiv vyshchoi osvity i molodykh uchenykh, m. Kherson, 16-17 travnia 2019 roku. – Kherson : KhNTU, 2019. – S. 64–66.
25. Vyrubochnye pressa. URL: <https://geovorkyan.com.ua/ua/g10953100-vyrubochnye-pressa> (data zvernennia 17.10.2022).
26. Dubliuyuchi presy prytyksnogo typu. URL: <https://shvejnik.com.ua/ua/dublyuyuchi-presi-pritisknogo-tipu> (data zvernennia 20.10.2022).
27. Pressa dubliruyushie prohodnogo tipa. URL: <https://sewtech.com.ua/pressa-dubliruyushchie/pressa-dubliruyushchie-prohodnogo-tipa/> (data zvernennia 17.10.2022).
28. Rubanka M. M. Sposoby pererobky i oblasti podalshoho vykorystannia vidkhodiv materialiv shveinoi promyslovosti / M. M. Rubanka // Lehka promyslovist. – 2017. – № 2. – С. 48–55.
29. Rubanka M. M. Vidkhody lehkoi promyslovosti, sposoby pererobky ta oblasti podalshoho vykorystannia / M. M. Rubanka, V. P. Misiats // Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu tekhnolohii ta dyzainu. – 2015. – № 4 (88) : Seriya "Tekhnichni nauky". – С. 34–39.
30. Rubanka A. I. Ekologichni tekhnolohii pry vykorystanni materialiv dla feshn-industrii / A. I. Rubanka, V. A. Barna, T. V. Lutsker // Molod - nautsi i vyrobnytstvu - 2020: Innovatsiini tekhnolohii lehkoi promyslovosti : materialy III Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii zdobuvachiv vyshchoi osvity i molodykh uchenykh, m. Kherson, 14-15 travnia 2020 roku. – Kherson : KhNTU, 2020. – S. 59-60.

САПОЖНИК Дмитро

Львівський торговельно-економічний університет

<https://orcid.org/0000-0002-1125-8571>e-mail: dimalv.ua@gmail.com

ПЕЛИК Леся

Львівський торговельно-економічний університет

<https://orcid.org/0000-0002-3365-0312>e-mail: lpelyk@gmail.com

ПОСТАНОВКА ПИТАНЬ ЩОДО ПРИЗНАЧЕННЯ МИТНОЇ ЕКСПЕРТИЗИ З МЕТОЮ КОНТРОЛЮ ПРАВИЛЬНОСТІ КЛАСИФІКАЦІЇ ТОВАРІВ ЗА ТН ЗЕД

В роботі на прикладі товарної групи «трикотажні вироби» наведено результати вивчення процедур та особливостей постановки питань щодо призначення митної експертизи з метою контролю правильності класифікації товарів за Гармонізованою системою опису та кодування товарів (ТН ЗЕД, УКТ ЗЕД).

Ключові слова: митна експертиза, експерт, питання до експерта, критерії коректності питань, трикотажні одягові вироби.

SAPOZHNYK Dmytro, PELYK Lesia

L'viv University of Trade and Economics

RAISING QUESTIONS ABOUT THE APPOINTMENT OF CUSTOMS EXPERTISE IN ORDER TO CONTROL THE CORRECT CLASSIFICATION OF GOODS UNDER HS

The article considers the importance of the quality of questioning when appointing a customs examination, the procedure and rules for posing such questions, assessing their correctness, shows the algorithm for the correct formulation of the question regarding the appointment of a customs examination. The necessity of updating the methodological recommendations for posing questions to the expert is emphasized, since even the best methodological recommendations are useless if they are not applied in practice. Based on this, the expediency of introducing an appropriate training course and training for customs officials authorized to appoint commodity customs examinations and studies, in particular in the field of valuation of intellectual property, is shown.

It is shown that when appointing a customs examination by a customs official, the expert should be assigned a specific task and set the range and content of issues on which the examination should be carried out. At the same time, it is not allowed to raise questions: that go beyond the competence of the expert (this may be grounds for refusal to conduct an examination); for the explanation of which no special expert knowledge is required; are of a legal nature; which may relate to the object of study due to its properties. The algorithm and the sequence of raising the question regarding the appointment of a customs examination, which allows to assess its correctness in accordance with the criteria established by law, which contain a prohibition on the absence of a certain (clear) semantic content in the question, or possible ambiguity (the possibility of interpretation) of the essence of the question, are analyzed.

The necessity of formulating qualitative questions in compliance with the theory of their formulation and taking into account the specifics of the questions, taking into account the grounds for their occurrence, as well as the nature of the information the absence of which is indicated by the question (the so-called "whether-question" and "what-question") is proved. The conclusion is made that in order to prevent problems in the interaction of customs authorities and expert institutions in the process of organizing and conducting customs examinations, it is important to take into account the peculiarities of questioning when appointing examinations and to comply with the rules for asking questions to the expert.

Keywords: customs examination, expert, questions to the expert, criteria for the correctness of questions, knitted clothing.

Постановка проблеми

При призначенні митної експертизи товарів посадовою особою митного органу перед експертом ставиться певне завдання та встановлюється коло та зміст питань, на вирішення яких призначена і має бути проведена експертиза. При цьому митним законодавством не допускається постановка питань, які [1]:

- за змістом виходять за межі компетенції експерта (це також може бути підставою для відмови у самому проведенні експертизи);
- для роз'яснення яких не потрібні спеціальні експертні знання;
- мають правовий (юридичний) характер;
- які не можуть належати до об'єкта дослідження через його властивості.

Від експерта чинне законодавство вимагає точного дотримання змісту сформульованого питання у вигляді завдань [2, 3].

Аналіз останніх джерел

Питання наводяться у формулюванні, прописаному у рішенні про призначення митної експертизи. Якщо формулювання питання вимагає уточнення, але митному експерту (експерту) зрозуміло його зміст, то після дослівного його приведення може бути зазначено, як митний експерт (експерт) розуміє питання, керуючись своїми спеціальними та (або) науковими знаннями та компетенцією. Змінювати формулювання питань митний експерт має право лише за погодженням з посадовою особою митного органу, яка призначила експертизу, проте він має право змінювати їх послідовність без зміни первісного формулювання питання.

Неточність формулювання питань (іноді припускається, зроблена свідомо) може спричинити в подальшому неточність відповіді. В такому випадку отримуючи такі питання, експерти змушені:

- уточнювати їх безпосередньо у посадових осіб митних органів (коли незрозуміле завдання);

- переформулювати питання без зміни обсягу та суті завдання;
- цитувати неграмотно чи некоректно сформульовані питання в зробленому по ньому заключенні.

Метою роботи є дослідження особливостей постановки питань щодо призначення митної експертизи з метою контролю правильності класифікації товарів за ТН ЗЕД

Виклад основного матеріалу

Алгоритм дій для правильної та коректної постановки питання при призначенні митної експертизи з метою контролю правильності класифікації товарів за ТН ЗЕД повинен передбачати: *по-перше*, можливість проконтролювати правильність класифікації товарів декларантом і, *по-друге*, врахування можливої наявності товарів із подібними характеристиками, але які класифікуються за іншим кодом. Загалом, алгоритм повинен містити кілька етапів. На першому етапі оцінюються ризикові ситуації та визначаються можливі товари ризику або товари прикриття, під виглядом яких може декларуватися товар, наприклад, з використанням фактора ризику «ставка мита». На другому перед експертом ставлять питання, що відповідають класифікаційним ознакам для передбачуваних позицій ТН ЗЕД (товарної позиції, субпозиції та субпозиції).

Проаналізуємо алгоритм постановки питань на прикладі товарної групи 61 Одяг та додаткові речі до одягу, трикотажні. Загальні питання:

1. Ідентифікувати товар та визначити, чи відповідають відомості про товар, заявлені у 31 графі митної декларації, його фактичні характеристики?

2. Який вид товару, його комплектність (окремий предмет одягу, комплект, костюм, набір, частина, деталь та ін.), спосіб та вид матеріалу виготовлення, конструктивні особливості, вид обробки як самого виробу, так і матеріалу, з якого він виготовлений, використаний вид обробки?

3. Яке призначення (верхні, білизняні, панчішно-шкарпеткові та ін.) товару та його статеві-вікова приналежність?

Для товарів, що класифікуються у товарній позиції 6115 (Колготки, панчохи, гольфи, шкарпетки і підслідники та інші панчішно-шкарпеткові вироби, включаючи компресійні панчішно-шкарпеткові вироби (наприклад панчохи для хворих з варикозним розширенням вен) та взуття без підошов, трикотажні):

1. Яка лінійна щільність (дтекс)?

Для товарів, що класифікуються у товарній позиції 6116 (Рукавички, мітенки, рукавиці, трикотажні):

1. Чи є просочення чи покриття та який їхній вигляд?

У ході проведення експертизи можуть з'ясуватися обставини, які не дозволяють зробити вибір передбачуваного класифікаційного коду, і може виникнути необхідність призначення додаткової експертизи за нововиявленими обставинами. У таких випадках слід переходити до третього етапу та поставити перед експертом загальне питання із переліку питань при призначенні товарознавчої експертизи, наприклад, при експертизі непродовольчих товарів:

1. Які товарознавчі характеристики товару та його товарне найменування?

2. Чи має товар ознаки товару, що був у вживанні?

3. Яка ринкова вартість товару станом на (відповідна дата) на внутрішньому ринку України?

Наведений перелік питань не є вичерпним. У разі потреби посадові особи митних органів можуть поставити будь-яке додаткове питання за погодженням із функціональним підрозділом, до компетенції якого входить перевірка правильності класифікації товарів за ТН ЗЕД. Однак, в першу чергу, питання експерту повинні передбачати отримання однозначних відповідей за ознаками товарів, які є класифікаційними в ТН ЗЕД і такими:

– у найменуваннях товарних позицій (субпозицій, підсубпозицій);

– у текстах відповідних приміток (додаткових приміток) до позицій ТН ЗЕД;

– у поясненнях до ТН ЗЕД;

– у рішеннях та роз'ясненнях щодо класифікації окремих видів товарів, прийнятих митними органами України;

– у рішеннях щодо класифікації окремих видів товарів, прийнятих Євразійською економічною комісією (ЄЕК), тобто слід провести значну за обсягом аналітичну роботу, починати яку доцільно з виявлення класифікаційних ознак, прийнятих для тих угруповань у ТН ЗЕД, у яких, на перший погляд, може класифікуватися товар.

Формулюючи питання, слід пам'ятати, що питання – це форма думки, яка служить перехідною ланкою від неповної інформації (незнання) до повнішої інформації (нового знання) на основі вихідної інформації (існуючого знання). Відповідно, виходячи з визначення терміну «питання», визначається предмет експертизи – які саме об'єкти підлягають дослідженню, що конкретно необхідно з'ясувати щодо цих предметів, і визначається її мета – подальше використання встановлених фактів. Правила постановки питань передбачають, що питання має містити матрицю та невідому змінну [5]. Матрицею (передумовою) питання є інформація, на якій ґрунтується питання і яка так чи інакше міститься в ньому. Невідомою змінною питання є інформація, на відсутність якої вказується у питанні. Тільки наявність передумови і невідомої змінної уможливорює саме питання, і навіть визначає характер відповіді та її загальну схему.

У свою чергу, відповідь – це висловлювання, що містить інформацію, якої не має в питанні. Основною функцією відповіді є мінімізація недостатності інформації, на яку вказує питання (і насамперед

невідомо змінна, що входить до нього), або вказівку на некоректність постановки питання. Таким чином, якість відповіді залежить від якості питання. Для формулювання якісних питань слід дотримуватися теорії їх постановки і, в першу чергу, враховувати класифікацію питань залежно від підстав їх виникнення.

Так, за характером інформації, на відсутність якої вказує питання, розрізняють «чи-питання» і «що питання». «Чи-питання» містять у собі прохання вказати істинність чи хибність того, що міститься в матриці питання. (*Чи відповідають відомості про товар, заявлені у 31 графі декларації на товари (митній декларації), його фактичним характеристикам?*). Відповідь на «чи-питання» – коротка, односкладна: так чи ні (можливе доповнення у вигляді висловлювання того, про що йдеться в матриці питання).

На відміну від «чи-запитань», «що-питання» містять у собі вимогу заповнити прогалину в будь-якій інформації, доповнити вже наявну інформацію (*Який вміст солі у пробі (зразку) товару (мас. %)?*). Таким чином, відповідь на «що-питання» – це висловлювання, яке містить передумову питання і ту інформацію, на яку ця передумова вказує, але якої в ній самої немає. Для побудови «що-питань» використовуються різні питання, що вказують на характер запитуваної інформації (знання): що, де, коли, чому, як, скільки, який, для чого, для кого тощо.

Окремо вважаємо за необхідне звернути увагу ще на дві вимоги, що ставляться до питань при проведенні митної товарознавчої експертизи – це ясність питання, оскільки незрозуміло поставлене питання може породити в подальшому масу уточнюючих питань; а також відсутність у матриці питання багатозначних, «розмитих» термінів, понять, найменувань (що мають дві чи більше інтерпретації) [5].

У першому випадку класичним прикладом є питання: Чим є проба (зразок) товару? З погляду логіки поставлене питання не відповідає критерію, що обговорюється: він багатозначний, тому що незрозуміло, які факти потрібно встановити.

З наступним випадком дещо складніше. Товар з комерційним найменуванням «легінси» («леггінси»; англ. *leggsns*, тип обтислого одягу, що покриває ноги) відноситься до товарів з потенційним ризиком неоднозначної класифікації його за ТН ЗЕД, тому що дане поняття в номенклатурі та в поясненнях до неї не визначено, а в нормативних документах та в довідковій літературі має різний обсяг (детонат, значення), що позначає його найменування – панчішно-шкарпеткові вироби, трикотажні штани в обтяжку, рейтузи без штрипок та рейтузи зі штрипками (табл. 1). Крім того, відсутні критерії, які дозволяють точно віднести легінси до поясного одягу або до панчішно-шкарпеткових виробів.

Таблиця 1

Порівняльний аналіз значень поняття «легінси»

Джерело	Значення
[4, Розд. XI, Гр. 61]	відсутнє
[7]	відсутнє
[6]	(дотичні): Рейтузи (ПОЯСНИЙ ОДЯГ) – Трикотажний поясний верхній одяг, який щільно облягає нижню частину тулуба й ноги, кожну окремо до ступнів. Колготки (ПАНЧІШНО-ШКАРПЕТКОВІ ВИРОБИ) – Панчішно-шкарпетковий виріб, яким укривають нижню частину тулуба й ноги зі ступнями, кожну окремо Примітка. Різновидом колготок є ріпи та лосини, які не вкривають ступнів ніг.
[8]	тугий одяг з щільною посадкою, що простягаються від талії до щиколоток.
[9]	жіночі рейтузи без штрипок із щільного трикотажу.

На відміну від легінсів у Поясненнях до ТН ЗЕД брюки (штани) визначені як «предмет одягу, що покриває нижню частину тулуба, де штанини покривають кожну ногу окремо, та закриває коліна; зазвичай доходять вниз до щиколоток або нижче, а вгорі до талії; наявність лямок не змінює основний характер брюк (штанів)», а рейтузи визначені як «колготи або рейтузи, що щільно облягають ноги, призначені для прикриття ступнів та ніг (панчохи) та нижньої частини тіла до талії (трико), включаючи колготи без слідів».

У контексті досліджуваного розмежуємо поняття «верхній поясний одяг – брюки, штани (товарні позиції 6104, 6204 залежно від виду текстильного матеріалу)» та «панчішно-шкарпеткові вироби» (товарна позиція 6115) шляхом визначення їх ідентифікаційних ознак. Основною відмінною ознакою панчішно-шкарпеткових виробів від верхнього поясного одягу слід вважати конструкцію виробу. Так, верхній поясний одяг конструктивно передбачає наявність бічних і крокових швів, а панчішно-шкарпеткові вироби, які виробляють на круглочулочних автоматах, є безшовними виробами, за винятком тієї частини, яка прикриває нижню частину торса тіла людини. Ця відмінна ознака верхнього поясного одягу і панчішно-шкарпеткових виробів дозволяє визначити видовий асортимент цих груп товарів, у кожній з яких повинні бути згадані легінси.

Згідно з ДСТУ 2027-92 [6]: до верхнього поясного одягу відносять брюки (штани), рейтузи, бриджі, комбінезони, інші; до панчішно-шкарпеткових – панчохи, шкарпетки, колготки, гольфи, інші. З'ясуємо, чи є товари «брюки» («штани») та «легінси» однорідними. Ознаками однорідності товарів є: рід (вид) товарів, їх споживчі властивості та функціональне призначення (об'єм та мета застосування), вид матеріалу, з якого вони виготовлені. Виходячи з того, що рід (вид) товарів – жіночий одяг; призначення товарів – поясний одяг, що покриває нижню частину тулуба та ноги, кожну окремо; вид матеріалів, з якого виготовлені товари – текстильні, ці товари можна вважати однорідними. Таким чином, змістом поняття «легінси» є наступна

сукупність ознак, які в сукупності є достатніми, а кожна окремо необхідною для того, щоб виділити даний клас предметів:

– предмети одягу жіночого або для дівчат, які щільно облягають нижню частину тулуба та ноги, кожен окремо, до колін, трохи нижче за коліно або до щиколоток. За умови, що конструкцією таких трикотажних виробів передбачено наявність бічних і крокових швів, такі легінси слід вважати брюками (товарна позиція 6104), так само як і легінси, що мають такі елементи конструкції, як кишені, пояс, пряжки та ін. Легінси, виготовлені з тканини, що завжди мають конструкцію, властиву штанам, і, отже, повинні класифікуватися в товарній позиції 6204;

– трикотажні предмети одягу жіночого або для дівчат, виготовлені на круглочулочних автоматах, тобто не мають бічних та крокових швів, слід вважати «іншими панчішно-шкарпетковими виробами» товарної позиції 6115.

Відповідно, щоб мати можливість проконтролювати заявлений декларантом код легінсів по ТН ЗЕД і уникнути при цьому надлишкових питань, які не мають відношення до конкретної аналізованої ситуації, їх необхідно сформулювати наступним чином:

1. З якого виду текстильного матеріалу виготовлено товар?
2. Який волокнистий склад текстильного матеріалу, з якого виготовлено товар?
3. Чи є товар верхнім поясним одягом або він є панчішно-шкарпетковим виробом?
4. Якщо товар є верхнім поясним одягом із тканини, то яке його найменування (денім, джинсова тканина, вельвет-корд із розрізним ворсом та ін.)?
5. Яке статеві-вікове призначення даного товару (жіноче, для дітей)?

Висновки

Таким чином, при постановці питань експерту під час призначення митної експертизи з метою контролю правильності класифікації товарів за ТН ЗЕД слід дотримуватись наступних основних правил:

– першочерговою вимогою, якій повинні задовольняти питання, що ставляться перед експертом, є наявність практичної необхідності їх вирішення. Неприпустимим є постановка питань, які мають значення тільки щодо конкретної ситуації;

– питання мають бути сформульовані чітко, по можливості просто та однозначно; не слід перетворювати питання у наукоподібну форму і використовувати слова на кшталт «ідентичність», «ступінь ідентичності», «ідентифікувати»;

– не слід допускати повторюваних і суперечливих питань, а також питань, що містять взаємовиключний зміст;

– перелік питань у рішенні про призначення експертизи рекомендується починати, дотримуючись певної логічної послідовності: від загального до одиничного.

Література

1. Про затвердження Інструкції про призначення та проведення судових експертиз та експертних досліджень та Науково-методичних рекомендацій з питань підготовки та призначення судових експертиз та експертних досліджень : Наказ М-ва юстиції України від 08.10.1998 р. № 53/5 станом на 19 серп. 2022 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0705-98#Text> (дата звернення: 20.10.2022).

2. Приймаченко Д. В. Митна політика держави та її реалізація митними органами : монографія / Приймаченко Д. В. – Дніпропетровськ : Академія митної служби України, 2006. – 332 с.

3. Митрофанов І. І. Зв'язок норм кримінального права та кримінально-правових відносин / І. І. Митрофанов // Науковий вісник Ужгородського національного університету. Серія Право. – 2018. – Вип. 48. – Том 2. – С. 82–85.

4. Митний тариф України (Групи 50-97) : Додаток до Закону України «Про Митний тариф України» від 4 червня 2020 р. № 647-IX (в ред. від 01.07.21 р.). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/674%D0%B1-20#n2> (дата звернення: 20.10.2022).

5. Цимбаленко Є. С. Наукове розуміння інформатизації у теорії соціальних комунікацій : монографія / за наук. ред. проф. В. Іванова. – К. : Центр Вільної Преси, 2012. – 189 с.

6. ДСТУ 2027-92. Вироби швейні й трикотажні. Терміни та визначення. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=94993 (дата звернення: 20.10.2022).

7. Технічний регламент щодо назв текстильних волокон і маркування текстильних виробів : Постанова КМУ від 14.08.2009 р. № 13. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/13-2009> (дата звернення: 20.10.2022).

8. Великий тлумачний словник сучасної української мови / уклад. і голов. ред. В.Т. Бусел. – К.; Ірпінь : ВТФ «Перун», 2005. – 1213 с.

9. Ефремова Т. Ф. Новый словарь русского языка. Толково-словообразовательный / Ефремова Т. Ф. – М. : Русский язык, 2000. – 2310 с.

References

1. Pro zatverdzhennia Instruktсии pro pryznachennia ta provedennia sudovykh ekspertyz ta ekspertynykh doslidzhen ta Naukovo-metodychnykh rekomendatsii z pytan pidhotovky ta pryznachennia sudovykh ekspertyz ta ekspertynykh doslidzhen : Nakaz M-va yustytisii

Ukrainy vid 08.10.1998 r. № 53/5 stanom na 19 serp. 2022 r. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0705-98#Text> (data zvernennia: 20.10.2022).

2. Pryimachenko D. V. Mytna polityka derzhavy ta yii realizatsiia mytnymy orhanamy : monohrafiia / Pryimachenko D. V. – Dnipropetrovsk : Akademiia mytnoi sluzhby Ukrainy, 2006. – 332 s.

3. Mytrofanov I. I. Zviazok norm kryminalnoho prava ta kryminalno-pravovykh vidnosyn / I. I. Mytrofanov // Naukovyi visnyk Uzhhorodskoho natsionalnoho universytetu. Serii Pravo. – 2018. – Vyp. 48. – Tom 2. – S. 82–85.

4. Mytnyi taryf Ukrainy (Hrupy 50-97) : Dodatok do Zakonu Ukrainy «Pro Mytnyi taryf Ukrainy» vid 4 chervnia 2020 r. № 647-IKh (v red. vid 01.07.21 r.). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/674%D0%B1-20#n2> (data zvernennia: 20.10.2022).

5. Tsymbalenko Ye. S. Naukove rozuminnia informatyzatsii u teorii sotsialnykh komunikatsii : monohrafiia / za nauk. red. prof. V. Ivanova. – K. : Tsentr Vilnoi Presy, 2012. – 189 s.

6. DSTU 2027-92. Vyroby shveini y trykotazhni. Terminy ta vyznachennia. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=94993 (data zvernennia: 20.10.2022).

7. Tekhnichnyi rehlament shchodo nazv tekstylnykh volokon i markuvannia tekstylnykh vyrobiv : Postanova KMU vid 14.08.2009 r. № 13. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/13-2009> (data zvernennia: 20.10.2022).

8. Velykyi tlumachnyi slovnyk suchasnoi ukrainskoi movy / uklad. i holov. red. V.T. Busel. – K.; Irpin : VTF «Perun», 2005. – 1213 s.

9. Efremova T. F. Novyi slovar russkoho yazyka. Tolkovo-slovoobrazovatelnyi / Efremova T. F. – M. : Russkyi yazyk, 2000. – 2310 s.

ФРИШЕВ Сергій

Відокремлений підрозділ Національного університету біоресурсів і природокористування України
„Ніжинський агротехнічний інститут”, м. Ніжин
<https://orcid.org/0000-0001-6474-2191>
e-mail: fryshev@outlook.com

ЛУКАЧ Василь

Відокремлений підрозділ Національного університету біоресурсів і природокористування України
„Ніжинський агротехнічний інститут”, м. Ніжин
<https://orcid.org/0000-0001-5715-9029>
e-mail: vslykach@ukr.net

ІКАЛЬЧИК Микола

Відокремлений підрозділ Національного університету біоресурсів і природокористування України
„Ніжинський агротехнічний інститут”, м. Ніжин
<https://orcid.org/0000-0001-7085-2952>
e-mail: m.ikalchik@gmail.com

ВАСИЛЮК Володимиро

Відокремлений підрозділ Національного університету біоресурсів і природокористування України
„Ніжинський агротехнічний інститут”, м. Ніжин
<https://orcid.org/0000-0003-3840-5428>
e-mail: dekan.ae@ukr.net

УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ТРАНСПОРТУВАННЯ ЗЕРНА ВІД КОМБАЙНІВ

У роботі наведено обґрунтування вдосконаленого технологічного процесу перевезення зерна від зернових комбайнів (ЗК) напівпричепом самоскидом (НП) з трактором та сідельним причепом.

Ключові слова: перевезення зерна, комбайни, напівпричіп самоскид, підкатний сідельний причіп, продуктивність.

FRYSHEV Sergii, LUKACH Vasyl, IKALCHYK Mykola, VASYLYUK Volodymyr
Separated Subdivision of the National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine
“Nizhin Agrotechnical Institute”, Nizhyn, Ukraine

IMPROVEMENT OF GRAIN TRANSPORTATION TECHNOLOGY FROM COMBINES

The article provides a rationale for an improved technological process for transporting grain from grain combines (ЗК) by a semi-trailer dump truck (НП) in an aggregate with a tractor and a saddle trailer. One of the main reserves for increasing the productivity of a combine is to increase the utilization factor of its shift time by using transshipment technology based on interoperation compensators - tractor trailers for reloaders of the PBN-30, PBN-40, PBN-50 brands, etc. and heavy vehicles (AT), in the body which grain is being reloaded outside the field. The lack of technology is significant downtime of vehicles.

A comparative analysis of various technological schemes for the operation of the (ЗК) and vehicles showed that the minimum specific duration of harvesting and transport operations is achieved by using a tractor with a tractor to work in the field, subject to the minimum time spent on the formation (uncoupling, hitching) of transport units using a fifth wheel coupling device, which fitted with a trailer. At the same time, vehicles are used as negotiable (НП)s, which makes it possible to organize the continuous operation of tractors in the sections “ЗК - edge of the field” and “edge of the field - grain receiving point”, where possible downtime of the AT is replaced by downtime only of the НП.

We have proposed a technical solution containing a temporary redistribution of the mass of grain in the body of the НП by loading it into the front part of the body. At the same time, the rear wheels of the НП are partially unloaded and do not over-compact the soil, and the rolling semi-trailer, equipped with wide-profile low-pressure tires, perceives additional load without significant soil compaction.

The theoretical analysis of the rhythm of the processes of grain movement by individual technological links of the harvesting and transport complex made it possible to determine the analytical dependences of the main parameters of these links on the productivity of the grain combine and the volume of its bunker, the nominal load capacity of the НП, the duration of the НП recoupling, the distance of grain transportation, the average technical speed of the tractor and the car. The use of semi-shuttle transporters operating in two stages: in the field and on the road, provides a 1.5-fold increase in the productivity (average output) of the AT, and also eliminates the cost of specialized reloading trailers and double reloading of grain.

Key words: Transportation of grain, combines, semi-shuttle movement, semi-trailer dump truck, rolling saddle trailer, productivity.

Постановка проблеми

Аналіз технологічної схеми перевезення зерна від комбайнів з використанням причепів-перевантажувачів (ПП), інша назва – перевантажувальні бункери-накопичувачі – ПБН, ПНБ зі шнековими пристроями для розвантаження, дозволив виявити [1,2] ряд перешкоджаючих досягненню максимального ефекту недоліків, до числа яких можна віднести наступні:

- необхідність своєчасного під'їзду АТ до ПП обумовлює простоту АТ (до 30% від часу зміни [3]);
- необхідність виконання додаткової операції (в порівнянні з технологією прямих перевезень) - перевантаження зерна із одного транспортного засобу (причепа-перевантажувача) в інший (великовантажний АТ). Таке перевантаження зерна із використанням шнекових робочих органів потребує додаткових енерговитрат, витрат часу та не виключає механічне пошкодження зерна.

Аналіз останніх досліджень

Аналіз схем перевезення зерна від комбайнів з використанням мобільних міжопераційних компенсаторів [1,3] показав, що застосування автотракторних причепів та напівпричепів з підкатними причепами (рис. 1) забезпечує мінімальну питому тривалість збирально-транспортних операцій.

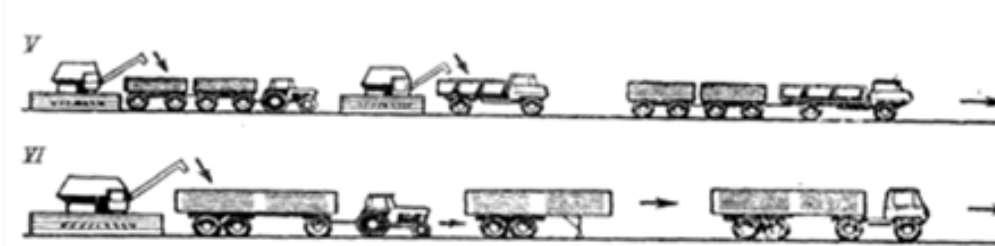


Рис. 1. Схеми перевезення зерна від комбайнів з використанням автотракторних причепів та напівпричепів з підкатними причепами

Виробниче впровадження такої схеми може бути досягнуто за умовою виключення ущільнення ґрунту колесами НП та за рахунок раціональних витрат часу на відчіплення-причеплення НП.

Метою досліджень є зменшення питомого тиску коліс транспортних засобів на ґрунт та часу очікування завантаження автотранспорту шляхом удосконалення технологічного процесу.

Виклад основного матеріалу

З урахуванням позитивних оціночних показників нами прийнято збирально-транспортний комплекс (ЗТК), що містить групу ЗК та автотракторні поїзди, до складу яких входить трактор, напівпричіп та сідловий причіп ПСП-20 (рис. 2).



Рис. 2. Схема тракторного автопоїзда з ПСП-20

Сідловий причіп ПСП-20, який з'єднує трактор (тягач) та НП поїзда, обладнаний спеціальним зчипним пристроєм (СЗП).



Рис. 3. Автомобільний напівпричіп зерновоз НПС 3250 з підкатним причепом ПСП-20 для роботи з трактором у полі

Напівпричепа з тягачами застосовуються послідовно в двох технологічних ланках: для роботи в полі «ЗК – НП - трактор» і для транспортування по дорозі від поля до ХПП - «НП – дорожній тягач (АТ - автомобільний або тракторний)». У першій ланці НП функціонує як міжопераційний компенсатор, який завантажується зерном з бункерів не менш чим від двох комбайнів.

Після заповнення зерном НП перевозиться на край поля, відчіпляється і замінюється на пустий для подальшої роботи в полі, а завантажені НП перевозяться дорожніми тягачами на ХПП, де розвантажуються і повертаються пустими на край поля.

Для зменшення ущільнення ґрунту нами запропоновано технічне рішення, яке містить тимчасовий перерозподіл маси зерна в кузові НП під час його транспортування в полі [4]. З урахуванням того, що кузов НП (рис. 4) має дві узагальнені опори на ґрунт: задню (2-х або 3-х вісню) тележку і передню 2-х вісню - підкатний сідловий причіп ПСП-20, який обладнується широкопрофільними шинами низького тиску, доцільним є завантаження зерна переважно в передню частину кузова НП.

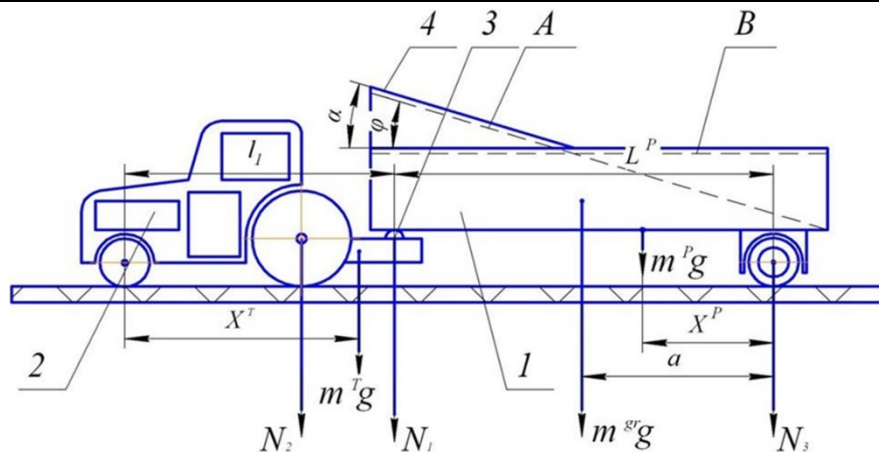


Рис. 4. Схема тимчасового перерозподілу маси зерна в кузові НП під час його транспортування у полі (підкатний причеп умовно не показаний)

Це створює такий розподіл навантаження під час руху тракторного автопоїзда з ПСП-20 по полю, при якому задні колеса НП будуть частково розвантажені і не ущільнюють суттєво ґрунт, а підкатний сідловий причіп сприймає додаткове навантаження і завдяки широкопрофільним шинам низького тиску, виключає надмірне ущільнення ґрунту.

Як показують попередні розрахунки з урахуванням теорії сипучих матеріалів [5] під час застосування напівпричепа зернового вантажопідйомності 25 тонн (висота бортів 2,1 м, довжина кузова 6,3 м) завантаження зерна в передню частину кузова дозволяє зменшити навантаження на задні колеса до 5 тонн із завантаженням СПС-20 до 20 тонн.

Після перевезення на край поля та перечіплення для перевезення по дорозі кузовів НП за допомогою гідроциліндра нахиляється до горизонту для рівномірного розподілу зерна під дією гравітації по днищу кузова. Технічним результатом, який забезпечується наведеною сукупністю ознак є зменшення тиску на ґрунт задніх коліс до допустимого агрономічними значеннями.

Для розрахунку робочих параметрів ЗТК в роботі [1] розглянуто ритмічність роботи першої технологічної ланки: «ЗК – напівпричіп самоскид з трактором» і визначена кількість НП n_{Π} , які обслуговують групу комбайнів m_K за формулою:

$$n_{\Pi} = \text{CEILING} \frac{m_K}{m_{KH}}, \text{ од.} \quad (1)$$

де CEILING – функція, яка повертає найближче більше ціле значення;

m_K – загальна кількість комбайнів в групі;

m_{KH} – кількість комбайнів, які обслуговуються одним НП. Вона визначається як [1, 6]:

$$m_{KH} = \text{INT}(\omega_K d_B (\frac{9,25}{W_{KP}} + \frac{8,33}{W_{ШК}}) - 8,33 t_{В-П} - 0,667) \text{ од.}, \quad (2)$$

де INT – функція, яка повертає найближче менше ціле значення;

W_{KP} – продуктивність ЗК за 1 годину основного часу його роботи, т/год.;

$W_{ШК}$ – продуктивність вивантажувального шнека ЗК за 1 годину основного часу, т/год.;

$t_{В-П}$ – середня тривалість перечіпки (відчіплення - причіплення) НП;

ω_K – об'єм бункера комбайна, м³;

d_B – об'ємна маса зерна, т/м³.

Загальна кількість НП, які потрібні для роботи ЗТК (рухаються, очікують причіплення та знаходяться під навантаженням) дорівнює кількості НП, що працюють у обох ланках: та визначається за формулою [3]:

$$\Pi = n_{\Pi} + n_{AT} + n_3 \text{ од.}, \quad (3)$$

де n_3 – додаткова кількість НП, яка урахує стохастичність їх руху по дорозі і необхідна для застосування під час випадкової затримки АТ. Ця кількість визначається експериментально під час роботи ЗТК і розміщується на краю поля.

n_{AT} - кількість автотягачів (АТЗ) для перевезення зерна в ХПП з рівняння:

$$n_{AT} = CEILING \frac{n_{П1} (2t_{B-П} + \frac{2l_{ij}}{v_T} + t_{ВИБ})}{0,08 + 0,12\rho + t_{B-П}} \quad (4)$$

од.,

$t_{ВИБ}$ — тривалість перебування АТ в пункті розвантаження, яка залежить від рівня механізації і організації робіт, год.;

l_{ij} — відстань перевезення зерна з поля (пункту і) в пункт розвантаження ХПП

v_T — середня технічна швидкість АТ.

$t_{B-П}$ - середня тривалість перечіпки (відчіплення - причеплення) НП;

ρ - кількість бункерів ЗК, які вмістяться в кузов НП.

Для кількісної оцінки перевезення зерна з поля застосуємо показник продуктивності ТЗ за робочий день.

$$W_{PD} = \frac{Q_{PD} \cdot l_{ij}}{n_{ДТ}} \quad \text{ткм/р.д.,} \quad (5)$$

де Q_{PD} - обсяг зерна, який збирається і перевозиться збирально-транспортним комплексом за 1 робочий день.

Порівнюємо даний варіант технології збирання та перевезення зерна з найбільш прогресивною за темпами впровадження в Україні перевантажувальною технологією із використанням причепа-перевантажувача у наступному прикладі. Розглянемо застосування технологічних схем збирання урожаю зерна з площі 2100 га зерновими комбайнами Джон Дір 9780 і перевезення зерна на приймальний пункт ($W_{кр} = 15,3 \text{ т/год.}$, $\omega_k = 10 \text{ м}^3$, $d_B = 0,75 \text{ т/м}^3$, урожайність $U = 6 \text{ т/га}$, кількість робочих днів для збирання зерна за агровимогами $D_p = 10$ днів, тривалість зміни $T_{зм} = 8$ год., коефіцієнт змінності $K_{зм} = 1,5$, відстань перевезення зерна $l_{ij} = 8 \text{ км}$, $v_T = 40 \text{ км/год.}$, транспортний склад подано в таблиці 1

Розрахунки параметрів для технології із застосуванням НП проведено відповідно методики, яка представлена в даній роботі. Для перевантажувальної технології розрахунки виконано згідно методики, яка міститься в роботі [1]. Результати розрахунків подано в таблиці 1.

З представлених даних видно, що використання НП, які працюють за напівчовниковим рухом у двох ланках: в полі та на дорозі, забезпечує підвищення продуктивності (середнього виробітку) АТЗ в 1,5 рази з 210 до 315 т/р.д. за рахунок зменшення їх простоїв. Це дозволяє відповідно зменшити їх кількісний склад в ЗТК.

Таблиця 1

Порівняльні техніко-експлуатаційні та кількісні показники роботи ЗТК

Технологічні варіанти	Машини ЗТК							Середній виробіток одного АТЗ, т/р.д.
	ЗК Джон Дір 9780	ПП Кінзе 850	НП зерновоз НПС 3250	Трактор Джон Дір 8440	Авто-тягач Iveco Trakker AT260T44	АТЗ КамАЗ 6520 AGRO	Підкатний сідловий причіп ПСП-20	
Перевантажувальна технологічна схема	9	3	-	3	-	6	-	210
Перевезення напівпричепами	9	-	7	3	4	-	3	315

Висновки

1. Тимчасовий перерозподіл маси зерна в кузові НП під час його транспортування в полі трактором і застосування сідлового причепа ПСП-20 з широкопрофільними шинами низького тиску дозволяє знизити ущільнення ґрунту.

2. Використання НП, які працюють за напівчовниковим рухом у двох ланках: в полі та на дорозі, забезпечує підвищення продуктивності (середнього виробітку) АТЗ в 1,5 рази з 210 до 315 т/р.д. за рахунок зменшення їх простоїв, що дозволяє відповідно зменшити їх кількісний склад в ЗТК.

Література

1. Фришев С. Г., Козупиця С.І. Розробка ефективних технологій транспортування зерна від комбайнів. Монографія. К. 2015. – 224 с.
2. Воркут А.И. Грузовые автомобильные перевозки./А.И. Воркут – К.: Вища школа, 1986. – 447 с.
3. Измайлов А. Ю. Технологии и технические решения по повышению эффективности транспортных систем АПК. /Измайлов А. Ю. — М.: ФГНУ «Рос-информагротех», 2007. – 200 с.
4. Фришев С.Г., Дьомін О.А. Патент на корисну модель № 135168. Спосіб транспортування зерна від комбайнів. Зареєстровано 25.06.2019.
5. Гячев Л.В. Теория сыпучих материалов/ М.: ФГНУ «Рос-информагротех», 1976. – 250 с.
6. Зязев В. А., Капланович М. С., Петров В. И. Перевозки сельскохозяйственных грузов автомобильным транспортом. – М.:Транспорт, 1979. – 253 с.

References

1. Frishev S. G., Kozupicya S.I. Rozrobka efektyvnyh tekhnologij transportuvannya zerna vid kombajniv. Monografiya. K. 2015. – 224 s.
2. Vorkut A.I. Gruzovye avtomobil'nye perevozki./A.I. Vorkut – K.: Vishcha shkola, 1986. – 447 s.
3. Izmajlov A. Yu. Tekhnologii i tekhnicheskie resheniya po povysheniyu effektivnosti transportnyh sistem APK. /Izmajlov A. Yu. — M.: FGNU «Ros-informagrotekh», 2007. – 200 s.
4. Frishev S.G., D'omin O.A. Patent na korisnu model' № 135168. Sposib transportuvannya zerna vid kombajniv. Zareestrovano 25.06.2019.
5. Gyachev L.V. Teoriya sypuchih materialov/ M.: FGNU «Ros-informagrotekh», 1976. – 250 s.
6. Zyazev V. A., Kaplanovich M. S., Petrov V. I. Perevozki sel'skohozyajstvennyh грузов avtomobil'nyim transportom. – M.:Transport, 1979. – 253 s.

МАЛАЙКО Андрій

Хмельницький національний університет

e-mail: andrew.malayko@gmail.com

ПАСІЧНИК Олександр

Хмельницький національний університет

<https://orcid.org/0000-0002-8760-4688>e-mail: o.a.pasichnyk-outlook.com

СКРИПНИК Тетяна

Хмельницький національний університет

<https://orcid.org/0000-0002-8531-5348>e-mail: tskripnik1970@gmail.com

МЕТОД ПОБУДОВИ ОПТИМАЛЬНОЇ ОСВІТНЬОЇ ТРАЄКТОРІЇ ЗДОБУВАЧІВ ВИЩОЇ ОСВІТИ

З сьогоднішніми лекціями та уроками, правилами та дзвінками ми продовжуємо використовувати індустріальну модель освіти, розроблену для випуску фабричних робітників. Студенти вчаться погоджуватися з масами, але не вчаться думати самостійно. Предмети викладають ізольовано, в результаті чого учні не розуміють, як всі знання взаємопов'язані. Наша сучасна система підриває здатність батьків керувати моральним формуванням своїх дітей. Батькам і матерям відмовляють у голосі щодо цінностей, яким навчають у наших навчальних закладах. Багато освітніх округів вважають, що як тільки учень входить у двері учбового закладу, батьки більше не мають юрисдикції. Уважний розгляд сучасної освіти виявляє, що це зовсім не освіта. Наша нинішня система має принаймні три фундаментальні недоліки: неправильна зосередженість на правильному знанні замість правильного буття, відсутність інструкцій щодо того, як розпізнавати істину та виграти її передавати, і дезінтеграція предметів, не навчаючи того, як усе поєднується.

Одним із рішень ряду сучасних освітніх проблем може бути навчання за оптимальною освітньою траєкторією, що формує у студента великий багаж знань для його майбутньої професійної діяльності. Це також означає, що висококваліфікований спеціаліст з лекцією потрапить на ринок праці. Перераховувати сильні сторони якісної освіти можна досить тривалий період часу, але виникає питання: як саме сформувати цю освіту? Як зробити процес навчання максимально цікавим та продуктивним для студента? На даний момент існує досить велика кількість навчальних програм, і навряд чи можна створити щось цілком нове. Але варіант з модифікацією існуючої програми ніхто не відміняв. Тому в даній науковій роботі пропонується метод побудови освітньої траєкторії, який використовує для побудови списки обов'язкових та вибіркових дисциплін, які охоплюють набір необхідних компетентностей.

Ключові слова: список, дисципліна, кредити, компетентність, індивідуальна освітня траєкторія.

MALAIKO Andrii., PASICHNYK Olexander, SKRYPNYK Tetana
Khmelnitskyi National University

THE METHOD OF BUILDING THE OPTIMAL EDUCATIONAL TRAJECTORY OF HIGHER EDUCATION ACQUISITIONERS

With today's lectures and lessons, rules and bells, we continue to use an industrial model of education designed to produce factory workers. Students learn to agree with the masses, but they do not learn to think for themselves. Subjects are taught in isolation, as a result of which students do not understand how all knowledge is interconnected. Our current system undermines the ability of parents to guide the moral formation of their children. Fathers and mothers are denied a voice in the values taught in our schools. Many school districts believe that once a student enters the school's doors, parents no longer have jurisdiction. A careful examination of modern education reveals that it is not education at all. Our current system has at least three fundamental flaws: a misplaced focus on right knowing instead of right being, a lack of instruction on how to recognize truth and communicate it profitably, and a disintegration of subjects without teaching how things fit together.

One of the solutions to a number of modern educational problems can be to study according to the optimal educational trajectory, which forms a large baggage of knowledge for the student for his future professional activity. This also means that a highly qualified specialist will easily enter the labor market. It is possible to enumerate the strengths of quality education for quite a long period of time, but the question arises: how exactly to form this education?

How to make the learning process as interesting and productive as possible for the student? At the moment, there are quite a lot of training programs, and it is hardly possible to create something completely new. But no one canceled the option with the modification of the existing program. Therefore, this scientific work proposes a method of building an educational trajectory, which uses to build a list of mandatory and optional disciplines that cover a set of necessary competencies.

Keywords: list, discipline, credits, competence, individual educational trajectory.

Постановка проблеми

Можливість вільно обирати для студента – відкритий шлях для формування індивідуальної освітньої траєкторії. Така методика одночасно викликає інтерес в усіх учасників освітнього процесу, адже у студентів з'являється можливість поглибити hard skills, що говорить про фундаментальний шлях засвоєння певної професії. В свою чергу викладачі будуть отримувати задоволення та радість від роботи з мотивованою аудиторією. Сама процедура самостійного вибору дисциплін студентом сприяє розвитку SoftSkills, куди належить: міжособистісне спілкування, управління часом, навички переконування, креативності та роботи в команді.

Кожен студент, який вступає до університету за замовчуванням погоджується на обов'язковий компонент освітньої програми підготовки фахівця обраної спеціальності. Це рахується так званою подушкою безпеки для будь-якого студента. Попри це у вступників можуть виникати бажання вивчати

конкретні предмети більше за інші, а деякі предмети їх взагалі можуть не цікавити з початку навчання. По цій причині, крім безмірної кількості пропозицій нестандартної освіти, існують дисципліни за вибором. Вибіркові дисципліни хоч і впливають на процес формування підходящого маршруту для навчання студентів, але назвати його ідеальним досить складно [1].

Тому необхідно розробити метод побудови освітньої траєкторії здобувачів вищої освіти у вигляді інформаційної системи, яка здатна оптимізувати навчальний шлях студентів. Для досягнення поставленої мети необхідно:

- побудувати інформаційну модель методу побудови оптимальної освітньої траєкторії здобувачів вищої освіти за критеріями повноти отриманих компетентностей, критерієм максимуму hard skills, критерієм максимуму soft skills.
- виконати алгоритмічну та програмну реалізацію методу оптимізації освітньої траєкторії здобувачів вищої освіти (за критеріями повноти отриманих компетентностей, критерієм максимуму hard skills, критерієм максимуму soft skills).

Аналіз останніх джерел

Навчальні програми які використовуються в університетах, школах та інших навчальних закладах повинні бути схожими до навчання, яке проходить кожна людина протягом свого життя. Методи повинні бути унікальними, щоб кожен з нас міг навчатися якомога краще. Головний принцип самостійного навчання полягає в тому, що від народження і до смерті ми живемо навчанням: спочатку вчимося працювати, потім добре жити, і нарешті змінювати ситуацію. Навчання є природним процесом, окресленим як історією нашого виду, й історією нас як особистостей. Наш успіх залежить від діапазону, глибини і якості навчання яке ми отримуємо [2].

Індивідуальна освітня траєкторія є тим поняттям, яке може розглядатись не лише як індивідуальний шлях реалізації особистісного потенціалу студента в освіті, але й як програма, над розробкою якої працювали викладач та студент. Така програма відображає розуміння студентом цілей та цінностей суспільства, загального утворення власної освіти, наочної спрямованості освітніх інтересів й необхідності їх поєднання з суспільними потребами. Сюди можна віднести результати самостійного вибору змісту та форм освіти, що відповідають його індивідуальному стилю вчення та спілкування. Під індивідуалізацією освітнього процесу можна розуміти спосіб надання кожному студенту права та можливостей на створення унікальних освітніх цілей та завдань, які будуть входити до власної освітньої траєкторії. Обрання, побудова та реалізація індивідуальної освітньої траєкторії розвивають у студента саме ті якості, які потребує сучасне суспільство [3].

Виклад основного матеріалу

Відштовхуючись від існуючих освітніх програм, вперше пропонується метод формування індивідуальної освітньої траєкторії, який визначатиме переліки навчальних дисциплін для студентів у формі обов'язкових та вибіркових предметів.

Спершу індивідуальна освітня траєкторія складається лише з обов'язкових дисциплін, які обираються з відповідного списку, таким чином охоплюються лише частково загальні та спеціальні компетентності, які в свою чергу належать так званим наборам компетентностей. Один із таких наборів носить назву – «Набір загальних компетентностей», а інший – «Набір спеціальних компетентностей».

Далі освітня траєкторія формується шляхом доповнення списку обов'язкових дисциплін, дисциплінами із вибіркового списку в залежності від прагнень та бажань студента щодо складу його індивідуальної освітньої траєкторії, а також від вимог стандарту вищої освіти.

Останнім етапом перед отриманням готової індивідуальної освітньої траєкторії, є її оптимізація. Оптимізацію можна розуміти по різному, але в даному випадку це є конкретні обмеження, які стосуються:

- обсягу кредитів ECTS;
- повноти охоплення загальних компетентностей;
- повноти охоплення спеціальних компетентностей.

Для демонстрації роботи методу було сформовано перелік обов'язкових дисциплін (таблиця 1). У цьому переліку кожній дисципліні присвоєно довільну кількість кредитів, а також певні загальні та спеціальні компетентності. Процес визначення обсягу кредитів відбувається для кожного окремого навчального семестру, який в свою чергу може належати будь-якому освітньому рівню. Але в даному випадку значення кредитів є довільним, і при цьому воно не змінює універсальність методу побудови індивідуальної освітньої траєкторії.

Таблиця 1

Довільно визначений перелік обов'язкових дисциплін та їх атрибутів

Назва дисципліни	Кредити	Спеціальні компетентності	Загальні компетентності
Обов'язкова дисципліна 1 (ОД1)	5	СК1	ЗК1
Обов'язкова дисципліна 2 (ОД2)	5	СК3	ЗК4
Обов'язкова дисципліна 3 (ОД3)	8	СК5	ЗК5
Обов'язкова дисципліна 4 (ОД4)	5	СК4	ЗК2
Обов'язкова дисципліна N (ОДN)	5	СКN	ЗКN

Таким чином індивідуальна освітня траєкторія вміщує у собі список обов'язкових дисциплін разом з кредитами, спеціальними та загальними компетентностями, які лише частково повторюються з тими, що знаходяться в необхідному наборі компетентностей для охоплення. Схему даного етапу можна побачити на рисунку 1.

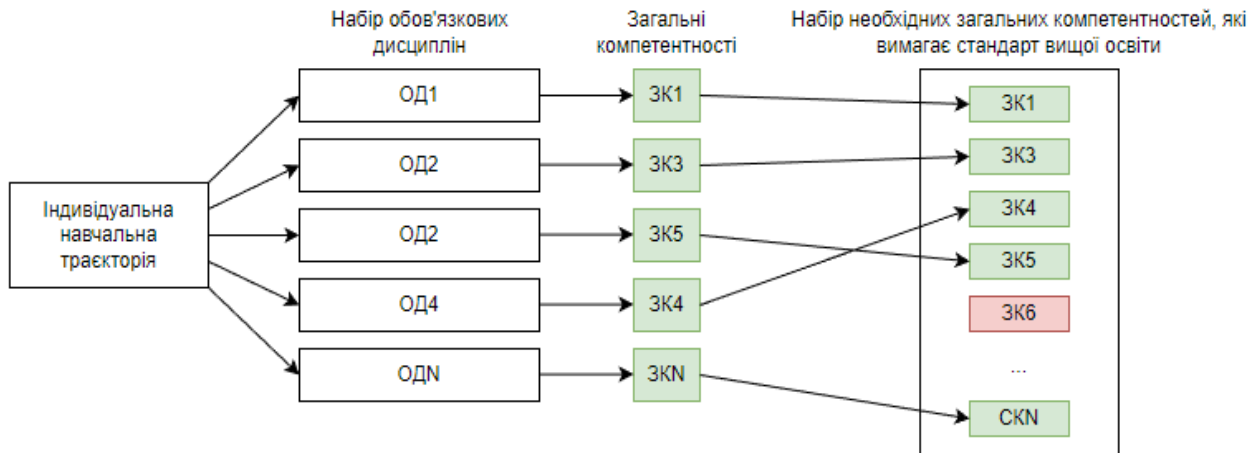


Рис. 1. Дисципліни які закривають частину необхідних загальних компетентностей

Для досягнення мети, а саме поглиблення студентом всіх, або максимуму можливих компетентностей із набору, який вимагає стандарт вищої освіти, додатково сформовано перелік вибіркової дисциплін (таблиця 2).

Таблиця 2

Довільно визначений перелік вибіркової дисциплін та їх атрибутів

Назва дисципліни	Кредити	Спеціальні компетентності	Загальні компетентності
Вибіркова дисципліна 1 (ВД1)	5	СК3	ЗК9
Вибіркова дисципліна 2 (ВД2)	8	СК5	ЗК7, ЗК8
Вибіркова дисципліна 3 (ВД3)	8	СК4	ЗК1, ЗК2
Вибіркова дисципліна 4 (ВД4)	5	СК2	ЗК5
Вибіркова дисципліна N (ВДN)	5	СК8, СК10	ЗК6, ЗК9

Доповнення списку обов'язкових дисциплін вибіровими здійснюється таким чином, щоб охопити решту необхідних компетентностей. На цьому етапі розпочинає свою роботу оптимізаційний метод грубої сили [4], який перевіряє суму кредитів поточної дисципліни разом з кредитами дисциплін які вже входять до ІОТ. Якщо сума не перевищує ліміт, що задається навчальним закладом або іншою учбовою установою яка має на це право, а також її компетентності не повторюються з тими що вже знаходяться в ІОТ, вона додається до формуючого переліку освітньої траєкторії (рисунок 2).

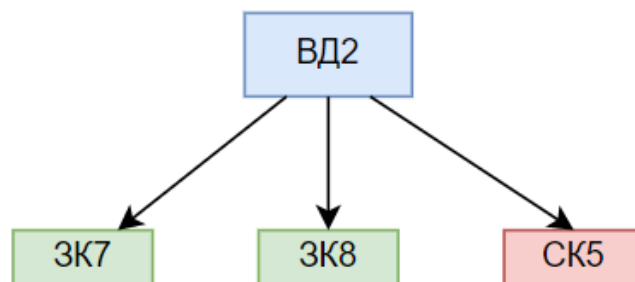


Рис. 2. Загальні задовольняючі компетентності ВД2

Оскільки, ІОТ може бути орієнтована лише на конкретне охоплення компетентностей, то можна побачити що метод підібрав ВД2 а не ВД1 для ІОТ, яка націлена на охоплення максимуму загальних компетентностей. Далі метод додав би дисципліну N, бо саме її компетентності задовольняють умову в порівнянні з тими, що наведені у таблиці 2. Для зручності можна уявити, що порядковий номер дисципліни N – 10, а її компетентностями є ЗК13, ЗК14, СК13, СК15 (рисунок 3).

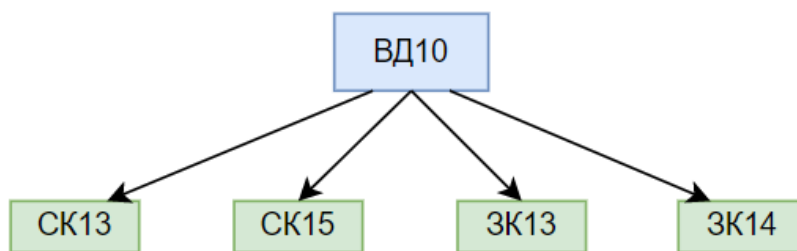


Рис. 3. Ідеальна дисципліна

У випадку охоплення максимуму спеціальних компетентностей метод також би додав цю дисципліну. Причиною є її спеціальні компетентності, що задовольняють відповідну умову. Таким чином демонструються аналітичні здібності методу. Виконавши повністю свою роботу, а саме пройшовшись по всіх вибіркових дисциплінах, він сформує найкращу з можливих освітніх траєкторій, у якій дисципліни охоплюють усі необхідні компетентності (рисунки 4).

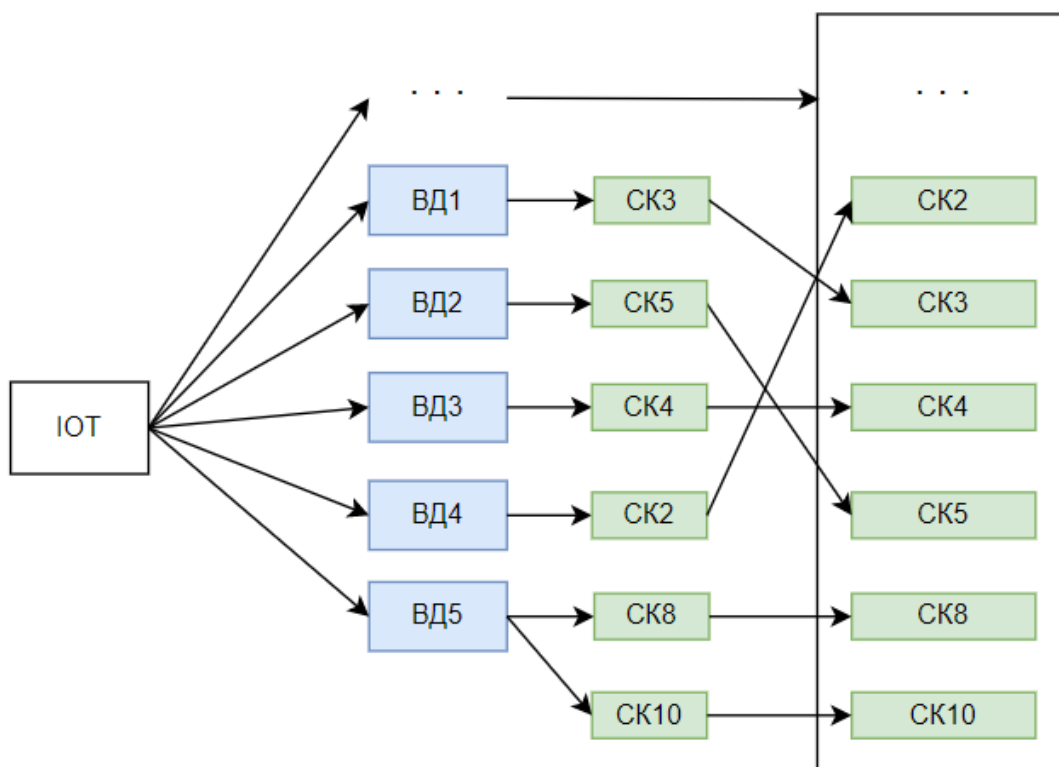


Рис. 4. Ідеальна ІОТ

Висновки

Було запропоновано метод побудови індивідуальної освітньої траєкторії для студентів вищих навчальних закладів. Запропонований метод використовує два списки дисциплін, а саме список обов'язкових дисциплін, який безперечно повинен входити до ІОТ, та список вибіркових дисциплін. За рахунок вибіркових дисциплін ІОТ формується таким чином, щоб максимально охопити певний спектр компетентностей. Такі компетентності або уміння можуть бути як спеціальними, так і загальними, що надає змогу студенту обрати особистий шлях його становлення висококваліфікованим спеціалістом в певній області знань. Метод включає процедуру оптимізації індивідуальної освітньої траєкторії за допомогою методу повного перебору, ціль якого додавати до ІОТ лише ті дисципліни, компетентності яких є унікальними, а їх кількість є якомога більшою.

Література

1. Індивідуальна освітня траєкторія, або Quo vadis students. URL: <https://vnu.edu.ua/en/node/9421>
2. Maurice Gibbons. The Self-Directed Learning Handbook: Challenging Adolescent Students to Excel. С. 9-10. URL: <http://staffnew.uny.ac.id/upload/132326892/pendidikan/maurice-gibbons-self-directed-learning-handbook-challenging-adolescent-students-excel-jossey-bass-20.pdf>
3. O. Kalachikova, Tatyanna B. Sidorova. Individual Educational Trajectories: from Educational Supermarket to Sensemaking to Blended Values. URL: <https://core.ac.uk/download/pdf/287382062.pdf>
4. Грубий пошук – Wikipedia. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Brute-force_search

References

1. Individual educational trajectory, or Quo vadis studens. URL: <https://vnu.edu.ua/en/node/9421>
2. Maurice Gibbons. The Self-Directed Learning Handbook: Challenging Adolescent Students to Excel. C. 9-10. URL: <http://staffnew.uny.ac.id/upload/132326892/pendidikan/maurice-gibbons-self-directed-learning-handbook-challenging-adolescent-students-excel-jossey-bass-20.pdf>
3. O. Kalachikova, Tatyanna B. Sidorova. Individual Educational Trajectories: from Educational Supermarket to Sensemaking to Blended Values. URL: <https://core.ac.uk/download/pdf/287382062.pdf>
4. Brute force - Wikipedia. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Brute-force_search

СОКУРЕНКО Вячеслав

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»<https://orcid.org/0000-0001-5057-182X>e-mail: sokurenko2@meta.ua

КРИЖНИЙ Андрій

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»e-mail: akryzhnii@ukr.net

АВТОМАТИЗОВАНИЙ ПАРАМЕТРИЧНИЙ СИНТЕЗ ШИРОКОКУТНИХ ОКУЛЯРІВ З ПОЛЕМ ЗОРУ 90°

В даній роботі здійснено параметричний абераційний синтез серії оптичних систем ширококутних окулярів з різною кількістю лінз для використання у телескопах або мікроскопах. Окуляри забезпечують кутове поле зору 90°, видиме збільшення 17,9×, діаметр вихідної зіниці 4 мм та її віддалення 16 мм. Під час розрахунку оптичних систем висувалися вимоги до корекції тета-дисторсії та досягнення найвищої якості зображення. Процес синтезу здійснювався за допомогою алгоритму еволюційної глобальної оптимізації, реалізованого в програмному забезпеченні для проектування оптичних систем PODIL. Отримані результати розрахунку основних аберацій та функцій якості підтверджують високу якість зображення синтезованих окулярів.

Ключові слова: ширококутний окуляр, F-тета дисторсія, поле зору, МПФ, параметричний синтез, автоматизація.

SOKURENKO Vyacheslav, KRYZHNYI Andriy

National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

AUTOMATED PARAMETRIC SYNTHESIS OF WIDE-ANGLE EYEPIECES WITH 90-DEG FIELD OF VIEW

Designing a wide-angle eyepiece's optical system is a multidimensional problem that cannot currently be solved analytically. The final solution should meet specific requirements on the distortion properties, as well as different user-defined restrictions: overall dimensions, lateral color, etc. To solve this problem, we propose to apply one of the global optimization algorithms, which excludes the necessity of having initial solutions with good image quality. In this work, we carry out parametric aberration synthesis of a series of wide-angle eyepieces with a different number of lenses for use in telescopes or microscopes. All optical systems provide the 90-degree angular field of view, the 17.9× magnification, the 4-mm exit pupil diameter, and the 16-mm eye relief. The parametric synthesis process itself was carried out in an automated mode with the global optimization algorithm based on modified differential evolution. This algorithm was implemented and examined earlier in software PODIL intended for optical systems design. The computer simulations showed that the time interval necessary for automated designing such eyepieces (with a total number of unknown variables up to 60) is about 20 hours. The evaluated aberrations and image quality functions confirmed the high image quality of the designed optical systems of the developed wide-angle eyepieces. The user-defined technical requirements and restrictions set in the merit function are completely met in found solutions. All developed optical systems are well corrected on theta distortion: its value does not exceed 0.6% over the whole field. Future research can be directed onto testing automated design capabilities for other types of optical systems with extreme performances.

Keywords: wide-angle eyepiece, F-theta distortion, field of view, MTF, parametric synthesis, automation.

Вступ

У мікроскопії та астрономії для спостереження об'єктів з широким полем огляду часто застосовуються ширококутні окуляри. Їх поле зору в просторі зображень, зазвичай, перевищує 70° [1, 2].

Оптична система ширококутного окуляра має забезпечувати додаткове збільшення зображення, сформованого попередніми оптичними компонентами, та перетин головних променів пучків під суттєвими кутами (більше 35°) на фіксованій відстані від окуляра. В зв'язку з цим, важливими функціональними параметрами окулярів є задня фокусна відстань, кутове поле зору, діаметр та віддалення зіниці тощо [3].

Під час проектування оптичних систем ширококутних окулярів особлива увага має приділятися корекції дисторсії. При кутах поля зору, що перевищують 80°, часто виправляється вже не класична дисторсія, а F-тета дисторсія. Коригування останньої забезпечує лінійну залежність розмірів зображення від кута нахилу пучка відносно оптичної осі. При цьому ідентичні об'єкти, розташовані в центрі поля зору та на периферії, будуть мати практично однакові кутові розміри.

На сьогодні поширеними є декілька типів ширококутних окулярів. Вони можуть відрізнятися як будовою своєї оптичної системи, так і габаритними розмірами [4–6]. На рис. 1 показано зовнішній вигляд декількох відомих зразків, які пропонуються провідними компаніями. Наведені ширококутні окуляри забезпечують відмінну якість зображення та мають кутове поле більше за 80°.

Через потенційно високу вартість та можливі енергетичні втрати світла, загальна кількість лінз в оптичних системах ширококутних окулярів рідко перевищує 10. Разом з тим, такі системи мають забезпечувати високу якість зображення та відносно невелику дисторсію, а тому мають загальну кількість лінз не менше 7.



а)

б)

в)

Рис. 1. Сучасні комерційні зразки ширококутних окулярів провідних виробників: а) Celestron Luminos 15mm Eyepiece (1.25") компанії Celestron, LLC [4]; б) Nagler Type-4 17mm Eyepiece (2") компанії Tele Vue Optics, Inc. [5]; в) Scientific 82° Series 14 mm Eyepiece (1.25") компанії Explore Scientific, LLC [6]

Наразі, на жаль, не існує універсальних математичних методик розрахунку подібних багатолінзових оптичних систем з урахуванням різних обмежень та технічних вимог. Конструктору доводиться використовувати свій досвід, архівні (патентні) матеріали та покладатися на сучасні алгоритми, закладені в потужні пакети проєктування оптичних систем.

Постановка проблеми

В даній роботі пропонується здійснити перевірку можливості автоматизованого абераційного синтезу багатолінзових оптичних систем ширококутних окулярів з високою якістю зображення, виправлених на F-гетта дисторсію.

Автоматизація розрахунків може бути потенційно досягнута за рахунок використання одного з сучасних алгоритмів глобальної оптимізації [7–9], реалізованого у спеціалізованому програмному забезпеченні з розрахунку оптичних систем.

Мета даної роботи – експериментальне дослідження (шляхом комп'ютерного моделювання) ефективності автоматизації процедури параметричного синтезу багатолінзових ширококутних окулярів з потрібними функціональними параметрами без використання будь-яких якісних стартових оптичних систем.

Виклад основного матеріалу

В даній роботі було проведено перевірку можливості автоматизованого розрахунку багатолінзових оптичних систем ширококутних окулярів, які призначені для роботи в видимому спектральному діапазоні. Для моделювання були обрані окуляри з кутовим полем зору 90° та видимим збільшенням $17,9\times$. У всіх системах зіниця ока мала діаметр 4 мм та була віддалена від окуляра на 16 мм.

Для оптичних систем окулярів розрахунок та аналіз аберацій часто виконують в зворотному ході променів, адже в прямому ході такі системи мають нескінченно віддалені площини зображень. В зв'язку з цим, в даному випадку вхідні зіниці розглянутих оптичних систем збігалися з апертурною діафрагмою, в ролі якої виступала зіниця ока.

Параметричний синтез здійснювався за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення «PODIL», призначеного для проєктування оптичних систем. Зокрема, процес розрахунку проводився в автоматичному режимі з використанням модифікованого еволюційного алгоритму глобальної оптимізації. Раніше подібний підхід був успішно застосований під час автоматизованого розрахунку як окулярів, так й інших типів оптичних систем [10–13].

Вихідними даними для параметричного абераційного синтезу були встановлені такі параметри та обмеження, які були використані під час чисельного моделювання:

- загальна кількість лінз – 7, 8, 9 і 10;
- кутове поле зору в просторі предметів – 90° ;
- спектральний діапазон – видимий (0,47...0,65 мкм);
- видиме збільшення – $17,9\times$;
- діаметр апертурної діафрагми (зіниці ока) – 4 мм;
- віддалення апертурної діафрагми від окуляра – 16 мм;
- діапазон допустимих осьових товщин лінз – 2...16 мм;

- діапазон допустимих осьових повітряних проміжків – 0,1...20 мм;
- діапазон кривизни оптичних поверхонь – (-0,05...0,05) мм;
- мінімальна товщина лінз на краю – 2 мм;
- мінімальна товщина повітряних проміжків на краю – 1 мм;
- максимальне осьова товщина системи – 114 мм;
- максимальне значення відносної тета-дисторсії по полю для основної довжини хвилі – 0,5%.

Зрозуміло, що задане значення видимого збільшення $17,9\times$ відповідає задній фокусній відстані, що дорівнює $250/17,9=14$ мм. Під час пошуку розв'язку зазначена фокусна відстань системи була зафіксована регулятором радіусу останньої оптичної поверхні, який гарантував незмінне значення кута апертурного променя на виході. Зокрема, при заданому діаметрі вхідної зіниці (4 мм) тангенс цього кута становив -0,125.

Слід також зазначити, що при таких великих кутах поля зору оптичні системи сучасних окулярів часто мають в зворотному ході променів уявну площину зображень. Тому від'ємна величина віддалення площини зображень від останньої оптичної поверхні також була серед параметрів оптимізації.

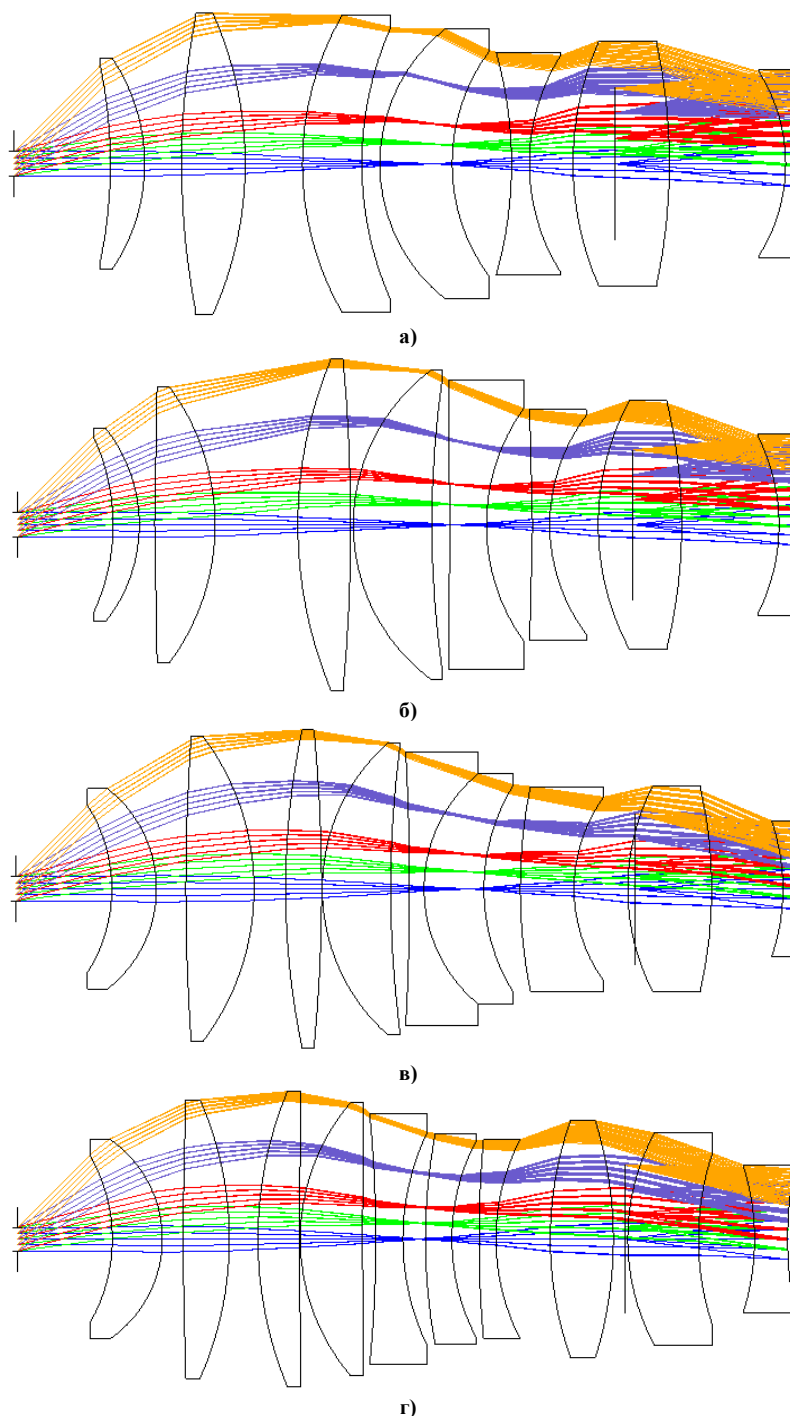


Рис. 2. Оптичні схеми синтезованих ширококутних окулярів з ходом осьових та позаосьових пучків променів (показано в зворотному ході променів): а) семилінзового; б) восьмилінзового; в) дев'ятилінзового; г) десятилінзового

Параметричний абераційний синтез оптичних систем здійснювався у два етапи. На першому етапі стартові оптичні схеми задавалися довільно у формі плоско-паралельних пластин.

Оціночна функція генерувалася для мінімізації середньоквадратичних значень радіусів точкових діаграм з пошуком найкращих марок скла з каталогів SCHOTT і CDGM та урахуванням обмежень на конструктивні параметри та тета-дисторсію. Додатково були встановлені складові для зменшення хроматизму збільшення на краю поля зору. Ці складові по суті зводилися до мінімізації відхилень поперечних координат головних променів в площині зображень для різних довжин хвиль.

Далі алгоритмом еволюційної глобальної оптимізації в автоматичному режимі детально досліджувався заданий багатовимірний простір пошукових параметрів з розміром популяції 100 на кожну змінну. Процедура такого пошуку потребувала декількох годин роботи програми в багатопоточному режимі на комп'ютері з процесором Intel Core i9-9900K.

На другому етапі оціночна функція доповнювалася складовими елементами для поліпшення значень поліхроматичних модуляційних передавальних функцій для різних точок поля зору на фіксованій просторовій частоті (в даному випадку – 20 ліній/мм). На даному етапі розмір популяції був вже суттєво зменшений (до 30 точок на кожну змінну).

Оптичні схеми серії окулярів, знайдені як оптимальні розв'язки, показані на рис. 2.

Графіки дифракційних поліхроматичних модуляційних передавальних функцій, представлені на рис. 3, а числові значення основних аберацій – в табл. 1. В цілому, наведені результати свідчать про досягнутий ступінь корекції аберацій та високу якість зображення отриманих оптичних систем.

Таблиця 1

Лінійні розміри світлових плям розсіювання та максимальне значення дисторсії

Варіант оптичної системи	Максимальне значення середньоквадратичного радіусу світлової плями у всьому спектральному діапазоні, мкм		Максимальне по модулю значення відносної F-тета дисторсії для основної довжини хвилі, %
	на оптичній осі	по всьому полю зору	
Семилінзовий	3,4	9,3	0,51
Восьмилінзовий	2,4	8,3	0,51
Дев'ятилінзовий	2,3	7,7	0,56
Десятилінзовий	3,8	7,2	0,55

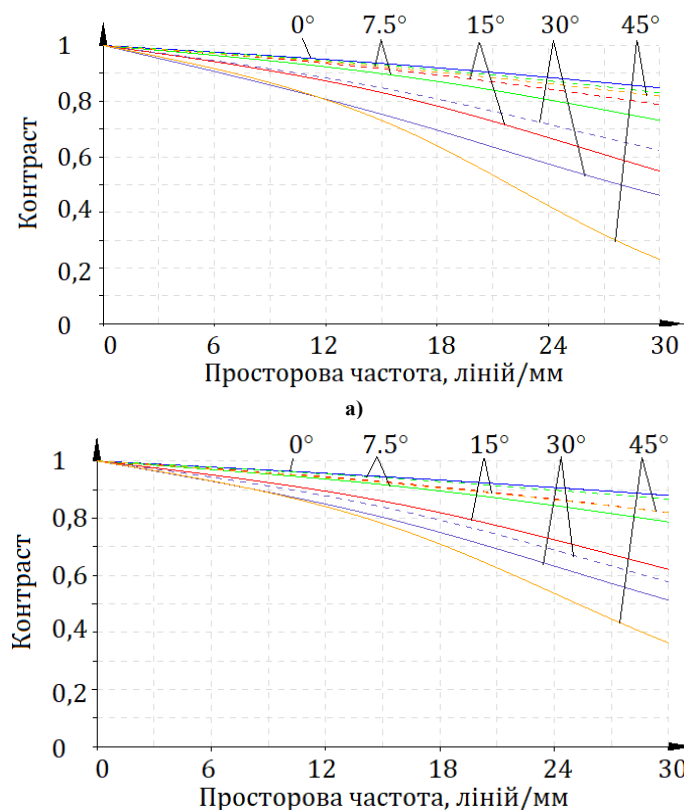


Рис. 3. Графіки дифракційних поліхроматичних модуляційних передавальних функцій синтезованих ширококутних окулярів для різних точок поля зору: а) семилінзового; б) восьмилінзового;

Суцільними кривими показані залежності для меридіонального перетину, а пунктирними – для сагітального перетину

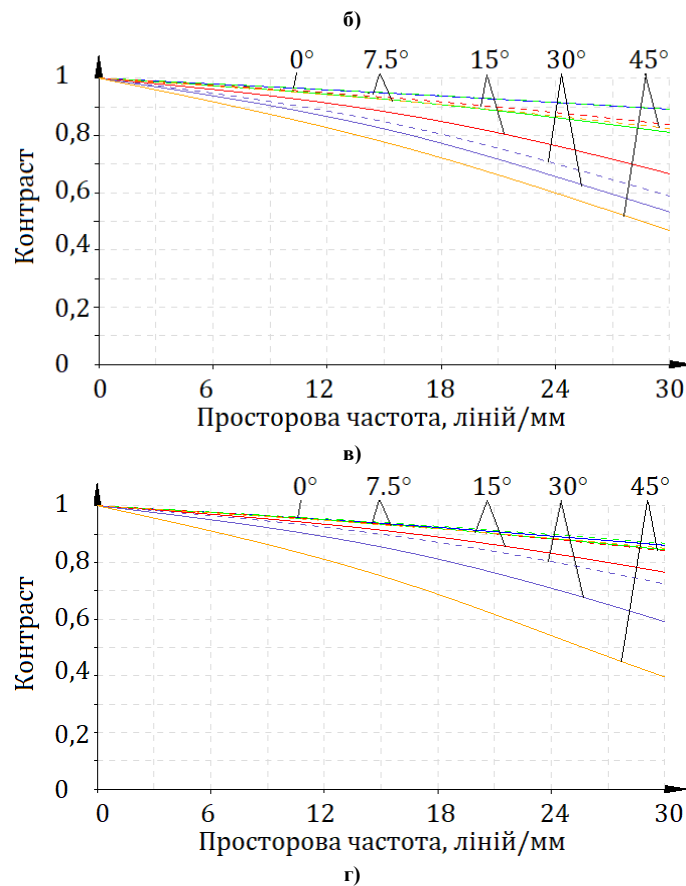


Рис. 3. Графіки дифракційних поліхроматичних модуляційних передавальних функцій синтезованих ширококутних окулярів для різних точок поля зору (продовження):
в) дев'ятилінзового; г) десятилінзового. Суцільними кривими показані залежності для меридіонального перетину, а пунктирними – для сагітального перетину

Як видно з табл. 1, отримані числові значення відносної тета-дисторсії дещо перевищили задане обмеження 0,5%. Це зумовлено невеликим значенням вагового коефіцієнта елемента оціночної функції, який застосовувався для обмеження максимального значення дисторсії в чотирьох точках поля зору (зокрема, для відносних координат поля зору: 0,5; 0,7; 0,88 і 1).

В цілому, наведені результати свідчать про досягнуту відмінну якість зображення синтезованих оптичних систем ширококутних окулярів.

Висновки

Проведений параметричний абераційний синтез серії виправлених на тета-дисторсію багатолінзових оптичних систем ширококутних окулярів підтвердив на практиці ефективність автоматизованого розрахунку подібних систем за допомогою програмного забезпечення PODIL.

Отримані результати вказують на високу якість зображень розрахованих оптичних систем ширококутних окулярів та можливість урахування в кінцевому розв'язку встановлених конструктором технічних вимог та обмежень.

Перевагами синтезованих систем є велике кутове поле зору (90°), значне віддалення зіниці (16 мм) та мале значення тета-дисторсії, що не перевищує 0,6% по полю.

Література

1. Paolini W. Choosing and Using Astronomical Eyepieces. Springer Science & Business Media, New York, 2013. 442 p.
2. Ultra Wide Field Eyepieces. OPT Telescopes. 2022. URL: <https://optcorp.com/collections/ultra-wide-field-eyepieces>.
3. Choosing an Eyepiece – Step by Step. Al Nagler. Tele Vue Optics. 2014. URL: https://www.televue.com/pdf/Eyepiece_AASNY_2014_May_June_ChoosingEPs.pdf
4. Celestron Luminos 15mm Eyepiece (1.25"). Celestron, LLC. 2022. URL: <https://www.celestron.com/products/luminos-15mm-eyepiece-125in>
5. Tele Vue Nagler Type-4 17mm Eyepiece (2") Overview. Tele Vue Optics, Inc. 2022. URL: https://www.bhphotovideo.com/c/product/329433-REG/Tele_Vue_EN4_17_0_Nagler_Type_4_17mm.html#:~:text=Inspired%20by%20the%20venerable%20Nagler,

optimized%20for%20deep-sky%20viewing

6. Scientific 82° Series 14 mm Eyepiece (1.25"). Explore Scientific, LLC. 2022. URL: <https://explorescientificusa.com/products/82-14mm>

7. Haupt R, Haupt S. Practical Genetic Algorithms. 2004. 253 p.

8. Ali M., Zabinsky B. A numerical Evaluation of Several Stochastic Algorithms on Selected Continuous Global Optimization Test Problems. J. of Global Optimization. 2005. Vol. 31. P. 635–672.

9. Сокурєнко В. М., Неділюк В. С. Числове дослідження стохастичних методів безперервної глобальної оптимізації. Наукові вісті НТУУ "КПІ". 2012. № 1. С. 81-88.

10. Сокурєнко В. М., Макаренко Я. І. Розробка оптичних систем методами глобальної оптимізації. Вісник НТУУ "КПІ". Серія приладобудування. 2015. № 50(2). С. 51-60.

11. Сокурєнко В. М., Буйлов І. С. Застосування адаптивного методу диференційної еволюції Коші для розрахунку об'єктів. Вісник НТУУ "КПІ". Серія приладобудування. 2016. № 51(1). С. 41-47.

12. Сокурєнко В. М., Вакуленко М. М. Автоматизований розрахунок окулярів з дифракційними оптичними елементами. Вісник Хмельницького національного університету: Технічні науки. Хмельницький, 2018. №1 (257). С. 107-112.

13. Сокурєнко В. М., Тросянська О. В. Синтез оптичної системи окуляра для мікродисплея з високою роздільною здатністю. Вісник Хмельницького національного університету: Технічні науки. Хмельницький, 2019. № 6 (279). С. 206-210.

References

1. Paolini W. Choosing and Using Astronomical Eyepieces. Springer Science & Business Media, New York, 2013. 442 p.

2. Ultra Wide Field Eyepieces. OPT Telescopes. 2022. URL: <https://optcorp.com/collections/ultra-wide-field-eyepieces>.

3. Choosing an Eyepiece – Step by Step. Al Nagler. Tele Vue Optics. 2014. URL: https://www.televue.com/pdf/Eyepiece_AASNY_2014_May_June_ChoosingEPs.pdf

4. Celestron Luminos 15mm Eyepiece (1.25"). Celestron, LLC. 2022. URL: <https://www.celestron.com/products/luminos-15mm-eyepiece-125in>

5. Tele Vue Nagler Type-4 17mm Eyepiece (2") Overview. Tele Vue Optics, Inc. 2022. URL: https://www.bhphotovideo.com/c/product/329433-REG/Tele_Vue_EN4_17_0_Nagler_Type_4_17mm.html#:~:text=Inspired%20by%20the%20venerable%20Nagler,optimized%20for%20deep-sky%20viewing

6. Scientific 82° Series 14 mm Eyepiece (1.25"). Explore Scientific, LLC. 2022. URL: <https://explorescientificusa.com/products/82-14mm>

7. Haupt R, Haupt S. Practical Genetic Algorithms. 2004. 253 p.

8. Ali M., Zabinsky B. A numerical Evaluation of Several Stochastic Algorithms on Selected Continuous Global Optimization Test Problems. J. of Global Optimization. 2005. Vol. 31. P. 635–672.

9. Sokurenko V. M., Nediliuk V. S. Chyslove doslidzhennia stokhastychnykh metodiv bezperervnoi hlobalnoi optymizatsii. Naukovi visti NTUU "KPI". 2012. № 1. С. 81-88.

10. Sokurenko V. M., Makarenko Ya. I. Rozrobka optychnykh system metodamy hlobalnoi optymizatsii. Visnyk NTUU "KPI". Seriiia pryladobuduvannia. 2015. № 50(2). С. 51-60.

11. Sokurenko V. M., Builov I. S. Zastosuvannia adaptynoho metodu dyferentsiinoi evoliutsii Koshi dlia rozrakhunku obiektyviv. Visnyk NTUU "KPI". Seriiia pryladobuduvannia. 2016. № 51(1). С. 41-47.

12. Sokurenko V. M., Vakulenko M. M. Avtomatyzovanyi rozrakhunok okuliariiv z dyfraktsiinymy optychnymy elementamy. Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu: Tekhnichni nauky. Khmelnytskyi, 2018. №1 (257). С. 107-112.

13. Sokurenko V. M., Trostianska O. V. Syntez optychnoi systemy okuliara dlia mikrodyspleia z vysokoioi rozdilnoiu zdattistiu. Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu: Tekhnichni nauky. Khmelnytskyi, 2019. № 6 (279). С. 206-210.

СОКУРЕНКО Вячеслав

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»<https://orcid.org/0000-0001-5057-182X>e-mail: sokurenko2@meta.ua

ХУТОРОВИЙ Іван

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»e-mail: akryzhnii@ukr.net

СОКУРЕНКО Олег

ВСП «Оптико-механічний фаховий коледж
Київського національного університету імені Тараса Шевченка»
e-mail: opticsom@gmail.com

РОЗРОБЛЕННЯ ОПТИЧНИХ СИСТЕМ 16-ЛІНЗОВИХ ОРТОСКОПІЧНИХ ТЕЛЕОБ'ЄКТИВІВ

В даній роботі виконано багаторазову перевірку результативності процедури автоматизованого синтезу нових оптичних систем телеоб'єктивів, яка базується на алгоритмі стохастичної глобальної оптимізації. Зокрема, здійснено абераційний синтез декількох оптичних систем 16-лінзових ортоскопічних телеоб'єктивів з фокусною відстанню 300 мм, відносним отвором 1:2,8, які призначені для роботи в видимому спектральному діапазоні з матричними приймачами зображення повнокадрового формату 35-мм. Наведені результати розрахунку зазначених телеоб'єктивів підтверджують результативність запропонованого підходу та практичну можливість досягнення високої якості виправлення аберацій в розглянутих оптичних системах навіть без використання флюориту (фториду кальцію).

Ключові слова: телеоб'єктив, повнокадровий формат 35-мм, флюорит, ортоскопічний, глобальна оптимізація, аберація, якість зображення.

SOKURENKO Vyacheslav, KHUTOROVYI Ivan

National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

SOKURENKO Oleg

Optical-mechanical faculty college of Taras Shevchenko National University of Kyiv

DEVELOPMENT OF OPTICAL SYSTEMS OF 16-LENS ORTHOSCOPIC TELEPHOTO LENSES

In this work, the possibilities of creating multi-lens optical systems of telephoto lenses with a fixed focal length and high image quality with the help of a computer have been experimentally investigated. The effectiveness of the automated procedure for creating new optical systems of orthoscopic telephoto lenses was repeatedly examined. The design procedure utilizes a modified version of the modern stochastic global optimization algorithm. In particular, we carried out the aberration synthesis of several optical systems of 16-lens orthoscopic telephoto lenses having the effective focal length of 300 mm and a F-number equal to 2.8, and designed to work in the visible spectral range with 35-mm full-frame image matrix detectors. Multiple computer simulations of the design process have shown that the global optimization procedure with a total number of variables of around 90 requires significant computing power. Specifically, when running on the Intel Core i9-9900K processor in multi-threaded mode and optimizing the values of the modulation transfer functions, the design procedure can exceed 50 hours. The maximum value of the relative distortion of synthesized variants of telephoto lenses does not exceed 0.017%. In all considered cases, the values of polychromatic modulation transfer functions for a spatial frequency of 30 lines/mm are not smaller than 0.5 over the entire image field. The design results obtained for the specified telephoto lenses confirm the effectiveness of the proposed approach and the practical possibility of achieving high-quality correction of aberrations in the above-mentioned multi-lens telephoto systems even without the use of fluorite (calcium fluoride).

Keywords: telephoto lens, full-frame 35-mm format, fluorite, orthoscopic, global optimization, aberration, image quality.

Вступ

На сьогодні лінзові та дзеркально-лінзові телеоб'єктиви знайшли широке застосування в різних галузях техніки (насамперед в фото- і відеоапаратурі, геодезії та військовій техніці) завдяки властивостям наближення зображення віддалених об'єктів.

Якщо найпростіші варіанти лінзових телеоб'єктивів з коефіцієнтом телескорочення близько 0,8 можуть містити лише два дублети-ахромати (позитивний і негативний), розділені значним повітряним проміжком [1, 2], то більш складні зразки телеоб'єктивів потребують біля 8 лінз. Проте навіть така кількість лінз зі сферичними поверхнями не здатна забезпечити якісну корекцію монохроматичних і хроматичних аберацій при великому кутовому полі зору. При застосуванні повнокадрових матричних фотоприймачів з розмірами діагоналі чутливої площадки 44 мм і більше оптичні системи телеоб'єктивів навіть з середньою світлосилою потребують щонайменше 12 лінз. При цьому конструктору-розробнику доводиться окремі лінзи проектувати із коштовних марок скла та кристалів, що мають особливі дисперсійні властивості [3–5], або ж застосовувати в оптичній системі складні асферичні поверхні високих порядків, виробництво та контроль яких вимагає суттєвих затрат.

На рис. 1 представлені сучасні комерційні зразки телеоб'єктивів від провідних світових компаній. Значна кількість оптичних поверхонь в них дозволяє на практиці досягти якісного виправлення

монохроматичних та хроматичних аберацій та забезпечити високі значення контрасту на різних просторових частотах.

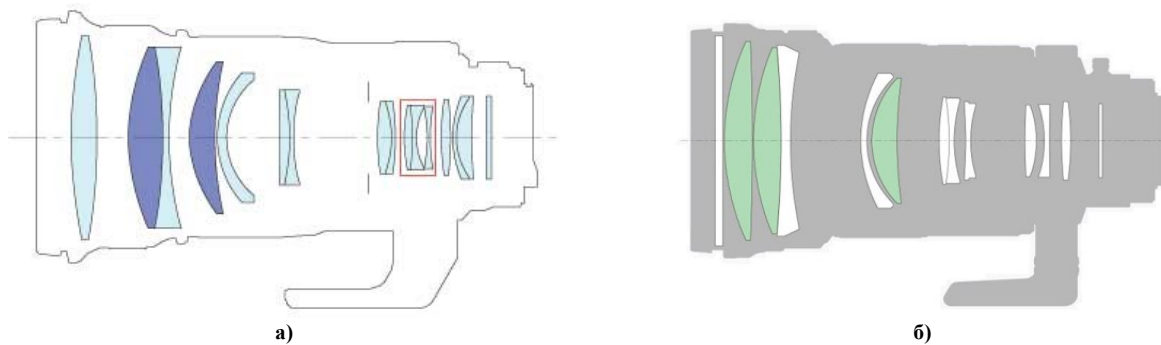


Рис. 1. Сучасні комерційні зразки телеоб'єктивів: а) телеоб'єктив компанії Canon, фокусна відстань 300 мм, F/2,8, 16 елементів в 12 компонентах, довжина 248 мм (затемнені дві лінзи виготовлені з флюориту) [6]; б) телеоб'єктив компанії Sony, фокусна відстань 300 мм, F/2,8, 13 елементів в 12 компонентах, довжина 242,5 мм (затемнені три лінзи виготовлені зі скла UD) [7]

Через складність та багатовимірність задачі проектування подібних об'єктивів, на сьогодні відсутні методики їх аналітичного розрахунку. Використання теорії аберацій 3-го порядку або архівних джерел не завжди призводить до прийнятного результату, особливо у випадку світлосильних багатолінзових систем [2, 3, 5]. Тому перспективним напрямком слід вважати розробку та застосування удосконалених програмних інструментів, в основу яких покладені сучасні алгоритми глобальної оптимізації [8–11]. Потенційно вони здатні за обмежений час забезпечити знаходження бажаного розв'язку з урахуванням додаткових вимог розробника.

В даній роботі експериментально досліджені можливості генерування виправлених на дисторсію багатолінзових оптичних систем телеоб'єктивів з фіксованою фокусною відстанню та високою якістю зображення.

Постановка задачі досліджень

Метою даної роботи є перевірка шляхом багаторазового комп'ютерного моделювання результативності автоматизованого параметричного абераційного синтезу багатолінзових ортоскопічних оптичних систем телеоб'єктивів. Параметричний синтез здійснюється засобами стохастичної глобальної оптимізації, реалізованими в спеціалізованому програмному забезпеченні.

Виклад основного матеріалу

Для розроблення оптичних систем ортоскопічних телеоб'єктивів в даній роботі було використано програмне забезпечення з проектування оптичних систем PODIL, у якому реалізовано модифікований алгоритм адаптивного методу диференційної еволюції Коші [12, 13]. Функціональні можливості даного програмного забезпечення дають змогу генерувати оригінальні оптичні схеми та знаходити конструктивні параметри удосконалених оптичних систем різного типу практично в автоматичному режимі.

Розглянемо детальніше використану послідовність проектування. Запуску алгоритму глобальної оптимізації передуює підготовчий етап. На ньому конструктор спочатку має обрати загальну кількість лінз, ввести координати точок поля зору, для яких мають контролюватися аберації, тип та величину апертури оптичної системи, основну та додаткові довжини хвиль. Далі відмічаються параметри оптимізації (змінні) та встановлюються діапазони на їх допустимі значення. Як параметри оптимізації переважно використовуються радіуси оптичних поверхонь, осьові відстані між поверхнями та параметри оптичних середовищ. Додатково для модифікації можуть бути обрані специфічні параметри «нестандартних» поверхонь (наприклад, коефіцієнти асферичності, параметри дифракційних ґраток, параметри панкратичних систем тощо) [14–18].

Далі в програмі генерується базова або так звана стандартна оціночна функція. Як правило, вона формується для мінімізації середньоквадратичних радіусів світлових плям або для мінімізації функцій деформації хвильових фронтів. За потреби ця оціночна функція може бути доповнена такими додатковими складовими як обмеження типу рівностей або нерівностей для окремих аберацій або геометричних параметрів системи. Крім того, на завершальних етапах проектування оптичних систем, які мають утворювати якісне зображення, оціночна функція може містити складові елементи для мінімізації значень монохроматичних або поліхроматичних модуляційних передавальних функцій, розрахованих в геометричному або дифракційному наближенні для заданих просторових частот. По завершенню підготовчого етапу можна вже здійснити запуск вищезазначеного алгоритму глобальної оптимізації. Слід зауважити, що сама процедура оптимізації не потребує активної участі конструктора, адже є повністю автоматичною.

Для проведення чисельних досліджень в даній роботі було обрано 16-лінзовий ортоскопічний телеоб'єктив з фіксованою задньою фокусною відстанню 300 мм, діафрагмовим числом F/2,8 та кутовим

полем зору $8,4^\circ$. Цей телеоб'єктив призначений для функціонування у видимому спектральному діапазоні з основною довжиною хвилі $0,555 \text{ мкм}$. Вагові коефіцієнти для всіх п'яти використаних довжин хвиль ($0,47$; $0,51$; $0,555$; $0,61$ і $0,65 \text{ мкм}$) були встановлені однаковими.

Під час параметричного синтезу розглянутого телеоб'єктива було встановлено обмеження на загальний осьовий розмір (відстань від першої оптичної поверхні телеоб'єктива до площини зображень) – 285 мм , фіксоване значення заднього фокального відрізка – 58 мм , мінімальну та максимальну осьові товщини лінз – $2,8 \text{ мм}$ і 23 мм відповідно, мінімальну товщину лінз на краю – 2 мм та максимальне допустиме значення дисторсії – $0,01\%$. Для забезпечення близького до телецентричного ходу променів на виході системи, граничне значення кута головного променя периферійного пучка в просторі зображень обмежувалося значенням 9° .

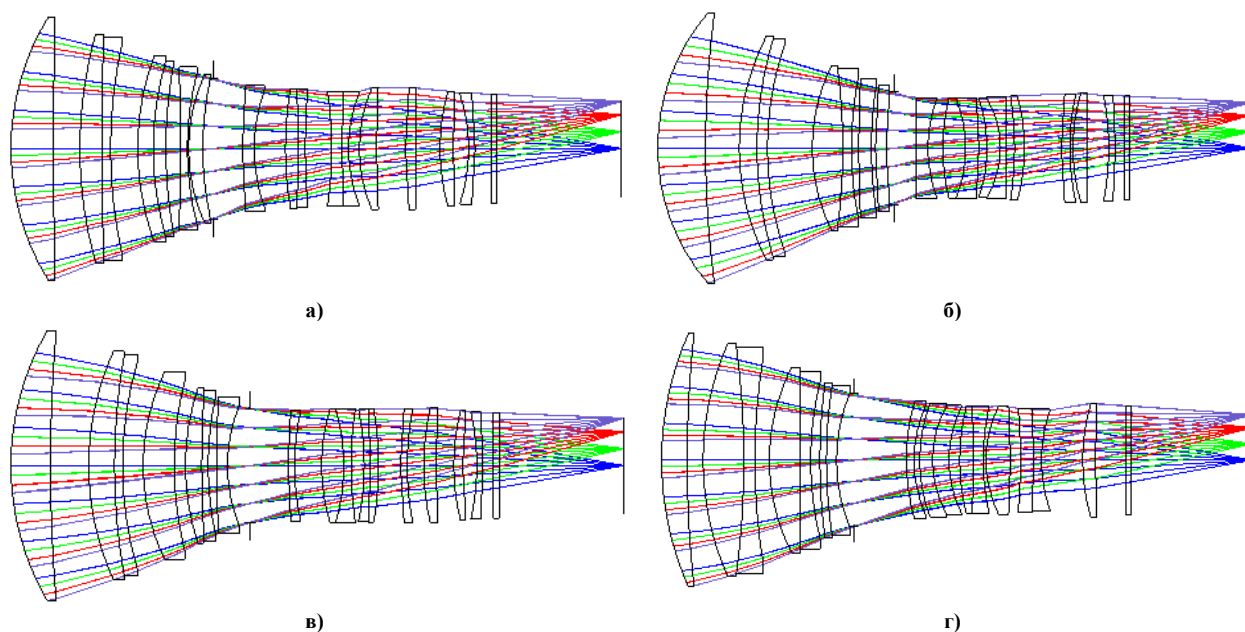


Рис. 2. Варіанти розроблених оптичних схем телеоб'єктивів з ходом променів

Застосування регулятора, що контролює вихідний кут апертурного променя на останній оптичній поверхні об'єктива, гарантувало незмінність значення задньої фокусної відстані телеоб'єктива. Зокрема, в даному випадку, тангенс зазначеного кута становив $-0,17855$ при діаметрі вхідної зіниці $107,14 \text{ мм}$.

Проведене багаторазове комп'ютерне моделювання процесу розрахунку показало, що процедура глобальної оптимізації з кількістю змінних біля 90 потребує значних обчислювальних затрат та суттєвої потужності комп'ютера. Так, при роботі процесора Intel Core i9-9900K в багатопоточному режимі та оптимізації значень модуляційних передавальних функцій процедура синтезу може перевищувати 50 годин.

На рис. 2 представлені отримані оптичні схеми декількох варіантів ортоскопічних телеоб'єктивів.

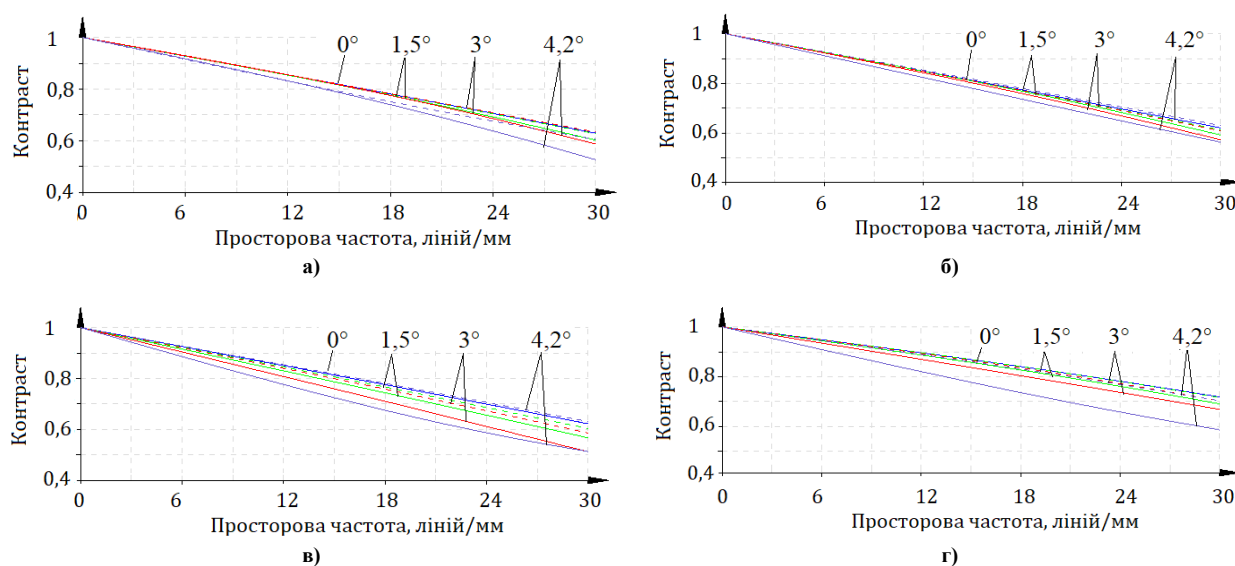


Рис. 3. Графіки дифракційних поліхроматичних модуляційних передавальних функцій розроблених варіантів телеоб'єктивів для різних точок поля зору

Максимальне по модулю значення відносної дисторсії синтезованих варіантів телеоб'єктивів не перевищує 0,017%. На рис. 3 представлені графіки дифракційних поліхроматичних модуляційних передавальних функцій розроблених телеоб'єктивів для точок поля зору в центрі, середній зоні та на периферії. Ці графіки свідчать про досягнуту якісну корекцію аберацій в широкому спектральному діапазоні. Зокрема, у всіх розглянутих випадках значення дифракційних поліхроматичних модуляційних передавальних функцій для просторової частоти 30 ліній/мм виявилися більшими за 0,5 по всьому полю зображень.

Як показують залежності, показані на рис. 4 і 5, якість зображення є добре збалансованою по всьому полю зору.

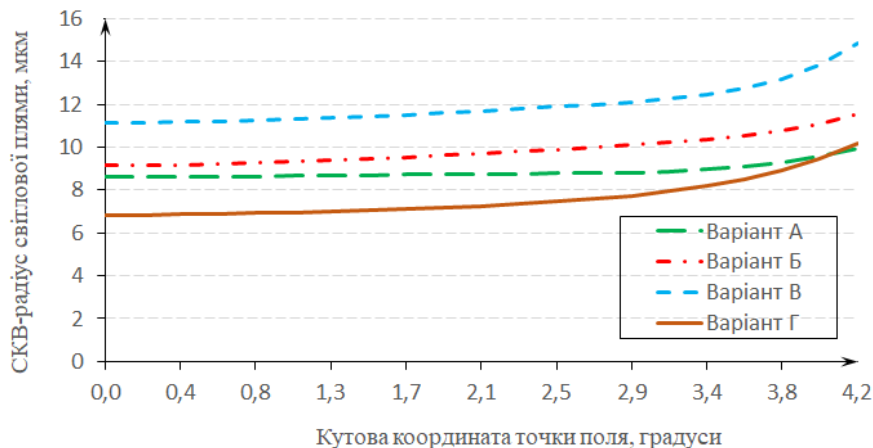


Рис. 4. Залежності СКВ-радіусів поліхроматичних світлових плям від кута поля розроблених варіантів телеоб'єктивів

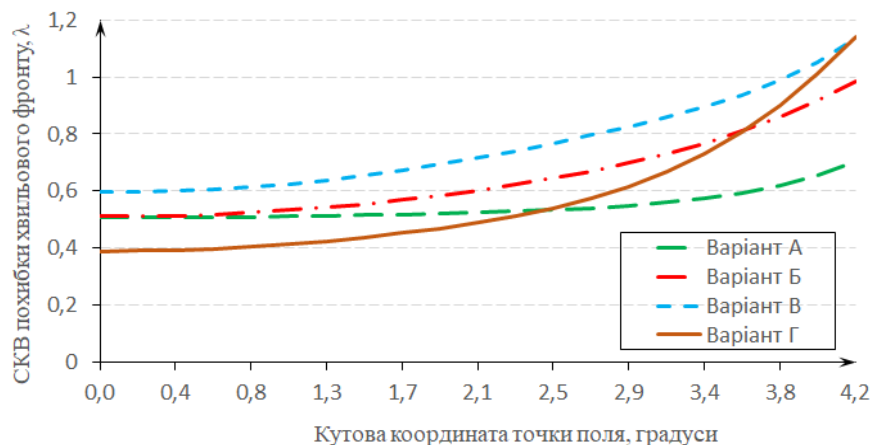


Рис. 5. Залежності СКВ похибки поліхроматичної функції деформації хвильового фронту від кута поля розроблених варіантів телеоб'єктивів

Висновки

Використаний в роботі спосіб автоматизованого параметричного синтезу оптичних систем, що базується на алгоритмі стохастичної глобальної оптимізації, дозволяє отримати оптичні схеми багатолінзових ортоскопічних телеоб'єктивів з урахуванням встановлених конструктором вимог та обмежень. Розроблені варіанти 16-лінзових телеоб'єктивів з фокусною відстанню 300 мм та відносним отвором 1:2,8 забезпечують високий рівень корекції монохроматичних та хроматичних аберацій для кутового поля зору 8,4° без будь-якого віньетування променів та використання флюориту. Отримані оптичні системи раціонально застосовувати в високоякісних оптико-електронних приладах спостереження за віддаленими об'єктами разом з повнокадровими матричними фотоприймачами, що мають діагональ світлочутливої площадки біля 44 мм.

Література

1. Laikin M. Lens Design (Optical Science and Engineering). 4th Edition. CRC Press. 2006. 512 p.
2. Velzel C., William T. Rhodes A Course in Lens Design. Georgia Institute of Technology. 2014. 177 p.
3. Kingslake R., Johnson R. B. Lens Design Fundamentals. Second Edition. Elsevier Inc. 2010. 549 p.
4. Malacara D., Malacara Z. Handbook of Lens Design. Taylor & Francis, 1994. 672 p.
5. Gross H., Zugge H., Peschka M., Blechinger F. Handbook of Optical Systems: Vol. 3. Aberration

Theory and Correction of Optical Systems. Edited by Herbert Gross. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim. 2014. 780 p.

6. Canon EF 300mm F2.8 IS II USM Lens. EFLens.com. 2022. URL: http://www.eflens.com/eflenses/ef_300_f_2_8_is_ii_usm.html.
7. Sony 300mm F2.8 G SSM II Lens. DigitalPhotographyLives. 2022. URL: <https://digitalphotographylive.com/sony-300mm-f2-8-g-ssm-ii-sal300f28g2-lens/>.
8. Bentley J., Craig Olson C. Field Guide to Lens Design. SPIE Field Guides. Volume FG27. SPIE. 2012. 141 p.
9. Price K., Storn R., Lampinen J. Differential Evolution: A Practical Approach to Global Optimization. Springer Science & Business Media, 2006. 539 p.
11. 10 Xin-She Yang. Optimization Techniques and Applications with Examples. John Wiley & Sons, Inc. 2018. 384 p.
12. Slowik A. Swarm Intelligence Algorithms: Modifications and Applications. CRC Press. 2020. 378 p.
13. Choi T. J., Ahn C. W. An adaptive Cauchy differential evolution algorithm for global numerical optimization/ The Scientific World Journal. 2013. Vol. 2013. Article ID 969734, 12 pages.
14. Choi T. J., Ahn C. W. An adaptive Cauchy differential evolution algorithm with bias strategy adaptation mechanism for global numerical optimization/ Journal of Computers. 2014. Vol. 9, part 9. p. 2139-2145.
15. Сокуренько В. М., Буйлов І. С. Застосування адаптивного методу диференційної еволюції Коші для розрахунку об'єктивів. Вісник НТУУ "КПІ". Серія приладобудування. 2016. № 51(1). С. 41-47.
16. Сокуренько В. М., Макаренко Я. І. Розробка оптичних систем методами глобальної оптимізації. Вісник НТУУ "КПІ". Серія приладобудування. 2015. № 50(2). С. 51-60.
17. Сокуренько В. М., Смажко І. О. Автоматизований розрахунок оптичної системи SWIR-об'єктива. Вісник Хмельницького національного університету: Технічні науки. Хмельницький, 2019. № 6 (279). С. 202-205.
18. Сокуренько В. М., Бондарчук Д. П. Автоматизований параметричний синтез фотооб'єктива зі зменшеною дисторсією. Вісник НТУУ "КПІ". Серія приладобудування. 2018. № 56(2). С. 18-24.
19. Сокуренько В. М., Сокуренько О. М. Автоматизований розрахунок оптичної системи панкратичного прицілу. Вісник Київського політехнічного інституту. Серія Приладобудування. 2022. № 63(1). С. 25-33.

References

1. Laikin M. Lens Design (Optical Science and Engineering). 4th Edition. CRC Press. 2006. 512 p.
2. Velzel C., William T. Rhodes A Course in Lens Design. Georgia Institute of Technology. 2014. 177 p.
3. Kingslake R., Johnson R. B. Lens Design Fundamentals. Second Edition. Elsevier Inc. 2010. 549 p.
4. Malacara D., Malacara Z. Handbook of Lens Design. Taylor & Francis, 1994. 672 p.
5. Gross H., Zugge H., Peschka M., Blechinger F. Handbook of Optical Systems: Vol. 3. Aberration Theory and Correction of Optical Systems. Edited by Herbert Gross. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim. 2014. 780 p.
6. Canon EF 300mm F2.8 IS II USM Lens. EFLens.com. 2022. URL: http://www.eflens.com/eflenses/ef_300_f_2_8_is_ii_usm.html.
7. Sony 300mm F2.8 G SSM II Lens. DigitalPhotographyLives. 2022. URL: <https://digitalphotographylive.com/sony-300mm-f2-8-g-ssm-ii-sal300f28g2-lens/>.
8. Bentley J., Craig Olson C. Field Guide to Lens Design. SPIE Field Guides. Volume FG27. SPIE. 2012. 141 p.
9. Price K., Storn R., Lampinen J. Differential Evolution: A Practical Approach to Global Optimization. Springer Science & Business Media, 2006. 539 p.
11. 10 Xin-She Yang. Optimization Techniques and Applications with Examples. John Wiley & Sons, Inc. 2018. 384 p.
12. Slowik A. Swarm Intelligence Algorithms: Modifications and Applications. CRC Press. 2020. 378 p.
13. Choi T. J., Ahn C. W. An adaptive Cauchy differential evolution algorithm for global numerical optimization/ The Scientific World Journal. 2013. Vol. 2013. Article ID 969734, 12 pages.
14. Choi T. J., Ahn C. W. An adaptive Cauchy differential evolution algorithm with bias strategy adaptation mechanism for global numerical optimization/ Journal of Computers. 2014. Vol. 9, part 9. p. 2139-2145.
15. Sokurenko V. M., Builov I. S. Zastosuvannya adaptivnoho metodu dyferentsiinoi evoliutsii Koshi dlia rozrakhunku obiektyviv. Visnyk NTUU "KPI". Seriiia prykladobuduvannya. 2016. № 51(1). S. 41-47.
16. Sokurenko V. M., Makarenko Ya. I. Rozrobka optychnykh system metodamy hlobalnoi optymizatsii. Visnyk NTUU "KPI". Seriiia prykladobuduvannya. 2015. № 50(2). S. 51-60.
17. Sokurenko V. M., Smazhko I. O. Avtomatyzovanyi rozrakhunok optychnoi systemy SWIR-obiektyva. Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu: Tekhnichni nauky. Khmelnytskyi, 2019. № 6 (279). S. 202 205.
18. Sokurenko V. M., Bondarchuk D. P. Avtomatyzovanyi parametrychnyi syntez fotoobiektyva zi zmensheniou dystorsiieiu. Visnyk NTUU "KPI". Seriiia prykladobuduvannya. 2018. № 56(2). S. 18-24.
19. Sokurenko V. M., Sokurenko O. M. Avtomatyzovanyi rozrakhunok optychnoi systemy pankratychnoho prytsilu. Visnyk Kyivskoho politekhnichnoho instytutu. Seriiia Prykladobuduvannya. 2022. № 63(1). S. 25-33.

СТЕБЕЛЕЦЬКИЙ Мирослав

Хмельницький національний університет

<https://orcid.org/0000-0001-7084-8400>e-mail: myroslav.stebeletskyi@gmail.com**МАНЗЮК Едуард**

Хмельницький національний університет

<https://orcid.org/0000-0002-7310-2126>e-mail: eduard.em.km@gmail.com**СКРИПНИК Тетяна**

Хмельницький національний університет

<https://orcid.org/0000-0002-8531-5348>e-mail: tskripnik1970@gmail.com**БАГРІЙ Руслан**

Хмельницький національний університет

<https://orcid.org/0000-0001-5219-1185>e-mail: bahriiro@khmnu.edu.ua

МЕТОД ПОБУДОВИ АНСАМБЛІВ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ КЛАСИФІКАЦІЇ ДАНИХ НА ОСНОВІ КОРЕЛЯЦІЙНИХ ЗВ'ЯЗКІВ РІШЕНЬ

У науковій роботі висвітлюється проблема підвищення точності передбачень бінарної класифікації із використанням алгоритмів машинного навчання. Основою інформаційної системи бінарної класифікації виступає ансамблева модель. Ця модель, в свою чергу, містить набір унікальних комбінацій базових класифікаторів – свого роду алгоритмічні примітиви. Ансамблева модель може розглядатись як деякий мета-алгоритм, який складається із унікальних наборів алгоритмів класифікації машинного навчання (ML). Завданням ансамблевої моделі являється знаходження такої комбінації базових алгоритмів класифікації, яка б давала найвищі показники результативності. Результативність оцінюється згідно з основними метриками ML у завданнях класифікації. Іншим аспектом наукової роботи є створення агрегаційного механізму задля поєднання результатів базових алгоритмів класифікації. Тобто кожна унікальна комбінація у середині ансамблю складається із набору базових моделей (передвісників), результати яких потрібно агрегувати. У даній роботі задля агрегування (усереднення) передбачень базових моделей використовується неієрархічний метод кластеризації. Особливістю цього дослідження є знаходження коефіцієнтів кореляції базових моделей у кожній комбінації. За допомогою величини кореляції встановлюється залежність між передбаченням класифікатора (базова модель) та істинним значенням, в результаті чого відкривається простір для подальших досліджень щодо покращення ансамблевої моделі (мета-алгоритму).

Ключові слова: підвищення точності, бінарна класифікація, ансамблева модель, інформаційна система, машинне навчання, коефіцієнт кореляції, унікальна комбінація, модель, алгоритм класифікації.

STEBELETSKYI Myroslav, MANZIUK Eduard, SKRYPNYK Tetyana, BAHRIY Ruslan
Khmelnitskyi National University

METHOD OF BUILDING ENSEMBLES OF MODELS FOR DATA CLASSIFICATION BASED ON DECISION CORRELATIONS

The scientific work highlights the problem of increasing the accuracy of binary classification predictions using machine learning algorithms. Over the past few decades, systems that consist of many machine learning algorithms, also called ensemble models, have received increasing attention in the computational intelligence and machine learning community. This attention is well deserved, as ensemble systems have proven to be very effective and extremely versatile in a wide range of problem domains and real-world applications. One algorithm may not make a perfect prediction for a particular data set. Machine learning algorithms have their limitations, so creating a model with high accuracy is a difficult task. If you create and combine several models by combining and aggregating the results of each model, there is a chance to improve the overall accuracy, this problem is dealt with by ensembling. The basis of the information system of binary classification is the ensemble model. This model, in turn, contains a set of unique combinations of basic classifiers - a kind of algorithmic primitives. An ensemble model can be considered as some kind of meta-algorithm, which consists of unique sets of machine learning (ML) classification algorithms. The task of the ensemble model is to find such a combination of basic classification algorithms that would give the highest performance. The performance is evaluated according to the main ML metrics in classification tasks.

Another aspect of scientific work is the creation of an aggregation mechanism for combining the results of basic classification algorithms. That is, each unique combination within the ensemble consists of a set of basic models (harbingers), the results of which must be aggregated. In this work, a non-hierarchical clustering method is used to aggregate (average) the predictions of the base models. A feature of this study is to find the correlation coefficients of the base models in each combination. With the help of the magnitude of correlations, the relationship between the prediction of the classifier (base model) and the true value is established, as a result of which space is opened for further research on improving the ensemble model (meta-algorithm).

Keywords: accuracy improvement, binary classification, ensemble model, information system, machine learning, correlation coefficient, unique combination, model, classification algorithm.

Мета роботи. Постановка завдання

Метою наукової роботи є розробка метода побудови ансамблів моделей для класифікації даних на основі кореляційних зв'язків рішень. Використовується агрегаційний алгоритм, який усереднює показники передбачень базових моделей у кожній унікальній ансамблевій комбінації. Додатковим завданням являється

вирахування кореляційних показників між результатами алгоритмів класифікації та істинними значеннями, ці показники повинні вираховуватись для кожної унікальної комбінації моделей у ансамблі.

Задля наглядності результативності наукової роботи, слід реалізувати систему візуалізації показників основних метрик алгоритмів. Візуалізація показників – важлива частина роботи, оскільки на базі цього можна наочно оцінити результати моделей, провести аналіз задля подальшого дослідження.

Виходячи із поставленої мети, поставленою задачею буде розробка інформаційної системи бінарної класифікації, яка буде мати наступні особливості:

- система реалізована модульно, кожен етап дослідження (обробка тексту, завантаження базових класифікаторів, складання унікальних комбінацій, усереднення результатів моделей, візуалізація даних) повинен представляти собою окремий програмний модуль;

- можливість заміни базових алгоритмів класифікації;
- можливість заміни функції агрегатора моделей;
- графічна візуалізація результативності базових класифікаторів та ансамблю задля порівняння;
- графічна візуалізація кореляцій між істинними значеннями та передбаченнями ансамблевих комбінацій у вигляді набору гістограм в двовимірному та тривимірному просторах.

- В ході дослідження потрібно виконати наступні завдання:
- провести аналіз сучасних ансамблевих підходів;
- порівняти застосування відомих методів у предметній області на показнику ефективності;
- дослідити ефективність запропонованих рішень методом експериментальних досліджень на відомих корпусах даних.

Особливу увагу слід зазначити на модульності системи класифікації, оскільки така архітектура додатку сприятиме на продуктивність дослідження, адже система дозволить виконувати конфігурацію базових моделей (алгоритмів класифікації), можлива заміна функції агрегатора, модулі візуалізації та оцінювання теж підлягають заміні при необхідності.

Складання мета-алгоритму із використанням наборів унікальних комбінацій базових алгоритмів класифікації. Створення ансамблю

Завданням дослідження є покращення результатів мета-алгоритму машинного навчання у задачах класифікації, тому детальне висвітлення інформації стосовно базових алгоритмів класифікації в цій роботі не проводиться, так само як і не розкажується про нормалізацію даних (тексту) та навчання і тренування моделей [1, 2]. Також слід зазначити, що набір базових моделей не є константним, його можна замінити при необхідності подальшого дослідження.

В якості базових класифікаторів можна використовувати безліч популярних алгоритмів. В даному випадку, в якості базових моделей використовуються наступні алгоритми:

- метод опорних векторів (Support vector machine) [3];
- наївний Баєсів класифікатор (Naive Bayes classifier) [4];
- метод k-найближчих сусідів (K-neighbors) [5];
- adaptive Boosting (AdaBoost) [6];
- випадковий ліс (Random forest) [7];
- логістична регресія (Logistic regression) [8].

Процес поєднання вище згаданих моделей та усереднення (оптимізація) результатів передбачень цих базових класифікаторів буде називатись створенням ансамблевої моделі.

Суть завдання не полягає в тому, щоб просто створити один ансамбль із набору примітивів, стоїть задача створення набору таких ансамблів, які будуть містити в собі тільки унікальні комбінації базових моделей. Методами комбінаторики потрібно створити набори унікальних ансамблів, щоб в подальшому вибрати найкращий ансамбль із створеного набору.

Функція, яка задовільняє поставлену комбінаторну задачу, наведена у лістингу 1 та реалізована на мові програмування Python [9]. Слід зазначити, що інформаційна система класифікації також реалізована на попередньо зазначеній мові програмування, оскільки дана «платформа» містить в собі багато рішень, пов'язаних із роботою ML (machine learning), що, в свою чергу, полегшує процес проведення дослідження, адже не потрібно відволікатись на реалізацію примітивів при написанні мета-алгоритму.

```
Лістинг 1 – функція залежності кількості примітивів (x) до кількості унікальних комбінацій (y)
def y_function(x):
    y = 0
    for i in range(0, x):
        for j in range(i + 1, x):
            for k in range(j, x):
                y += 1
    return y
```

За допомогою вище зображеного алгоритму створюються унікальні набори комбінацій. Графік залежності кількості базових моделей класифікації до кількості створених унікальних ансамблів зображений на рисунку 1. Даний графік дозволяє орієнтуватись у складності системи, адже дивлячись на нього, можна

обрати оптимальну з точки зору навантаження на систему кількість базових класифікаторів.

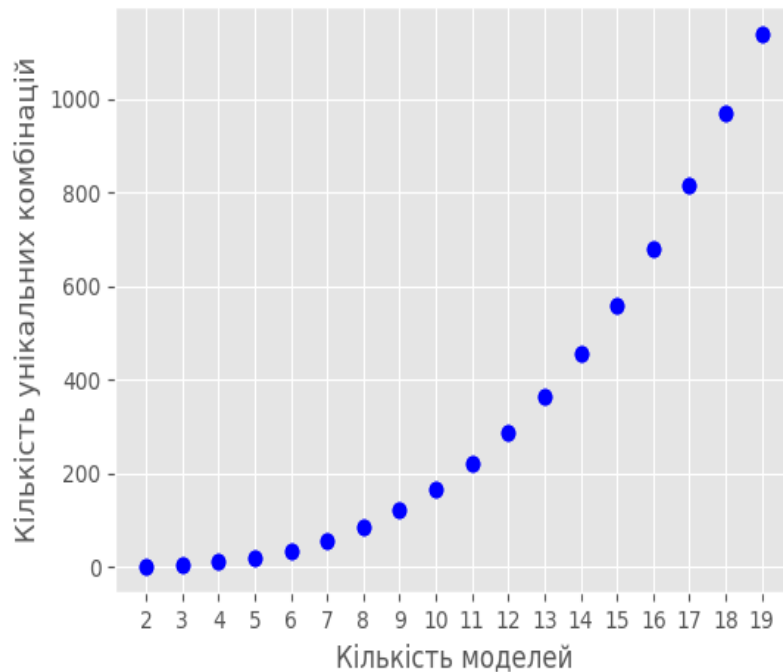


Рис. 1. Залежність кількості базових моделей класифікації до кількості створених унікальних ансамблів

Виходячи із вище зазначеного матеріалу, задача складання мета-алгоритму, який містить в собі набори унікальних ансамблів, вважається виконаною. Наступним кроком буде реалізація алгоритму усереднення (оптимізації) передбачень базових моделей у кожному унікальному ансамблі.

Алгоритм виведення колективного рішення базових моделей у ансамблі на основі неієрархічного методу кластеризації

Після успішного конструювання мета-алгоритму потрібно вирішити наступне завдання, а саме, потрібно узагальнити результати базових класифікаторів у кожному ансамблі, який складається з унікального набору моделей класифікації.

Перед тим як виконувати оптимізацію рішення ансамблю слід зазначити принцип по якому буде відбуватись усереднення передбачень [10]. Особливістю у задачі усереднення передбачень базових класифікаторів є те, що потрібно агрегувати рішення базових класифікаторів у кожному ансамблі тільки на тих порціях даних, де моделі не зійшлись у передбаченнях, тобто, агрегуються результати передбачень кожного алгоритму в ансамблі на даних, передбачення над якими хоча б у однієї моделі з комбінації були відмінні від інших передбачень у даному наборі.

Під час створення колективного рішення для кожного ансамблю моделей використовується кластерний аналіз даних. Кластерний аналіз - це статистичний метод обробки даних, який використовується з матрицями даних, в яких змінні не були попередньо розбиті на підмножини критеріїв та предикторів. Припускається, що в основі даних лежить невпорядкований набір дискретних класів. Всі вони різні, і жоден з них не має більшої ваги, ніж інший. Кластерний аналіз полягає в тому, що елементи об'єднуються в групи, або кластери, на основі того, наскільки тісно вони пов'язані між собою. Його можна окреслити як завдання визначення підгруп даних таким чином, щоб точки даних в одній підгрупі (кластері) були схожі, в той час як точки даних в різних кластерах суттєво відрізнялися.

Процедури кластеризації можна розглядати як "пре-класифікаційні" в тому сенсі, що дослідник не використовував попередні судження для розбиття об'єктів. Однак вважається, що існують неоднорідні групи даних, тобто існують "кластери".

Виконувати агрегацію рішень базових моделей у ансамблі буде алгоритм k-середніх (k-means) [11]. Алгоритм кластеризації k-середніх обчислює центроїди та ітераційно повторюється до тих пір, поки не знайде оптимальний центроїд. Передбачається, що кількість кластерів вже відома. Його також називають алгоритмом плоскої кластеризації [12]. Кількість кластерів, визначених з даних за допомогою алгоритму, позначається «K». У цьому алгоритмі точки даних відносяться до кластеру таким чином, щоб сума квадратів відстаней між точками даних та центроїдом була мінімальною.

Ключовими даними у вище згаданому алгоритмі кластеризації є критерії відстані. Вхідними даними для алгоритму k-means є матриця, що складається з відстаней між кожним об'єктом. Щоб визначити відстані між об'єктами, потрібно мати міру відстаней.

У знаходженні відстані між об'єктами допоможе Евклідова відстань [13]. Це геометрична відстань в багатовимірному просторі. Якщо об'єкти визначаються багатовимірними точками, або мають багато

характеристик (стимулів), $X_i = \{x_{i1}, x_{i2}, x_{i3}, \dots, x_{in}\}$, де $i = 1 \dots n$, відстань може бути визначена відстанню між точками $d(X_i, X_j)$, де

$$d(X_i, X_j) = \sqrt{(x_{i1} - x_{j1})^2 + (x_{i2} - x_{j2})^2 + \dots + (x_{in} - x_{jn})^2} . \quad (1)$$

Метод базується на мінімізації суми квадратів відстаней між кожною точкою та центром її кластера, тобто функції:

$$\sum_{i=1}^N d(x_i, m_j(x_i))^2 , \quad (2)$$

де d – метрика, x_i – i -й об'єкт даних, а $m_j(x_i)$ – центр кластера, якому на j -й операції присвоєний елемент x_i .

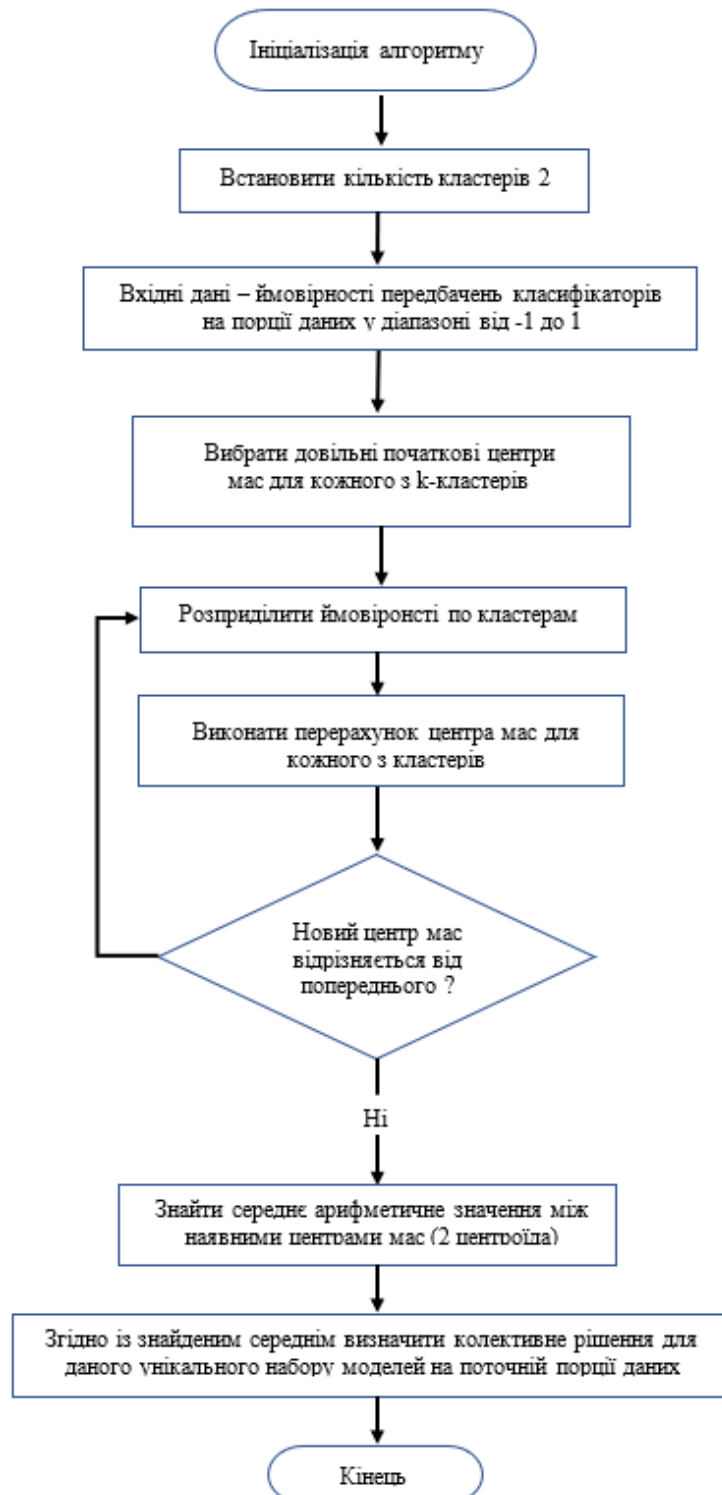


Рис. 2. Блок-схема алгоритму усереднення результатів на основі k-середніх (k-means)

Принцип алгоритму полягає в пошуку таких центрів кластерів та наборів елементів кожного кластера при наявності деякої функції $\Phi(\cdot)$, що виражає якість поточного розбиття множини на k кластерів, коли сумарне квадратичне відхилення елементів кластерів від центрів цих кластерів буде найменшим:

$$V = \arg \min \sum_{i=1}^k \sum_{x_j \in S_i} (x_j - \mu_i)^2, \quad (3)$$

де k – число кластерів, S_i – отримані кластери, $i = 1, 2, \dots, k$, μ_i – центри мас векторів $x_j \cdot S_i$.

Процес виконання алгоритму k-means в якості усереднювача (агрегатора) передбачень базових моделей у ансамблі можна розглядати поетапно на блок-схемі, зображеній на рисунку 2. Зупинка алгоритму проводиться тоді, коли границі кластерів і розташування центрів не перестануть змінюватися від ітерації до ітерації, тобто на кожній ітерації в кожному кластері буде залишатися один і той же набір об'єктів. На практиці алгоритм зазвичай знаходить набір стабільних кластерів за кілька десятків ітерацій.

Задля більш наочного представлення роботи даного методу виведення колективного рішення, на рисунку 3 зображений приклад кластеризації даних результатів базових моделей. Вхідні дані на початку алгоритму являють собою ймовірності передбачень кожної моделі на порціях даних, де результати класифікації відрізнялись хоча б у одній моделі у даному унікальному ансамблі. Порції даних, на яких результат класифікації алгоритмічних примітивів був однаковий, ігноруються.

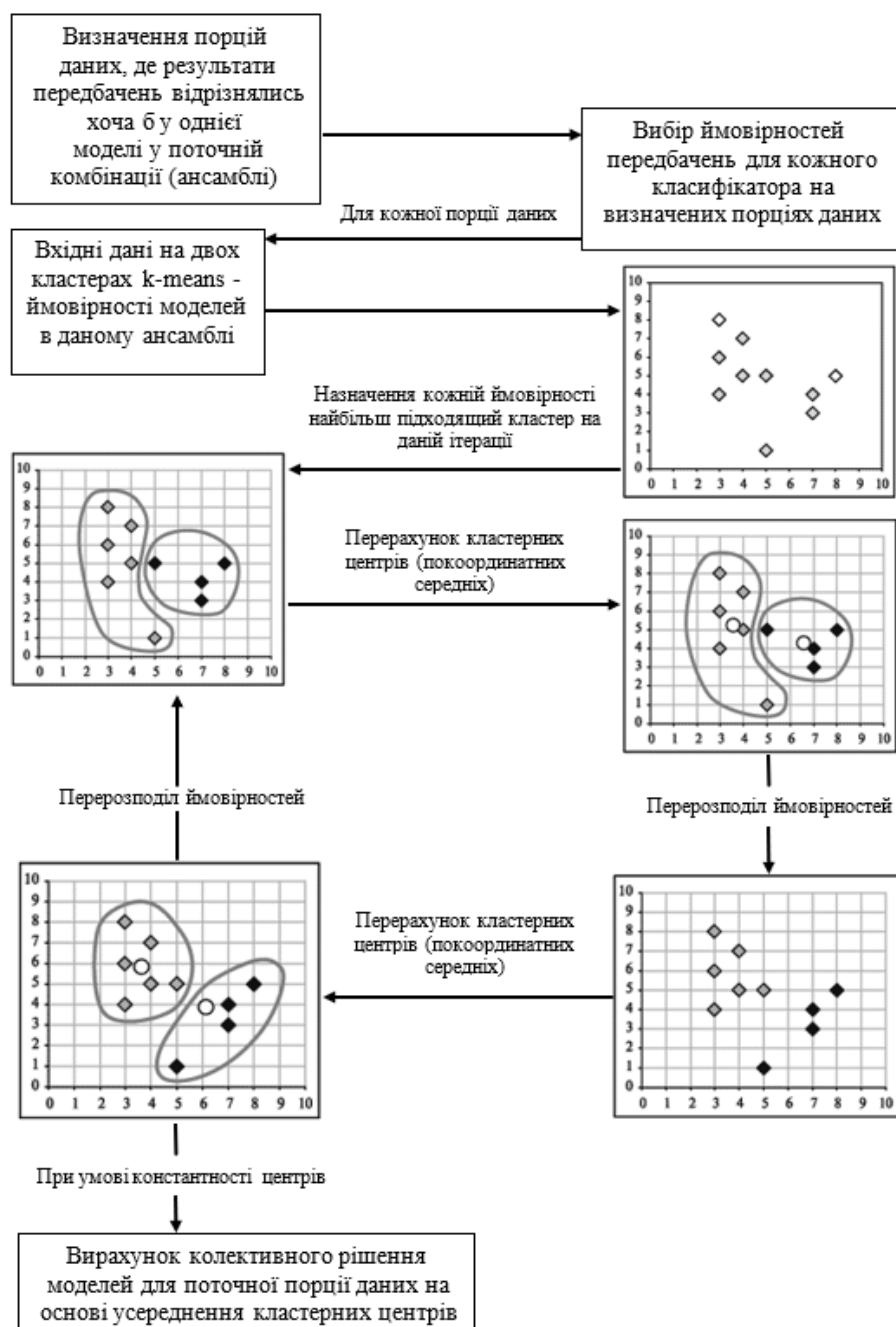


Рис. 3. Приклад роботи алгоритму виведення колективного рішення

В межах цього дослідження вище зазначений алгоритм буде виконувати розбиття вхідних даних на два кластери і працювати наступним чином:

- на вхід подаються ймовірності передбачень базових моделей. Оскільки виконується бінарна класифікація, відповідно, ймовірності можуть бути додатними та від'ємними;
- вираховуються значення центроїдів кожного кластера, у даному випадку їх два (бінарне розбиття);
- відбувається обчислення середнього значення отриманих на попередньому кроці центроїдів;
- залежно від того, чи середнє значення додатне, чи від'ємне, усереднене рішення моделей на даній порції даних буде наступне: відноситься порція даних до заданої теми, чи ні.

Таким чином, оптимізувавши рішення базових моделей у кожному унікальному ансамблі на тих порціях даних, передбачення над якими було розбіжне хоча б у одного примітивного класифікатора, можна приступити до вирахування коефіцієнтів кореляцій та оцінки продуктивності класифікаційної системи згідно з основними метриками ML.

Результати дослідження. Порівняння продуктивності ансамблевої системи класифікації та базових алгоритмів. Показ кореляційних зв'язків

В якості оцінювальних метрик при порівнянні результативності ансамблевої моделі та базових моделей використовується точність «accuracy» та повнота «recall» [14, 15]. На рисунку 4 зображений графік точності та повноти, побудований на основі оцінювання базових класифікаторів. В даному випадку – це «svm», «naive-bayes», «k-neighbors», «ada-boost», «random-forest», «logistic-regression». На рисунку 5 зображений графік точності та повноти, побудований на основі оцінювання комбінацій (наборів) моделей, або унікальних ансамблів.

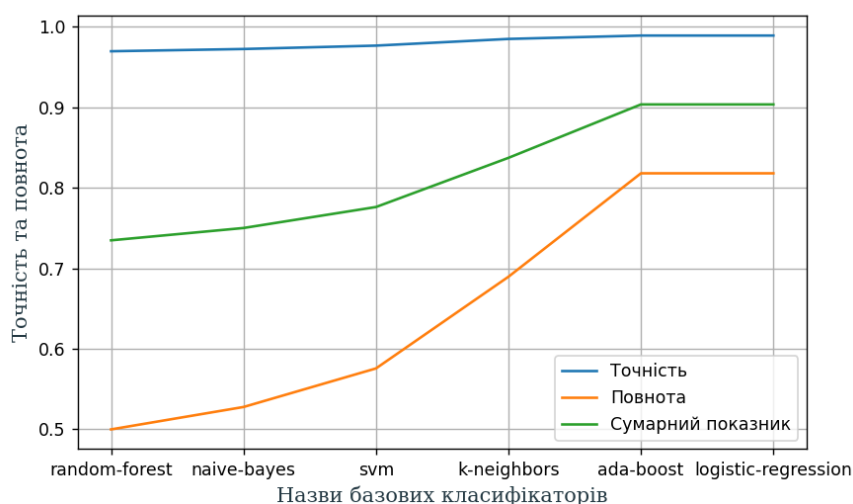


Рис. 4. Оцінка якісних показників класифікації базових класифікаторів: кращий результат модель класифікатора «ada-boost» за точністю 0.9889, повнотою 0.8179

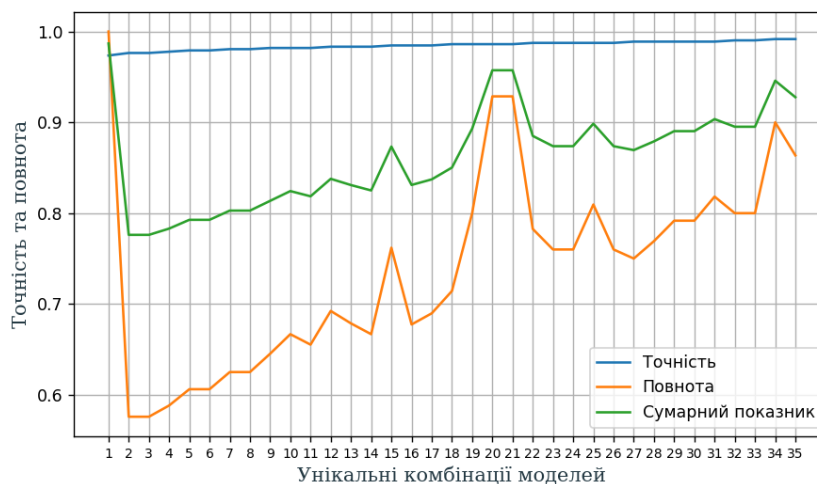


Рис. 5. Оцінка якісних показників класифікації комбінацій (наборів) моделей: кращий результат набір «ada-boost, random-forest» за точністю 0.9736, повнотою 1.0

Виходячи з даних, які зображені вище на рисунках, можна сказати, що одна з цілей дослідження

виконана, адже графіки показують, що продуктивність ансамблевих моделей значно вища за продуктивність базових алгоритмів класифікації.

Ще одним аспектом дослідження є показ коефіцієнтів кореляцій між істинними значеннями та передбаченнями базових класифікаторів у кожному унікальному ансамблі [16].

Слід зазначити, що коефіцієнт кореляції є статистичним показником сили взаємозв'язку між відносними закономірностями двох змінних [17]. Значення коливаються від -1,0 до 1,0. Кореляція -1,0 показує ідеальну негативну кореляцію, тоді як кореляція 1,0 - ідеальну позитивну кореляцію. Кореляція 0,0 показує відсутність лінійної залежності між закономірностями двох змінних.

Негативна кореляція – це зв'язок між двома змінними, в яких одна змінна збільшується в міру зменшення іншої, і навпаки.

Позитивна кореляція – це взаємозв'язок між двома змінними, в яких обидві змінні рухаються в тандемі - тобто в одному напрямку.

Вирахування кореляційних зв'язків робиться для того, щоб дізнатись, наскільки кожен класифікатор у комбінації з іншими класифікаторами в межах ансамблю приносить користь у завданні підвищення точності мета-алгоритму [18].

Кореляційні зв'язки істинних значень та передбачень базових моделей всередині кожного ансамблю у відсортованому вигляді зображені на рисунках 6, 7 в різних перспективах. Варто відзначити, що інформація подається у вигляді наборів даних в тривимірному просторі, це сприяє полегшенню в подальшому дослідженні нових закономірностей між наборами комбінацій, точністю кожної комбінації, величини залежності передбачення кожної моделі від істинного значення в середині кожної комбінації.

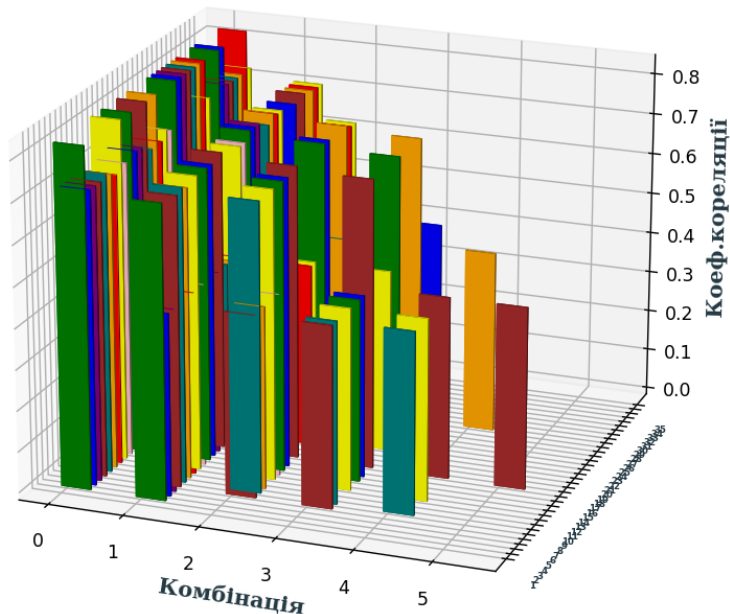


Рис. 6. Графіки гістограм коефіцієнтів кореляцій

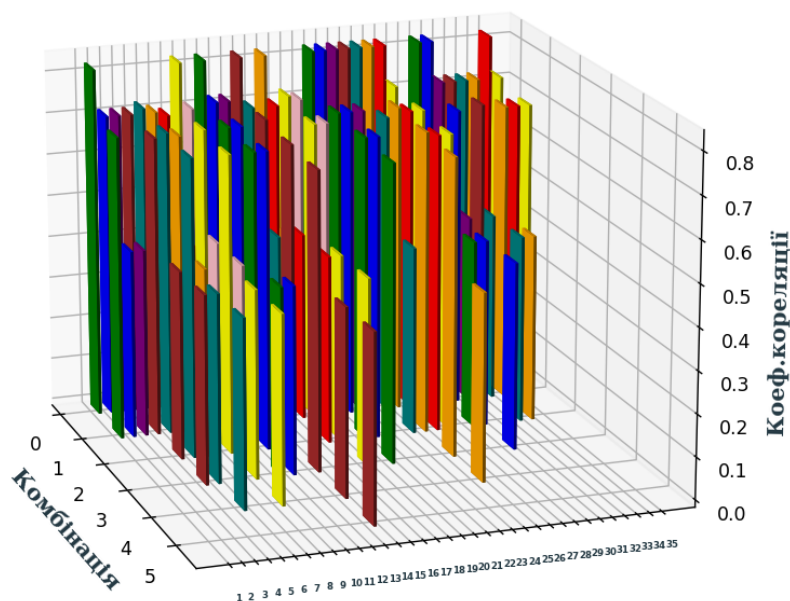


Рис. 7. Графіки гістограм коефіцієнтів кореляцій. Бокова перспектива

На рисунку 7 по осі «у» віднумеровані комбінації базових класифікаторів, список назв алгоритмів, які використовуються у кожному наборі згідно з нумерацією наступний:

- | | |
|--|--|
| 1) ada-boost random-forest; | 18) k-neighbors ada-boost; |
| 2) svm ada-boost; | 19) k-neighbors ada-boost random-forest logistic-regression; |
| 3) naive-bayes ada-boost; | 20) ada-boost random-forest logistic-regression; |
| 4) svm naive-bayes k-neighbors ada-boost; | 21) random-forest logistic-regression; |
| 5) svm naive-bayes k-neighbors ada-boost logistic-regression; | 22) naive-bayes random-forest; |
| 6) naive-bayes k-neighbors ada-boost; | 23) naive-bayes k-neighbors random-forest; |
| 7) svm k-neighbors; | 24) naive-bayes k-neighbors ada-boost random-forest logistic-regression; |
| 8) svm naive-bayes k-neighbors ada-boost random-forest; | 25) k-neighbors ada-boost random-forest; |
| 9) svm naive-bayes ada-boost; | 26) k-neighbors ada-boost logistic-regression; |
| 10) naive-bayes k-neighbors ada-boost random-forest; | 27) svm naive-bayes; |
| 11) naive-bayes k-neighbors ada-boost logistic-regression; | 28) svm naive-bayes random-forest; |
| 12) svm logistic-regression; | 29) svm naive-bayes k-neighbors random-forest; |
| 13) svm naive-bayes k-neighbors ada-boost random-forest logistic-regression; | 30) naive-bayes logistic-regression; |
| 14) naive-bayes k-neighbors; | 31) ada-boost logistic-regression; |
| 15) svm random-forest; | 32) svm naive-bayes logistic-regression; |
| 16) svm naive-bayes k-neighbors; | 33) naive-bayes k-neighbors logistic-regression; |
| 17) svm naive-bayes k-neighbors logistic-regression; | 34) k-neighbors random-forest k-neighbors logistic-regression |

Висновок

В ході виконання роботи було досліджене застосування агрегативних підходів для класифікації на базі ансамблевих моделей. Реалізована інформаційна система бінарної класифікації дозволяє проводити дослідження на корпусі даних «Reuters», система розроблена таким чином, щоб уможливити всесторонню конфігурацію компонентів мета-алгоритму (ансамблю), зокрема:

- вибір базових алгоритмів класифікації відбувається у окремому модулі, що сприяє швидкій заміні при необхідності
- алгоритм агрегації рішень наборів базових моделей замінюваний, оскільки реалізований як окремий модуль
- візуалізаційні компоненти реалізовані окремо, потрібно дотримуватись контракту між модулями (інтерфейс взаємодії, зокрема, форма входних параметрів)

Під час дослідження застосування ансамблевої моделі на основі наборів унікальних комбінацій було проведено порівняння показників результативності даного ансамблю з результатами базових класифікаторів згідно з основними метриками ML. З'ясовано, що запропонована ансамблева модель являється більш точною та стійкою до похибок.

Важливим аспектом наукової роботи було знаходження коефіцієнтів кореляцій між істинними значеннями та передбаченнями кожного класифікатора у кожній комбінації. З'ясувавши кореляційні показники, було визначено «схильність» конкретної моделі у конкретній комбінації до похибки або правильного рішення. Іншими словами, кореляційна залежність між правильною відповіддю і результатом базової моделі у комбінації з іншими моделями показує наскільки даній моделі «комфортно» у поєднанні з іншими моделями, тобто, дослідивши кореляційні зв'язки, можна винайти такі комбінації базових класифікаторів, в яких кожен примітив (модель) покращує колективне рішення.

Задля подання показників класифікаційної системи використовується графічна система, яка складається із графіків у двох та трьох вимірних просторах. Графіки показують результативність окремих

базових класифікаторів та результативність ансамблевої моделі. У трьох вимірному просторі розміщені гістограми кореляційності кожної моделі у кожній комбінації, що забезпечує хороше проглядання інформації та уможливорює подальше дослідження на основі цих даних.

Одним із шляхів вдосконалення реалізованої інформаційної системи класифікації є додавання можливості зміни корпусу даних та варіативність у методах нормалізації тексту (винесення в окремий модуль нормалізації даних), що уможливить конфігурування стосовно методу підготовки даних.

Наступним шляхом вдосконалення результативності мета-алгоритму є підбір базових класифікаторів на основі вирахованого коефіцієнта кореляції, таким чином, система зможе створювати ансамблі з найвищими показниками метрики точності.

Література

1. Conroy B., Eshelman L., Potes C., Xu-Wilson M. A dynamic ensemble approach to robust classification in the presence of missing data. *Machine Learning*. 2017. P. 443-463.
2. Gomes H. M., Barddal J. P., Enembreck F. and Bifet A. A survey on ensemble learning for data stream classification. *ACM Computing Surveys (CSUR)*. 2017. P. 23.
3. Bogdan Zagajewski, Marcin Kluczek, Edwin Raczko, Ajda Njegovec, Anca Dabija and Marlena Kycko. Comparison of Random Forest Support Vector Machines and Neural Networks for Post-Disaster Forest Species Mapping of the Krkono. *Remote Sensing*. 2021. Volume 13, № 13. P. 2581.
4. Domingos P., Pazzani M. Beyond Independence: Conditions for the Optimality of the Simple Bayesian Classifier. *Machine Learning* 29. 2017. P. 103-130.
5. Maude J. J. Rodríguez and C. García-Osorio. Disturbing neighbors diversity for decision forests in Applications of supervised and unsupervised ensemble methods. Heidelberg:Springer. 2018. P. 113-133.
6. Zhang C. X. and Zhang J. S. RotBoost: A technique for combining rotation forest and AdaBoost. *Pattern Recognition Letters*. 2019. Volume 29, № 10. P. 1524-1536.
7. Kulkarni V. Y. and Sinha P. K. Random forest classifiers: A survey and future research directions. *International Journal of Advanced Computer Technology*. 2013. Volume 36, № 1. P. 1144-1153.
8. Glenn V. Ostir. Logistic Regression: A Nontechnical Review. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*. 2016. Volume 6. P. 565-572.
9. Python. URL: <https://www.python.org/doc/>
10. Bifet A., Holmes G., Pfahringer B., Kirkby R. and Gavaldà R. New ensemble methods for evolving data streams/ *Proceedings of the 15th ACM SIGKDD international conference on knowledge discovery and data mining*. 2019. P. 139-148.
11. Jigui Sun, Jie Liu and Lianyu Zhao. Clustering algorithms Research, *Journal of Software*. 2014. Volume 19, № 1. P. 48-61.
11. Hartigan J.A., Wong M.A. Algorithm AS. 136. A k-means clustering algorithm. *J. Roy. Stat. Soc.* 2021. P. 100-108.
12. Danielsson P. E. Euclidean distance mapping/ *Comput. Graphics Image Proc.* 2019. Volume 14. P. 227-248.
13. Ling C.X. and Zhang H. Toward Bayesian Classifiers with Accurate Probabilities/ *Proc. Sixth Pacific-Asia Conf. Knowledge Discovery and Data Mining*. 2012. P. 123-134.
14. Dietterich T. G. Ensemble learning. In *The handbook of brain theory and neural networks*, Cambridge, MA:MIT Press. 2017. Volume 2. P. 110-125.
15. Cover T. M. The Best Two Independent Measurements Are Not the Two Best/ *IEEE Trans. Systems, Man, and Cybernetics*. 2010. Volume 4. P. 116-117.
16. Коефіцієнт кореляції. URL: <https://www.statisticshowto.com/probability-and-statistics/correlation-coefficient-formula/>
17. Bifet A., Frank E., Holmes G. and Pfahringer B. Accurate ensembles for data streams: Combining restricted Hoeffding trees using stacking/ *Proceedings of 2nd Asian conference on machine learning*. 2018. Volume 13. P. 225-240.

References

1. Conroy B., Eshelman L., Potes C., Xu-Wilson M. A dynamic ensemble approach to robust classification in the presence of missing data. *Machine Learning*. 2017. P. 443-463.
2. Gomes H. M., Barddal J. P., Enembreck F. and Bifet A. A survey on ensemble learning for data stream classification. *ACM Computing Surveys (CSUR)*. 2017. P. 23.
3. Bogdan Zagajewski, Marcin Kluczek, Edwin Raczko, Ajda Njegovec, Anca Dabija and Marlena Kycko. Comparison of Random Forest Support Vector Machines and Neural Networks for Post-Disaster Forest Species Mapping of the Krkono. *Remote Sensing*. 2021. Volume 13, № 13. P. 2581.
4. Domingos P., Pazzani M. Beyond Independence: Conditions for the Optimality of the Simple Bayesian Classifier. *Machine Learning* 29. 2017. P. 103-130.
5. Maude J. J. Rodríguez and C. García-Osorio. Disturbing neighbors diversity for decision forests in Applications of supervised and unsupervised ensemble methods. Heidelberg:Springer. 2018. P. 113-133.
6. Zhang C. X. and Zhang J. S. RotBoost: A technique for combining rotation forest and AdaBoost. *Pattern Recognition Letters*. 2019. Volume 29, № 10. P. 1524-1536.

7. Kulkarni V. Y. and Sinha P. K. Random forest classifiers: A survey and future research directions. *International Journal of Advanced Computer Technology*. 2013. Volume 36, № 1. P. 1144-1153.
8. Glenn V. Ostir. Logistic Regression: A Nontechnical Review. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*. 2016. Volume 6. P. 565-572.
9. Python. URL: <https://www.python.org/doc/>
10. Bifet A., Holmes G., Pfahringer B., Kirkby R. and Gavaldà R. New ensemble methods for evolving data streams/ *Proceedings of the 15th ACM SIGKDD international conference on knowledge discovery and data mining*. 2019. P. 139-148.
11. Jigui Sun, Jie Liu and Lianyu Zhao. Clustering algorithms Research, *Journal of Software*. 2014. Volume 19, № 1. P. 48-61.
11. Hartigan J.A., Wong M.A. Algorithm AS. 136. A k-means clustering algorithm. *J. Roy. Stat. Soc.* 2021. P. 100-108.
12. Danielsson P. E. Euclidean distance mapping/ *Comput. Graphics Image Proc.* 2019. Volume 14. P. 227-248.
13. Ling C.X. and Zhang H. Toward Bayesian Classifiers with Accurate Probabilities/ *Proc. Sixth Pacific-Asia Conf. Knowledge Discovery and Data Mining*. 2012. P. 123-134.
14. Dietterich T. G. Ensemble learning. In *The handbook of brain theory and neural networks*, Cambridge, MA:MIT Press. 2017. Volume 2. P. 110-125.
15. Cover T. M. The Best Two Independent Measurements Are Not the Two Best/ *IEEE Trans. Systems, Man, and Cybernetics*. 2010. Volume 4. P. 116-117.
16. Koefitsiient koreliatsii. URL: <https://www.statisticshowto.com/probability-and-statistics/correlation-coefficient-formula/>
17. Bifet A., Frank E., Holmes G. and Pfahringer B. Accurate ensembles for data streams: Combining restricted Hoeffding trees using stacking/ *Proceedings of 2nd Asian conference on machine learning*. 2018. Volume 13. P. 225-240.

GOMELYA Mukola

Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute

<https://orcid.org/0000-0003-1165-7545>e-mail: m.gomelya@kpi.ua

TRUS Inna

Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute

<https://orcid.org/0000-0001-6368-6933>e-mail: inna.trus.m@gmail.com

TVERDOKHLIB Mariia

Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute

<https://orcid.org/0000-0002-9731-1969>e-mail: madamtverdohleb@gmail.com

RUDENKO Oleksandra

Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute

e-mail: aleksarudenko@ukr.net

EVALUATION OF THE EFFICIENCY OF SORBENTS-CATALYSTS FOR THE PURIFICATION OF WATER FROM MANGANESE COMPOUNDS

The condition of sources and central water supply systems does not guarantee the required quality of drinking water. A large part of the population of Ukraine uses drinking water that does not meet hygienic requirements according to various indicators. Manganese compounds are quite often present in natural waters. Their quantitative content can vary in a wide range, depending on the region, it can be 5-6 mg/dm³. Manganese in underground waters is presented as ion Mn²⁺, salts of which are soluble. To remove manganese from water one should transfer it to insoluble state by oxidation. Today, there are a number of typical technologies of demagnetization of water. Many works have also been published which describe the purification of water from manganese ion. It is worth noting that with a high content of manganese compounds in water, their removal is a rather difficult task. Removal of manganese compounds from water can be implemented using the ion exchange method, which consists of filtering water through loading in salt or acidic form. At the same time, softening and desalination of water can occur simultaneously. Therefore, the ion exchange method should be used for comprehensive water purification, softening, and removal of manganese compounds.

In order to study the oxidizing capacity of catalytic loading with respect to manganese compounds in water were used as a catalytic load KU-2-8 cationite modified with magnetite and manganese oxide in H⁺, Na⁺, and Ca²⁺ forms. To modify cationite with magnetite under static conditions, it was treated with a solution containing a mixture of Fe²⁺ and Fe³⁺ ions in a ratio of 1:2. The research was also carried out on the preparation of catalysts based on cationites by modifying them with manganese compounds.

The purpose of this article is to evaluate the efficiency of manganese removal from water when using a catalyst sorbent. The article presents the results of research on water purification from manganese compounds using sorbents-catalysts modified with iron and manganese compounds. It was established that in static and dynamic conditions, complete extraction of manganese ions can be achieved using sorbents based on polymer resin and magnetite. When using cation exchange resin modified with magnetite, the removal of Mn²⁺ ions from aqueous solutions occurs both due to ion exchange, regardless of the form of the ion exchanger, and due to oxidation on the catalyst (magnetite) in the presence of dissolved oxygen. Modified cation exchange resin in Na⁺ form leads to the extraction of manganese due to sorption and oxidation of Mn²⁺. In this case, sorption of calcium and magnesium ions, which is known to be accompanied by an increase in pH. The pH of the medium increased, which increased the efficiency of oxidation of manganese ions on magnetite. Under these conditions, the sorbent catalyst provides complete removal of manganese ions due to catalytic oxidation and sorption of manganese ions on magnetite.

Keywords: manganese ions, magnetite, sorbent, catalyst, cationite, aeration.

ГОМЕЛЯ Микола, ТРУС Інна, ТВЕРДОХЛІБ Марія, РУДЕНКО Олександра
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ СОРБЕНТІВ-КАТАЛІЗАТОРІВ ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ ВОДИ ВІД СПЛУК МАНГАНУ

Стан джерел та систем центрального водопостачання не гарантує необхідної якості питної води. Велика частина населення України використовує питну воду, яка не відповідає гігієнічним вимогам за різними показниками. Сполуки марганцю досить часто присутні в природних водах. Їх кількісний вміст може коливатися у широкому діапазоні залежності регіону може становити – 5-6 мг/дм³. Варто зазначити, що при високому вмісті сполук марганцю у воді, їх видалення представляє достатньо складну задачу. Видалення сполук марганцю з води може бути реалізоване за допомогою методу іонного обміну, що полягає у фільтруванні води через завантаження в сольовій або кислій формі. При цьому може одночасно відбуватися пом'якшення та знесолення води. Тому, іонообмінний метод доцільно застосовувати для комплексного очищення води, її пом'якшення та видалення сполук марганцю. В статті представлені результати досліджень з очищення води від сполук марганцю із застосуванням сорбентів-каталізаторів модифікованих сполуками заліза та марганцю. Встановлено, що в статичних та динамічних умовах повного вилучення іонів марганцю можна досягти із застосуванням сорбентів на основі полімерної смоли та магнетиту.

Ключові слова: іони марганцю, магнетит, сорбент, каталізатор, катіоніт, аерація.

Introduction

Intensive pollution of water supply sources, their inadequacy, and limitation every year lead to the deterioration of the quality of drinking water. As a result, groundwater and surface water can contain a variety of organic and inorganic chemicals. Some of them exceed the permissible norms of presence in the water.

An excess of manganese compounds in water for drinking and domestic purposes leads to the development of many diseases. In accordance with the sanitary and hygienic requirements of Ukraine, the allowable norms for the presence of manganese in water are $\leq 0.1 \text{ mg/dm}^3$. Instead, due to natural factors or anthropogenic influence, manganese present in water can be in concentrations of $0.5\text{--}5 \text{ mg/dm}^3$.

Numerous literary data testify to the development of new directions in the purification of water from manganese compounds in recent years [1]. Effective methods of removing soluble manganese compounds from water include those that involve the use of filter loads with an oxidizing film applied to the granules of the material [2]. It acts as an oxidation catalyst. As a rule, in this case, the granules of the filter load are covered with higher metal oxides – most often, manganese oxide. For this purpose, natural materials and modified sorbents, such as basalt gravel, anthracite, quartz sand, dolomite [3], polymeric materials, cinder, zeolite [4, 5], expanded clay, quartzite, and clays of various origins are used as the basis of the filter load [6].

Modification of zeolite with manganese oxide or iron oxide leads to an increase in its sorption and catalytic properties. Conducted studies on the extraction of manganese ions using such sorbents showed that zeolite modified with potassium permanganate has a higher sorption capacity than zeolite coated with iron oxide [7].

Filter loads of Birm and Greensand brands are widely used abroad. Granular filter load Birm, made by artificially applying a film of manganese dioxide MnO_2 on the surface of the material. Another close analog is the glauconite mineral activated by potassium permanganate - Greensand. The sorbent-catalyst synthesized by Ukrainian scientists from natural manganese ore has similar properties to the proposed analogs of foreign manufacturers. However, all these catalysts are quite expensive, as they use deficient manganese compounds in their production.

Magnetic sorbents based on iron oxide have proven themselves quite well in the process of extracting dyes and oil products from water [8]. The most acceptable magnetic modifier is magnetite Fe_3O_4 . Analysis of literature data shows that magnetic composites based on silica gel, activated carbon, carbon nanotubes and clay minerals coated with magnetite are quite effective in extracting heavy metals [9]. Previously conducted studies on the extraction of iron compounds from water using a sorbent-catalyst based on ion-exchange resin modified with magnetite showed that such a sorbent has quite good oxidizing properties for iron ions [10]. Therefore, research was conducted using a modified sorbent for water purification from manganese compounds.

Research methods and techniques.

In order to study the oxidizing capacity of catalytic loading with respect to manganese compounds in water, 10 cm^3 of catalytic sorbent was added to solutions prepared in tap water with initial concentrations of $1\text{--}30 \text{ mg/dm}^3$, after which they stood for 4 hours, determining the residual manganese concentrations every hour. KU-2-8 cationite modified with magnetite and manganese oxide in H^+ , Na^+ , and Ca^{2+} forms were used as a catalytic load (Fig. 1). To intensify the oxidation process, solutions with a sorbent were aerated using a porous aerator with a water saturation rate of $0.5 \text{ dm}^3/\text{min}$.

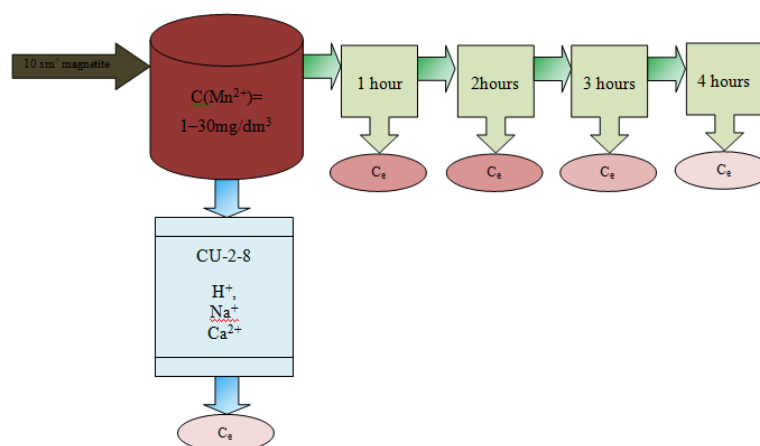
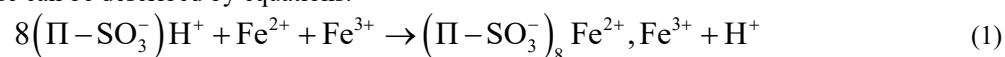
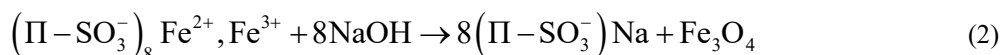


Figure 1. Process diagram

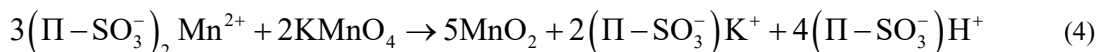
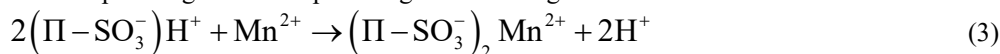
To modify cationite with magnetite under static conditions, it was treated with a solution containing a mixture of Fe^{2+} and Fe^{3+} ions in a ratio of 1:2. The mixture was stirred until the cationite was saturated with iron ions. After that, the cationite was treated with a 10% solution of sodium hydroxide. The mixture was stirred until complete hydrolysis of iron ions with the formation of magnetite in the pores of the cationite. The processes implemented in this case can be described by equations:





where Π is the polymer residue of the cationite.

The research was also carried out on the preparation of catalysts based on cationites by modifying them with manganese compounds. For this, cationite KU-2-8 was converted into Mn^{2+} form, after which it was treated with a 1% solution of potassium permanganate. The process goes according to the scheme:



The degree of extraction of Mn^{2+} ions was calculated according to the formula:

$$A = \frac{C_{in} - C_e}{C_{in}} \cdot 100\%$$

C_{in} , C_e – initial and equilibrium concentration of manganese (II) ions in solution, mg/dm³.

Presenting main material

When using cationite modified with manganese compounds to remove manganese ions from water under static conditions, the efficiency of the process was insignificant. The degree of purification did not exceed 67% at initial concentrations of manganese ions of 1.5 - 30.0 mg/dm³. The best results were obtained when the water purification process was carried out in static conditions with mixing and aeration (tables 1, 2)

Table 1

Dependence of the residual concentration of manganese (II) and pH in tap water on the time of contact with the modified cationite KU-2-8 in the Mn^{2+} form treated with KMnO_4

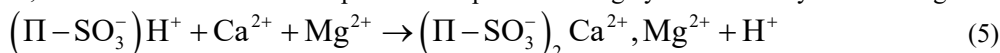
Process conditions	C _{in}	contact time					pH	
		1	2	3	4	24	initial	final
		C (Mn ²⁺), mg/dm ³						
mixing	5,0	3	2,75	1,6	1,0	0,5	8,058	3,141
	15,0	6,0	2,3	1,8	1,2	0,85	8,031	3,134
aeration	5,0	2	1,75	0,75	0,7	0,25	8,074	3,022
	15,0	5,0	2,6	1,4	1,0	0,80	8,023	2,937

Table 2

Dependence of the degree of extraction of manganese (II) in tap water on the time of contact with the modified KU-2-8 cationite in Mn^{2+} form treated with KMnO_4

Process conditions	C_{in}	contact time				
		1	2	3	4	24
		A, %				
mixing	5,0	40	45	68	80	90
	15,0	60	85	88	92	94
aeration	5,0	60	65	85	86	95
	15,0	67	83	91	93	95

The degree of manganese extraction in the case of mixing or air aeration of the solution reached 90-95%. It is obvious that the limiting stage of the process is the diffusion of manganese ions to the ionite grains, therefore, when the solution is mixed or aerated, the process is significantly accelerated. This is due to maintaining the oxygen concentration at a constant level. However, if we take into account that the pH of the medium decreased after water purification to 2.94 – 3.89, it can be said that the water purification process is largely influenced by ion exchange:



To prevent acidification of the pH of the water medium during purification from manganese ions after modification, the sorbent was treated with an alkali solution to convert the ionite into the salt form (Na^+). The results are presented in Tables 3-4.

The efficiency of water purification from manganese (II) ions was the same as in the previous case when the process was carried out without stirring. But in this case, the pH of the medium after cleaning was at the level of 6.0–7.5. In all cases, the lowest residual concentration was 0.5–0.75 mg/dm³.

When using magnetite-modified cationite KU-2-8 in static conditions for the extraction of manganese compounds from water, a certain decrease in manganese concentration was noted in 4 hours. The degree of water purification did not exceed 30%. The interaction of modified cationite with solutions of Mn^{2+} ions within 24 hours ensured water purification from manganese by 55-63%. At the same time, the modified cationite was in contact with the solution without mixing, which made it difficult for the diffusion of manganese ions to the ionite grains.

Table 3

Dependence of the residual concentration of manganese (II) and pH in tap water on the contact time with the modified cationite KU-2-8 in the $H^+ \rightarrow Mn^{2+}$ form treated with $KMnO_4/NaOH$

C _{in}	contact time					pH	
	1	2	3	4	24	initial	final
	C (Mn ²⁺), mg/dm ³						
1,0	0,73	0,57	0,53	0,53	0,33	7,901	3,889
5,0	4,55	3,40	3,20	3,20	2,20	7,813	3,839
15,0	13,5	12,5	11,0	11,0	5,0	7,883	3,724
30,0	28,0	24,0	23,0	23,0	11,0	7,882	3,343

Table 4

Dependence of the degree of extraction of manganese (II) in tap water on the time of contact with the modified cationite KU-2-8 in the $H^+ \rightarrow Mn^{2+}$ form treated with $KMnO_4/NaOH$

C_{in}	contact time				
	1	2	3	4	24
	A, %				
1,0	27	43	47	47	67
5,0	9	32	36	36	56
15,0	10	17	27	27	67
30,0	7	20	23	23	63

When supplying air through a porous aerator for aerating a solution with a modified cationite KU-2-8, the degree of extraction of manganese ions from water increased significantly (Tables 5, 6).

Table 5

Dependence of the residual concentration of manganese (II) and pH in tap water on the contact time with the modified cationite KU-2-8 and the intensity of air bubbling $0.5 dm^3/dm^3min$

C _{in}	contact time					pH	
	1	2	3	4	24	initial	final
	C (Mn ²⁺), mg/dm ³						
1,0	0,50	0,30	0,25	0,25	0,10	8,998	7,736
5,0	0,85	0,50	0,25	0,25	0,10	8,989	7,743
15,0	5,00	1,30	0,80	0,40	0,15	8,947	7,711
30,0	10,00	3,50	1,50	0,60	0,20	8,878	7,696

Table 6

Dependence of the degree of extraction of manganese (II) in tap water on the contact time with the modified cationite KU-2-8 and the intensity of air bubbling $0.5 dm^3/dm^3min$

C_{in}	contact time				
	1	2	3	4	24
	A, %				
1,5	50	70	75	75	90
5,5	83	90	95	95	98
15,0	67	91	95	97	99
30,0	67	88	95	98	99

During 5 hours of water treatment, the degree of purification from manganese ions reached 90-99% with initial manganese concentrations from 1 to 30 mg/dm³. At the same time, the residual concentration of manganese was 0.1–0.2 mg/dm³. It is quite likely that this cationite in dynamic conditions will ensure the complete extraction of manganese (II) ions from water. An important aspect of the process is that it takes place in a neutral environment (pH=7.2 - 7.7).

Purification of water from manganese ions in dynamic conditions was carried out by filtering water through a layer of sorbent treated with magnetite. This ensures constant contact of the solution with the ion-exchange material and reduces the role of the limiting diffusion factor on the water purification process. It is known that when cationite is modified according to reactions 1 and 2, it changes to the Na⁺ form when Fe₃O₄ magnetite ionite grains are formed in the pores. When using such a cationite, both the oxidation of manganese ions on magnetite and their partial sorption on ionite together with hardness ions is possible. The results of water purification from manganese (II) ions are presented in Fig. 2, 3.

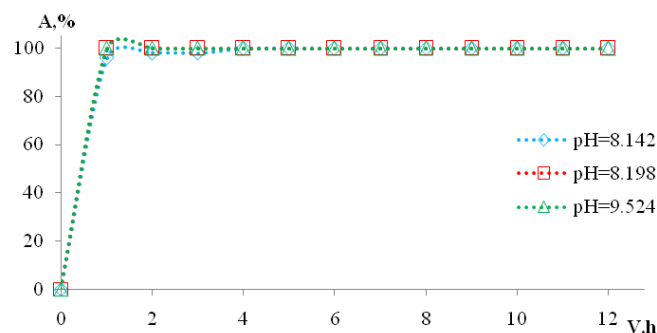


Fig. 2. Dependence of the extraction efficiency of manganese (II) on the volume of artesian water passed through at a manganese concentration of 5.0 mg/dm³ through cationite KU-2-8 modified with magnetite in the Na⁺ form (pH=8.142, pH=9.524), Ca²⁺ form (pH=8.198)

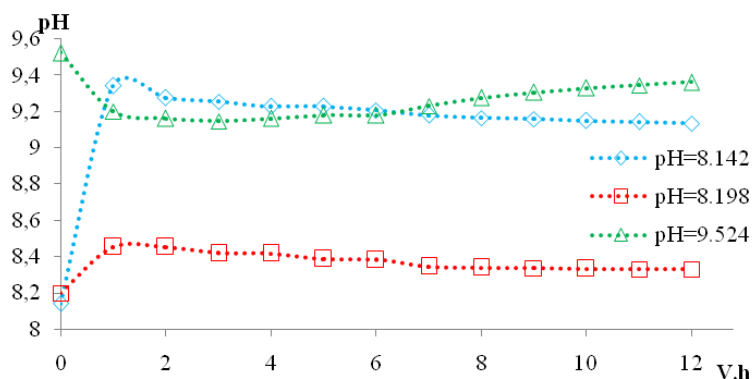


Fig. 3. Dependence of the pH of the medium on the volume of artesian water passed at a manganese concentration of 5.0 mg/dm³ through cationite KU-2-8 modified with magnetite in Na⁺ form (pH=8.142, pH=9.524), Ca²⁺ form (pH=8.198)

When filtering the solution of manganese sulfate through cationite KU-2-8 in the Na⁺ form modified with magnetite, complete extraction of manganese ions from the solution was achieved. This happened due to their oxidation on the magnetite film and possibly due to ion exchange. The pH of the solution during the filtration process increased from 8.14 to 9.342, which was due to the exchange of Ca²⁺ and Mg²⁺ ions for Na⁺ ions. At the same time, sodium bicarbonate was mainly formed in the water. During its hydrolysis, the solution becomes alkaline. The alkalinity of water helps to accelerate the process of oxidation of manganese ions but is not desirable for drinking water. Therefore, cationite after modification with magnetite was treated with a 10% solution of calcium chloride. The results of using modified cationite in Ca²⁺ form for water purification from manganese(II) ions are presented in Fig. 5.

In this case, when filtering water through modified cationite, it was completely purified from manganese ions. At the same time, the pH of the environment practically did not change and was in the range of 8.2–8.45.

Thus, it can be said that the cationite modified with magnetite in the Ca²⁺ form provides high efficiency of water demanganation, without affecting the pH level of the medium and the hardness of the water. This filtering loading also delays the bulk of the manganese oxide obtained during oxidation.

Conclusions. A study of the use of KU-2-8 cationite modified with potassium permanganate or iron compounds with the production of manganese oxide and magnetite on its surface was conducted. It was established that, under static conditions, the best results in the extraction of manganese ions from water were achieved using a sorbent catalyst modified with magnetite. The use of cationite modified with magnetite with additional aeration significantly accelerated the process of water purification from manganese compounds. The degree of purification in 5 hours of water treatment reached 90 – 99% with initial manganese concentrations of 1–30 mg/dm³, while residual manganese concentrations were lower than 0.1 mg/dm³. When using cationite modified with magnetite in Ca²⁺ form under dynamic conditions at an initial manganese (II) concentration of 5 mg/dm³, its complete extraction was achieved. The pH of purified water was in the range of 8.2–8.5.

References

1. Nkele K. Challenges, advances and sustainabilities on the removal and recovery of manganese from wastewater: A review / Nkele K., L. Mpenyana-Monyatsi, V. Masindi // *Journal of Cleaner Production*. – 2022. Volume 377, December. – P. 134-152. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.134152>
2. Alvarez-Bastida C. Drinking water characterization and removal of manganese. Removal of manganese from water / C. Alvarez-Bastida, V. Martínez-Miranda, M. Solache-Ríos, I. Linares-Hernández, A. Teutli-Sequeira, G. Vázquez-Mejía // *Journal of Environmental Chemical Engineering*. – 2018. – Volume 6, Issue 2, April. – P. 2119-2125. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2018.03.019>.
3. Zhan Liang-Tong. Investigation of aqueous Fe(III) and Mn(II) removal using dolomite as a permeable reactive barrier material [Electronic resource] / Zhan Liang-Tong, Zhao Li, You Yuqing, Hao Na, Bate Bate // *Environmental Technology*. – 2022. – URL: <https://doi.org/10.1080/09593330.2021.2020340> (11.09.2022).

4. Zsidko I. Use of zeolite for cleaning of nature water and effluents of communal enterprises / I. Zsidko, M. Polutrenko, O. Mandryk // *Scientific Bulletin of UNFU*. – 2017. – Volume 27. – P. 63-66. – DOI: <https://doi.org/10.15421/40270513>
5. Cong Lyu. Preparation and performance of manganese-oxide-coated zeolite for the removal of manganese-contamination in groundwater / Cong Lyu, Xuejiao Yang, Shengyu Zhang, Qihui Zhang, Xiaosi Su // *Environmental Technology*. – 2019. – Volume 40 (7). – P. 878-887. – DOI: <https://doi.org/10.1080/09593330.2017.1410579>
6. Sakalova H. V. Naukovo-teoretychni osnovy kombinovanykh protsesiv ochyshchennia vodnykh seredovysch iz vykorystanniam pryrodnykh sorbentiv : dys. ... d-ra tekhn. nauk : spets. 21.06.01 / Sakalova Halyna Volodymyrivna. – Lviv, 2016. – 341 p.
7. Bandar S. Comparison of MnO₂ modified and unmodified magnetic Fe₃O₄ nanoparticle adsorbents and their potential to remove iron and manganese from aqueous media / S. Bandar, M. Anbia, S. Salehi // *Journal of Alloys and Compounds*. – 2021. – Volume 851, January. – P. 156822. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2020.156822>
8. Liu S. Preparation, surface functionalization and application of Fe₃O₄ magnetic nanoparticles / S. Liu, B. Yu, S. Wang, Y. Shen, H. Cong // *Advances in colloid and Interface Science*. – 2020. – Volume 281, July 20. – P. 102165. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cis.2020.102165>
9. Khan F. S. A. Magnetic nanoadsorbents potential route for heavy metals removal – a review / F. S. A. Khan, N. M. Mubarak, M. Khalid // *Environmental Science and Pollution Research*. – 2020. – Volume 27(19). – P. 24342-24356. – DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-020-08711-6>
10. Gomelya M. Sorbent-Catalyst for Acceleration of the Iron Oxidation Process / M. Gomelya, M. Tverdokhlib, T. Shabliy, V. Radovenchyk, O. Linyucheva // *Journal of Ecological Engineering*. – 2021. – Volume 22(3). – P. 221-230. – DOI: <https://doi.org/10.12911/22998993/133030>

ТИМОШЕНКО Павло

Національний університет «Львівська політехніка»

<https://orcid.org/0000-0002-5510-1963>pavlo.tymoshenko.knm.2018@lpnu.ua

ЗАСОБА Євген

Національний університет «Львівська політехніка»

<https://orcid.org/0000-0003-4830-8306>geka.zasoba@gmail.com

КОВАЛЬЧУК Олександр

Національний університет «Львівська політехніка»

<https://orcid.org/0000-0002-0148-0320>oleksandr.v.kovalchuk@lpnu.ua

ПШЕНИЧНИЙ Олександр

Національний університет «Львівська політехніка»

<https://orcid.org/0000-0001-8823-7472>oleksandr.y.pshenychnyi@lpnu.ua

НЕЙРОЕВОЛЮЦІЙНІ АЛГОРИТМИ ДЛЯ ГЕНЕРУВАННЯ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ

Вирішення інженерних задач за допомогою звичайних нейронних мереж вимагають тривалих досліджень щодо вибору архітектури та гіперпараметрів. Сильний штучний інтелект був би позбавленим таких недоліків. Подібні дослідження проводяться з використанням дуже широкого спектру підходів: наприклад, біологічного (спроби виростити мозок у лабораторних умовах), апаратного (створення нейронних процесорів) або програмного (з використанням потужностей звичайного CPU та GPU). Метою роботи є розроблення такої системи, яка дозволяла би за допомогою еволюційних підходів генерувати нейронні мережі, придатні для розв'язування задач. Подібний носить назву «нейроеволюції». До мети цієї роботи також входить дослідження особливостей можливих застосованих еволюційних стратегій.

Ключові слова: нейроеволюційний алгоритм, нейронна мережа, модель машинного навчання, препроцесинг даних.

TYMOSHENKO Pavlo, ZASOBA Yevgen, KOVALCHUK Olexander, PSHENYCHNYI Olexander
Lviv Polytechnic National University

NEUROEVOLUTIONARY ALGORITHMS FOR NEURAL NETWORKS GENERATING

Solving engineering problems using conventional neural networks requires long-term research on the choice of architecture and hyperparameters. A strong artificial intelligence would be devoid of such shortcomings. Such research is carried out using a very wide range of approaches: for example, biological (attempts to grow a brain in laboratory conditions), hardware (creating neural processors) or software (using the power of ordinary CPUs and GPUs). The goal of the work is to develop such a system that would allow using evolutionary approaches to generate neural networks suitable for solving problems. This is called "neuroevolution". The purpose of this work also includes the study of the features of possible applicable evolutionary strategies.

The object of research in this work is a neuroevolutionary approach to solving problems of machine learning. The subject of research is evolutionary strategies, neural coding methods networks in the organism's genome. The scientific novelty of the work lies in the testing of previously unused evolutionary strategies and the generalization of the obtained system to the systems of "general artificial intelligence". A system for simulating neuroevolution was created. The specifics of implementation were considered, the choice of algorithms was justified, and their work was explained. In order to perform experiments, datasets were created and methods of applying neuroevolutionary systems were developed. It was possible to choose the most optimal training parameters, to find out the relationship between them, as well as the accuracy and speed of training. It cannot be said that the models implemented within this work directly bring us closer to strong AI. They still lack their own memory as well as a certain level of complexity. For successful use, it is necessary to configure the view of the input data or perform some calculations outside the model. However, in the future, such a system can be developed, for example, to work with SNNs, or for use on special equipment

Keywords: neuroevolutionary algorithms, artificial neural network, machine learning model, data preprocessing.

Вступ

Останнім часом штучний інтелект розвивається дуже потужно. Розвиток галузі уже давно не відображається в підручниках, бо кожного дня можна очікувати на вихід такої статті, що здатна перевернути бачення порядку денного з ніг на голову. Досягнутий успіх можна побачити наочно: вже зараз нас оточують голосові помічники різного штибу, розумна видача контенту у стрічках соцмереж, «розумні» фільтри в Instagram тощо. Є також і менш доступні для загалу, але більш цікаві проєкти: мовна модель GPT 3 вміє спілкуватися зі співрозмовником [1], аналізувати його фрази та давати цілком осмислені відповіді; модель DALL-E 2 «розуміє» речі, зображені на поданій картинці, може змінювати контекст зображення, або й взагалі генерувати нові картинки з поданого опису [2].

Не зважаючи на свої успіхи, сама концепція «штучного інтелекту» часто зіштовхується з критикою із боку філософів. Наприклад, у своїй відомій роботі «Is the Brain's Mind a Computer Program» (укр. «Розум мозку – комп'ютерна програма?») Джон Серль, як заперечення можливості здатності комп'ютера мислити, наводить експеримент із «китайською кімнатою». З цього експерименту випливає, що «одного вміння

маніпулювати символами недостатньо, щоб гарантувати знання, сприйняття, розуміння, мислення; а оскільки комп'ютери, як такі, – це засоби, що маніпулюють символами, існування однієї комп'ютерної програми недостатньо, щоби можна було говорити про наявність знання» [3]. Мовляв, комп'ютер оперує лише синтаксисом, а той не породжує семантику. Серль також називає сучасний штучний інтелект «слабким» або «вузьким». Справді, він є слабким у тому сенсі, що створені моделі здатні вирішувати лише одну конкретну виділену їм задачу і позбавлені будь-якої свідомості. Хоча, заради справедливості можна зауважити, що дискусія на тему того, чим є свідомість є окремою темою.

Аналіз літературних джерел

Є й більш адекватні визначення сильного штучного інтелекту. Наприклад, за [4] такий інтелект повинен могли пояснити причину обраного рішення. А от за [5], цей інтелект повинен володіти семантичною мапою світу. Це хоч і потрібна, однак надлишкова вимога, позаяк здатний пояснити свої рішення організм володіє семантикою уже за визначенням. Без сумніву, цей інтелект повинен постійно навчатися, експериментувати та робити помилки. За [6] ШІ повинен вміти комунікувати з людиною природною мовою. Однак, це теж не обов'язкова вимога й обґрунтування її необхідності руйнуються так само просто, як і твердження, що свідомість не може існувати поза межами людської мови. Уже з'ясовано, що собаки для нас є істотами, достатньо інтелектуальними для того, щоби їхній інтелект можна було вважати «сильним». А проте, вони не можуть висловлювати своїх думок бодай через те, що у них відсутня ділянка мозку, відповідальна за такі задачі. Є й узагалі глухонімі люди, які не знають жодної мови. Це не заважає їм чинити виважено й інтелектуально. Отже, мислення не обов'язково повинно приймати вигляд якихось логічних мовних конструкцій. Ймовірно, здатність ословлюватись мовою, носієм якої є істота – це просто навичка, – така сама, як і їзда на велосипеді. Якщо це правда, то для ШІ доцільно будувати системи, які оперують насамперед образами, а от лінгвістичну інтерпретацію власного мислення та його результатів виконують опціонально. Окрім того, такий підхід дозволить створити системи, здатні швидко переходити між людськими мовами – якби така система існувала, вона вирішила б усі задачі машинного перекладу раз і назавжди.

При створенні системи сильного ШІ доцільно брати приклад з природи та імітувати ті механізми, які демонструють досить непоганий інтелект – наприклад, мозок [7]. Найперша проблема, з якою ми можемо зустрітись при спробах імітувати мозок, – паралелізм виконання. Справа в тім, що у сучасній фонНейманівській структурі обчислювальних машин паралелізм забезпечується перемиканням контексту – призупиненням інших задач для виконання однієї. Тобто, така машина може виконувати лише послідовну обробку інформації. Навіть якщо ми використаємо N процесорів одночасно, це все ще буде N -потоків обчислювальна машина, в той час, як у мозку людини всі 86 мільярдів нейронів однаково задіяні у мисленнєвих процесах, готові реагувати на будь-які подразники та взаємодіяти між собою [8]. Очевидно, для відтворення мозку нам потрібна машина, здатна симулювати роботу нейронів у реальному часі. Далі подано список деяких пристроїв, над якими сьогодні триває розробка, і які вирішують цю проблему.

- Akida NSoC – нейроморфний процесор від Brainchip. Стверджується, що він може працювати з 1.2 млн. нейронів та 10 млрд синаптичних зв'язків. Призначений для оптимізації роботи згорткових та повнозв'язних нейронних мереж.

- Neurogrid – процесор, що симулює роботу біологічного мозку. Використовує аналогове обчислення. Може симулювати до мільйона нейронів та до 6 млрд синаптичних зв'язків у режимі реального часу.

- Loihi – нейроморфний 14 нм процесор від Intel, що може симулювати 8 млн. нейронів та є приблизно у 1000 разів потужнішим і у 10 тис. разів енергоефективнішим, ніж звичайний CPU.

- SpiNNaker – система, що складається з 30 тис. чіпів, кожен з яких має 18 ядер та 128 Мб RAM-пам'яті. В сумі система здатна симулювати 0.5 млн нейронів, працювати в реальному часі, і споживає 30 кВт енергії.

- BrainScaleS 1 – система, здатна симулювати 4 млрд. нейронів біологічно подібних нейронів та 109 пластичних синаптичних зв'язків.

Основний матеріал

Нейронна мережа, що проектується цією системою, не має чіткої шарової структури. Це означає, що у нас немає деякого вхідного шару з фіксованим розміром, на який можна подати дані. Натомість мережа на кожному етапі еволюції випадковим чином може відрощувати або знищувати нейрони, які вважаються вхідними. Перед створенням мережі для неї задаються параметри того, яка максимальна кількість вхідних та вихідних нейронів може розвинути в процесі еволюції. Кожен нейрон мережі нумерований.

Припустимо, що ми маємо мережу з максимальною кількістю вхідних нейронів $|I^U|$, і подаємо на вхід вектор даних D^I . Обов'язкова умова такого вектора – $|D^I| < |I^U|$. Якщо на якомусь етапі еволюції мережа змогла розвинути лише вхідні нейрони $I \subseteq I^U$ і ми знаємо їхні порядкові номери за деяким відношенням $\text{num} : I^U \rightarrow \mathbb{Z}$, то це означатиме, що вхідними даними такої нейронної мережі буде вектор D^I , елементи якого визначені так:

$$\begin{cases} \hat{D}_i^I = D_i^I, & \text{якщо } \exists I_j \in I : \text{num}(I_j) = i, \\ 0 & \text{в іншому разі.} \end{cases}$$

Неформально кажучи, на вхідні дані є такі обмеження: їхня розмірність не повинна перевищувати кількості вхідних нейронів. При цьому, сама мережа сприйматиме тільки ті елементи сприйматиме даних, для яких у неї існують відповідні вхідні нейрони.

Нейронну мережу можна натренувати для даних будь-якої природи. Для цього було згенеровано дані для кількох задач.

У задачі «Лабіринт» нейронна мережа керує гравцем, що ходить по лабіринту. Маємо безкінечну двовимірну матрицю L , на якій прямокутник розміром $n \times m$ заповнений значеннями, що задовольняють умові $\forall i \in 0, n, j \in 0, m : L_{ij} \in \{0, 1\}$. Усі клітинки, які перебувають за межами цього прямокутника заповнені значенням 1. На кожному ході гравець може перебувати у позиції P_{ij} тільки якщо $L_{ij} = 0$. Якщо гравець вирішує ступити на деяку клітинку, в якій міститься 1, то вважається, що він програв. Мапа генерується таким чином, щоби від точки $\left(0, \left\lfloor \frac{m}{2} \right\rfloor\right)$ завжди існувала хоча б одна доріжка до точки $\left(n, \left\lfloor \frac{m}{2} \right\rfloor\right)$, по якій можна дійти, здійснюючи кроки $(i \pm 1, j)$ та $(i, j \pm 1)$.

У складених лабіринтах містяться компоненти (1). Для того, щоб орієнтуватись у ділянці (а), мережі доведеться навчитись оминати перешкоди. Ділянка (б) містить глухий кут – мережа повинна виявити таку ситуацію, і зрозуміти, що їй варто зробити крок назад. У випадку (в) мережі доведеться робити вибір, яким має бути її наступний крок, і, можливо, повертатись назад за потреби.

$$\begin{array}{ccccccccccc} \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & 0 & 0 & 0 & \dots & \dots & 0 & 0 & 0 & \dots & \dots \\ \dots & 0 & 1 & 0 & \dots & \dots & 1 & 0 & 1 & \dots & \dots \end{array} \quad \begin{array}{ccccccccccc} \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & 0 & 0 & 0 & \dots & \dots & 1 & 0 & 1 & \dots & \dots \\ \dots & 0 & 1 & 0 & \dots & \dots & 0 & 0 & 0 & \dots & \dots \end{array} \quad \begin{array}{ccccccccccc} \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & 1 & 0 & 1 & \dots & \dots & 1 & 0 & 1 & \dots & \dots \\ \dots & 0 & 0 & 0 & \dots & \dots & 0 & 0 & 0 & \dots & \dots \end{array} \quad (1)$$

(а)
(б)
(в)

У задачі «Космічний корабель» нейронна мережа управляє космічним кораблем, який неперервно рухається з кроком $(i + 1, j)$ у просторі S розміром $n \times m$, де $m \gg n$. У цьому просторі $\forall j, i \in \{1, m\} : S_{ij} = 1$. Мережа може бачити наступний до себе стовпчик. В просторі розташовані «астероїди», задача мережі – оминати їх. Якщо корабель потрапив на клітинку зі значенням 1, то гра завершується. Щоб виграти, мережа може переміщувати корабель у будь-який інший рядок. Приклад ігрового поля подано як (2).

$$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots \\ \triangleright & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & \dots \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & \dots \end{bmatrix} \quad (2)$$

Приклад вхідних даних при поданій ситуації на ігровому полі показано на (3). На цьому прикладі прямо перед кораблем не розташовано жодних перешкод, тому він може продовжувати летіти не змінюючи курсу. Як видно, вектор вхідних даних доповнюється одиницями таким чином, щоби рядок перед кораблем завжди був відцентрований.

$$\begin{bmatrix} 1 & 1 & \dots \\ \triangleright & 0 & \dots \\ 0 & 0 & \dots \\ 0 & 0 & \dots \\ 1 & 1 & \dots \end{bmatrix} \rightarrow \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ \Delta & & & & & & \end{bmatrix} \quad (3)$$

Нейронні мережі також тестувались і на класичній задачі класифікації. Для цього було згенеровано n -вимірні сепарабельні дані з $(n - 1)$ ознаками та однією змінною для передбачення, що може приймати цілочисельні значення з проміжку $[0, c]$. Такі дані утворюють множину

$$D = \{\mathbf{d}^{(0)}, \dots, \mathbf{d}^{(N)}\},$$

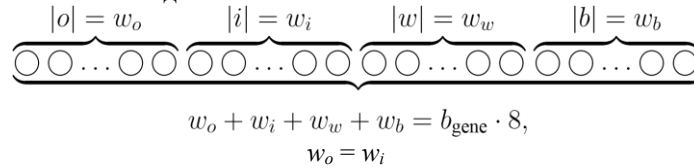
$$\mathbf{d}^{(i)} = [x_1^{(i)}, \dots, x_{n-1}^{(i)}, y^{(i)}];$$

$$\forall i, j : (x_j^{(i)} \sim \mathcal{U}(0, c)) \ \& \ (x_j^{(i)} \in \mathbb{R})$$

$$y^{(i)} \in [0, c] \subset \mathbb{Z},$$

У цій системі ген – це $(b_{\text{gene}} \cdot 8)$ розрядне число, що складається з b_{gene} байтів. Система збудована таким чином, що у гені можна закодувати від 1 до $8b_{\text{gene}}$ різних значень, виділяючи під них певні біти.

Конкретно для симулювання еволюції нейронних мереж у кожному гені закодовується 4 значення у такому порядку: порядковий номер вихідного та вхідного вузлів, сила зв'язку та деяка біасконстанта. У послідовності бітів це має такий вигляд:



Таким чином кожен ген у геномі визначає параметри синаптичного зв'язку між двома нейронами. Кількість вхідних n_i та вихідних n_o нейронів для мережі є параметрами моделі. Якщо порядковий номер гена кодується (w_o) бітним числом, то це означає, що у моделі всього може існувати ($2^{w_o} - 1$) нейронів. Розподіл нейронів на вхідні, вихідні та проміжні продемонстровано у табл. 1.

Таблиця 1

Розподіл типів нейронів за порядковими номерами

Тип нейронів	Проміжок порядкових номерів	Приведення у номер всередині типу
Вхідні	$[1, n_i]$	$\text{num}(n) = n$
Вихідні	$[n_i \cdot 2^{w_o} - 1 - n_o]$	$\text{num}(n) = n - 2^{w_o} - n_o$
Проміжні	$[2w_o \quad n_o, 2w_o \quad 1]$	$\text{num}(n) = n \quad n_i$

Також параметром моделі є число $p_w \in \mathbb{R}$. Воно визначає межі $[-p_w, p_w]$, в яких може міститися вага синаптичного зв'язку. У гені зберігається число w , що набуває значень з проміжку $[0, 2^{w_w}] \subset \mathbb{Z}$. Для того, щоби нормалізувати значення ваги до потрібних меж, виконується перетворення (4).

$$w^*(w) = p_w(-1 + w \cdot 2^{-w_w+1}) \quad (4)$$

Аналогічне перетворення відбувається і з параметром b , для якого також вводиться параметр p_b .

Для вимірювання пристосованості моделі у цій задачі використовувалась метрика точності. Результати експерименту подано у табл. 2.

Таблиця 2

Залежність точності від параметрів тренування на 1000-й та 5000-й епохах. Використано 6-вимірні дані, 10 класів. $w_o = w_i = 16$, $w_w = w_b = 16$. Кількість проміжних нейронів – 65520.

Мутація μ	Змішування β	Розмір вибірки b , %	1000 епох	5000 епох
0.1	0.1	10	23%	31%
0.3	0.1	10	73%	85%
0.5	0.1	10	42%	67%
0.3	0.5	10	37%	51%
0.3	0.8	10	37%	44%
0.3	0.5	20	87%	93%
0.3	0.5	40	32%	51%

Також в межах цього експерименту проведено дослідження того, як розмір комбінації для кросоверингу впливає на швидкість тренування. Це показано у табл. 3.

Таблиця 3

Залежність точності від розміру комбінацій для кросоверингу. $\mu = 0.3$, $\beta = 0.5$, $b = 20$

Розмір комбінацій	1000 епох	5000 епох
1	13%	21%
2	87%	93%
3	92%	95%
4	91%	94%

5

89%

93%

Висновки

У межах цієї роботи було створено систему для симуляції нейроеволюції. Було розглянуто особливості імплементації, обґрунтовано вибір алгоритмів та пояснено їхню роботу.

Задля виконання експериментів було створено набори даних та розроблено методи застосування систем нейроеволюції. Вдалося підібрати найбільш оптимальні параметри тренування, з'ясувати зв'язок між ними, а також точністю та швидкістю тренування.

Не можна сказати, що моделі, реалізовані у межах цієї роботи безпосередньо наближають нас до сильного ШІ. Їм все ще бракує власної пам'яті а також певного рівня складності. Для вдалого використання доводиться конфігурувати вигляд вхідних даних або ж проводити деякі обчислення поза межами моделі. Однак у подальшому таку систему можна розвинути, наприклад, для роботи з SNN, або для використання на спеціальному обладнанні.

References

1. Garcia A., Arbelaitz O., Linaza M.T., Vansteenwegen P., Souffriau W. (2010). Personalized Tourist Route Generation. In: Daniel F., Facca F.M. (eds) Current Trends in Web Engineering. ICWE 2010. Lecture Notes in Computer Science, vol 6385. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-16985-4_47
2. Ramesh Aditya Zero Shot Text to Image Generation. arXiv.org. URL: <https://arxiv.org/abs/2102.12092> (03.06.2022).
3. Searle J. R. Is the Brain's Mind a Computer Program? Scientific American. 1990. T. 262, № 1. С. 26–31. URL: <https://doi.org/10.1038/scientificamerican0190-26> (03.06.2022).
4. Russell S. J. Artificial intelligence: A modern approach. 2 ed. Upper Saddle River, N.J.: Prentice Hall, 2003. 1080 p.
5. Stubblefield W. A., George F. Luger Artificial Intelligence: Structures and Strategies for Complex Problem Solving. 3 ed. Addison Wesley Publishing Company, 1997. 868 p.
6. Russell S. J. Artificial intelligence: A modern approach. 2 ed. Upper Saddle River, N.J.: Prentice Hall, 2003. 1080 p.
7. Butz M. V. Towards Strong AI. KI Künstliche Intelligenz. 2021. T. 35, № 1. P. 91—101. URL: <https://doi.org/10.1007/s13218-021-00705-x> (23.05.2022).
8. Frederico A. C. Azevedo Equal numbers of neuronal and nonneuronal cells make the human brain an isometrically scaled up primate brain. The Journal of Comparative Neurology. 2009. T. 513, № 5. P. 532—541. URL: <https://doi.org/10.1002/cne.21974> (23.05.2022).

ТРАЧ Ольга

Національний університет «Львівська політехніка»

<https://orcid.org/0000-0003-1461-791X>e-mail: olha.r.trach@lpnu.ua

МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ ІНФОРМАЦІЙНО-РЕКЛАМНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ ПІДРОЗДІЛІВ УНІВЕРСИТЕТУ В СОЦІАЛЬНИХ СЕРЕДОВИЩАХ ІНТЕРНЕТУ

У статті проаналізовано дослідження брендингу закладу вищої освіти та профорієнтаційної діяльності в соціальних середовищах Інтернету. Проаналізовано соціальні мережі для введення профорієнтаційної діяльності кафедри та спеціальності. Розроблено формальну модель інформаційного образу підрозділів закладу вищої освіти. Розроблено вимоги до створення та ведення офіційної сторінки підрозділу. Отримані результати демонструються на офіційних сторінках кафедри соціальних комунікацій та інформаційної діяльності НУ «Львівська політехніка» у соціальних мережах Facebook та Instagram..

Ключові слова: віртуальні спільноти, веб-проекти, профорієнтаційна діяльність, ЗВО.

TRACH Olha

Lviv Polytechnic National University

METHODS AND MEANS OF INFORMATION AND ADVERTISING ACTIVITIES OF UNIVERSITY DEPARTMENTS IN SOCIAL INTERNET ENVIRONMENTS

Today, all advertising activities are moving to the social media of the Internet. The period of the covid-19 pandemic and the martial law in Ukraine accelerated this process. Now it is difficult to avoid that something cannot be found on the Internet. Institutions of higher education are no exception. Universities and their divisional divisions also need promotional activities to attract applicants and branding through the social media of the Internet. Attracting applicants by informing them about university departments is a career guidance activity. With the advent of distance learning, informational and advertising activities of higher education institutions in social networks began to gain popularity, in particular, for career guidance purposes. In order to carry out informational and advertising activities of university units in the social environment of the Internet, it is necessary to create an informational image. The creation of an informational image of university units is done by creating official pages in social networks. The most popular social networks for creating an informational image of the university's divisions in the social environments of the Internet are Facebook, Instagram, and Telegram. The article develops a formal model of the information image of units of a higher education institution.

The requirements for the pages of higher education institutions and their departments are different from ordinary pages for goods or services, given their specificity and target audience. Therefore, the requirements for creating pages of university divisions in social networks are as follows: logo of the division, name of the division page with affiliation to the institution of higher education, information about the division ("cap" of the profile) with the following data: page name, name of the division, abbreviation of the institute/university, university affiliation, website of the unit, address of the unit, telephone. The article describes the stages of maintaining a career guidance activity page. The list of elements that are part of the career guidance topic of the post has been defined: the name of the specialty; the name of the department that trains specialists in the chosen specialty; terms of study; form of education; cost of education; contact information of the department; license volume. The tools and methods of information and advertising activities of departments of higher education institutions presented in the work were implemented at the Department of Social Communications and Information Activities of Lviv Polytechnic National University for three years.

Keywords: virtual communities, web projects, career guidance activities, HEI

Вступ

Вже давно всі рекламні діяльності переходять в соціальні середовища Інтернету. Пришвидшив цей процес період пандемії ковід-19 та військовий стан в Україні. Якщо, ще три-чотири роки тому певний товар чи послуга не потребувало представлення в соціальних середовищах Інтернету, то зараз складно увити, що чогось неможливо знайти на просторах Інтернету. Заклади вищої освіти не були винятками. Університетам, факультетам, кафедрам та іншим підрозділам також необхідна рекламна діяльність для залучення абітурієнтів та брендингу. Залучення абітурієнтів шляхом інформування про підрозділи університету – це профорієнтаційна діяльність.

До повноцінного онлайн-навчання профорієнтаційна та рекламна діяльність кафедри відбувалась шляхом розповсюдження інформації безпосередньо в закладах середніх загальноосвітніх шкіл. Це відбувалось в актових залах шкіл, де були зібрані школярі старшої школи і представники кафедр презентували свої освітні програми та переваги навчання на тій чи іншій спеціальності. Проте, з приходом дистанційного навчання почала набирати популярності інформаційно-рекламна діяльність закладів вищої освіти в соціальних мережах, зокрема, і в профорієнтаційних цілях.

Аналіз досліджень та публікацій

Відповідно до Закону України «Про освіту» [1] розрізняють такі види профорієнтаційної діяльності:

- професійна інформація;
- професійна освіта;
- професійна консультація;
- професійна діагностика.

Професійна інформація передбачає ознайомлення учнів з видами професій та правилами їх вибору. І це професійне інформування відбувається різними способами, наприклад: тренінги, друковані матеріали,

платформи віртуальної реальності, ігри тощо.

Дослідження інформаційного іміджу закладу вищої освіти в соціальних середовищах Інтернету є актуальним і популярним завданням. Сьогодні будь-яка державна установа повинна мати представництво в соціальному середовищі Інтернету у вигляді сайту. Проте, молоде покоління все більше споживає інформаційний контент із соціальних мереж. Часто науковці досліджують лише загальний імідж ЗВО або формування генератора інформаційного іміджу ЗВО. Науковці: Корж, Пелешишин, Федущко та Серов, які досліджують формування інформаційного іміджу закладів вищої освіти України в соціальних середовищах Інтернету, розробили етапи побудови цілісного іміджу ЗВО в соціальних середовищах Інтернету [2], розробили алгоритм визначення ефективності інформаційної діяльності в мережі Інтернет [3], розробили архітектуру програмно-алгоритмічного комплексу для забезпечення управлінської діяльності адміністративно-інформаційних підрозділів закладів вищої освіти та інформаційної діяльності. діяльності базових підрозділів в мережі Інтернет [4].

Якщо говорити про дослідження профорієнтаційної діяльності, то найчастіше вчені аналізують форми профорієнтації та методи консультування з питань майбутньої кар'єри. Науковці пропонують застосування доповненої реальності у веб-середовищі для профорієнтаційної квест-системи з використанням технології WebAR та представляють прототип цієї системи [5]. Система квестів передбачає вирішення в грі інтелектуально-пошукових завдань, пов'язаних з майбутньою професією.

Формулювання цілей

Використання соціальних мереж для брендингу закладів вищої освіти та їх підрозділів до кінця не досліджено. Також не досліджено використання офіційних сторінок у соціальних мережах для профорієнтаційної діяльності.

Хоча залишається невивченим питання про те, де саме можна отримати обрану професію. Тобто в якому інституті та на кафедрі викладають обрану спеціальність. І, власне, використання офіційних сторінок кафедр закладів вищої освіти є актуальним способом інформування про спеціальності та проведення рекламної діяльності. І важливими на офіційних сторінках є дописи з інформацією про спеціальність.

Мета профорієнтаційних дописів на офіційних сторінках кафедр – спонукати абітурієнта обрати спеціальність саме на вашій кафедрі та ознайомитися з умовами вступу безпосередньо до вас. Адже різні ЗВО для однієї спеціальності можуть мати різні навчальні програми, різну вартість та умови навчання.

До офіційних сторінок кафедр в соціальних мережах мережі Інтернет входять:

- веб-сайт;
- розділ на офіційному веб-сайті закладу вищої освіти;
- сторінки в соціальних мережах (Facebook, Instagram та ін.);
- стаття у Вікіпедії.

Метою статті є розробити методи та проаналізувати засоби інформаційно-рекламної діяльності підрозділів університету в соціальних середовищах Інтернету для профорієнтаційної діяльності.

Виклад основного матеріалу

Засоби інформаційно-рекламної діяльності підрозділів університету в соціальних середовищах Інтернету. Для здійснення інформаційно-рекламної діяльності підрозділів університету в соціальних середовищах Інтернету необхідно створити інформаційний образ. Створення інформаційного образу підрозділів університету відбувається шляхом створення офіційних сторінок в соціальних мережах.

Найпопулярнішими соціальними мережами для створення інформаційного образу підрозділів університету в соціальних середовищах Інтернету є такі, як: Facebook, Instagram, Telegram.

Facebook – це соціальна мережа в Інтернеті, створена для студентів американських університетів. Сьогодні соціальна мережа є найпопулярнішою та налічує найбільшу кількість користувачів. Facebook надає можливість створювати сторінки для особистого бренду та створювати віртуальні спільноти різного типу. Мережа популярна плануванням подій, прямими ефірами, можливістю створити магазин.

Telegram – це клауд-месенджер для обміну повідомленнями, фото- та відео-файлами, доступ до якого можливий з будь-якого пристрою, який має вихід у Інтернет. Ще однією особливістю месенджера є можливість створення каналів (чатів) та telegram-ботів. Ця особливість месенджера є вдалою функцією для оперативного інформування великого кола людей.

Instagram – це соціальна мережа фото та відео контенту. Instagram надає змогу створювати фотографії та відео, застосовувати до них фільтри та поширювати на інші соціальні мережі (наприклад, Facebook). Соціальна мережа Instagram дає можливість розвиватися лідерам думок, яких там називають інфлюенсерами, та з'являється нове поняття «інфлюенс маркетинг».

Варто зазначити, що інформаційний образ підрозділу може формувати декілька офіційних сторінок у соціальних середовищах Інтернету.

Формальна модель інформаційного образу підрозділу університету в соціальних середовищах Інтернету. Формальна модель представлена у формулі (1) :

$$InfImage = \langle Platform, User, Arm \rangle, \quad (1)$$

Складовими моделі є: *Platform* – платформи (соціальні мережі, сайти) для створення

інформаційного образу, $User$ – користувачі офіційних спільнот, Arm – кількість виконавців, тобто відповідальних за управління офіційними сторінками у соціальних середовищах Інтернету.

Платформами для створення та управління інформаційним образом підрозділу університету можуть бути: сайти, віртуальні спільноти в соціальних мережах, акаунти (персональні сторінки) в соціальних мережах та ін. Вибір платформи здійснюється керівником та відповідальним за управління офіційними сторінками на основі аналізу предметної області та еталонних спільнот.

$$Platform = \{Platform_i\}_{i=1..N(Platform)}, \quad (2)$$

де $Platform_i$ – i -а платформа інформаційного образу, $N(Platform)$ – кількість платформ задіяних у формування та управлінні інформаційним образом.

Кількість користувачів залежить від предметної області та типу платформи. В залежності від платформи учасниками можуть бути: користувачі сайту, учасники віртуальних спільнот, фоловери особистої сторінки (акаунту) в соціальних мережах.

$$User = \{User_j\}_{j=1..M(User)}, \quad (3)$$

де $User_j$ – j -й користувач, $M(User)$ – кількість користувачів.

Виконавці – це команда, яка займається створенням та управлінням офіційних сторінок в соціальних середовищах Інтернету. Кількість виконавців залежить від завдань та платформи на якій здійснюється управління інформаційним образом. Менеджер веб-проєкту, спеціальність який відповідає за успішність та за управлінські завдання, формує команду в яку входять спеціалісти необхідної галузі та кваліфікації [6].

$$Arm = \{Arm_k\}_{k=1..K(Arm)}, \quad (4)$$

де Arm_k – k -й виконавець, $K(Arm)$ – кількість виконавців.

Вимоги до створення сторінки підрозділів закладу вищої освіти в соціальних мережах

Вигляд головної сторінки є одним з найважливіших елементів брендингу та рекламної діяльності в соціальних середовищах Інтернету. Вимоги до сторінок закладів вищої освіти та їх підрозділів є відмінними від звичайних сторінок товарів чи послуг, враховуючи свою специфіку та цільову аудиторію.

Отже, вимоги до формування сторінок підрозділів університету у соціальних мережах є наступними:

- логотип підрозділу;
- назва сторінки підрозділу з приналежністю до закладу вищої освіти;
- інформація про підрозділ («шапка» профілю) з наступними даними: назва сторінки, назва підрозділу, аббревіатура інституту/університету, приналежність до університету, сайт підрозділу, адреса підрозділу, телефон.

Наприклад, на рисунках 1-2 зображено офіційні сторінки кафедри соціальних комунікацій та інформаційної діяльності згідно вимог Національного університету «Львівської політехніки» [7, 8].

Опублікована інформація на сторінці підрозділу закладу вищої освіти повинна відповідати наступним вимогам:

- відповідати контент-плану, заздалегідь узгодженим з керівником підрозділу (наприклад, завідувачем кафедри);
- повинна стосуватися підрозділу та університету, основних напрямів його діяльності;
- не повинна суперечити Корпоративному кодексу університету;
- бути різноманітною (використовувати всі типи контенту, такі як розважальний, інформаційний, користувацький, інтерактивний, рекламний);
- використовувати хеш-теги.

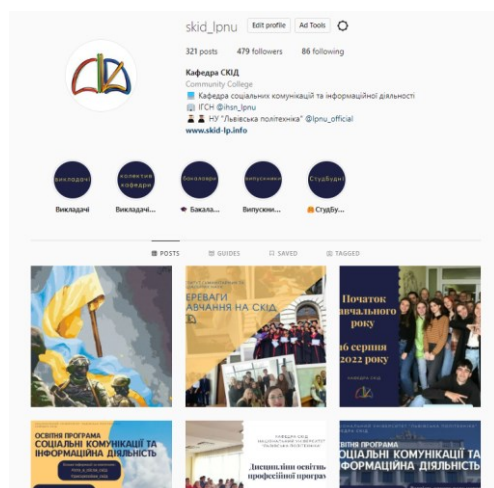


Рис. 1. Вигляд головної сторінки кафедри СКІД в соціальній мережі Instagram

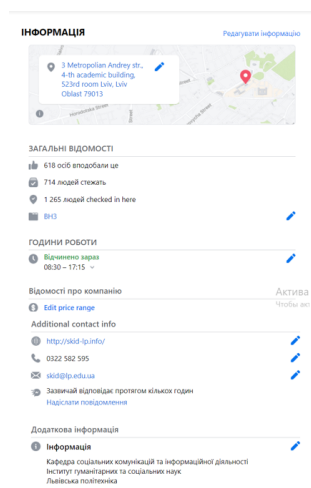


Рис. 2. Вигляд головної сторінки кафедри СКІД в соціальній мережі Facebook

Етапи ведення сторінки профорієнтаційної діяльності

1. Визначення термінів проведення профорієнтаційних заходів до вступної кампанії. Створення постів та онлайн-заходів для залучення абітурієнтів має бути на постійній основі та зберегти інформаційний імідж кафедри. Проте є часові рамки, які вимагають найбільшої уваги до профорієнтаційних заходів. Це три місяці літа: червень, липень, серпень. Вступники мають результати вступних випробувань, реєструються в холі та обирають спеціальність для вступу.

2. Створення контент-плану на період вступної кампанії. Необхідно створювати мінімум 2 пости на профорієнтаційну тему, щоб абітурієнт міг швидко знайти потрібну інформацію.

3. Формування тематичних постів. Під час вступної кампанії 80% дописів мають бути на актуальні для вступників теми. До профорієнтаційної тематики поста входить:

- назва спеціальності;
- назва кафедри, яка здійснює підготовку фахівців за обраною спеціальністю;
- терміни навчання;
- форма навчання;
- вартість навчання;
- контактна інформація кафедри;
- ліцензійний обсяг.

Також варто додавати пости про навчальні дисципліни та майбутні професії.

4. Проведення реклами. До органічного висвітлення дописів варто додати рекламу допису та зусиллями працівників відділу розповсюдження дописів у спільнотах для вступників.

Отримані результати. Представлені в роботі засоби та методи інформаційно-рекламної діяльності кафедр закладів вищої освіти протягом трьох років впроваджували на Кафедрі соціальних комунікацій та інформаційної діяльності Національного університету «Львівська політехніка».

Для демонстрації результатів інформаційно-рекламної діяльності під час вступної кампанії вибрано 3 роки (2020-2022 роки). Інформаційно-рекламна діяльність кафедри соціальних комунікацій та інформаційної діяльності відбувається у двох соціальних мережах, а саме: Facebook (<https://www.facebook.com/SCIADepartment/>) and Instagram (@skid_lpnpu).

Загальні терміни вступної кожного року є однакові, місяць на подання документів, відрізняються лише періоди. Проте, для активної профорієнтаційної діяльності у соціальних мережах щороку обирається 3 місяці (червень-серпень), які включають активні фази вступної кампанії (реєстрація в кабінетах, завантаження документів, подання заяв, рекомендації щодо зарахування).

Профорієнтаційні дописи використовувались ті самі в обох соціальних мережах. Інші дописи та сторіси відрізняються враховуючи специфіку та цільову аудиторію соціальних мереж.

У соціальній мережі Facebook основну статистику представляють такі показники, як: перегляд допису, охоплення допису, взаємодія.

Перегляд допису – це кількість разів, коли публікація була на екрані.

Охоплення допису – це кількість людей, котрі бачили публікацію хоча б один раз.

Взаємодія – це кількість разів, коли люди взаємодіяли з вашою публікацією через реакції, коментарі, поширення публікації, перегляди та кліки.

Для графічного представлення результатів в таблиці та на графіках обрано по три дописи з кожного року.

Варто зазначити, що з кожним роком для збільшення представлення показників застосовувались різні методи просування дописів.

Наприклад, в 2020 році це був органічний приріст охоплення, адміністратори та модератори сторінки не зачали додаткових інструментів та методів для просування сторінки в соціальних мережах. В 2021 році до просування дописів залучався колектив кафедри, завданням яких було поширювати дописи у групах нашої цільової аудиторії. В 2022 році додалась ще платна реклама допису у соціальній мережі (реклама тривалістю 2 дні та бюджетом не більше 10 доларів).

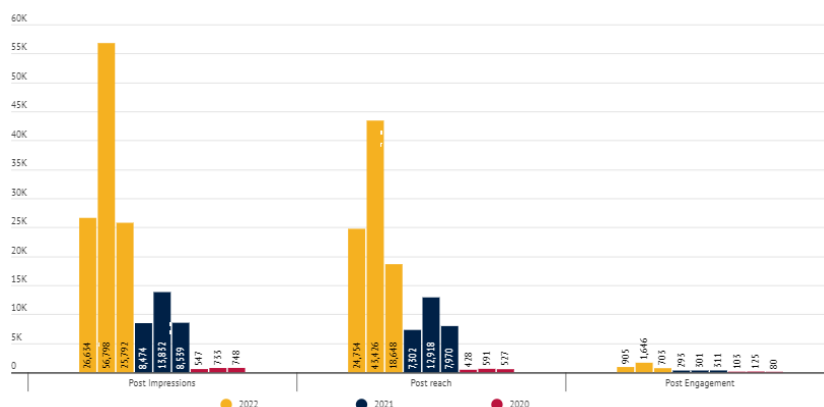


Рис. 3. Статистика у соціальній мережі Facebook

У соціальній мережі Instagram основну статистику представляють такі показники, як охоплення аудиторії та взаємодія з контентом.

Охоплення аудиторії – це загальна кількість переглядів допису користувачами соціальної мережі.

Взаємодія з контентом – це дії в профілі стосовно допису, які включають в себе реакції, коментарі, поширення та збереження.

Просування дописів у соціальній мережі Instagram всі роки здійснювалось органічно та за допомогою реклами.

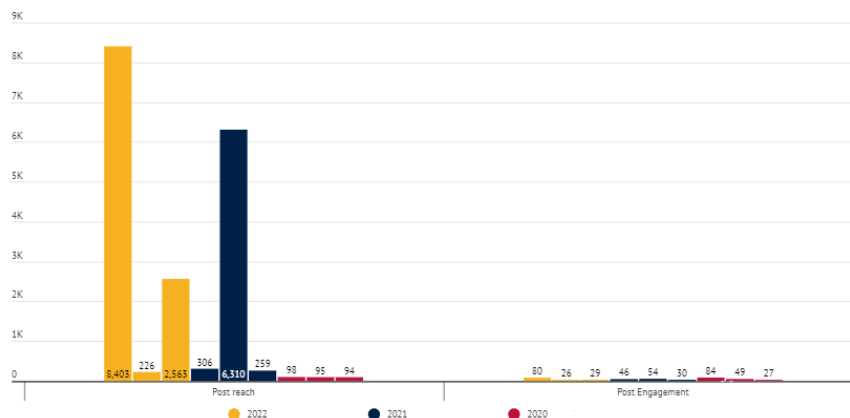


Рис. 4. Статистика у соціальній мережі Instagram

На рис. 5 представлена статистика останнього профорієнтаційного допису за 2022 рік в двох соціальних мережах. Для просування якого використовувалось платну рекламу в обох соціальних мережах. Для порівняння візьмемо такі показники, як охоплення аудиторії та взаємодія з контентом.

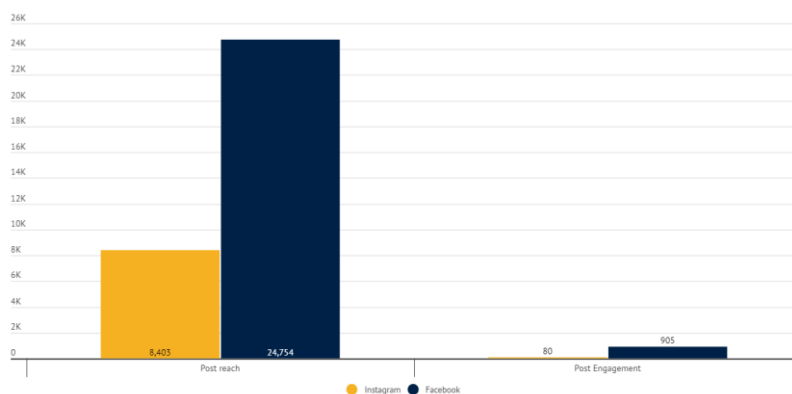


Рис. 5. Статистика профорієнтаційного допису

Висновки

У статті аналізуються соціальні мережі, які є найбільш популярними для формування брендингу закладу вищої освіти. Розроблено формальну модель інформаційного іміджу закладу вищої освіти. Розроблено вимоги до формування офіційних сторінок підрозділів закладу вищої освіти, які відповідатимуть цільовій аудиторії та не суперечитимуть принципам діяльності закладу. Розроблено етапи використання офіційної сторінки підрозділу під час проведення профорієнтаційних заходів. Розроблені методи впроваджено в ведення офіційних сторінок кафедри соціальних комунікацій та інформаційної діяльності НУ «Львівська політехніка» у соціальних мережах Facebook та Instagram. Для демонстрації результатів профорієнтаційної діяльності кафедри під час вступної кампанії обрано три роки (2020–2022). Наведено статистику останнього профорієнтаційного поста за 2022 рік у двох соціальних мережах, які розкручувалися за допомогою платної реклами.

Література

1. Закон України «Про освіту». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2145-19#Text>
2. Korzh R., Fedushko S., Peleschyshyn A. Methods for forming an informational image of a higher education institution. Webology. 12(2). Article 140 (2015).
3. Korzh R., Peleschyshyn A., Syerov Y., Fedushko S. University's Information Image as a Result of University Web Communities' Activities. Advances in Intelligent Systems and Computing. vol 512 (2017).
4. Peleschyshyn A., Korzh R., Trach O., Tsiutsiura M. Building of Information Activity Management System of Higher Educational Establishment in the Social Environments of the Internet. Proceedings of the 3rd

International Conference on Advanced Information and Communications Technologies (AICT). pp. 58-61 (2019).

5. Shepiliev D. S., Semerikov S. O., Yechkalo Yu. V., Tkachuk V. V., Markova O. M., Modlo Ye. O., Mintii I. S., Mintii M. M., Selivanova T. V., Maksyshko N. K., Vakaliuk T. A., Osadchyi V. V. Development of career guidance quests using WebAR. Proceedings of the XII International Conference on Mathematics, Science and Technology Education, Journal of Physics: Conference Series, Volume 1840, Kryvyi Rih, Ukraine. pp. 1-16 (2021).

6. Trach O., Peleshchyshyn A., Korzh R. Methods for creating a team for managing a virtual community. CEUR Workshop Proceedings, Vol. 2565: Proceedings of the 1st International Workshop IT Project Management (ITPM 2020). p.83-92 (2020).

7. Офіційна сторінка кафедри СКІД у соціальній мережі Facebook. URL: <https://www.facebook.com/SCIADepartment/>

8. Офіційна сторінка кафедри СКІД у соціальній мережі Instagram. URL: https://www.instagram.com/skid_lpnu/

References

1. The law of Ukraine "About education". URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2145-19#Text>
2. Korzh R., Fedushko S., Peleschyshyn A. Methods for forming an informational image of a higher education institution. Webology. 12(2). Article 140 (2015).
3. Korzh R., Peleschyshyn A., Syerov Y., Fedushko S. University's Information Image as a Result of University Web Communities' Activities. Advances in Intelligent Systems and Computing. vol 512 (2017).
4. Peleschyshyn A., Korzh R., Trach O., Tsiutsiura M. Building of Information Activity Management System of Higher Educational Establishment in the Social Environments of the Internet. Proceedings of the 3rd International Conference on Advanced Information and Communications Technologies (AICT). pp. 58-61 (2019).
5. Shepiliev D. S., Semerikov S. O., Yechkalo Yu. V., Tkachuk V. V., Markova O. M., Modlo Ye. O., Mintii I. S., Mintii M. M., Selivanova T. V., Maksyshko N. K., Vakaliuk T. A., Osadchyi V. V. Development of career guidance quests using WebAR. Proceedings of the XII International Conference on Mathematics, Science and Technology Education, Journal of Physics: Conference Series, Volume 1840, Kryvyi Rih, Ukraine. pp. 1-16 (2021).
6. Trach O., Peleschyshyn A., Korzh R. Methods for creating a team for managing a virtual community. CEUR Workshop Proceedings, Vol. 2565: Proceedings of the 1st International Workshop IT Project Management (ITPM 2020). p.83-92 (2020).
7. The official page of the SCIA department in the social network Facebook. URL: <https://www.facebook.com/SCIADepartment/>
8. The official page of the SCIA department in the social network Instagram. URL: https://www.instagram.com/skid_lpnu/

ХАВАЛКО Віктор

Національний університет "Львівська політехніка"

<https://orcid.org/0000-0002-9585-3078>e-mail: Viktor.M.Khavalko@lpnu.ua**ЦАП Владіслав**

Національний університет "Львівська політехніка"

<https://orcid.org/0000-0002-8062-0079>e-mail: vladyslav.tsap.mknssh.2021@lpnu.ua**ЯРЧАК Андрій**

Національний університет "Львівська політехніка"

<https://orcid.org/0000-0002-1387-305X>e-mail: andrii.yarchak.mknssh.2022@lpnu.ua

АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ ВИЯВЛЕННЯ ГРАНИЦЬ ОБ'ЄКТІВ В МЕДИЧНИХ ЗОБРАЖЕННЯХ

Дуже часто у повсякденному житті доводиться регулювати певний процес і підтримувати певний стан, незважаючи на негативні впливи на результативність. Особливо це стосується медичної сфери, де все частіше зустрічаються пристрої та обладнання, на якому, після отримання знімку, можна застосовувати додаткові методи обробки зображення, перед безпосереднім використанням методів визначення границь. Більшість із цих пристроїв використовують прості або складні алгоритми для виконання завдань.

Саме тому актуальність вивчення різних аспектів алгоритмів сегментації, аналіз та порівняння різних типів медичних зображень, проведення експериментів над ними, порівняння застосування різних методів та їх налаштування є безсумнівним. Для експериментів та аналізу в статті запропоновано створити систему для імітації процесу, яка регулюватиметься користувачем. Результати дозволили сформулювати рекомендації щодо умов конкретного застосування методів.

Ключові слова: визначення границь, медичне зображення, попередня обробка зображень, python.

KHAVALKO Viktor, TSAP Vladyslav, YARCHAK Andrii

Lviv Polytechnic National University

EFFICIENCY ANALYSIS OF APPLICATION OF OBJECT BUNDARIS DETECTION METHODS IN MEDICAL IMAGES

Very often in everyday life it is necessary to regulate a certain process and maintain a certain state, despite the negative effects on productivity. This is especially true in the medical field, where devices and equipment are increasingly common, on which, after receiving a picture, additional methods of image processing can be applied, before the direct use of boundary detection methods. Most of these devices use simple or complex algorithms to perform tasks.

That is why the relevance of studying different aspects of segmentation algorithms, analyzing and comparing different types of medical images, conducting experiments on them, comparing the use of different methods and their settings is unquestionable. In order to conduct experiments and comparative analysis, the article proposes to create a process simulation system that will be regulated by the user. The results made it possible to form recommendations regarding the conditions of specific application of the methods.

Keywords: boundaries detection, medical image, images pre-processing, python.

Постановка проблеми

Обробка зображень для виявлення, спостереження і класифікації об'єктів відноситься до області комп'ютерного зору. Цифрові зображення використовуються в широкому діапазоні деяких галузей, таких як системи безпеки, системи дистанційного зондування, військово- та медичне застосування. Цифрові зображення відіграють важливу роль у медичній сфері і ця важливість не залежно від застосування застосувань. Зважаючи на особливості медичних діагнозів, заключень, тощо можна стверджувати, що в галузі медицини зображення потребують максимальної точності фактів, матеріалів, деталей, зокрема, візуального контенту. Однак при обробці медичних зображень існує достатньо нюансів, які можуть ускладнювати якість кінцевого результату. Найчастіше це контурні зображення внутрішніх органів чи їх ділянок (для виявлення добро- чи злоякісних утворень) тіла людини.

Найбільш важливими способами, які були піддані попереднім дослідженням усунення та зменшення шуму, є використання різних лінійних і нелінійних фільтрів. В роботі [1] показано, що усунення великої кількості шумів може пошкодити важливу інформацію на медичних зображеннях відоме як «true edge».

Для якіснішого порівняння потрібно створити інтерактивний застосунок програмного продукту з можливістю використання різних методів, алгоритмів виявлення границь, з можливістю, визначення ключових параметрів відповідних методів.

У цій роботі буде розглянуто задачі:

- використання певної низки методів виявлення границь, виявлення їх недоліків, способи покращення;
- можливі нові способи додаткової обробки (другорядні методи та алгоритмів), зокрема способи зменшення шуму, зберігаючи важливу інформацію в медичних зображеннях для контурів

об'єктів;

- класифікації відповідно до випадків використання.

Аналіз останніх джерел

Алгоритми сегментації зображень, як правило, базуються на розривності та схожості значень інтенсивності зображення. В роботах [2, 3] встановлено, що розривність полягає в розділенні зображення на основі різких змін інтенсивності, а подібність — на розподілі зображення на ділянки, подібні відповідно до набору заздалегідь визначених критеріїв. Таким чином, вибір техніки сегментації зображення залежить від проблеми, яка розглядається.

Виявлення границь є частиною сегментації зображення. Ефективність багатьох завдань обробки зображень і завдань комп'ютерного зору залежить від досконалості виявлення значущих країв. Це один із методів виявлення розривів інтенсивності в цифровому зображенні.

Процес класифікації та розміщення різких розривів у зображенні називається виявленням границь. Розриви — це зміни концентрації пікселів, які відрізняють межі об'єктів у сцені. В роботі [4] проаналізовано класичні методи виявлення країв, які включають згортання зображення за допомогою оператора, тобто сконструйовані так, щоб бути сприйнятливим до великих градієнтів зображення, але повертаючи значення нуля в однорідних областях.

Виявлення границь є складним завданням у зображеннях із шумом, оскільки і краї, і шум містять високочастотний вміст. Зусилля зменшити шум призводять до нечітких і спотворених границь. В роботі [5] описано техніки, що використовуються для зображень із шумом, зазвичай мають більший обсяг, тому вони можуть містити достатньо загальні дані, щоб знизити кількість локалізованих пікселів із шумом. Це призводить до менш ідеальної локалізації виявлених границь. Основна мета виявлення границь зображення — зафіксувати важливу подію та змінити властивості. Це захоплення країв за допомогою детектора країв, який використовується в різних обробках зображень.

Методи виявлення країв в основному поділяються на дві групи, і базуються на пошуку та на перетині нуля. Перші виявляють границі, обчислюючи міру міцності краю, зазвичай вираз з похідною першого порядку, а потім шукають локальну спрямованість. В роботі [6] наведено інші методи, які базуються на перетині нуля і шукають цю особливість використовуючи вираз з похідною другого порядку.

Існує інший алгоритм, логіка та метод, який використовується та розроблено для виявлення границі зображення. Ці методи розроблені таким чином, щоб вони працювали для конкретних умов або під специфічним впливом шуму. Найпоширеніші алгоритми виявлення країв включають оператори Собеля, Превітта, Робертса, алгоритм детектора Кенні та методи нечіткої логіки.

Метою роботи є порівняти ефективність застосування різних методів виявлення границь та час їх виконання, вивчити їх особливості та сформулювати рекомендації щодо умов застосування.

Виклад основного матеріалу

Для проведення експериментів та аналізу потрібно розглянути застосування низки методів для медичних зображень різного типу, спроектувати симуляцію для відтворення процесу — створити інтерактивний застосунок з використанням цих методів та маніпуляцій над зображеннями. Варто проводити маніпуляції над зображеннями, що застосовуються в різних галузях медицини, а дасть змогу зрозуміти, що і як впливає на конкретний випадок, і вплив на подальший діагностиці чи використанні зображення.

Ключовий момент в проектуванні системи — гнучкість, оскільки дана симуляція направлена на аналіз та порівняння різних типів методів. Тому необхідна можливість проводити експерименти з усіма методами та предметом дослідження умовно одночасно. У подальшому покращенні застосунку та професійному використанні це має сенс. Через значну кількість нюансів, які утворює той чи інший метод (шуми, деталі, чіткість границь) процес потрібно покращити додатковими інструментами, щоб результат був більш сприятливий для огляду, розуміння та аналізу.

Для цього також потрібно вираховувати або динамічно змінювати певні гіперпараметри відповідних методів динамічно або вручну. Пріоритет на перший варіант за можливості реалізації. Дані досліджень можна візуалізувати як графіки показників процесів. Це дасть можливість використовувати дані графіки для наглядної демонстрації певних процесів при їх класифікації. Важливим є те, що будь-яке зображення піддається впливу від зовнішніх або внутрішніх факторів, що викликає необхідність симулювати додаткові методи аналізу чи обробки. Тому безумовно значна частина досліджень буде проводитись вручну.

Для зручності варто додати інтерактивність виконання та застосування методів у застосунку. Це надає можливість повністю керувати процесом застосування методів, безпосередньо проводити різну симуляцію, щоб можна було порівняти результат кожного методу на будь-якому зображенні та порівняти результати для виявлення залежності результату від випадку.

Отже, для коректної роботи системи, від чого залежать результати майбутніх експериментів та для відповідності очікуваними цілям, необхідні наступні кроки:

- спроектувати систему для симуляції процесу, яка в свою чергу має можливість:
 - застосування методів виявлення країв, деякі з яких потребують регулювання параметрів;
 - симуляція інтерактивності;
- провести порівняння різних варіацій алгоритмів виявлення границь.
- проаналізувати поведінку цих методів та залежність від певних факторів та випадків використання.

- оцінити загальну роботу процесу та його аналізу.

Основою для програмної реалізації виступила мова програмування Python, модулі для роботи із математичними обчисленнями NumPy, для програмної побудови інтерактивного вікна Tkinter та для роботи із зображеннями Cv2 та Pillow.

В рамках досліджень проведено такі експерименти:

- застосування методів для перевірки коректності роботи програми симуляції;
- аналіз зображень (розгляд інтенсивності та насиченості інформації на зображеннях);
- регуляція параметрів відповідних методів для виявлення відносно кращого результату;
- порівняння підібраних коефіцієнтів, та корегованих результатів алгоритмів.
- визначення релевантності методів до окремих випадків використання.

Було проведено порівняння різних методів, але даний експеримент не може бути достатньо об'єктивним, оскільки ефективність та точність навіть алгоритмів, які регулюються, залежить від користувача та його здібностей. Більшість методів поведилися по-різному, тому що специфіка кожного відрізняється не дивлячись на схожість деяких з них, зокрема в даному випадку – це алгоритми Собеля, Робертса та Превітта (рис. 1). З алгоритмом Канні виникає дискомфорт через необхідність підбору правильних параметрів порогів.

Варто відзначити, що незважаючи на попередні результати, використання усіх методів є доцільним для кожного типу зображення окремої ситуації, але класифікація, а точніше асоціативність відповідно до випадку повинна бути визначена або припущена. Найкращим варіантом також неможливо назвати один з алгоритмів, оскільки кожен може мати перевагу у певних аспектах. Однак, якщо алгоритм можна вважати універсальним для всіх випадків, то можна припустити, що це основна прикмета найкращого варіанту, оскільки він універсальний і найкраще пристосовується до різних негативних чинників.

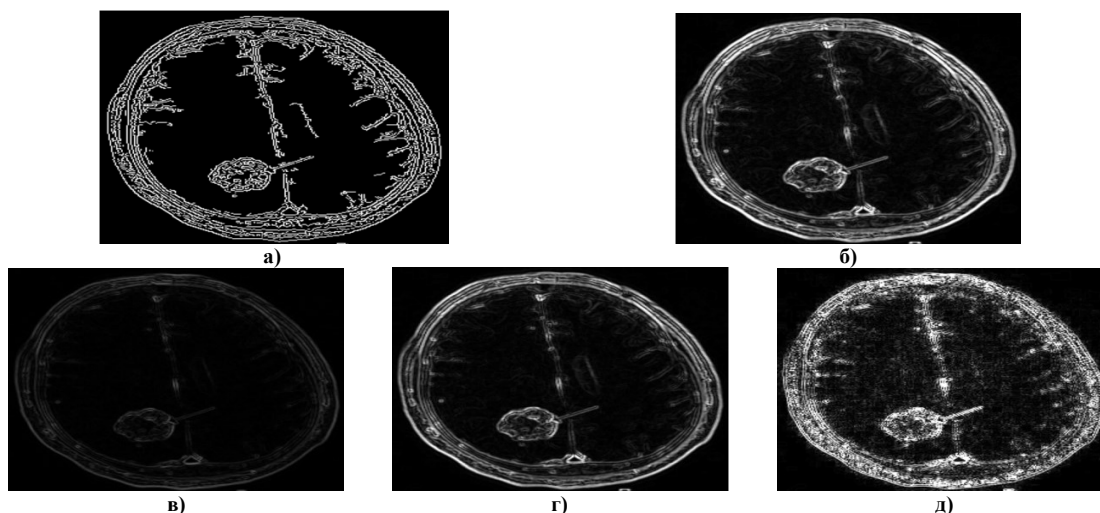


Рис. 1. Результат застосування методів а) Канні; б) Собеля; в) Робертса; г) Превітта; д) Марра для МРТ-зображення

Дуже складною є проблема оцінки результатів, отриманих різними методами з різними параметрами. Були проведені широкі дослідження щодо створення багатьох різних підходів і алгоритмів для сегментації зображень, але все ще важко оцінити, чи дає один алгоритм більш точний результат, ніж існуючі алгоритми.

Вибрані основними показники якості зображення (IQM) – це показники якості, які використовуються для оцінки систем зображення або методів кодування/обробки. Одним із прикладів вимірювання якості на основі країв є показник Пратта. Оцінювання точності відбувається завдяки визначенню кількості правильних пікселів країв за зміщенням виявлених країв від ідеального.

Завдяки отриманим результатам побудовано графіки залежності експерименту від алгоритму (рис. 2, 3), але, незалежно від випадку використання (типу наявної проблеми).

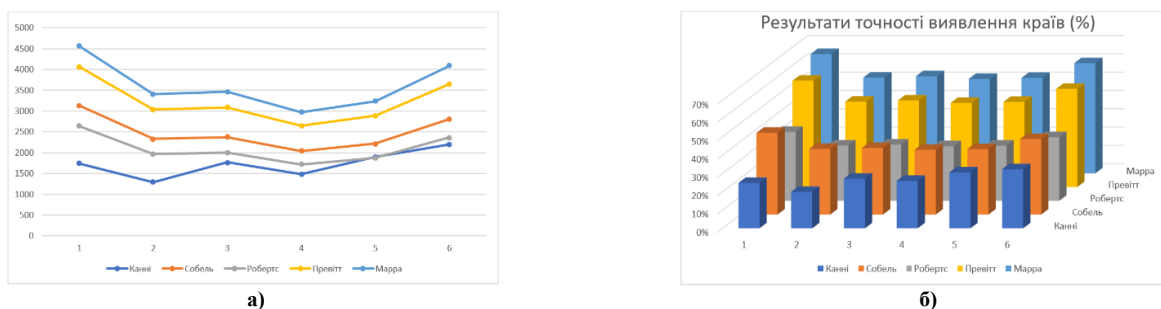


Рис. 2. Результати точності виявлення країв для різних експериментів: а) кількість вірних пікселів; б) у відсотковому представленні

Висновки

Порівнюючи результати, отримані у експериментах, визначено асоціативність використання методів відносно ситуації. Детектор Канні є найпопулярнішим та часто вважається найкращим, та він є просто найбільш універсальний. В міру своєї гнучкості, алгоритм потребує практичних навичок використання, оскільки часто вимагає уміння визначати коректні пороги інтенсивності. З виявлених країв зображення при проведенні експериментів встановлено, що цей алгоритм використовує покращений шаблон виявлення і отримав результат з 100% інтенсивністю у порівнянні з методиками фільтрів Собеля, Превітта та Робертса. Цей алгоритм має потужніші можливості пошуку країв і більш повні межі. Використання алгоритму найефективніше у випадках коли потрібно побачити чітку форму твердих елементів тіла (кісток, хрящів тощо) та/або їх деформації.

Оператори Собеля, Робертса і Превітта між собою відрізняються лише формою та значеннями ядра, а отже порівнювати їх можна групою з іншими. Перший використовується у алгоритмі детектора Канні, тому ймовірно можна замінити його на два інші. Інтенсивність виявлення та інформаційна цінність у них значно відрізняється. Ці методи краще використовувати для виявлення дефектів глибоко у органах чи просто у тілі, для виявлення пухлин, виділення їх контурів форм та згинів тощо. Виявлення відбувається так, що вони зосереджують інформацію, яка потрібна для діагностики затінюючи те, що далі чи те, що перед ними.

References

1. Awalludin E. A., Hitam M. S., Yussof W.N J H. W., Bachok Z. Modification of canny edge detection for coral reef components estimation distribution from underwater video transect, 2017 IEEE International Conference on Signal and Image Processing Applications (ICSIPA), 2017, pp. 413-418, doi: 10.1109/ICSIPA.2017.8120646.
2. Shichun P., Jian L. & Guoping Y. Medical image edge detection based on EMD method. Wuhan Univ. J. Nat. Sci. 11, 1287–1291 (2006). <https://doi.org/10.1007/BF02829253>
3. Mittal M. et al. An Efficient Edge Detection Approach to Provide Better Edge Connectivity for Image Analysis, in IEEE Access, vol. 7, pp. 33240-33255, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2902579.
4. Kim M., Lee B.-D. A Simple Generic Method for Effective Boundary Extraction in Medical Image Segmentation, IEEE Access, vol. 9, p. 103875–103884, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3099936.
5. Muthukrishnan R. Edge Detection Techniques For Image Segmentation. International journal of computer science and information technology, 2011, vol. 3. P. 259-267. 10.5121/ijcsit.
6. Gudmundsson M., El-Kwae E.A., Kabuka M.R. Edge detection in medical images using a genetic algorithm. IEEE Trans Med Imaging. 1998 Jun; 17(3):469-74. doi: 10.1109/42.712136. PMID: 9735910.

ХАРЖЕВСЬКИЙ Антон

Хмельницька гімназія №1 ім. В.Красицького

<https://orcid.org/0000-0003-0911-7881>e-mail: a.kharzhevskiy@gmail.com**ГОРЯЩЕНКО Сергій**

Хмельницький національний університет

<https://orcid.org/0000-0001-6623-2523>e-mail: gsl7@ukr.net**ХАРЖЕВСЬКИЙ В'ячеслав**

Хмельницький національний університет

<https://orcid.org/0000-0003-4816-2781>e-mail: kharzhevskiy@khnmu.edu.ua

ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКЦІЇ ТА ПАРАМЕТРІВ КОЛІС ПРИ ПРОЄКТУВАННІ ШАСІ РОБОТИЗОВАНОЇ ПЛАТФОРМИ ЗАСОБАМИ SOLIDWORKS SIMULATION

В роботі розглядаються питання проєктування роботизованої платформи для ближньої розвідки територій, зокрема – питання вдосконалення конструкції коліс та науково-обґрунтований вибір їх параметрів. Задача була розв'язана шляхом перевірки запропонованої в роботі конструкції на міцність, що для випадку деталей з пластику вимагає проведення нелінійного статичного аналізу та попереднього визначення величин сил, що діють на колеса у випадку падіння машинки з певної висоти. Показано забезпечення коефіцієнту запасу міцності за критерієм максимальних нормальних напружень. Конструкція реалізована у вигляді комп'ютерної 3D-моделі та виготовлена на 3D-принтері.

Ключові слова: роботизована платформа, розвідка територій, автоматизоване проєктування, комп'ютерне моделювання, нелінійний аналіз.

KHARZHEVSKYI Anton

Khmelnitskyi Gymnasium No. 1 named after V. Krasyskyi

HORIASHCHENKO Serhiy, KHARZHEVSKYI Viacheslav

Khmelnitskyi National University

JUSTIFICATION OF THE DESIGN AND PARAMETERS OF THE WHEELS DURING THE DESIGN PROCESS OF THE CHASSIS OF A ROBOTIC PLATFORM USING SOLIDWORKS SIMULATION

The design of robotic platform for close reconnaissance of territories is a topical scientific and engineering task, that obviously has a dual purpose – both civilian and military. Despite the fact that leading global companies are engaged in the development of such technical systems, it is important to ensure operation in difficult conditions, in particular in the conditions of the need for increased passability that requires the development of an improved design of wheels and a scientifically based choice of their parameters – which was an aim of the paper. The problem was solved by calculating the strength of the design proposed in the work, that for plastic parts requires to conduct a non-linear static analysis, determination of the forces acting on the wheels in case of its falling from a certain height. It was established that the safety factor is sufficient according to the criterion of maximum normal stresses.

The developed new design of wheels for a robotic machine differs from existing designs by an increased diameter and the presence of a tread that significantly increases the passability compared to known prototypes. As a result of the conducted research, it is shown that the cellular structure of the wheel generally increases the strength and rigidity of the wheels. It was also established that despite the increase in the mass of the wheels to ensure the increased passability of the robotic vehicle, the stress value during impact (falling from a height) is reduced due to the proposed rational design of the wheels, while the minimum safety factor according to the criterion of maximum normal stresses is increased. The design is implemented as a computer 3D model and was manufactured using a 3D printer.

Key words: robotic platform, reconnaissance of territories, automated design, computer modeling, nonlinear analysis.

Постановка проблеми

Розробка роботизованих технічних систем, безпілотних апаратів, є безперечно актуальною задачею в нашому сьогоденні в Україні – як для військового, так і цивільного призначення. Одним із таких напрямків є розробка роботизованих машинок. Очевидно, що цілий ряд задач можна розв'язувати за допомогою таких апаратів – пошук у завалах, патрулювання територій, розвідка тощо. Очевидно, що розробкою таких технічних систем займаються в тому числі кращі світові компанії, проте власні розробки можуть бути спрямовані для роботи в конкретних умовах, наприклад – в умовах бездоріжжя, по ґрунтовим дорогам, для чого потрібно забезпечити не тільки задані технічні характеристики, але й забезпечити міцність та відповідну функціональність усіх деталей та вузлів. Проте забезпечення цих характеристик вимагає не тільки проведення конструювання, але й відповідних наукових досліджень, які би обґрунтовували вибір тих чи інших конструктивних рішень.

Аналіз останніх джерел

Загальні питання прикладної робототехніки, що лежать в основі методів побудови сучасних роботів та робототехнічних систем, досить ґрунтовно описані в роботі [1]. В результаті проведеного аналізу літератури з цього напрямку та огляду відомих роботизованих машинок, що розробляються провідними світовими компаніями, встановлено, що проєктування роботизованих машинок для роботи в умовах

бездоріжжя є важливою актуальною науково-технічною задачею. Розглянемо приклади сучасних роботизованих машинок.

“Sand Flea” (робот–«піщана блоха»). Для потреб армії США компанією Boston Dynamics було створено колісного робота-машинку з унікальними характеристиками. Робот має назву “*Sand Flea*” – “Піщана блоха” [2] (рис. 1, а), що несе на борту відеокамеру, рухається та контролюється як звичайний іграшковий автомобіль з дистанційним керуванням, його унікальна функція – стрибати вгору на висоту до 10 метрів –перетворює його на ефективний та зручний апарат для розвідки. Спочатку машинка “встає дибки”, а потім стрибає, відштовхуючись поршнем у своїй задній частині: оператор може регулювати кут старту і висоту стрибка. Для стрибка ця машинка використовує поршень зі стиснутим вуглекислим газом. Бортова система стабілізації тримає її в рівновазі під час польоту, а також для орієнтування в просторі.

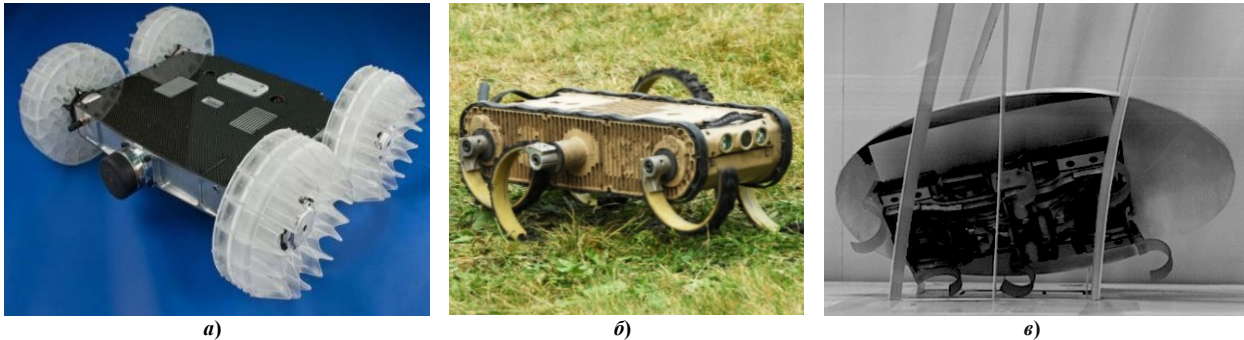


Рис. 1. Приклади відомих роботизованих машинок: “*Sand Flea*”, розробка Boston Dynamics (а), машинка RHex, Boston Dynamics (б), робот-тарган, розробка Каліфорнійського університету (в)

На машинці встановлена камера, яка оснащена видимим та інфрачервоним підсвічуванням і робить знімки з роздільною здатністю 1280х960 пікселів, а також передає відео в реальному часі. На одній зарядці вона може стрибнути 25 разів. Головний плюс машинки: за допомогою своїх маленьких габаритів робот-блоха може пролізти в невеликі щілини, що допомагає їй досліджувати територію або навіть використовувати її для порятунку людей. Під час руху та посадки, рухи контролюються системою стабілізації. Головний мінус: одного заряду акумулятора вистачає лише приблизно на 2 години, тому на даний момент вона не зможе брати участь у довгих спецопераціях або розслідуваннях. Розробники у компанії Boston Dynamics вважають, що окрім військового призначення, машинка також може використовуватись в поліцейських операціях, може працювати для служб надзвичайних ситуацій, а також брати участь в археологічних дослідженнях.

Машинка RHex (робот-тарган) [2]. Машинка RHex розроблялась на замовлення військових для ведення розвідки та прихованого спостереження. Робот представляє собою розвідника, який може працювати в радіусі 700 метрів від оператора та має повністю герметичний корпус (рис. 1, б). Незалежно від місця приземлення, йому вдається тримати баланс, стабільність – це найважливіша характеристика таких роботів. Сучасні роботи компанії Boston Dynamics, як і раніше, переміщуються на шести лапках-педалях, що підтверджує те, що RHex став важливим прикладом для наступних поколінь роботизованих машинок. Робот RHex допомагає проводити дослідження за допомогою вбудованої камери, яка дозволяє бачити те саме, що і робот в режимі реального часу. Від часу створення, цей робот завжди був популярним і вважався однією з найкращих розробок компанії Boston Dynamics. Існує також «амфібійна» (плаваюча) модифікація RHex, що відрізняється наявністю ніг з вуглепластику, які можуть гнутись на 120 градусів, за рахунок чого досягається більша швидкість. До недоліків такої конструкції слід віднести не тільки збільшене енергоспоживання, але також ускладнення систем керування та програмного забезпечення.

Робот-тарган – розробка Каліфорнійського університету [3]. Інженери з Каліфорнійського університету виготовили мініатюрного робота, який може долати перешкоди, не використовуючи додаткових датчиків для аналізу оточення. Взявши за приклад справжнього таргана, дослідники забезпечили робота овальним «панциром», який дозволяє йому виплутуватись із важких ситуацій (рис. 1, в). «Розумних» роботів, що долають перешкоди зазвичай оснащують різними датчиками, камерами, далекомірами та інтелектуальними системами побудови картини навколишнього простору, а складні алгоритми визначають найкращий шлях, яким можна пройти через місцевість. Але, як пояснюють автори роботи [3], за наявності великої кількості перешкод, розмір яких можна порівняти з розмірами самого робота, такий підхід починає викликати серйозні труднощі. Робот має обтічну форму, що не дає їм зачепитися за перешкоди – в результаті без будь-яких додаткових датчиків і змін у алгоритмі, він досить ефективно пробивається крізь сторонні предмети, на відміну від звичайних повільних роботів, які вмюють пересуватись поверхнею.

Мета роботи полягає в розробці вдосконаленої конструкції роботизованої платформи для ближньої розвідки території та знаходження технічних рішень, що дозволили би їй працювати в умовах бездоріжжя, а також проведення науково-обґрунтованого вибору її параметрів, зокрема – конструкції коліс.

Виклад основного матеріалу

Проведення комп’ютерного моделювання колеса роботизованої машинки. В якості прототипу для проведення досліджень та відповідно удосконалень конструкції вибрано роботизовану машинку «*Sand*

Flea» (робот-блоха), що описана вище. Для проекрованої платформи в майбутньому планується забезпечити функціональність стрибання, що є важливою з практичної точки зору, проте використання існуючої робомашинки у важких умовах, що вимагають її підвищеної прохідності, є обмеженим, зважаючи на конструкцію коліс. Отже, у даній роботі буде проведено розробку нової конструкції коліс, що дозволить збільшити прохідність, зберігаючи ті позитивні характеристики, що вже закладені в конструкцію прототипа.

Розглядаючи конструкцію стандартного колеса «робота-блохи», слід відзначити, що воно не має протектора, а представляє собою практично гладку пластмасову поверхню. Для підвищення прохідності пропонується максимально збільшити їх діаметр, а до того ж – сформувати на їх поверхні протектор. До цікавих відомих конструктивних рішень коліс «робота-блохи», на які ми звернули увагу, слід віднести наступне: 1) колеса мають бокову підтримку у вигляді шипів, що дозволяє машинці прийняти горизонтальне положення у випадку падіння на бік; 2) колеса мають комірчасту структуру, що дозволяє ефективно перерозподіляти напруження, що виникають у колесі під час динамічних навантажень (ударів).

Отже, поряд зі збереженням відомих переваг конструкції коліс «робота-блохи», вона була удосконалена, зокрема – нами була розроблена наступна модель колеса машинки (рис. 2).

В якості матеріалу моделі було призначено пластик “ABS”, що використовувався під час 3D-друку для виготовлення коліс. Моделювання проведено у системі SOLIDWORKS, з використанням методів, описаних у [4]. Для визначення маси спроектованого колеса було використано вбудований інструмент SOLIDWORKS – Evaluate, Mass Properties. Крім маси колеса у 102,24 г., було визначено також інші його параметри – об’єм, площу поверхні, центр мас, головні осі та моменти інерції деталі. Зазначені параметри можуть використовуватись при проведенні кінематичних та динамічних розрахунків. Розроблене колесо було виготовлено шляхом аддитивного друку – з використанням 3D-принтера, в якості матеріалу було використано пластик ABS. Виготовлену модель колеса показано на рис. 3.

Для порівняння, розглянемо також колесо, що стандартно використовується у роботизованих машинках, які проектується у навчальних цілях: 3D-модель цього стандартного колеса було знайдено на інтернет-ресурсі <http://grabcad.com> та показано на рис. 6, а. На відміну від розробленої нами конструкції, зовнішній діаметр цього колеса складає 70 мм (наша модель – 100 мм), бокова підтримка тут відсутня, протектор не призначений для роботи у важких умовах.

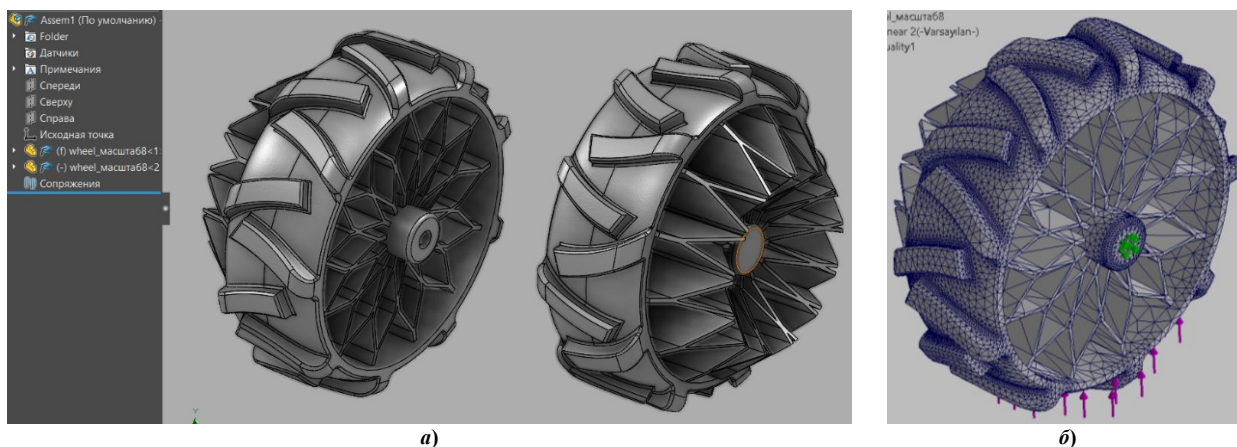


Рис. 2. Розроблена комп’ютерна модель колеса у SOLIDWORKS (а) та її розбиття сіткою методом скінченних елементів (б)

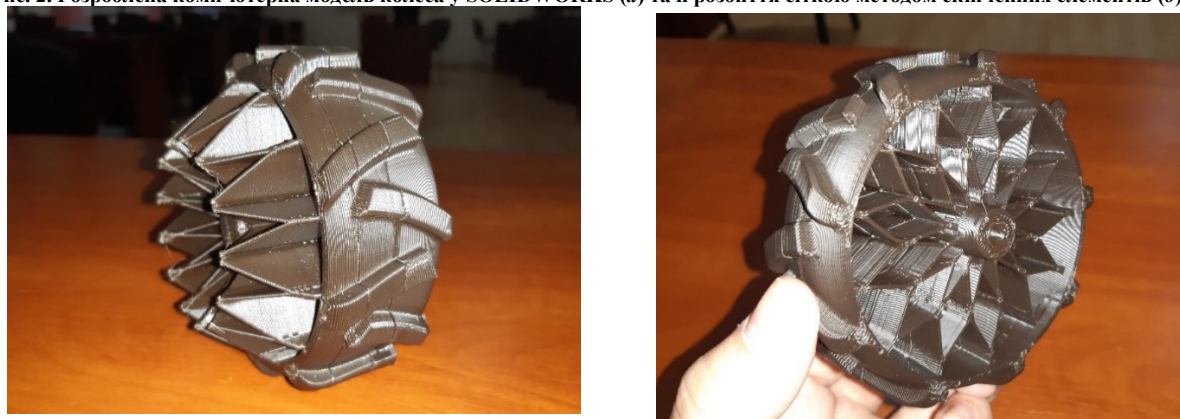


Рис. 3. Виготовлена модель колеса робомашинки на 3D-принтері

Оскільки в майбутньому планується модернізувати розроблену платформу, причому для прототипа *Sand Flea* (робота-блоха, що розглядалась вище) характерною є функціональність «стрибати» на значні висоти, то можна змоделювати падіння машинок різних конструкцій з висоти 3 метри і порівняти міцність, визначивши напруження, що при цьому будуть виникати в колесах базової та вдосконаленої конструкцій.

Для проведення розрахунків використаємо систему інженерного аналізу SOLIDWORKS Simulation,

що є окремим додатком до системи комп'ютерного моделювання SOLIDWORKS. Моделі коліс, які ми розглядаємо, виготовлені з пластику, що не є пружним матеріалом, і який не підкоряється закону Гука, тому провести класичний статичний аналіз методами опору матеріалів тут не можна – отримані результати не будуть коректними. Отже, необхідно провести нелінійний статичний аналіз, з використанням SOLIDWORKS Simulation.

Розрахунок ударних навантажень. Для складання математичної моделі необхідно спочатку визначити сили, які будуть діяти на колесо у випадку його удару об поверхню. При цьому варто відрізнити два випадки: 1) удар на «абсолютно пружній» поверхні, що не передбачає проникнення колеса у поверхню, наприклад удар об бетонну поверхню (в англійській термінології, що використовується у SOLIDWORKS Simulation цей вид взаємодії називається “no penetration” – “без проникнення”); 2) удар об поверхню «з проникненням» колеса (наприклад, в ґрунт). Відмінність полягає в тому, що в другому випадку сила удару буде частково гаситись самою поверхнею. Розрахунок можна провести відповідно до закону збереження енергії (потенційна енергія перетворюється в кінетичну). Як видно з рис. 4, для розрахунку сили удару необхідно задатись масою деталі $m = 0,102$ кг, висотою падіння $h = 3$ м, тоді можна отримати швидкість колеса:

$$v = \sqrt{2gh} = \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 3} = 7,672 \text{ м/с.} \quad (1)$$

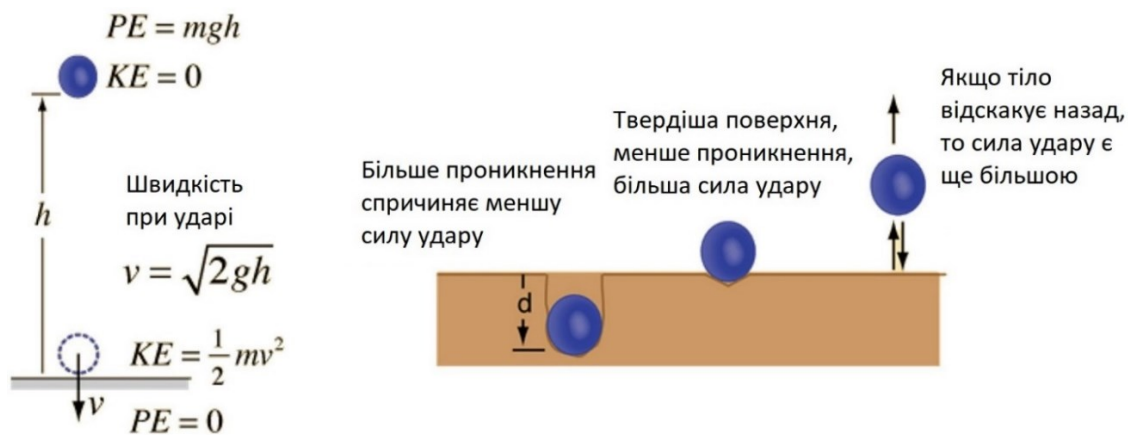


Рис. 4. Схема до розрахунку сили удару [5]

Розрахуємо величину кінетичної енергії KE :

$$KE = mv^2/2 = 0,102 \cdot 7,672^2/2 = 3,002 \text{ Дж.} \quad (2)$$

Силу удару тоді можна розрахувати, якщо задатись величиною відстані d , на яку тіло (колесо) буде занурене у поверхню в результаті удару (рис. 4). Розглянемо випадок наявності ґрунту, у який колесо масою $m = 0,102$ кг, падаючи з висоти 3 м, заглиблюється на величину, наприклад, $d = 2$ см. Тоді силу удару можна розрахувати наступним чином [5]:

$$F = KE/d = 3,002/0,02 = 150,1 \text{ Н.} \quad (3)$$

Розглянемо другий випадок – поверхня, на яку падає колесо є абсолютно пружною, і проникнення у неї немає зовсім – $d = 0$ мм. Відповідно, до формул (1)-(3), величина сили прямувала би до нескінченності $F \rightarrow \infty$. В такому випадку для розрахунку сили удару використовують інші закономірності, що враховують час t взаємодії (удару) між тілом та поверхнею. Задатись величиною цього часу можна лише наближено і однозначних рекомендацій з цього питання немає, оскільки ця величина практично залежить від багатьох параметрів, то проведемо наступний розрахунок: визначимо силу удару для випадку 1 – для обох типів коліс (базової конструкції та удосконаленої), та визначимо величини напружень, що будуть виникати в кожному з цих коліс під час удару об поверхню. При цьому, які б ми не отримали величини напружень для випадку 2 для коліс обох конструкцій, співвідношення цих напружень для коліс обох типів, ймовірно, будуть однаковими як для випадку 1, так і для випадку 2. Тобто, отримані результати можна екстраполювати на випадок умовно абсолютно жорсткої поверхні, об яку відбувається удар.

Розрахунок на міцність колеса удосконаленої конструкції. Розглянемо колесо удосконаленої конструкції (рис. 2), завантажене у середовище SOLIDWORKS. Розрахунок на міцність будемо проводити методом скінченних елементів, в основі якого лежать числові розрахункові методи [6]. Для проведення розрахунків цим методом об'ємна деталь розподіляється на об'ємні тетраедри, для кожного з них, у вершинах, будуть розраховуватись переміщення та величини напружень, що будуть виникати під дією сил. Для створення сітки було використано адаптивний варіант розбиття – у місцях більшої кривизни, за наявності мілких елементів – створювалась більш мілка сітка (рис. 2, б).

Для проведення розрахунків на міцність будемо використовувати тип розрахунку – нелінійний статичний, матеріал деталі – пластик ABS. Неможливість проводити розрахунок з використанням звичайного статичного аналізу впливає з того, що матеріал колеса не є пружним, не підкоряється закону

Гука. Отже, є необхідність у проведенні нелінійного статичного аналізу. Розробка математичної моделі включала встановлення закріплень, розташування сил, та проводилось відповідно до рекомендацій, що надані в роботах [6-8] для випадку нелінійного статичного аналізу.

Отже, у розробленій математичній моделі були використані наступні початкові дані математичної моделі: 1) закріплення: по посадочній поверхні маточини, що таким чином умовно вважається абсолютно нерухомою; 2) навантаження – сила удару $F = 150,1 H$, що діє на нижню поверхню колеса. Результат проведеного розрахунку показано на рис. 5. Як видно з отриманих результатів, максимальне напруження на колесо, при силі удару $150,1 H$ становить $\sigma = 14,8 MPa$, а максимальна розрахункова деформація колеса – $0,1 mm$.

Одним з найважливіших результатів проведених розрахунків є коефіцієнт запасу міцності: значення більше одиниці, означають, що деталь спроможна працювати у вказаних умовах та може витримати зовнішні навантаження. Для нелінійних розрахунків, як відомо, є можливість розрахувати коефіцієнт запасу міцності за критерієм максимальних нормальних напружень. Відповідні розрахунки були також проведені у системі інженерного аналізу SOLIDWORKS Simulation. В результаті, було встановлено розподіл коефіцієнтів запасу міцності в колесі, як показано на рис. 5, б, причому, як видно, мінімальне значення складає 1,48, що дозволяє стверджувати щодо працездатності розробленої моделі.

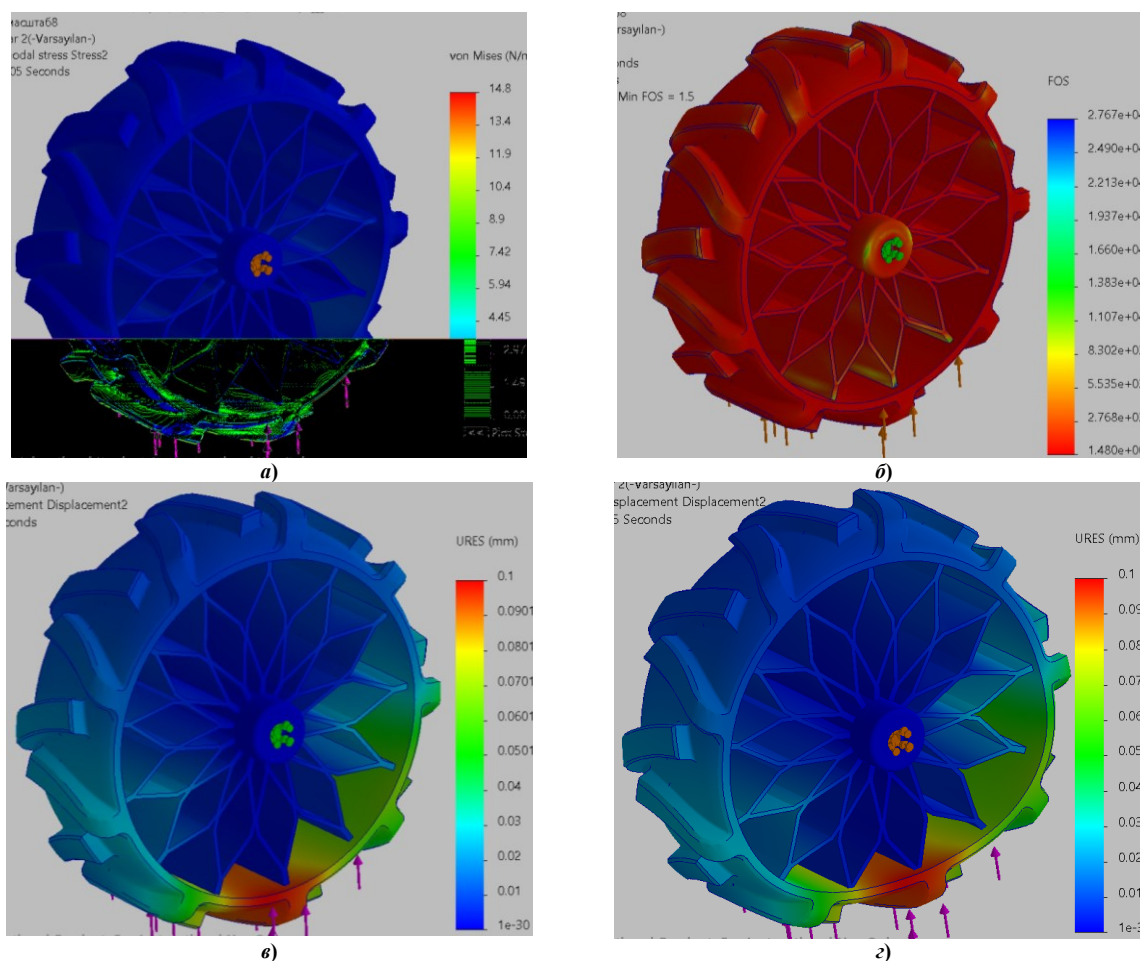


Рис. 5. Результати проведеного розрахунку: напруження за Мізесом, МПа (а); розподіл коефіцієнту запасу міцності у колесі розробленої конструкції (б); розподіл переміщень під дією навантаження від удару: масштаб деформацій – 1:1 (в); масштаб деформацій – 50:1 (г)

Розрахунок на міцність колеса стандартної конструкції. Для порівняння, розглянемо колесо стандартної конструкції, яке зображено на рис. 6, а. Аналогічно до попереднього випадку, відповідно до методу скінченних елементів, спочатку проводимо розбиття колеса на скінченні елементи – об'ємні тетраедри, розмір яких встановлюємо залежно від кривизни геометрії моделі, мілкі елементи моделі мають бути розбиті більшою кількістю тетраедрів – для підвищення точності розрахунків. Результат розбиття показаний на рис. 6, б.

Перед проведенням інженерного аналізу моделі, з метою визначення напружень, переміщень та відповідно – коефіцієнта запасу міцності, попередньо необхідно визначити силу удару, яка буде діяти на колесо в момент зіткнення з поверхнею. Для цього, спочатку визначимо масу моделі: аналогічно, як і в попередньому випадку, стандартними засобами SOLIDWORKS (Evaluate – Mass Properties), результати показані на рис. 6, в.

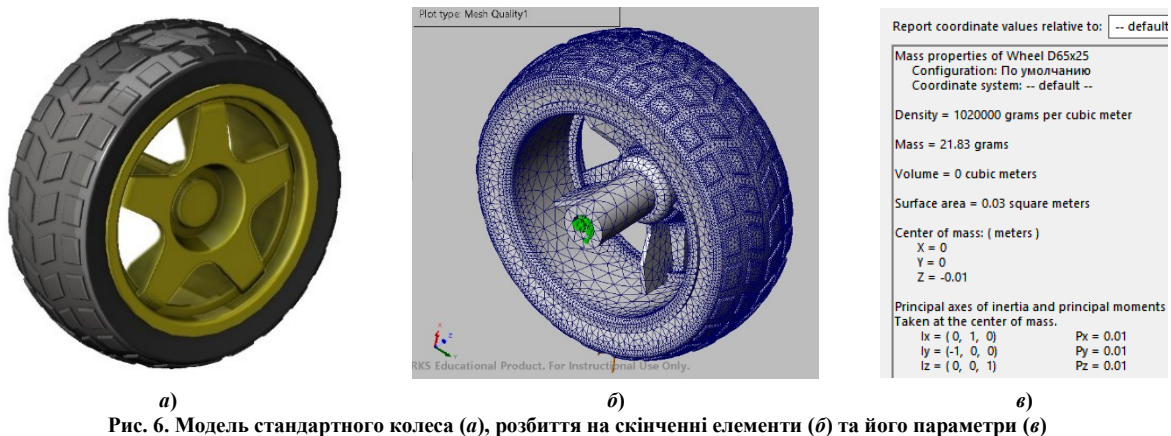


Рис. 6. Модель стандартного колеса (а), розбиття на скінченні елементи (б) та його параметри (в)

Для визначення величини сили удару, скористаємось тими ж формулами (1)-(3), які розглядали раніше. У зазначені формули підставляємо розраховану масу колеса $m = 0,022$ кг, аналогічну висоту падіння – $h = 3$ м, а шлях руху деталі після удару (глибину занурення) – розраховуємо пропорційно масі стандартного колеса відносно розробленого і розглянутого раніше: $d = 0,02 \cdot 0,022 / 0,102 = 4$ мм. Тоді величина сили удару:

$$F = mgh/d = 0,022 \cdot 9,81 \cdot 3 / 0,004 = 161,87 \text{ Н.} \quad (2.4)$$

Результати проведених розрахунків показані на рис. 7. Як видно з отриманих результатів, максимальне напруження на колесо, при силі удару 161,87 Н становить $\sigma = 22,2 \text{ МПа}$ – що перевищує у 1,5 рази напруження, що виникають при ударі спроектованого нами колеса, яке розглядалось вище.

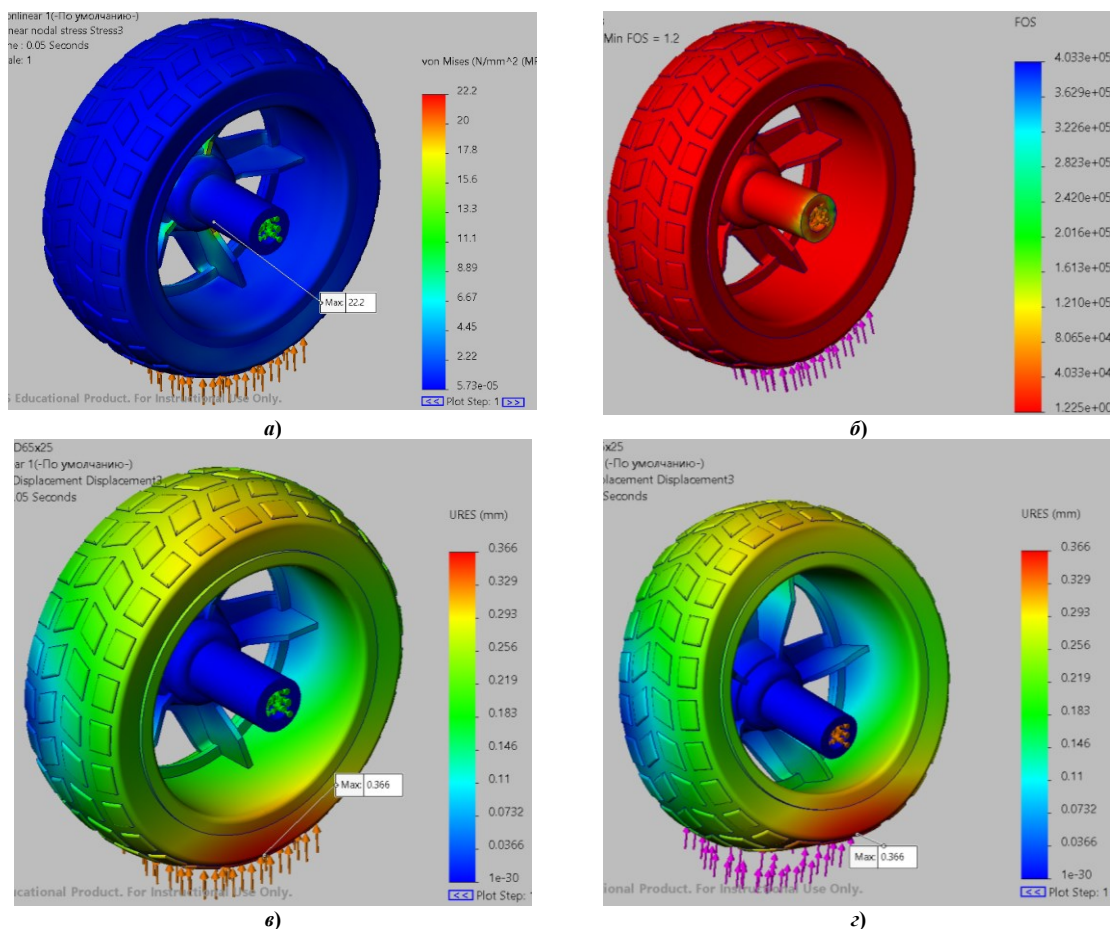


Рис. 7. Результати досліджень: напруження у колесі за Мізесом, МПа (а); коефіцієнти запасу міцності (б); переміщення під дією навантаження: масштаби деформацій – 1:1 (в); 50:1 (г)

На рис. 7, в, г показано розподіл отриманої максимальної розрахункової деформації стандартного колеса та її максимальне значення – 0,366 мм, що перевищує відповідне значення для спроектованого нами колеса, яке розглядалось раніше – 0,1 мм.

Отже, порівняння результатів, отриманих для різних конструкцій і показаних на рис. 5 та рис. 7,

показує більшу жорсткість розробленого нами колеса порівняно зі стандартним. Як зазначалось вище, при проведенні статичного нелінійного розрахунку є також можливість розрахувати коефіцієнт запасу міцності – за критерієм максимальних нормальних напружень. Результати відповідних розрахунків показано на рис. 7, б. Як видно з отриманих результатів, колесо розробленої нами конструкції забезпечує більший коефіцієнт запасу міцності порівняно зі стандартним колесом (1,48 проти 1,225), і при цьому забезпечує більшу жорсткість та менші напруження, що у свою чергу забезпечує більшу його надійність та довговічність.

Проектування робомашинки. Використовуючи розроблену конструкцію, методом 3D-друку було загалом виготовлено 4 таких колеса, а на їх основі – прототип роботизованої машинки (рис. 8), що приводиться у рух 4-ма двигунами, містить елементи живлення, а також основу (корпус), що спроектований у вигляді 3D-моделі в системі автоматизованого проектування Autodesk Fusion 360, що була виготовлена на спеціалізованому обладнанні шляхом лазерної різки. При проведенні моделювання використовувались методи, запропоновані в роботах [9, 10].

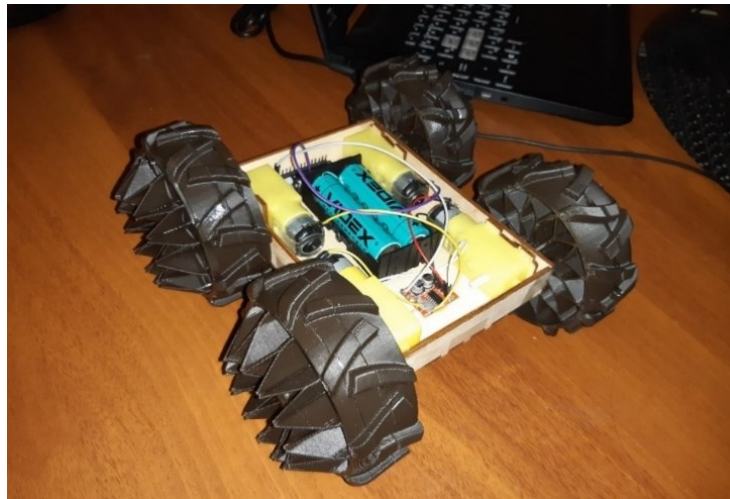


Рис. 8. Розроблена модель роботизованої платформи

Розроблена модель показала свою працездатність і може служити основою для подальших конструктивних покращень та функціональних удосконалень. Основна новація даної моделі – колеса спеціальної конструкції, що мають переваги робота-блоха (*Sand Flea*), і разом з тим дозволяють такій машинці мати значно більшу прохідність, забезпечуючи при цьому достатній рівень міцності та жорсткості коліс, що безумовно має значне практичне значення.

Висновки

В результаті проведених досліджень розроблено нову конструкцію коліс для роботизованої платформи, що відрізняється від існуючих конструкцій збільшеним діаметром та наявністю протектора, що значно збільшує прохідність порівняно з прототипом. Конструкція реалізована у вигляді комп'ютерної 3D-моделі та виготовлена на 3D-принтері. Встановлено закономірності для визначення сил, які діють на колесо під час удару з певної висоти. У системі SOLIDWORKS Simulation проведені розрахунки спроектованого колеса на міцність та жорсткість, визначено коефіцієнт запасу міцності. Оскільки матеріал не є пружним (пластик ABS), виникла необхідність у проведенні нелінійного статичного аналізу. Для порівняння, було проведено аналогічний розрахунок для стандартного колеса, що використовується при проектуванні машинок навчального призначення. Шляхом проведення числового експерименту встановлено, що при однакових початкових умовах спроектоване колесо забезпечує більший коефіцієнт запасу міцності. Проведено виготовлення прототипу робомашинки, для чого виготовлено всі 4 колеса та корпус, попередньо змодельований у системі 3D-моделювання Autodesk Fusion 360. Розроблену конструкцію коліс та роботизовану машинку в цілому рекомендується до використання в умовах необхідності підвищеної прохідності, на відміну від існуючих аналогів. Подальші дослідження плануються продовжити в напрямку вдосконалення конструкції корпусу, а також встановлення додаткового обладнання, що розширить її функціональність щодо ближньої розвідки територій.

References

1. Reza N. Jazar. Theory of applied robotics : kinematics, dynamics, and control [Third ed.], Springer, 2022. – 836 c.
2. Boston Dynamics. LEGACY ROBOTS. The robots that built the groundwork for today's portfolio [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.bostondynamics.com/legacy>.
3. US Army funds horrifying morphing robot cockroach [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.wired.co.uk/article/robot-cockroach-study>
4. Howard W., Musto J. Introduction to Solid Modeling Using SOLIDWORKS 2022 [18 ed.], McGraw Hill, 2022. – 432 c.
5. Georgia State University. Department of Physics and Astronomy. HYPERPHYSICS [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/flobi.html>.

-
6. Mustapha K. Practical Finite Element Simulations with SOLIDWORKS 2022: An illustrated guide to performing static analysis with SOLIDWORKS Simulation, Packt Publishing, 2022. – 480 c.
 7. Verma G. SolidWorks Simulation 2017 Black Book [4th ed.], 2016. – 479 c.
 8. Kurowski P. Engineering Analysis with SOLIDWORKS Simulation 2018, CRC Press. – 600 c.
 9. Coward C. A Beginner's Guide to 3D Modeling: A Guide to Autodesk Fusion 360, No Starch Press, 2019. – 152 c.
 10. Sachidanand J. Autodesk Fusion 360 Exercises – 200 Practice Drawings For Fusion 360 and Other Feature-Based Modeling Software, University of KwaZulu-Natal, 2019. – 113 c.

ХОДЯЧИЙ Владислав

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
vladhod22@gmail.com

НИКІТИН Олександр

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
vargin_@ukr.net

СЕНСОРИ ПОТОКІВ СИПКИХ МАТЕРІАЛІВ

В таких галузях промисловості, як харчова, аграрна, фармацевтична, металургійна, хімічна, гірнична тощо, необхідним є визначення масових і об'ємних витрат та кількості сипкого матеріалу, наприклад, зерна, круп, борошна, а також специфічних складових хімічних та фармакологічних матеріалів, цементу та багатьох інших. Засоби вимірювання витрат і кількості сипких матеріалів є необхідними і обов'язковими складовими в системах автоматизації сучасних виробничих процесів вказаних галузей промисловості. Без використання засобів вимірювання витрат сипких матеріалів не можливо налагодити випуск продукції потрібної якості і конкурентної спроможності. Ось чому питання, пов'язані з розробкою, експериментальним дослідженням та використанням вказаних витратомірів є досить актуальними і науково спроможним.

В статті розглянуті основні види сенсорів, які можуть бути використанні в якості засобів вимірювання витрат сипких матеріалів, а саме круп та зерна. Був проведений огляд і аналіз останніх публікацій як вітчизняних, так і англomовних науково-технічних видань. На даний час розглянуті типи сенсорів мають практичне застосування. Розглянуті схеми сенсорів можуть входити до складу сучасних витратомірів, принципи дії яких базуються на різних принципах і фізичних законах.

Результати проведеного огляду і аналізу сенсорів потоків сипких матеріалів планується в подальшому використати для створення комп'ютерно-інтегрованої системи ідентифікації параметрів потоків сипких матеріалів, яка дасть змогу більш варіативно використовувати автоматизовані системи керування технологічними процесами, в яких робочім тілом є круп та зерно.

Ключові слова: сенсори, витратоміри, сипкий матеріал, круп, зерно.

KHODIACHIIY Vladislav, NIKITIN Olexander

National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»

SENSORS OF FLOWS OF BULK MATERIALS

In such branches of industry as agriculture, pharmaceutical, metallurgical, chemical, mining, and a number of others, it is necessary to determine the mass consumption and amount of loose material, grain, cereals, flour, specific components of chemical and pharmacological materials of cement, and the mass of others. Ways of measuring the consumption and amount of loose materials are a necessary component in the automation systems of modern production processes of the specified industries. Without the use of devices for measuring the consumption of loose materials, it is impossible to improve the production of products of the required quality and competitiveness. That is why issues related to the development, experimental research and use of these flowmeters are quite relevant.

Production automation is one of the leading areas of scientific and technological progress. With the change or improvement of production technologies, the introduction of new types of equipment, the automation of production processes requires the development of specific methods and device of measurement. Most of the latest methods of measuring the consumption of bulk material allow you to automate the production process, which in turn makes it possible to reduce the cost of the product. The article considered the main types of sensors that can be used as part of ways of measuring the consumption of loose materials, such as cereals and grains. An analysis of the latest publications was made, both in domestic and in English-language publications. The considered sensors can be part of modern flow meters, the principles of which are based on various measurement methods.

According to the fundamental of operation, flowmeters are divided into continuous and discrete, as well as mass and volumetric. The most common flowmeters are those that record flow using strain gauges. As accuracy and compact size allow you to use them in different conditions and with different loose materials. In the article, a lot of attention was paid to impact flowmeters. Based on the analysis of the fundamental of operation of flowmeters, the direction of development of flowmeters with the use of modern technologies to level the influence of flow characteristics on measurement errors will be promising. The results of the conducted review and analysis of flow sensors of loose materials are planned to be used in the future to create a computer-integrated system for identification of flow parameters of loose materials, which will make it possible to use automated control systems of technological processes more variably.

Key words: grain flow, consumption of bulk materials, flow meter.

Постановка проблеми

В різних галузях промисловості мають справу з сипкими матеріалами. Перелік сипких матеріалів досить великий. До числа сипких матеріалів входять зерно, круп, вугілля, руда, цукор, сіль, цемент тощо. Ці матеріали відрізняються значною кількістю параметрів і використовуються в різних технологічних процесах в суттєво різній кількості. Однією з основних форм знаходження сипких матеріалів в виробничому обладнанні є його потік, а однією з основних характеристик потоку сипкого матеріалу є витрата.

Тому питання, пов'язані з розробкою та вдосконаленням елементної бази засобів визначення витрат сипких матеріалів, були і залишаються актуальними, особливо з огляду на створення сучасних автоматизованих систем керування технологічними процесами переробки і використання сипких матеріалів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Загальний аналіз публікацій по сипким матеріалам показує, що можна виділити два напрямку робіт: один з яких пов'язаний з дослідженням хімічних, фізичних, вологих та інших властивостей сипкого матеріалу, а другий напрям пов'язаний з визначенням параметрів потоків сипких матеріалів, а саме

швидкості потоку, об'ємної чи масової витрати сипкого матеріалу при різних направленості потоків і з врахуванням конструктивних особливостей технологічного обладнання.

В першому випадку багато уваги в цих темах приділяли вологості сипкого матеріалу. Зокрема можливо виділити таких авторів дослідження, як Бенедицький В.Б., Коренівська О.Л., Морозов Д.С., розглянули питання вологості зерна при його обробці і транспортуванні [1]. Також можна виділити роботи автора Анисимова Л.В., який розглядав розподілення вологи сипкого матеріалу в процесах зволоження і осушення [2]. Також авторами статті яку ви зараз читаете була опублікована робота по визначенню густини сипкого матеріалу у гравітаційному потоці [3].

Серед робіт напрямку витратометрія можна виділити інноваційний метод визначення витрат сипкого матеріалу за допомогою використання нейронної мережі, представленій авторами В. С. Афонин, Д. Е. Кривококов [4]. Дослідження можна розділити на дві підгрупи, в одній розглядають вертикальний рух сипкого матеріалу, а в інших горизонтальний рух сипкого матеріалу. Диктерук М.Г., Кравчук В.Т. і Заслуженний А.С. розглядають в своїх роботах закономірність руху сипкого матеріалу в вертикальному потоці при витоку його з бункерів [5]. В горизонтальному русі сипкого матеріалу можна виділити роботи авторів Криль С.І., Чальцев М.Н. [6], і роботу авторів у медичній сфері Гуляев В.Г., Гуляев И.В. [7].

Серед іноземних авторів, які займалися дослідженням потоків сипких матеріалів можна виділити роботи на тему ударного витратомірів Schrock M.D., Oard D.L., Taylor R.K., Eisele E.L., Zhang N., Suhardjito, Pringle J.L. [8], і роботу по темі вимірювання витрати потоку зерна рентгенологічними методами Selcuk A., Feyzi I., Joseph N.G., Thomas S.C. [9]. Fei Zeng, Qing Wu, Xiuming Chu, Zhangsi Yue в своїй роботі [10] дослідили можливість вимірювати потік сипкого матеріалу за допомогою лазерного сканування на конвеєрній стрічці, що дало змогу зменшити похибку і збільшити швидкість вимірювання чим в других методах. В іншій статті [11] автори H. Navid, R. K. Taylor, A. Yazgi, N. Wang, Y. Shi, P. Weckler, за допомогою лазерного сканування визначали швидкість потоку сипкого матеріалу, і вони дійшли висновка що за допомогою датчика який вони використовували є можливість вимірювати швидкість потоку зерна не більше 5 кг/с з похибкою 2,6%.

Також авторами цієї статті були проведені свої дослідження і експерименти по темі вимірювання витрати сипкого матеріалу на прикладі перлової крупи при витоку її з бункера (сілоса) з використанням тензорезисторного перетворювача, результати цих досліджень представлені в роботах [12–14].

Виклад основного матеріалу

Автоматизація виробництва є одним з провідних напрямів науково-технічного прогресу. Зі зміною чи вдосконаленням технологій виробництва, впровадженням нових типів обладнання, автоматизація виробничих процесів потребує розробки сучасних методів та засобів вимірювань.

З метою ефективного керування технологічним процесом, використовують поняття масових витрат [15]. Масовою витратою Q є кількість речовини, що проходить через поперечний переріз потоку за одиницю часу:

$$Q = \int p v dS, \quad (1)$$

де Q – масова витрата, кг/с; ρ – густина матеріалу (кг/м³); V – швидкість потоку у перерізі, м/с; S – площа потоку у перерізі, м².

Серед засобів контролю масових витрат зерна та круп на млинах, зерносушарках та круп'яних підприємствах використовують автоматичні порційні ваги, стрічкові ваги, вагові дозатори та витратоміри. Проте для забезпечення оперативного керування на підприємствах доцільнішим є застосування автоматичних витратомірів. З перелічених засобів контролю, саме витратомір в повному ступені відповідає таким вимогам оперативного контролю, як:

- безперервна фіксація параметрів витрат Q і кількості сипучого матеріалу;
- охоплення основних визначальних точок, що характеризують процес;
- точність вимірювання та швидкість реагування;
- висока продуктивність.

Для перетворення параметрів потоку сипкого матеріалу в вихідний електричний чи пневматичний відгук використовують різні сенсори. Сенсор – це не первинний вимірювальний перетворювач, який першим взаємодіє з об'єктом вимірювання.

Витратоміри сипких матеріалів в своїй більшості є сукупністю сенсора, ліній зв'язку, підсилювачів, перетворювачів і електронного (електричного чи пневматичного) вимірювального приладу. Інформаційно-вимірювальні канали визначення витрат сипких матеріалів автоматизованих систем керування технологічними процесами закінчуються поданням вихідного електричного (пневматичного) сигналу в систему керування технологічним процесом і на вторинні реєструючі прилади. І в першому і другому випадку, основні експлуатаційні та метрологічні показники вимірювального пристрою і каналу в першу чергу будуть визначатися якістю первинного перетворювача, а саме сенсора.

В технічній літературі, в більшості випадків, витратомірами, з нашої точки зору, помилково називають саме первинні вимірювальні перетворювачі, а саме – сенсори. Для з'ясування окремих положень і має послугувати ця стаття.

Наразі існує безліч методів та конструкцій приладів для контролю витрат сипких матеріалів, однак основними незмінними елементами сучасного витратоміра є: датчик, який перетворює вплив вимірюваного матеріалу на електричний сигнал, інформаційно-вимірювальний канал та вторинний реєструючий прилад.

За принципом дії витратоміри поділяються на безперервної дії та дискретної, а також на масові та об'ємні. Умови технологічного процесу задовольняють витратоміри безперервної дії. За принципом дії сенсора витратоміри безперервної дії класифікуються наступним чином (табл. 1):

Таблиця 1

Витратоміри сипкого матеріалу безперервної дії	
Масові	Об'ємні
Стрічкові Ударні та віброударні Доцентрові Крильчасті та гвинтові На основі порційних ваг	Гвинтові Лопатеві Базуються на вимірюванні геометричних та електричних параметрів потоку

Стрічкові витратоміри з сенсорами витрат стрічкового типу поділяють на такі групи:

- прилади, датчики яких інсталиуються в існуючі транспортери;
- прилади, в яких датчики оснащені самостійними короткими транспортерами.

До першої групи приладів відносять конвеєрні (стрічкові) ваги. Кількість сипкого матеріалу, що знаходиться на стрічці транспортера, є функцією сили тиску цієї стрічки на ролик (рис.1). Масова витрата розраховується як добуток швидкості стрічки та її навантаження, при чому швидкість сипкого матеріалу дорівнює швидкості стрічки, а рухом частинок в шарах можна знехтувати. Основними недоліками, що впливають на похибку вимірювання в таких вагах є натяг стрічки та її жорсткість.

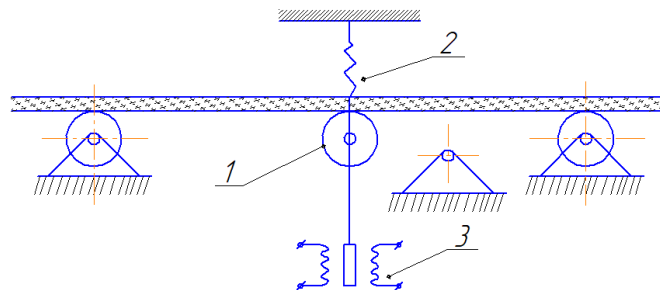


Рис. 1. Схема стрічкового сенсора витрати:

1 – ролик; 2 – врівноважуюча пружина; 3 – вимірювальний елемент: диференційно трансформаторний перетворювач

В другій групі приладів витратомір у вигляді короткого транспортера розташовується на платформі важільних ваг (рис. 2). Сумарний тиск сипкого матеріалу на транспортер при цьому залежить від геометричних та кінематичних параметрів стрічкового транспортера, а також від фізико-механічних властивостей сипкого матеріалу. Щоб спростити цю залежність, швидкість подачі сипкого матеріалу зрівнюють зі швидкістю його руху, а діаметр кінцевого барабану визначають таким чином, щоб при досягненні його вертикального діаметру, потік сипкого матеріалу відривався від стрічки. Щоб зменшити вплив пружних властивостей сипкого матеріалу, щільність потоку при подачі на транспортер має бути вищою. Похибка вимірювання залежить від розташування живильника та складає близько 3% [16].

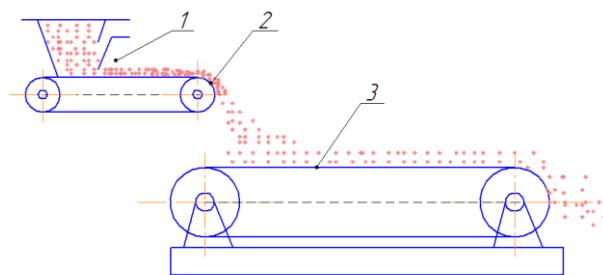


Рис. 2. Схема сенсора витрат з коротким транспортером:

Ударний витратомір. Потік, сформований трубою чи жолобом, напрямлений під певним кутом на жорстку пластину (лоток), що вимірює силу удару цього потоку. Масова витрата при цьому прямо пропорційна силі реакції пластини. Відхилення пластини фіксує тензодатчик, що відправляє сигнал до вторинного приладу, де визначається витрата. Прилад також визначає сумарні витрати у часі, що надає дані про масу пройденого сипкого матеріалу, тобто, функцію ваг безперервної дії.

Використання цього типу витратомірів є доцільним у випадку сталості фізико-механічних властивостей сипких матеріалів. Тобто, швидкість та кут падіння потоку сипкого матеріалу мають бути стабільними. За таких умов похибка вимірювання складає 4%.

Вдосконалений тип ударного витратоміра базується на принципі поворотного спускного жолобу (рис. 3). Спочатку потік сипкого матеріалу зрівнюється за допомогою напрямного жолобу, а після спрямовується на поворотний жолоб. Там він набуває доцентрового прискорення і реакція жолоба на цей вплив передається на ваговий датчик. При цьому похибка знижується до 1-2%.

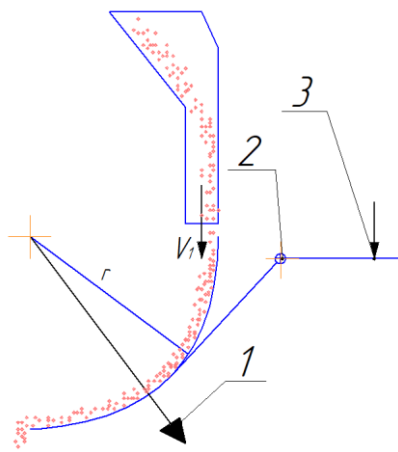


Рис. 3. Схема лоткового витратоміра:
1 – результуючий фактор; 2 – шарнір; 3 – протидіюча сила

насіпну її щільність. Також, як з C-Lever виробник заявляє похибку вимірювань на рівні 0,5% [18].



Рис. 4. Сучасні ударні витратоміри

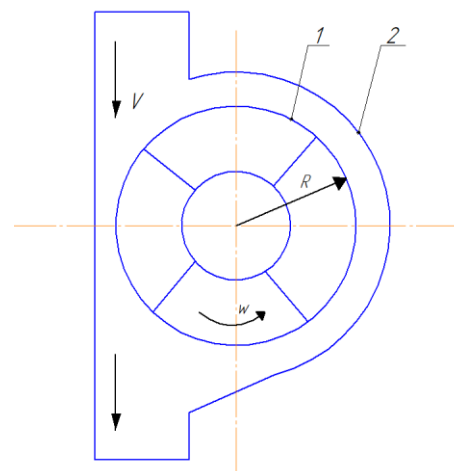


Рис. 5. Схема крильчастого сенсора: 1 – крильчатка; 2 – кожух

Віброударні витратоміри – це змінений вид лоткових витратомірів. Для подачі сипкого матеріалу такі витратоміри мають у своїй конструкції віброповерхню, яка регулює вплив коефіцієнтів тертя на швидкість руху потоку сипкого матеріалу. Оскільки існує залежність між основними параметрами потоку та динамічним коефіцієнтом тертя, використання віброповерхонь в якості датчиків витратомірів не є доцільним.

Крильчасті витратоміри (коріолісові, лопатеві). Потік сипкого матеріалу при потраплянні на лопаті витратоміра, змінює швидкість обертання крильчатки (рис. 5) [19].

Залежність кутової швидкості ω від витрати виражається як:

$$\omega = \frac{V}{R} - \frac{M_{тр}}{QR^2} \quad (2)$$

де V – швидкість потоку сипкого матеріалу, м/с; R – радіус крильчатки, м; $M_{тр}$ – момент сили тертя, Н·м; Q – масова витрата, кг/с.

З рівняння (1) видно, що залежність кутової швидкості від витрати є нелінійною.

Перевагами такого витратоміра є простота та надійність конструкції. Недоліки – нелінійність тарувальної характеристики та значний вплив повітряного потоку на швидкість подачі сипкого матеріалу.

Гвинтовий витратомір працює за принципом вимірювання швидкості, з якою потік сипкого матеріалу обертає гвинт у трубі. Переріз труби повністю заповнений сипким матеріалом, що виступає як гайка по відношенню до гвинта. Основним недоліком такого витратоміра є низька продуктивність та похибка 4%.

Витратоміри на основі порційних ваг. Автоматичні ваги регулюють кількість матеріалу в вантажному пристрої, накопичуючи задану порцію сипкого матеріалу. Після досягання необхідної ваги, потік матеріалу перекривається та порція пересипається в приймальний пристрій. При цьому безперервний потік перетворюється в дискретний.

На похибку вимірювання порційних ваг впливає швидкість та точність відсікання потоку матеріалу. Це можливо здійснити, якщо потік матеріалу буде подаватись тонким струменем, що призводить до збільшення тривалості циклу зважування та зменшення продуктивності ваг в цілому.

Витратоміри, які базуються на вимірюванні електричних параметрів потоку. В ємнісному (поляризаційному) витратомірі вимірювання базується на зміні діелектричної проникності між обкладками

конденсатора, які розташовуються ззовні труби з матеріалом. Проходячи по трубі сипкий матеріал створює токові імпульси, за величиною яких визначають кількість матеріалу. Перевагами такого витратоміру є вимірювання в реальному часі та компактність, однак прилад має низьку продуктивність та похибку 3-5%.

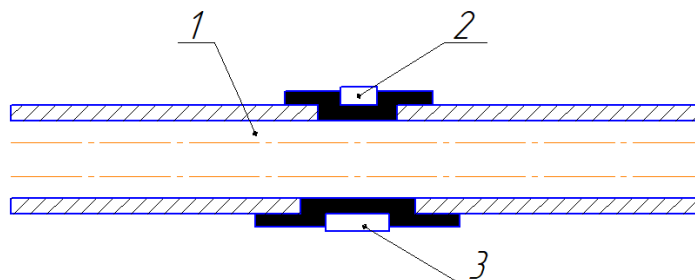


Рис. 6. Гамма-променевий сенсор:
1 – трубопровід; 2 – джерело випромінювання; 3 – приймач випромінювання

Також до цих типів витратомірів відноситься гамма-променевий витратомір (рис. 6). Він працює за принципом поглинання гамма-променів потоком сипкого матеріалу [20].

На протилежних сторонах пневмотруби встановлюють випромінювач та приймач випромінювання, який фіксує послаблення інтенсивності гамма-променів, що пройшли крізь потік матеріалу. На похибку такого витратоміра впливають вологість та густина матеріалу і вона складає 5%.

Трибоелектричний витратомір. Трибоелектричний ефект це поява електричних зарядів у матеріалі через тертя. Є типом контактної електризації, де деякі матеріали стають електрично зарядженими після того, як вони входять у фрикційний контакт з іншим матеріалом. Витратомір служить для вимірювання витрати сипких матеріалів до 100 кг/год на ділянках вільного падіння та в потоці пневмотранспорту. Їхня популярність пояснюється простим монтажем та введенням в експлуатацію, гарним поєднанням ціни та якості. Наприклад витратомір фірми PicoFlow ідеально підходить для промислового застосування, особливо на електростанціях або цементних заводах, де його можна використовувати для регулювання або контролю додаткового реагенту при обробці димових газів: впорскування активованого вуглецю, сорбенту або бурого вугілля. Але також похибка такого витратоміру є великою, що складає 5% [21].

Відцентрові витратоміри базуються на вимірюванні моменту сили дії потоку на лопаті крильчатки, які обертаються електродвигуном. Датчики цих витратомірів можна поділити на 2 типи: з вертикальною віссю обертання крильчатки та з горизонтальною віссю.

В першому випадку матеріал по трубі потрапляє на центральну частину крильчатки, що передає його назовні (рис. 7). Обертання крильчатки навколо вертикальної осі здійснює електродвигун, в якому статор допускає його обертання лише за вертикальною віссю. Поворот статора за дії моменту реактивних сил є пропорційним масовій витраті сипкого матеріалу.

Конструкція витратоміра з горизонтальною віссю обертання крильчатки (рис. 8) передбачає фізичний маятник, утворений з електродвигуна та врівноваженого вантажу. Вісь маятника співпадає з віссю обертання крильчатки. Сипкий матеріал рухається по похилій трубі та потрапляє на крильчатку. Масова витрата при цьому пропорційна куту відхилення фізичного маятника під дією моменту реактивних сил.

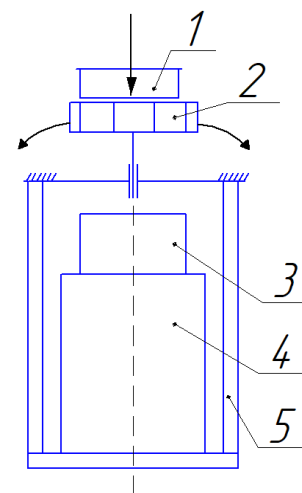


Рис. 7. Схема сенсора Коріоліса з вертикальною віссю обертання:
1 – трубопровід; 2 – крильчатка; 3 – редуктор;
4 – електродвигун; 5 – пружинні елементи

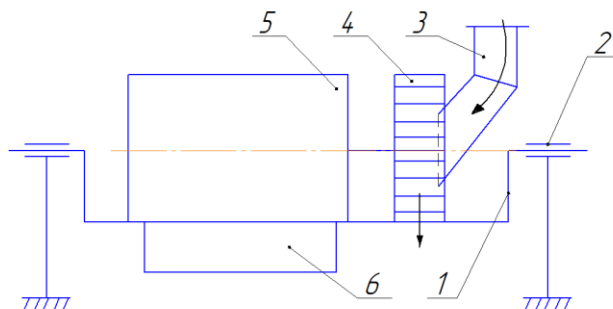


Рис. 8. Схема сенсора Коріоліса з горизонтальною віссю обертання:
1 – кронштейн; 2 – опори; 3 – трубопровід; 4 – крильчатка;
5 – електродвигун; 6 – врівноважуючий вантаж

Перевагою таких витратомірів є відсутність впливу коефіцієнтів тертя на похибку вимірювання через розташування лопатей за радіусом крильчатки. Похибка вимірювання складає 2%.

Висновки

Проведений огляд та аналіз сенсорів витратомірів сипких матеріалів показав:

- одним із перспективних напрямків створення автоматизованих виробничих процесів в харчовій і аграрній промисловості є використання сучасних витратомірів сипких матеріалів з ефективними сенсорами;
- практичну відсутність робіт по методам та засобам вимірювання витрат круп;
- відсутність теоретичних розробок окремих видів первинних перетворювачів – сенсорів параметрів потоків таких сипких матеріалів, як круп і зернові матеріали;
- відсутність результатів аналітичних та експериментальних досліджень первинних перетворювачів параметрів потоків круп і зернових матеріалів;
- одним з ефективних методів визначення параметрів потоків сипких матеріалів є метод, що базується на силовій взаємодії потоку сипкого матеріалу і пружних перетворювачів – сенсорів динамічного опору;
- доцільність і своєчасність постановки питання по створенню комп'ютерно-інтегрованої системи ідентифікації параметрів потоків сипких матеріалів.

Література

1. Бенедицький В. Б. Визначення вологості зерна за тиском вологого повітря / В. Б. Бенедицький, О. Л. Коренівська, Д. С. Морозов // Технічна інженерія. – 2021. – №87. – С. 98–103.
2. Анисимова Л. В. Распределение влаги в зерне крупяных культур при увлажнении и отволаживании / Л. В. Анисимова // Известия вузов. Пищевая технология. – 2005. – № 1. – С. 60–62.
3. Ходячий, В. В. Визначення густини сипкого матеріалу в гравітаційному потоці / В. В. Ходячий, О. К. Нікітін // XIX Міжнародна науково-технічна конференція «Приладобудування: стан і перспективи», 13-14 травня 2020 р., Київ, Україна : збірник матеріалів конференції. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – С. 164–166.
4. Афонин В. С. Применение нейросетевых технологий для определения величины расхода сыпучего вещества / В. С. Афонин, Д. Е. Кривобоков // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. – 2013. – № 57. – С. 47–50.
5. Диктерук М. Г. Исследование закономерностей движения сыпучих материалов в вертикальных емкостях (силосы/бункеры): мониторинг статического напряженного состояния и анализ истечения по второй форме в общей постановке / М. Г. Диктерук, В. Т. Кравчук, А. С. Заслуженный // Вісник ХНТУ. – 2018. – № 3. – С. 55–73.
6. Криль С. И. К вопросу о методиках расчета основных параметров пневмотранспорта сыпучих материалов по горизонтальным трубам / С. И. Криль, М. Н. Чальцев // Прикладна гідромеханіка. – 2010. – № 12. – С. 36–44.
7. Гуляев В. Г. Способ измерения количества пневмотранспортируемого сыпучего материала в фармацевтическом производстве, основанный на эффекте поккельса / В. Г. Гуляев, И. В. Гуляев // Разработка и регистрация лекарственных средств. – 2018. – № 3. – С. 52–56.
8. Schrock M. D. A diaphragm impact sensor for measuring combine grain flow / M. D. Schrock, D. L. Oard, R. K. Taylor // Applied Engineering in Agriculture. – 2014. – № 15. – С. 639–642.
9. Selcuk A. Grain flow measurements with X-ray techniques / A. Selcuk, I. Feyzi, N. G. Joseph, S. C. Thomas // Computers and Electronics in Agriculture. – 2000. – № 26. – С. 65–80.
10. Fei Z. Measurement of bulk material flow based on laser scanning technology for the energy efficiency improvement of belt conveyors / Z. Fei, W. Quing, C. Xiuming, Y. Zhangsi // Measurement. – 2015. – № 75. – С. 230–243.
11. Navid N. Detecting grain flow rate using a laser scanner / N. Navid, R. K. Taylor, A. Yazgi // Biological Systems Engineering: Papers and Publications. – 2015. – № 576. – С. 1185–1190.
12. Ходячий В. В. Експериментальне визначення параметрів взаємодії потоку сипких матеріалів і твердих тіл / В. В. Ходячий, О. К. Нікітін // XV Всеукраїнська науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Ефективність інженерних рішень у приладобудуванні», 10-11 грудня 2019 року, м. Київ, Україна : збірник праць конференції / КПІ ім. Ігоря Сікорського, ПБФ, ФММ. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського; Центр учбової літератури, 2019. – С. 232–235.
13. Ходячий В. В. Определение давление в трубопроводе при движении потоков сыпучих материалов / В. В. Ходячий, О. К. Нікітін // XIV Науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Погляд у майбутнє приладобудування», 18-19 травня 2021 р., м. Київ, Україна : збірник праць конференції. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – С. 208–211.
14. Ходячий В. В. Зіставлення характеристик пружних перетворювачів / В. В. Ходячий, О. К. Нікітін // XXI Міжнародна науково-технічна конференція «Приладобудування: стан і перспективи», 17–18 травня 2022 р., Київ, Україна : збірник матеріалів конференції. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – С. 98–100.

15. Макаров Ю. И. Аппараты для смешения сыпучих материалов / Ю. И. Макаров. – М. : Машиностроение, 1973. – 216 с.
16. Луткин Н. И. Расходомеры для зерна и сыпучих материалов / Н. И. Луткин. – М. : Колос, 1969. – 184 с.
17. C-LEVER: Flow metering for powders and bulk materials [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://rembe-kersting.de/en/products/messtechnik/flow-metering/c-lever/>.
18. FlowSlide / Hense [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://hense-waegetechnik.de/en/solid-flow-meters/flowslide-solid-flow-meter/>.
19. Карпин Е. Б. Автоматизация процессов взвешивания и дозирования / Б. Карпин, 1967. – 420 с.
20. Афонин В. С. Метод измерения расхода и его экспериментальная проверка / В. С. Афонин, О. И. Хомутов // Ползуновский вестник. – 2011. – № 3. – С. 94–97.
21. Envea Global: PicoFlow [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.envea.global/ru/s/process-ru/flow-measurement-process-ru/picoflow/>

References

1. Benedytskyi V. B. Vyznachennia volohosti zerna za tyskom volohoho povitria / V. B. Benedytskyi, O. L. Korenivska, D. S. Morozov // *Tekhnichna inzheneriia*. – 2021. – №87. – С. 98–103.
2. Anisimova L. V. Raspredelenie vlagi v zerne krupyanykh kultur pri uvlazhnenii i otvolazhivanii / L. V. Anisimova // *Izvestiya vuzov. Pishhevaya tehnologiya*. – 2005. – № 1. – С. 60–62.
3. Khodiachyi, V. V. Vyznachennia hustyny sypkoho materialu v hravitatsiynomu pototsi / V. V. Khodiachyi, O. K. Nikitin // *XIKh Mizhnarodna naukovo-tekhnichna konferentsiia «Pryladobuduvannia: stan i perspektivy»*, 13-14 travnia 2020 r., Kyiv, Ukraina : zbirnyk materialiv konferentsii. – Kyiv : KPI im. Ihoria Sikorskoho, 2020. – С. 164–166.
4. Afonin V. S. Primenenie nejrosetevykh tekhnologiy dlya opredeleniya velichiny rashoda sypuchego veshestva / V. S. Afonin, D. E. Krivobokov // *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Priborostroenie*. – 2013. – № 57. – С. 47–50.
5. Dikteruk M. G. Issledovanie zakonornostey dvizheniya sypuchykh materialov v vertikalnykh emkostyakh (silosy/bunkery): monitoring staticheskogo napryazhennogo sostoyaniya i analiz istecheniya po vtoroy forme v obshej postanovke / M. G. Dikteruk, V. T. Kravchuk, A. S. Zasluzhennyj // *Visnik HNTU*. – 2018. – № 3. – С. 55–73.
6. Kril S. I. K voprosu o metodikakh rascheta osnovnykh parametrov pnevmotransporta sypuchykh materialov po gorizontalmym trubam / S. I. Kril, M. N. Chalcev // *Prikladna gidromekhanika*. – 2010. – № 12. – С. 36–44.
7. Gulyaev V. G. Sposob izmereniya kolichestva pnevmotransportiruемого sypuchego materiala v farmacevticheskom proizvodstve, osnovannyi na effekte pokkelsa / V. G. Gulyaev, I. V. Gulyaev // *Razrabotka i registraciya lekarstvennykh sredstv*. – 2018. – № 3. – С. 52–56.
8. Schrock M. D. A diaphragm impact sensor for measuring combine grain flow / M. D. Schrock, D. L. Oard, R. K. Taylor // *Applied Engineering in Agriculture*. – 2014. – № 15. – С. 639–642.
9. Selcuk A. Grain flow measurements with X-ray techniques / A. Selcuk, I. Feyzi, N. G. Joseph, S. C. Thomas // *Computers and Electronics in Agriculture*. – 2000. – № 26. – С. 65–80.
10. Fei Z. Measurement of bulk material flow based on laser scanning technology for the energy efficiency improvement of belt conveyors / Z. Fei, W. Quing, C. Xiuming, Y. Zhangsi // *Measurement*. – 2015. – № 75. – С. 230–243.
11. Navid N. Detecting grain flow rate using a laser scanner / N. Navid, R. K. Taylor, A. Yazgi // *Biological Systems Engineering: Papers and Publications*. – 2015. – № 576. – С. 1185–1190.
12. Khodiachyi V. V. Eksperymentalne vyznachennia parametriv vzaiemodii potoku sypkokh materialiv i tverdokh til / V. V. Khodiachyi, O. K. Nikitin // *XV Vseukrainska naukovo-praktychna konferentsiia studentiv, aspirantiv ta molodykh vchenykh «Efektyvnist inzhenernykh rishen u prykladobuduvanni»*, 10-11 hrudnia 2019 roku, m. Kyiv, Ukraina : zbirnyk prats konferentsii / KPI im. Ihoria Sikorskoho, PBF, FMM. – Kyiv : KPI im. Ihoria Sikorskoho; Tsentr uchbovoi literatury, 2019. – С. 232–235.
13. Khodiachyi V. V. Opredelenie davleniia v truboprovode pri dvizhenii potokov sypuchykh materialov / V. V. Khodiachyi, O. K. Nikitin // *KhIV Naukovo-praktychna konferentsiia studentiv, aspirantiv ta molodykh vchenykh «Pohliad u maibutnie prykladobuduvannia»*, 18-19 travnia 2021 r., m. Kyiv, Ukraina : zbirnyk prats konferentsii. – Kyiv : KPI im. Ihoria Sikorskoho, 2021. – С. 208–211.
14. Khodiachyi V. V. Zistavleniia kharakterystyk pruzhnykh peretvoriuvachiv / V. V. Khodiachyi, O. K. Nikitin // *XKHI Mizhnarodna naukovo-tekhnichna konferentsiia «Pryladobuduvannia: stan i perspektivy»*, 17–18 travnia 2022 r., Kyiv, Ukraina : zbirnyk materialiv konferentsii. – Kyiv : KPI im. Ihoria Sikorskoho, 2022. – С. 98–100.
15. Makarov Yu. I. Apparaty dlya smesheniya sypuchykh materialov / Yu. I. Makarov. – М. : Mashinostroenie, 1973. – 216 с.
16. Lutkin N. I. Rashodomery dlya zerna i sypuchykh materialov / N. I. Lutkin. – М. : Kolos, 1969. – 184 с.
17. C-LEVER: Flow metering for powders and bulk materials [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : <https://rembe-kersting.de/en/products/messtechnik/flow-metering/c-lever/>.
18. FlowSlide / Hense [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : <https://hense-waegetechnik.de/en/solid-flow-meters/flowslide-solid-flow-meter/>.
19. Karpin E. B. Avtomatizatsiya processov vzveshivaniya i dozirovaniya / B. Karpin, 1967. – 420 с.
20. Afonin V. S. Metod izmereniya rashoda i ego eksperimentalnaya proverka / V. S. Afonin, O. I. Homutov // *Polzunovskij vestnik*. – 2011. – № 3. – С. 94–97.
21. Envea Global: PicoFlow [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : <https://www.envea.global/ru/s/process-ru/flow-measurement-process-ru/picoflow/>

ЩЕРБАНЬ Володимир

Київський національний університет технологій та дизайну

<https://orcid.org/0000-0002-4274-4425>scherbanvu@ukr.net**ЩЕНКО Валентин**

Київський національний університет технологій та дизайну

<https://orcid.org/0000-0003-2180-5257>kipt@i.com.ua**КОЛИСКО Оксана**

Київський національний університет технологій та дизайну

<https://orcid.org/0000-0003-4043-1238>kipt@i.com.ua**МЕЛЬНИК Геннадій**

Київський національний університет технологій та дизайну

<https://orcid.org/0000-0002-0002-7663>kipt@i.com.ua**ЩЕРБАНЬ Юрій**

Київський фаховий коледж прикладних наук

<https://orcid.org/0000-0001-5024-8387>scherban@i.ua

СТРУКТУРА КОМП'ЮТЕРНОЇ ПРОГРАМИ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОГО ШЛЯХУ ОРІЄНТОВАНОГО ГРАФА ПРИ ВИКОРИСТАННІ АЛГОРИТМУ ДЕЙКСТРИ

Забезпечення мінімального натягу при переробці нитки на технологічному обладнанні дозволяє зменшити простої обладнання за рахунок виключення чи суттєвого скорочення обривів ниток. Мінімізація натягу забезпечується оптимізацією форми лінії заправки нитки, при якій сумарний кут охоплення напрямних буде мінімальним. Ця задача вирішується за допомогою використання алгоритму Дейкстри при пошуку оптимального шляху орієнтованого графа. Комп'ютерна програма для реалізації цього алгоритму дозволяє оптимізувати форму заправки нитки на технологічному обладнанні.

Ключові слова: комп'ютерна програма, оптимальний шлях, орієнтований граф, алгоритм Дейкстри.

SHCHERBAN Volodymyr, ISHCHENKO Valentin, KOLISKO Oksana, MELNIK Genadij

Kyiv National University of Technologies and Design, Kyiv, Ukraine

SHCHERBAN Yuryj

Kyiv Professional College of Applied Sciences

STRUCTURE OF A COMPUTER PROGRAM FOR DETERMINING THE OPTIMAL PATH DIRECTED GRAPH USING DIJKSTRA'S ALGORITHM

Ensuring the minimum tension during thread processing on technological equipment allows to reduce equipment downtime due to the elimination or significant reduction of thread breaks. Minimization of tension is ensured by optimization of the shape of the thread filling line, in which the total angle of coverage of the guides will be minimal. This problem is solved by using Dijkstra's algorithm in finding the optimal path of a directed graph. The computer program for implementing this algorithm allows you to optimize the form of filling the thread on the technological equipment. The development of application packages of computer programs allows to reduce the time for the design of technological processes in the light and textile industry as much as possible. This is due to the modernization of the thread filling line on the technological equipment, which allows to minimize thread tension in the working area. Minimization of tension is ensured by optimization of the shape of the thread filling line, in which the total angle of coverage of the guides will be minimal.

This problem is solved by using Dijkstra's algorithm in finding the optimal path of a directed graph. Construction of the optimal path of the directed graph will allow to obtain the minimum tension in the working area. Constructive structural elements in the form of guides, elements of tensioning devices, break control devices, which have a cylindrical, elliptical shape, and discrete segments of a straight line act as obstacles in the path of the thread. Straight line segments can have an inclination relative to the vertical axis. Taking into account the large number of structural elements of the thread feeding system on light and textile industry machines and their location, there is a need to develop a special computer program for determining the optimal shape of the thread feeding line using the Dijkstra algorithm when searching for the optimal path of a directed graph.

The objective function in the problem is the minimum necessary tension, which is the minimum sum of the angles covered by the thread of guide surfaces that have a cylindrical, elliptical shape, discrete segments of a straight line. The use of a computer program allows you to determine tensions and changes in relative tension in the filling zones of light and textile industry machines, which allows you to optimize the shape of the thread supply line even at the stage of designing the technological process. The use of algorithms for computer programs for finding the optimal path of an undirected graph, for cylindrical, elliptical guides, discrete segments of a straight line, allows you to determine the influence of coverage angles on the target tension function. Determining the effect of coverage angles, for cylindrical, elliptical guides, discrete segments of a straight line, on the objective function during the computer determination of the optimal path for an oriented graph is an important component of the optimization of thread tension in the working area of machines of the light and textile industry, the formation of knitted and textile products.

Keywords: computer program, optimal path, directed graph, Dijkstra's algorithm.

Постановка проблеми

Розробка прикладних пакетів комп'ютерних програм дозволяє максимально скоротити час на проектування технологічних процесів в легкій та текстильній промисловості. Це пов'язано з модернізацією

лінії заправки ниток на технологічному обладнанні, що дозволяє мінімізувати натяг нитки в робочій зоні. Мінімізація натягу забезпечується оптимізацією форми лінії заправки нитки, при якій сумарний кут охоплення напрямних буде мінімальним. Ця задача вирішується за допомогою використання алгоритму Дейкстри при пошуку оптимального шляху орієнтованого графа. Побудова оптимального шляху орієнтованого графа дозволить отримати в робочій зоні мінімальний натяг. Перешкодами на шляху нитки виступають конструктивні структурні елементи у вигляді направляючих, елементи пристроїв для натягу, пристроїв для контролю обриву, які мають циліндричну, еліптичну форми, дискретні відрізки прямої лінії. Відрізки прямої лінії можуть мати нахил відносно вертикальної осі. Враховуючи велику кількість структурних елементів системи подачі нитки на машинах легкої та текстильної промисловості та їх розташування виникає необхідність розробки спеціальної комп'ютерної програми для визначення оптимальної форми лінії заправки нитки з використанням алгоритму Дейкстри при пошуку оптимального шляху орієнтованого графа.

Цільовою функцією в задачі виступає мінімально необхідний натяг, яка представляє собою мінімальну суму кутів охоплення ниткою напрямних поверхонь які мають циліндричну, еліптичну форми, дискретні відрізки прямої лінії. Використання комп'ютерної програми дозволяє визначати напруженості та зміни відносного натягу по зонах заправки машин легкої та текстильної промисловості, що дозволяє ще на стадії проектування технологічного процесу оптимізувати форму лінії подачі нитки. Використання алгоритмів для комп'ютерних програми пошуку оптимального шляху неорієнтованого графа, для циліндричних, еліптичних напрямних, дискретних відрізків прямої лінії, дозволяє визначати вплив кутів охоплення на цільову функцію натягу. Визначення впливу кутів охоплення, для циліндричних, еліптичних напрямних, дискретних відрізків прямої лінії, на цільову функцію при комп'ютерному визначенні оптимального шляху для орієнтованого графа є важливою складовою задачею оптимізації натягу ниток в робочій зоні машин легкої та текстильної промисловості, формування трикотажних та текстильних виробів.

Зменшення величини сили тертя між ниткою та напрямними поверхнями практично реалізується побудовою такої ламаної форми нитки, при якій сумарний кут охоплення циліндричних, еліптичних напрямних, дискретних відрізків прямої лінії конструктивних структурних елементів технологічного обладнання буде мати мінімальне значення.

Аналіз джерел

Недосконала форма лінії заправки нитки на технологічних машинах легкої та текстильної промисловості та низька якість сировини при зростанні натягу по глибині заправки призводить до обривів [1, 3]. Натяг сировини та форма лінії заправки пов'язані між собою [1, 2, 9]. Цей зв'язок має вигляд кутів охоплення нитками чи пряжею циліндричних, еліптичних напрямних, дискретних відрізків прямої лінії конструктивних структурних елементів [4–8]. При недосконалості форми лінії заправки натяг в робочій зоні буде стрімко зростати, що призводить до обривів. Мінімально необхідний натяг визначається мінімальною сумою кутів охоплення ниткою циліндричних, еліптичних напрямних, дискретних відрізків прямої лінії конструктивних структурних елементів та залежить від форми лінії заправки. Удосконалення процесу переробки ниток полягає в мінімізації натягу і повинно базуватися на теоретичних та експериментальних дослідженнях процесу взаємодії ниток з елементами системи подачі. Використання алгоритмів та розробка комп'ютерних програм для пошуку оптимального шляху графа з використанням алгоритму Дейкстри дозволяє визначати напруженість та зміни відносного натягу по зонах заправки машин легкої та текстильної промисловості [2].

Перешкоди у вигляді циліндричних, еліптичних напрямних, дискретних відрізків прямої лінії в орієнтованому графі відображають реальну картину взаємодії сировини з направляючими та робочими органами технологічного обладнання. Визначення впливу реальних умов взаємодії на цільову функцію при комп'ютерному визначенні оптимального шляху для орієнтованого графа дозволяє отримати сумарний, мінімальний кут охоплення та скоротити час проектування технологічних процесів. Це дозволяє прогнозувати напруженість та відносний натяг по зонах заправки машин легкої та текстильної промисловості [1–4].

Метою роботи є розробка комп'ютерної програми для визначення оптимального шляху для орієнтованого графа при використанні алгоритму Дейкстри.

Виклад основного матеріалу

На рис.1а представлена початкова форма `TForm2 = class(TForm)` модуля Unit 2 комп'ютерної програми для визначення оптимального шляху з розташованими компонентами, номером версії програми та кнопкою `Button1: TButton`, яка реалізує процедуру `procedure Button1Click(Sender: TObject)` переходу до основних модулів програми. Перелік компонентів представлений на рис. 1б.

Комп'ютерна програма для визначення оптимального шляху орієнтованого графа при використанні алгоритму Дейкстри складається з трьох основних модулів: `unit MainUnit`; `unit Unit3`; `unit Unit4`. Модуль `unit MainUnit` призначений для визначення оптимального шляху орієнтованого графа при використанні алгоритму Дейкстри, коли в якості направляючих елементів використовують циліндричні поверхні. Модуль `unit Unit3` призначений для визначення оптимального шляху орієнтованого графа при використанні алгоритму Дейкстри, коли в якості направляючих елементів використовують еліптичні поверхні. Модуль `unit Unit4` призначений для визначення оптимального шляху орієнтованого графа при використанні

алгоритму Дейкстри, коли в якості направляючих елементів використовують дискретні відрізки прямої лінії, які мають можливість змінювати кути нахилу відносно вертикалі.

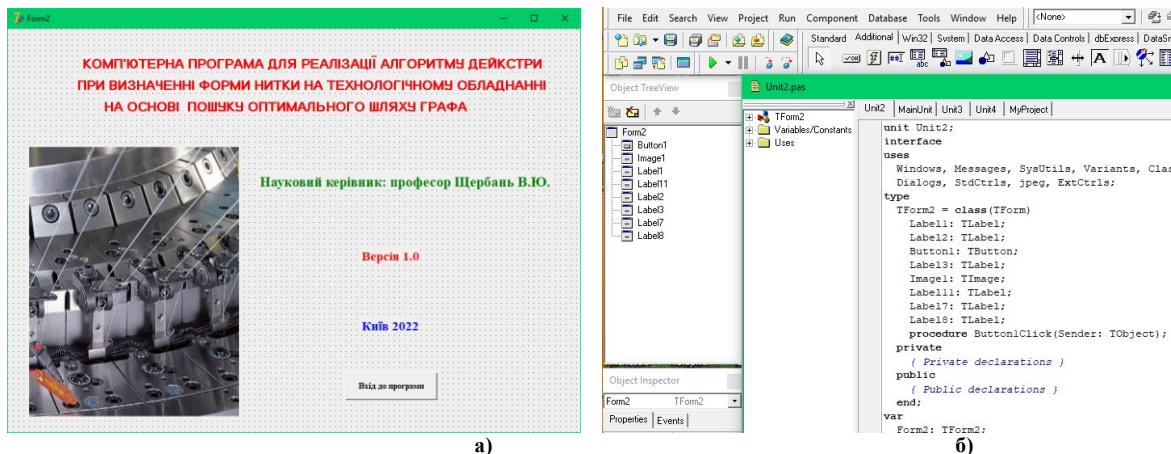


Рис. 1. Комп'ютерна програма для визначення оптимального шляху: а) модуль Unit 2; б) перелік компонентів на формі TForm2 = class(TForm)

При виконанні модуля unit MainUnit припустимо, існує інший шлях $p' = (s, v_1', v_2', \dots, v_i', \dots, v_{k-1}', v_k)$, якому відповідає значення цільової функції $F(p')$, і $p_l' = p' \cup (v_k, v_{k+1})$. Тоді, якщо

$$F(p) + |\alpha_k| \leq F(p') + |\alpha_k'|, \quad (1)$$

де α_k' – кут між ребрами (v_r', v_k) і (v_k, v_{k+1}) , будь-яке доповнення шляху p_l' шляхом q має не більше значення цільової функції, ніж доповнення p_l' шляхом q .

Враховуючи (1), ребро (v_k, v_{k+1}) доцільно поставити у відповідність мінімальне значення цільової функції на (s, v_{k+1}) - шляху, що закінчується цим ребром. Позначимо це значення як $f(v_k, v_{k+1})$. Якщо відомі значення функції f на всіх ребрах, що входять у вершину v_k , то $f(v_k, v_{k+1})$ визначається таким чином

$$f(v_k, v_{k+1}) = \min \{f(v_r, v_k) + \alpha((v_r, v_k), (v_k, v_{k+1}))\} \forall (v_r, v_k) \in E,$$

де $\alpha((v_r, v_k), (v_k, v_{k+1}))$ – кут між ребрами (v_r, v_k) і (v_k, v_{k+1}) .

Для реалізації модуля unit MainUnit використовуються наступні процедури та функції: функція FindAngle (x1_1,y1_1,x1_2,y1_2,x2_1,y2_1,x2_2,y2_2:real):real призначена для пошуку кут між двома дотичними; функція FindNaklon(x1,y1,x2,y2:real):real - розраховує кут нахилу дотичної; функція FindCross(x1,y1,x2,y2,xc,yc,R:real):boolean - перевіряє перетин відрізка дотичної з колом; процедура DrawAxis(sx,fx,sy,fy:integer) - рисує на компоненті Image осі координат та координатну сітку; процедура DrawMyEllipse(xc,yc,R:real;mytype:string) - рисує коло з заданими параметрами (координати центра та радіус) та ставить номер цього кола; процедура ReDrawEllipse(shift_x,shift_y:integer) - перерисовує кола, які вже існують, дотичні (якщо вони побудовані) та шлях (якщо він знайдений); процедура BuildTangent(el1,el2:string;xc1,yc1,R1,xc2,yc2,R2:real) - знаходить координати точок дотику спільної дотичної до двох кіл та заносить ці дані у список дотичних; процедура Koord(u,v:real) - переводить математичні координати до координат приладу; процедура MathKoord(ks,et:real) переводить координати приладу до математичних координат.

Для модуля unit Unit4 використовують аналогічні процедури з урахуванням того, що в якості напрямних використовують дискретні відрізки прямої лінії. Для визначення оптимальної траєкторії нитки пропонується скористатися моделлю у вигляді орієнтованого графа $G = (V, E)$, де $V = \{v_1, v_2, \dots, v_{2n+2}\}$ – безліч вершин, $E = \{e_1, e_2, \dots, e_m\}$ – безліч ребер. Одна вершина v_s графа G відповідає джерелу, друга вершина v_t – цілі, а всі інші – кінцевим точкам перешкод. Граф G містить ребро (v_i, v_j) , якщо можливе просування нитки від точки, яка відображається вершиною v_i до точки, яка відображається вершиною v_j . Приріст цільової функції при доповненні шляху ребром однозначно визначається координатами нової точки v_{k+1} , координатами останньої точки v_k і кутом нахилу останнього ребра (v_{k-1}, v_k) шляху p . Припустимо, існує інший шлях $p' = (v_s, v_1', v_2', \dots, v_{i-1}', v_i, v_{i+1}, \dots, v_{k-1}', v_k)$, якому відповідає значення цільової функції $F(p')$, і $p_l' = p' \cup (v_k, v_{k+1})$. Тоді

$$F(p) + |\alpha_k| \leq F(p') + |\alpha_k'|,$$

де α_k' – кут між ребрами (v_r', v_k) і (v_k, v_{k+1}) .

На рис. 2а представлені результати розрахунку при реалізації модуля unit MainUnit. На рис. 2б представлені результати розрахунку при реалізації модуля unit Unit4.

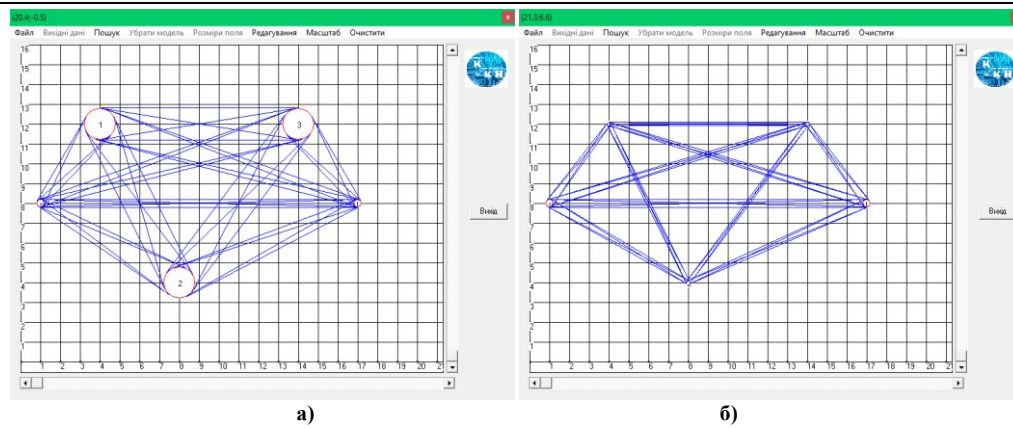


Рис. 2. Результати розрахунку: а) для модуля unit MainUnit; б) для модуля unit Unit4

Висновки

Розроблена комп'ютерна програма для визначення оптимального шляху для орієнтованого графа при використанні алгоритму Дейкстри.

Література

1. Щербань В.Ю. Механіка нитки / В.Ю. Щербань. – К. : Освіта України, 2018. – 533 с.
2. Базове проектує забезпечення САПР в індустрії моди / [В.Ю. Щербань, Ю.Ю. Щербань, О.З. Колиско, Г.В. Мельник, М.І. Шолудько, В.Ю. Калашник]. – К. : Освіта України, 2018. – 902 с.
3. Scherban V. Yu., Krasnitsky S.M., Rezanov V.G. Mathematical Models in CAD. Selected sections and examples of application. K.: KNUTD, 2011. 220 p.
4. Щербань В.Ю. САПР оборудования и технологических процессов легкой и текстильной промышленности / В.Ю. Щербань, О.И. Волков, Ю.Ю. Щербань. – К. : Бумсервис, 2004. – 519 с.
5. Щербань В.Ю. Дослідження впливу матеріалу нитки і анізотропії тертя на її натяг і форму осі / В.Ю. Щербань, В.Ю. Калашник, О.З. Колиско, М.І. Шолудько // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2015. – 223(2). – С. 25–29.
6. Shcherban V.Y., Kolisko O.Z., Melnyk G.V., Sholudko M.I., Kalashnik V.Y. Computer systems design: software and algorithmic components. K. : Education of Ukraine, 2019. 902 p.
7. Scherban V. Yu., Kolisko O.Z., Sholudko M.I., Kalashnik V. Yu. Algorithmic, software and mathematical components of CAD in the fashion industry. K.: Education of Ukraine, 2017. 745 p.
8. Shcherban V., Melnyk G., Sholudko M., Kalashnyk V. Warp yarn tension during fabric formation. Fibres and Textiles. 2018. Volume 25. № 2. P. 97–104.
9. Yakubitskaya I.A., Chugin V.V., Shcherban V.Yu. Differential equations of the relative motion of the filament element on the end sections of the coil of the winding drum. Technology of the textile industry. 1997. № 6. P. 50–54.

References

1. Scherban V.Yu. Mechanics of Threads. K.: Formation of Ukraine, 2018. 533 p.
2. Shcherban V.Yu., Shcherban Y.Y., Kolisko O.Z., Melnik G.V., Sholudko M.I., Kalashnik V.Y. Basic design support of CAD in the fashion industry. Kyiv: Education of Ukraine, 2018. 902 p.
3. Scherban V. Yu., Krasnitsky S.M., Rezanov V.G. Mathematical Models in CAD. Selected sections and examples of application. K.: KNUTD, 2011. 220 p.
4. Scherban V.Yu., Volkov O.I., Shcherban Yu.Yu. CAD equipment and technological processes for light and textile industries. K.: Boomservice, 2004. 519 p.
5. Scherban V.Yu., Kalashnik V.Yu., Kolisko O.Z., Sholudko M.I. Investigation of the influence of the thread material and the anisotropy of friction on its tension and the shape of the axis. Herald of Khmelnytskyi National University. Technical sciences. 2015. Volume 223. Issue 2. p. 25–29.
6. Shcherban V.Y., Kolisko O.Z., Melnyk G.V., Sholudko M.I., Kalashnik V.Y. Computer systems design: software and algorithmic components. K. : Education of Ukraine, 2019. 902 p.
7. Scherban V. Yu., Kolisko O.Z., Sholudko M.I., Kalashnik V. Yu. Algorithmic, software and mathematical components of CAD in the fashion industry. K.: Education of Ukraine, 2017. 745 p.
8. Shcherban V., Melnyk G., Sholudko M., Kalashnyk V. Warp yarn tension during fabric formation. Fibres and Textiles. 2018. Volume 25. № 2. P. 97–104.
9. Yakubitskaya I.A., Chugin V.V., Shcherban V.Yu. Differential equations of the relative motion of the filament element on the end sections of the coil of the winding drum. Technology of the textile industry. 1997. № 6. P. 50–54.

ЯЦЕНКО Дмитро

Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

<https://orcid.org/0000-0001-6702-569X>e-mail: 19yatsenko94@gmail.com**ПОПОВ Володимир**

Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

<https://orcid.org/0000-0003-3484-4597>e-mail: tig@ukr.net**ЗАМУЛКО Анатолій**

Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

<https://orcid.org/0000-0001-8018-6332>e-mail: zai_71@ukr.net**ЯРМОЛЮК Олена**

Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

<https://orcid.org/0000-0001-8571-2573>e-mail: yarmolyuk.lena@gmail.com**АДАНИКОВ Олександр**

Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

<https://orcid.org/0000-0003-2773-244X>e-mail: dreamfavel@gmail.com

ЗАСТОСУВАННЯ ІНДИКАТИВНОГО ЯКІСНОГО ПОКАЗНИКА ПРИ ДИНАМІЧНОМУ КЕРУВАННІ ТОПОЛОГІЄЮ РОЗПОДІЛЬНОЇ МЕРЕЖІ З ЛОКАЛЬНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ ЕНЕРГІЇ З МЕТОЮ МІНІМІЗАЦІЇ ВТРАТ ЕНЕРГІЇ

Практично в усіх країнах значна частина розподільних електричних мереж експлуатуються у розімкненому режимі. Тому задача вибору оптимальної топології електричної мережі залишається актуальною і популярною серед дослідників. На сьогодні запропоновано багато шляхів вирішення зазначеної задачі, що знайшло відображення у сотнях публікацій. Для досягнення мети формування оптимальної топології електричної мережі використовують різні оптимізаційні методи, задачу також вирішують, у як однокритеріальній так, і багатокритеріальній постановках.

У даній статті проведено бібліографічний аналіз і запропоновано використання індикативного якісного показника для знаходження оптимальної топології розподільної електричної мережі у режимі реального часу, що дає змогу мінімізувати втрати активної енергії. Наразі це актуально через зростання неоднорідності навантаження та збільшення частки локальних джерел енергії у розподільних мережах нашої країни. Дані фактори формують поточні розподіли у добовому розрізі, які у більшості випадків будуть не співпадати з тим режимом, для якого вибиралась відповідна конфігурація мережі, що, у свою чергу, призводить до зростання втрат електричної енергії. Ефект від запропонованого підходу залежить від належного рівня технічного й інформаційного забезпечення мережі, тим паче, з урахуванням того, що більша частина обладнання розподільних електричних мереж випрацювала свій фізичний ресурс. Використання індикативного якісного показника передбачається у розподільних мережах обладнаних сучасними комутаційними апаратами з можливістю дистанційного керування та наявністю систематичних вимірювань режимних параметрів мережі. На підставі отриманих результатів досліджень можна зробити висновок, що розроблений індикативний показник успішно застосовується при вирішенні задач пошуку оптимальної топології мережі у реальному часі, що дає можливість досягти суттєвого додаткового зменшення втрат активної енергії.

Ключові слова: індикативний якісний показник, розподільна мережа, втрати енергії, дистанційно керований вимикач, локальна генерація, керування режимами.

YATSENKO Dmytro, POPOV Vladimir, ZAMULKO Anatolii,

YARMOLIUK Olena, ADANIKOV Oleksandr

National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

APPLICATION OF INDICATIVE QUALITY INDICATOR IN DYNAMIC MANAGEMENT OF THE TOPOLOGY OF A DISTRIBUTION NETWORK WITH LOCAL ENERGY SOURCES WITH THE PURPOSE OF MINIMIZING ENERGY LOSSES

In practically all countries, a significant part of distribution electric networks is operated in an open mode. Therefore, the task of choosing the optimal topology of the electrical network remains relevant and popular among researchers. To date, many ways of solving this problem have been proposed, which have been reflected in hundreds of publications. To achieve the goal of forming the optimal topology of the electric network, various optimization methods are used, the problem is also solved in both single-criteria and multi-criteria formulations. In this article, a bibliographic analysis is carried out and the use of an indicative qualitative indicator is proposed for finding the optimal topology of the distribution electric network in real time, which makes it possible to minimize the loss of active energy. Currently, this is relevant due to the growth of load heterogeneity and the increase in the share of local energy sources in the distribution networks of our country. These factors form flow distributions daily, which in most cases will not coincide with the mode for which the appropriate

network configuration was chosen, which in turn leads to an increase in electrical energy losses. The effect of the proposed approach depends on the proper level of technical and information support of the network, especially since most of the equipment of distribution electric networks has exhausted its physical resource. The use of an indicative qualitative indicator is envisaged in distribution networks equipped with modern switching devices with the possibility of remote control and the presence of systematic measurements of the mode parameters of the network. Based on the obtained research results, it can be concluded that the developed indicative indicator is successfully used in solving the problems of finding the optimal network topology in real time, which makes it possible to achieve significant results. additional reduction of active energy losses.

Key words: indicative quality indicator, distribution network, energy losses, remotely controlled switch, local generation, mode control.

Постановка проблеми

Розподільні електричні мережі напругою 6–10 кВ є важливою ланкою в процесі передачі електричної енергії від об'єктів генерації безпосередньо до кінцевих споживачів. Сумарна протяжність розподільних повітряних і кабельних ліній на території України становить близько 300 тис. км і простежується тенденція їх зростання [1]. У зв'язку з цим завдання забезпечення надійності й ефективності режимів таких мереж є важливим етапом безпеки постачання електричної енергії [2].

За даними [13] втрати енергії в мережах середнього та низького напруги США, Англії, Німеччини, Японії та ін. становлять в даний час 8 і 12%, відповідно, в той час як втрати енергії в мережах високої напруги не перевищують 4%. В Україні становище ще гірше. Втрати потужності в мережах середньої і низької напруги досягають в середньому 15–20% [13].

У більшості випадків розподільні електричні мережі експлуатуються як розімкнені, що в свою чергу дає змогу використовувати менш дорогі системи релейного захисту й автоматики, що також спрощує керування режимами роботи мережі. Однією з умов вибору такої топології було те, що вона залишалася незмінною у продовж тривалого проміжку часу. Найчастіше певну конфігурацію обирали на визначені сезони року, що обґрунтовувалося характерними графіками навантажень вузлів мережі. Але із зростанням неоднорідного навантаження та появою локальних джерел енергії (ЛДЕ) стало помітним, що дані фактори знижують якість вирішення оптимізаційної задачі.

За останні тридцять років ситуація суттєво змінилася, а саме: керування електричним навантаженням застосовують не тільки на промислових підприємствах, а і у побутовому секторі. Також поява у структурі мережі засобів акумулювання енергії (електромобілів) і джерел локальної генерації з вихідною потужністю, яка залежить від кліматичних чинників, що характеризується нестабільністю. Крім того, виходячи з сучасних тенденцій розвитку енергетичного сектору закордоном, нам у найближчий час слід очікувати появу в мережі й інших гібридних джерел енергії. Наприклад, останнім часом стрімкі темпи зростання попиту на електричну енергію та дефіциту традиційних енергетичних ресурсів, активне використання відновлюваних джерел енергії малої потужності та впровадження систем накопичення енергії вимагає формування нового сегменту в енергетичній галузі, який швидко розвивається в усьому світі – гібридної відновлюваної енергетичної системи.

Метою даної роботи є дослідження можливостей застосування індикативного якісного показника для ефективного керування режимами роботи розподільної мережі за критерієм мінімізації втрат енергії. При цьому підлягають вирішенню наступні задачі: 1) аналіз методів керування режимами розподільної мережі; 2) обґрунтування можливостей використання індикативного показника; 3) аналіз результатів застосування запропонованого індикативного показника.

Аналіз літературних джерел

У процесі вирішення задачі керування режимами роботи розподільної електричної мережі неодмінно постає питання вибору оптимальної топології мережі, також може використовуватися як одна цільова функція, так і декілька. Традиційно у якості критеріїв розглядають загальні втрати потужності, різні індекси надійності, відхилення напруги, співвідношення вигода/витрати та інші. За для вирішення поставленої задачі з одним чи багатьма критеріями застосовують широкий спектр методів оптимізації, огляд яких наведений нижче.

Варто зазначити, що реалізація методів оптимізації вимагає введення ряду обмежень без яких отримання адекватного результату неможливе. Зазвичай під час вирішення задачі реконфігурації вводять такі обмеження: 1) усі фідерні секції знаходяться під напругою; 2) має підтримуватися радіальна структура мережі; 3) фідери та трансформатори не перевантажені; 4) обмеження падіння напруги [4].

Не торкаючись класичних методів оптимізації, методи, які використовуються в останні роки для вирішення поставленої задачі можна принципово розділити на дві групи: методи штучного інтелекту й евристичні. Евристичні методи в свою чергу поділяються на мета-евристичні та методи спроб і помилок.

Для визначення оптимальної конфігурації розподільної електричної мережі використовуються різні методи спроб і помилок. У [5] представлено метод систематичної зміни топології фідерів, що дає змогу знайти оптимальну схему для досягнення максимального зменшення втрат енергії у розподільній мережі. У процесі оптимізації змінюється топологія електричної мережі шляхом зміни стану комутаційних апаратів. У цій статті використовується дерево рішень для знаходження можливих варіантів зміни топології з метою зменшення втрат енергії. Формула для визначення втрат енергії була отримана та використана для визначення варіанту перемикання, який забезпечує максимальне зниження втрат у мережі. Запропонована техніка може визначити найбільш ефективні варіанти зміни топології для зменшення втрат енергії з

мінімальними обчислювальними зусиллями. Недоліком використання даної техніки є довготривалість пошуку оптимально рішення.

У роботі [6] запропоновано алгоритм пошуку оптимальної топології розподільних мереж, який враховує характеристики ЛДЕ в мережі нафтового підприємства. Застосовується комбінація методу імітації відпалу (англ. *simulated annealing*) та імунного алгоритму (англ. *Immune Algorithm*), що дає змогу прискорити швидкість пошуку глобального оптимуму та забезпечує кращу продуктивність. Практичну реалізацію запропонованого підходу було виконано на типовій схемі IEEE з 33 вузлами, де було показано, що величину втрат потужності вдається додатково знизити майже вдвічі. Недоліком комбінації даних методів є складність проведення розрахунків.

У роботі [7] використовується алгоритм пошуку Табу (англ. *Tabu Search*) для реконфігурації мережі з ЛДЕ з метою зменшення втрат потужності в системі розподілу. Результати показали, що втрати енергії зменшуються, коли вирішення оптимізаційної задачі та визначення величини генерації ЛДЕ відбуваються паралельно. Крім того, результати визначають оптимальний стан комутаційних апаратів, який призведе до найменших втрат потужності, але при цьому задовольняє обмеження. Результати довели ефективність алгоритму пошуку табу при визначенні оптимального рішення з меншою кількістю ітерацій. В даному дослідженні не враховують мінливий характер роботи ЛДЕ.

У статті [8] пропонується вирішення проблеми пошуку оптимальної топології мережі з метою мінімізації втрат потужності з використанням спеціалізованого еволюційного алгоритму з новою кодифікацією й абсолютно новим способом реалізації генетичних операторів з урахуванням характеристик проблеми. Алгоритм представлений і протестований у реальній розподільній системі продемонстрував прийнятні результати й обчислювальну ефективність. Запропонований алгоритм досить складний в реалізації та вимагає проведення значних розрахунків.

У статті [9] використовується поєднання нечіткого багатоцільового підходу й оптимізації колонії мурах (англ. *Ant Colony Optimization*) як мета-евристичного алгоритму, який використовується для вирішення завдань одночасної реконфігурації мережі й оптимального розподілу (потужності та розташування) фотоелектричних (PV) панелей і статичного компенсатора. Метою цього дослідження є зменшення втрат, покращення профілю напруги та покращення збалансованості навантаження фідера. Запропонований метод перевірено на типовій схемі IEEE з 33 вузлами та на розподільній мережі Тайваню. Результати показали, що одночасна реконфігурація й оптимальне розміщення масиву PV і статичного компенсатора призводить до значного зменшення втрат, покращення профілю напруги. Крім того, запропонований підхід *fuzzy-ACO* є більш точним порівняно з іншими методами оптимізації. Разом з тим запропонований алгоритм вимагає значну кількість вихідної інформації.

У [10] представлено використання методу штучної колонії бджіл (англ. *Artificial Bee Colony*) для задачі вибору оптимальної топології мережі. У якості цільових функцій розглядали профіль напруги, мінімізація реальних втрат потужності та збалансування навантаження фідерів. Результати показали, що втрати потужності було зменшено на 74,88 % завдяки одночасній реалізації декількох керуючих впливів, що доводить ефективність алгоритму ABC. В даному дослідженні не враховано механічний ресурс комутаційного обладнання.

У статті [11] представлено методологію визначення оптимальної конфігурації розподільної мережі, засновану на нечіткому багатоцільовому підході для досягнення мінімальних втрат активної потужності та максимальної величини напруги у радіальних розподільних мережах із розосередженою генерацією. Окремі цільові функції передбачають балансування навантаження між фідерами, мінімізацію реальних втрат потужності та відхилення напруги у вузлах за умов обмеження струму гілки, підтримання радіальної структури мережі, в якій усі навантаження повинні бути під напругою. Ці цільові функції моделюються за допомогою нечітких наборів для оцінки неточності досягнення кожної цілі. Результати моделювання показують, що за допомогою цього методу досягається зниження втрат активної потужності на 37,92 %. Водночас даний алгоритм досить складний в реалізації та вимагає значних розрахунків.

У роботі [12] розглянуто застосування алгоритму феєрверку (англ. *Fireworks Algorithm*) для одночасної зміни конфігурації мережі та розподілу в ній блоків ЛДЕ. Під час вибору оптимального розміщення ЛДЕ та реконфігурації мережі розглядається шість різних сценаріїв для оцінки ефективності запропонованої методики. Розрахунки проводяться на типових схемах IEEE з 33 та 69 вузлами при трьох різних рівнях навантаження. Даний алгоритм потребує часу для проведення розрахунку, що не дає змоги проводити керування у режимі реального часу.

З іншого боку існує декілька моментів, які не дають можливості використовувати дані підходи на практиці у процесі керування електричною мережею у режимі реального часу. По-перше, на кожному кроці процес вирішення задачі на підставі розглянутих методів вимагає розрахунку режимних параметрів, що є доволі трудомістким і тривалим процесом. По-друге, особливістю роботи ЛДЕ на базі відновлювальних джерел енергії є мінливий характер їх генерації, що передбачає необхідність розробки механізму для оцінки тривалості зміни навантажень й потужності ЛДЕ та параметрів режиму мережі в цілому. І останнє, необхідно врахувати комутаційний ресурс комутаційного апарату з можливістю дистанційного керування.

Виклад основного матеріалу

При існуючому комутаційному обладнанні відсутня можливість дистанційного керування

положенням комутаційних апаратів у добовому розрізі, зміну топології мережі можна виконати тільки на місці розташування обладнання та з залученням технічних спеціалістів.

Окрім цього, наявний рівень інформаційного забезпечення не задовольняє умовам забезпечення керування електричною мережею у режимі реального часу. На сьогодні у більшості розподільних мереж відсутні засоби систематичних вимірювань навантажень у відповідних вузлах, що не дає змоги моделювати режими мережі у реальному часі. Тому здебільш використовувались типові графіки навантаження, які відповідали певним сезонам року.

Зростання неоднорідного навантаження, поява ЛДЕ у розподільній електричній мережі викликають суттєві зміни у режимах роботи розподільної мережі традиційного виконання. Внаслідок цих чинників, у розподільній мережі формуються потокорозподіли у добовому розрізі різної тривалості, які в багатьох випадках істотно відрізнятимуться від того режиму (потокорозподілу), для якого визначалися оптимальні місця розмикання контурів, що в результаті веде до зростання втрат електричної енергії, а потенційно і до порушення умов забезпечення допустимих відхилень напруги та зниження надійності.

Вже зараз у деяких мережах на заміну обладнання, яке вичерпало свій ресурс, встановлюють сучасне, що дає можливість збирати інформацію та керувати режимами роботи розподільної мережі у режимі реального часу. Це стає ще більш можливим з появою на ринку сучасної комутаційної апаратури зі значним комутаційним ресурсом і можливістю дистанційного керування.

Для вирішення цього завдання необхідна інформація відносно топології мережі, параметрах її елементів та навантажень. Як правило перші два блоки інформації наявні у операторів систем розподілу та завдання полягає у підтриманні їх актуального стану. Концепція *Smart Grid* повністю підходить для вирішення будь-яких задач керування у розподільній мережі. Одна з основних характеристик даної концепції на відміну від міських електричних мереж традиційного виконання є спостережуваність, що потребує впровадження адекватного інформаційного забезпечення [3].

За умов наявності відповідної інформації, алгоритм визначення місць розташування та керування роботою вимикачів з дистанційним керуванням включає в себе:

- вибір ряду контурів розподільних мереж, в яких було б доцільним встановити дистанційно керовані комутаційні апарати, враховуючи добову неоднорідність потоків потужності на окремих ділянках, наявність відновлюваних джерел енергії та засобів її акумуляування;
- по окремих періодах часу, використовуючи характерні добові графіки навантажень вузлів і генерації з боку ЛДЕ, вирішується задача вибору оптимальних місць їх розімкнення, виходячи з мінімізації втрат потужності;
- для контурів, у яких при різних добових режимах оптимальні місця їх розімкнення не збігаються, визначаються вузли де розміщення дистанційно керованих вимикачів було б найбільш доцільним.

Після цього виникає завдання знаходження умов, за яких, у принципі, є доцільним змінити топологію певного контуру розподільної мережі з метою мінімізації втрат потужності відповідно до параметрів поточного режиму. Для спрощення та прискорення розв'язання цього завдання (з огляду на те, що вона має бути реалізована практично в режимі реального часу) пропонується використовувати певний індикативний якісний показник.

На прикладі спрощеної схеми (рис. 1) визначимо сумарні втрати потужності (ΔP_I , ΔP_{II} , $\Delta P'_I$, $\Delta P'_{II}$) для кожної частини контуру розподільної мережі, що розглядається, з урахуванням існуючого місця його розмикання

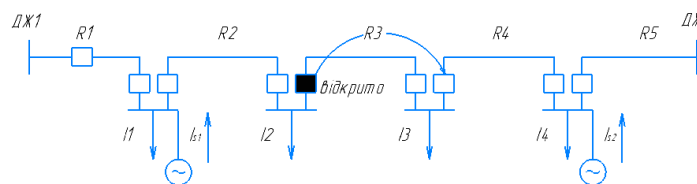


Рис. 1. Розподільна мережа 10 кВ

$$\Delta P_I = 3I_2^2 R_2 + 3(I_1 + I_2 - I_{s1})^2 R_1 = 3I_2^2 R_2 + 3I_1^2 R_1 + 6I_1 I_2 R_1 + 3I_2^2 R_1 - 6I_{s1} I_1 R_1 - 6I_{s1} I_2 R_1 + 3I_{s1}^2 R_1, \quad (1)$$

$$\Delta P_{II} = 3I_3^2 R_4 + 3(I_3 + I_4 - I_{s2})^2 R_5 = 3I_3^2 R_4 + 3I_3^2 R_5 + 6I_4 I_3 R_5 + 3I_4^2 R_5 - 6I_{s2} I_3 R_5 - 6I_{s2} I_4 R_5 + 3I_{s2}^2 R_5, \quad (2)$$

де $R_{1...5}$ – опори ділянок електричної мережі; $I_{1...4}$ – струми вузлів електричної мережі.

За умови відсутності генерації з боку ЛДЕ в правій частині лінії та її наявності в лівій частині, скоріше за все, за рахунок розвантаження лівої частини може виникнути доцільність переносу місця розмикання мережі вправо. У цьому випадку сумарні втрати потужності у правій і лівій частинах контуру становитимуть:

$$\Delta P'_I = 3I_3^2 R_3 + 3(I_3 + I_2)^2 R_2 + 3(I_3 + I_2 + I_1 + I_{s1})^2 R_1 = 3I_3^2 R_3 + 3I_2^2 R_2 + 6I_3 I_2 R_2 + 3I_2^2 R_2 + 3I_3^2 R_1 + 6I_3 I_2 R_1 + 3I_2^2 R_1 + 6I_3 I_1 R_1 - 6I_{s1} I_3 R_1 + 6I_1 I_2 R_1 - 6I_{s1} I_2 R_1 + 3I_1^2 R_1 - 6I_{s1} I_1 R_1 + 3I_{s1}^2 R_1, \quad (3)$$

$$\Delta P'_{II} = 3(I_4 + I_{s2})^2 R_5 = 3I_4^2 R_5 + 6I_4 I_{s2} R_5 + 3I_{s2}^2 R_5. \quad (4)$$

Можна зробити висновок, що зміна місця розмикання контуру в даному випадку буде доцільною при виконанні наступної умови:

$$\Delta P'_I + \Delta P'_I < \Delta P_I + \Delta P_{II}, \quad (5)$$

Далі представимо наступні розрахункові формули для відповідних моментів навантаження (M_I , M_{II} , M_{s1} , M_{s2}):

$$I_{ch} R_\Sigma = I_3 (R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5), \quad M_I = I_1 R_1, \quad M_2 = I_2 (R_1 + R_2), \quad M_{s1} = I_{s1} R_1,$$

$$M_{s2} = I_{s2} R_5, \quad M_{ch} = I_3 (R_5 + R_4), \quad M_4 = I_4 R_5.$$

Виходячи з умов на рис. 1 маємо:

$$M_I = M_1 + M_2, \quad M_{II} = M_{ch} + M_4,$$

Умова, що визначає доцільність перенесення місця розмикання контуру праворуч матиме вигляд:

$$M_{II} - M_I + M_{s1} - M_{s2} > \frac{I_{ch} R_\Sigma}{2}. \quad (6)$$

Умова, що визначає доцільність перенесення місця розмикання контуру ліворуч матиме вигляд:

$$M_I - M_{II} + M_{s2} - M_{s1} > \frac{I_{ch} R_\Sigma}{2}, \quad (7)$$

де у випадку (рис. 1) $M_I = M_1 + M_{ch}$, $M_{II} = M_4 + M_3$.

Проведемо аналіз роботи індикативного якісного показника на прикладі типової схеми IEEE з 33 вузлами, що також представлено [6, 9, 12] (рис. 2), щоб підтвердити адекватність його застосування.

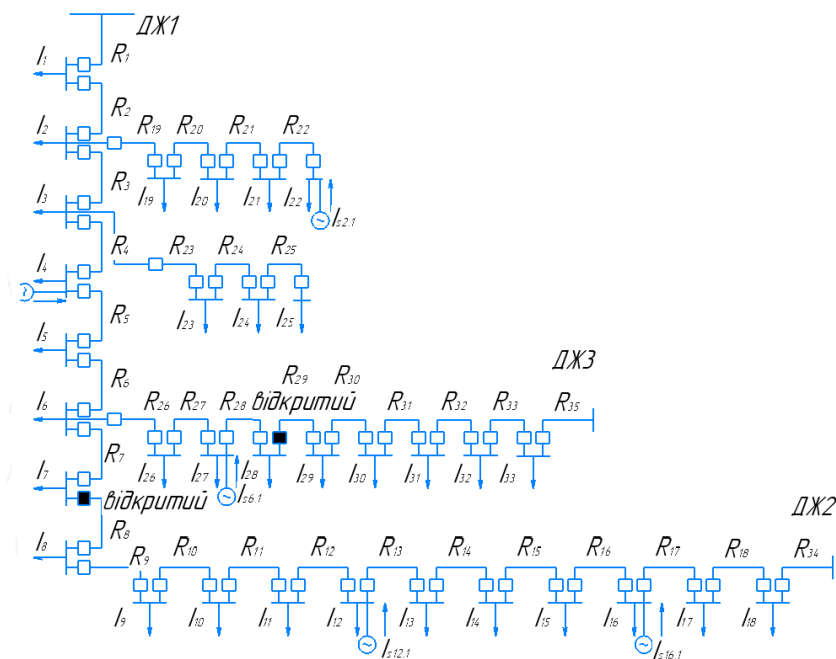


Рис. 2. Схема розподільної мережі з 33 вузлами

Початковими даними для проведення розрахунку є опори ділянок електричної мережі, значення погодинного навантаження вузлів, розміщення та вихідна потужність ЛДЕ й існуюча топологія мережі (місце розмикання мережі на ділянці 7-8). На рисунку 3а наведено графік електричного навантаження вузла № 6; на рисунку 3б згенеровану вихідну потужності ЛДЕ у добовому розрізі вузла № 16.

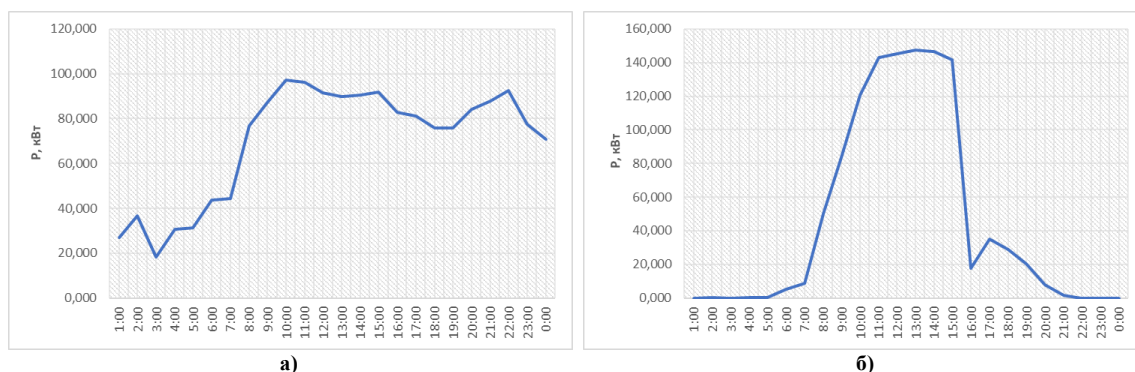


Рис. 3. Режимні параметри вузла № 6 та ЛДЕ у вузлі № 16 розподільної мережі

Для подальшого розрахунку необхідно розрахувати значення еквівалентних струмів (рис. 4).

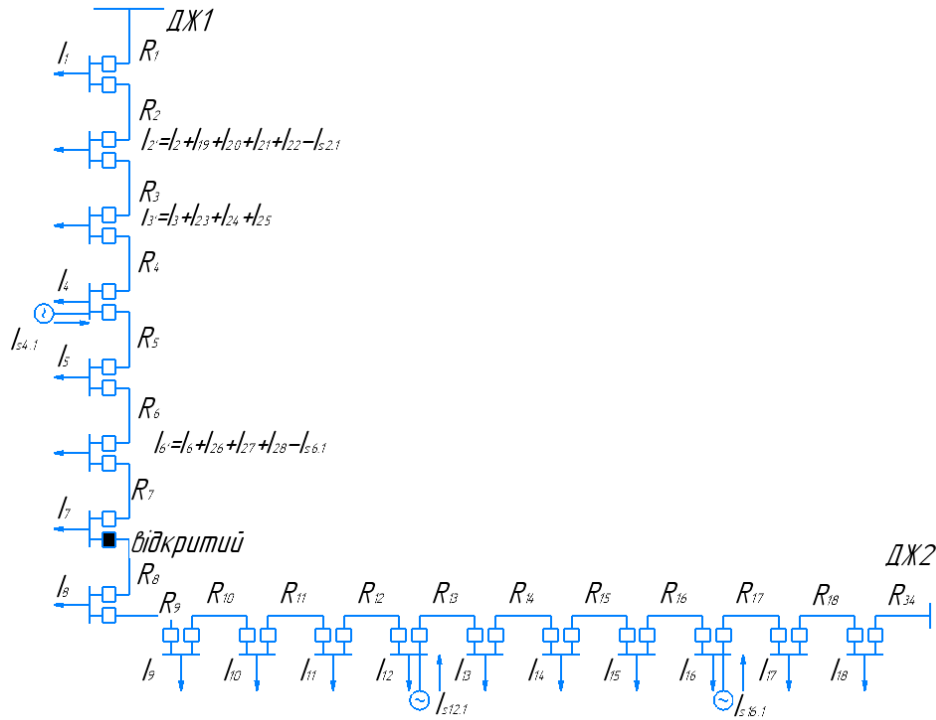


Рис. 4. Еквівалентна схема розподільної мережі

$$I_{2'} = I_2 + I_{19} + I_{20} + I_{21} + I_{22} - I_{s2}, \quad I_{3'} = I_3 + I_{23} + I_{24} + I_{25}, \quad I_{6'} = I_6 + I_{26} + I_{27} + I_{28} - I_{s6}.$$

Розрахунки проводимо аналогічно до наведеного прикладу вище, де відносно схеми (рис. 4) маємо:

$$I_{ch} R_{\Sigma} = I_8 (R_1 + \dots + R_{18} + R_{34}), \quad M_1 = I_1 R_1, \quad M_2 = I_{2'} (R_1 + R_2), \quad M_3 = I_{3'} (R_1 + R_2 + R_3), \quad M_4 = I_4 (R_1 + R_2 + R_3 + R_4),$$

$$M_5 = I_5 (R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5), \quad M_6 = I_{6'} (R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_6), \quad M_{18} = I_{18} R_{34}, \quad M_{17} = I_{17} (R_{34} + R_{18}),$$

$$M_{16} = I_{16} (R_{34} + R_{18} + R_{17}), \quad M_{15} = I_{15} (R_{34} + R_{18} + R_{17} + R_{16}), \quad M_7 = I_7 (R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_6 + R_7),$$

$$M_{14} = I_{14} (R_{34} + R_{18} + R_{17} + R_{16} + R_{15}), \quad M_{13} = I_{13} (R_{34} + R_{18} + R_{17} + R_{16} + R_{15} + R_{14}),$$

$$M_{12} = I_{12} (R_{34} + R_{18} + R_{17} + R_{16} + R_{15} + R_{14} + R_{13}), \quad M_{11} = I_{11} (R_{34} + R_{18} + R_{17} + R_{16} + R_{15} + R_{14} + R_{13} + R_{12}),$$

$$M_{10} = I_{10} (R_{34} + R_{18} + R_{17} + R_{16} + R_{15} + R_{14} + R_{13} + R_{12} + R_{11}), \quad M_{s4} = I_{s4} (R_1 + R_2 + R_3 + R_4),$$

$$M_{s16} = I_{s16} (R_{17} + R_{18} + R_{34}),$$

$$M_{s12} = I_{s12} (R_{13} + R_{14} + R_{15} + R_{16} + R_{17} + R_{18} + R_{34}),$$

$$M_{ch} = I_8 (R_9 + R_{10} + R_{11} + R_{12} + R_{13} + R_{14} + R_{15} + R_{16} + R_{17} + R_{18} + R_{34}), \quad M_I = M_1 + M_2 + M_3 + M_4 + M_5 + M_6 + M_7,$$

$$M_{II} = M_{10} + M_{11} + M_{12} + M_{13} + M_{14} + M_{15} + M_{16} + M_{17} + M_{18}.$$

У даному випадку умову для перевірки доцільності переносу місця розмикання мережі праворуч має вигляд:

$$M_{II} - M_I + M_{s12.1} + M_{s16.1} - M_{s4.1} > \frac{I_{ch} R_{\Sigma}}{2}.$$

Умова для перевірки доцільності переносу місця розмикання мережі ліворуч має вигляд:

$$M_I - M_{II} - M_{s12.1} - M_{s16.1} + M_{s4.1} > \frac{I_{ch} R_{\Sigma}}{2}.$$

Індикатором в даному випадку виступає виконання умови при вирішенні наведених вище виразів. Даний показник показує лише можливість переносу, тобто доцільно змінювати чи ні наявну топологію мережі. Результатом використання індикативного показника буде «умова виконується» або «умова не виконується».

На часових проміжках з 08:00 – 15:00, 20:00 – 22:00 відсутнє додаткове зменшення втрат енергії так як оптимальна конфігурація мережі у дані часові проміжки відповідає існуючій.

Тобто, у добовому розрізі можливо додатково зменшити втрати активної енергії орієнтовно на 42,2 кВт·год, що складає 25 % від загального значення втрат енергії. Тоді за рік маємо можливість зменшити втрати електроенергії орієнтовно на 15 402 кВт·год. (Варто перевести у гроші. Наприклад, через тариф на розподіл). При досить суттєвому ефекту від додаткового зменшення втрат запропонований підхід вимагає додаткового дослідження з точки зору вартісних показників комутаційного обладнання. Також

необхідно врахувати механічний ресурс комутаційного обладнання. Середній механічний ресурс комутаційного обладнання, що використовується в електричних мережах даного типу складає 25–30 тисяч спрацювань за життєвий цикл апарату, що на добу складає 6–7 спрацювань, що не протирічить отриманим результатам.

Таблиця 1

Результати керування режимом роботи мережі із застосуванням індикативного якісного показника:

Часовий проміжок	Значення індикативного якісного показника на часовому проміжку	Результати керування режимами роботи електричної мережі (місце розмикання)	Значення додаткового зменшення втрат потужності, Вт·год
01:00	умова виконується	Місце існуючого розриву 7-8 змінюємо на 8-9	2857,5
02:00	умова не виконується	Залишаємо 8-9	1946,2
03:00	умова не виконується	Залишаємо 8-9	4965,9
04:00	умова не виконується	Залишаємо 8-9	4750,2
05:00	умова не виконується	Залишаємо 8-9	5417,0
06:00	умова не виконується	Залишаємо 8-9	3319,3
07:00	умова не виконується	Залишаємо 8-9	2500,2
08:00	умова виконується	Місце існуючого розриву 8-9 змінюємо на 7-8	0
09:00	умова не виконується	Залишаємо 7-8	0
10:00	умова не виконується	Залишаємо 7-8	0
11:00	умова не виконується	Залишаємо 7-8	0
12:00	умова не виконується	Залишаємо 7-8	0
13:00	умова не виконується	Залишаємо 7-8	0
14:00	умова не виконується	Залишаємо 7-8	0
15:00	умова не виконується	Залишаємо 7-8	0
16:00	умова виконується	Місце існуючого розриву 7-8 змінюємо на 8-9	3879,7
17:00	умова не виконується	Залишаємо 8-9	2471,7
18:00	умова не виконується	Залишаємо 8-9	2024,8
19:00	умова не виконується	Залишаємо 8-9	1810,4
20:00	умова виконується	Місце існуючого розриву 8-9 змінюємо на 7-8	0
21:00	умова не виконується	Залишаємо 7-8	0
22:00	умова не виконується	Залишаємо 7-8	0
23:00	умова виконується	Місце існуючого розриву 7-8 змінюємо на 8-9	3415,6
00:00	умова не виконується	Залишаємо 8-9	2839,0
Усього за добу			42197,6

Висновки

За результатами проведеної роботи можна зробити наступні висновки: запропонований індикативний якісний показник дає можливість оцінити доцільність зміни топології розподільної мережі для мінімізації втрат енергії. Даний показник на відміну від інших технік дає змогу швидко визначити чи є необхідність переносу місця розмикання мережі, що в свою чергу дає змогу керувати режимами роботи мережі у режимі реального часу. За допомогою застосованого методу керування в добовому розрізі на прикладі типової мережі IEEE з 33 вузлами вдалось додатково зекономити 42,2 кВт·год, що зі рік складе 15 402 кВт·год (близько 9200 грн). Варто зазначити, що величина додаткового зниження втрат потужності залежить від багатьох факторів і тому може не бути постійною.

Для подальшого дослідження можна віднести питання техніко-економічного обґрунтування кількості спрацювань комутаційного обладнання на добу та врахування механічного ресурсу комутаційного обладнання. Також необхідно врахувати використання різних типів обладнання у техніко-економічних розрахунках, так як може відрізнятися механічний ресурс, ціна, життєвий цикл. Актуально також розглянути питання синхронізації релейного захисту комутаційного обладнання з метою недопущення перерви у електропостачанні споживачів.

Література

1. Циганенко Б.В. Підвищення показників якості електропостачання в розподільних електричних мережах / Б.В. Циганенко, В.В. Кирик // Матеріали XVII міжнародної науково-практичної конференції «Відновлювана енергетика та енергоефективність у XXI столітті», 29-30 вересня 2016 р., м. Київ, НТУУ КПІ. – Київ, 2016. – С. 157–162.

2. Бондаренко Р.В. Підвищення надійності функціонування розподільних електричних мереж / Р.В. Бондаренко, О.М. Довгалик, Г.В. Омеляненко, О.Є. Піротті, Т.В. Сиромятнікова // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. – 2018. – Вип. 195. – С. 69–71. – URL : http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vkhdtsug_2018_195_25
3. Попов В.А. Особливості використання комутаційних апаратів з дистанційним керуванням в процесі формування активних розподільних мереж / В.А. Попов, Д.В. Яценко, О.В. Аданіков, О.В. Яценко // Енергетика: економіка, технології, екологія. – Київ, 2020. – № 1. – С. 21–28.
4. Prada R.B., Souza L.J. Voltage stability and thermal limit: Constraints on the maximum loading of electrical energy distribution feeders. IEE Proceedings – Generation, Transmission and Distribution, 1998, vol. 145(5), pp. 573. doi:10.1049/ip-gtd:19982186.
5. Kashem M., Jasmon G., Ganapathy V. A new approach of distribution system reconfiguration for loss minimization. Int J Electr Power, 2000, vol. 22, pp. 269–76, doi: 10.1016/S0142-0615(99)00057-5.
6. Zhanga F., Zhanga Y., Xina X., Zhangb L., Fana L. Study on oilfield distribution network reconfiguration with distributed generation. Int J Smart Grid Clean Energy (SGCE), September 2012, vol. 1, pp. 135–141, doi: 10.12720/sgce.1.1.135-141.
7. Rugthaicharoencheep N., Sirisumrannukul S. Feeder reconfiguration for loss reduction in distribution system with distributed generators by tabu search. GMSARN Int J, 2009, vol. 3, pp. 47–54.
8. Carreno E. M., Moreira N. and Romero R. Distribution network reconfiguration using an efficient evolutionary algorithm. 2007 IEEE Power Engineering Society General Meeting, 2007, pp. 1–6, doi: 10.1109/PES.2007.385648.
9. Bagheri Tolabi, H. Simultaneous, Ali, M. H., & Rizwan, M. Reconfiguration, Optimal Placement of DSTATCOM, and Photovoltaic Array in a Distribution System Based on Fuzzy-ACO Approach. IEEE Transactions on Sustainable Energy, 2015, vol. 6(1), pp. 210–218, DOI: 10.1109/TSTE.2014.2364230.
10. Rao R.S., Narasimham S., Ramalingaraju M. Optimization of distribution network configuration for loss reduction using artificial bee colony algorithm. Int J Electr Power Energy Syst Eng, 2008, vol. 1, pp. 116–22, doi: 10.5281/zenodo.1057591.
11. Syahputra. Ramadoni & Robandi, Imam & Ashari, Mochamad. Reconfiguration of Distribution Network with DG Using Fuzzy Multi-objective Method. ICIMTR 2012 International Conference on Innovation, Management and Technology Research, 2012, doi: 10.1109/ICIMTR.2012.6236410.
12. Hemmatpour M. A novel reconfiguration mixed with distributed generation planning via considering voltage stability margin / M. Hemmatpour, M. Mohammadian, M. Rashidinejad // Amirkabir/Electr Electron Eng (AIJ-EEE). – 2011. – vol. 43. – P. 23–34.

References

1. Tsyhanenko B.V., Pidvyshchennia pokaznykiv yakosti elektropostachannia v rozpodilnykh elektrichnykh mrezhakh / B.V. Tsyhanenko, V.V. Kyryk // Materialy XVII mizhnarodnoinukovo-praktychnoi konferentsii «Vidnovliuvania enerhetyka ta enerhoefektyvnist u KhKhI stolitti», 29-30 veresnia 2016 r., m.Kyiv, NTUU KPI – Kyiv, 2016. – str. 157-162.
2. Bondarenko R. V. Pidvyshchennia nadiinosti funktsionuvannia rozpodilnykh elektrichnykh mrezh / R. V. Bondarenko, O. M. Dovhaliuk, H. V. Omelianenko, O. Ye. Pirotti, T. V. Syromiatnikova // Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu silskoho hospodarstva imeni Petra Vasylenka. - 2018. - Vyp. 195. - S. 69-71. - Rezhym dostupu: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vkhdtsug_2018_195_25
3. V.A. Popov. Osoblyvosti vykorystannia komutatsiinykh aparativ z dystantsiynym keruvanniam v protsesi formuvannia aktyvnykh rozpodilnykh mrezh / V.A. Popov., D. V. Yatsenko, O. V. Adanikov, O. V. Yatsenko // Enerhetyka: ekonomika, tekhnolohii, ekolohiia. – Kyiv. – 2020. - №1. – S. 21-28
4. Prada, R. B. Voltage stability and thermal limit: Constraints on the maximum loading of electrical energy distribution feeders / Souza, L. J. // IEE Proceedings - Generation, Transmission and Distribution, 1998, vol. 145(5), pp. 573. doi:10.1049/ip-gtd:19982186.
5. Kashem M. A new approach of distribution system reconfiguration for loss minimization / Jasmon G, Ganapathy V. // Int J Electr Power, 2000, vol. 22, pp. 269–76, doi: 10.1016/S0142-0615(99)00057-5.
6. Zhanga F. Study on oilfield distribution network reconfiguration with distributed generation / Zhanga Y, Xina X, Zhangb L, Fana L. // Int J Smart Grid Clean Energy (SGCE), September 2012, vol. 1, pp. 135–141, doi: 10.12720/sgce.1.1.135-141.
7. Rugthaicharoencheep N. Feeder reconfiguration for loss reduction in distribution system with distributed generators by tabu search / Sirisumrannukul S. // GMSARN Int J, 2009, vol. 3, pp. 47–54.
8. E. M. Carreno. Distribution network reconfiguration using an efficient evolutionary algorithm / N. Moreira and R. Romero, // 2007 IEEE Power Engineering Society General Meeting, 2007, pp. 1-6, doi: 10.1109/PES.2007.385648.
9. Bagheri Tolabi, Reconfiguration, Optimal Placement of DSTATCOM, and Photovoltaic Array in a Distribution System Based on Fuzzy-ACO Approach / H. Simultaneous, Ali, M. H., & Rizwan, M. // IEEE Transactions on Sustainable Energy, 2015, vol. 6(1), pp. 210–218, DOI: 10.1109/TSTE.2014.2364230.
10. Rao RS. Optimization of distribution network configuration for loss reduction using artificial bee colony algorithm / Narasimham S, Ramalingaraju M. // Int J Electr Power Energy Syst Eng, 2008, vol. 1, pp. 116–22, doi: 10.5281/zenodo.1057591.
11. Syahputra. Reconfiguration of Distribution Network with DG Using Fuzzy Multi-objective Method / Ramadoni & Robandi, Imam & Ashari, Mochamad // ICIMTR 2012 - 2012 International Conference on Innovation, Management and Technology Research, 2012, doi: 10.1109/ICIMTR.2012.6236410.
12. Hemmatpour M. A novel reconfiguration mixed with distributed generation planning via considering voltage stability margin / Mohammadian M, Rashidinejad M. // Amirkabir/Electr Electron Eng (AIJ-EEE), 2011, vol. 43, pp. 23–34.
13. V.A. Popov. Osoblyvosti vykorystannia komutatsiinykh aparativ z dystantsiynym keruvanniam v protsesi formuvannia aktyvnykh rozpodilnykh mrezh / V.A. Popov., D. V. Yatsenko, O. V. Adanikov, O. V. Yatsenko // Enerhetyka: ekonomika, tekhnolohii, ekolohiia. – Kyiv. – 2020. - №1. – S. 21-28.

БОЙКО Сергій

Національний університет Запорізька політехніка

e-mail: boiko_s_n@ukr.net**КОТОВ Олексій**

Національний університет Запорізька політехніка

<https://orcid.org/0000-0003-2856-1072>e-mail: kab2611@ukr.net**ВИШНЕВСЬКИЙ Святослав**

Вінницький національний технічний університет

e-mail: svyato.vish.ua@gmail.com**МЕЛЬНИК Ольга**e-mail: bsn1987@i.ua

Донецький національний університет економіки і торгівлі імені Михайла Туган-Барановського

ПОДГОРНИХ Надія

Кременчуцький льотний коледж Харківського університету внутрішніх справ

АНАЛІЗ ПЕРСПЕКТИВ ВПРОВАДЖЕННЯ ВОДНЕВОЇ ЕНЕРГЕТИКИ В ЕНЕРГЕТИЧНИЙ БАЛАНС ПІДПРИЄМСТВ АВІАЦІЙНОЇ ГАЛУЗІ

Технології водневої енергетики, такі як водневе акумулювання енергії поновлюваних джерел електричної енергії, шляхом накопичення водню як акумулятора для автономної і розподіленої генерації та заправок для водневого транспорту, активно впроваджуються в транспортну галузь розвинутих країн. Транспортна галузь України нерозривно поєднана з енергетикою та має свої особливості. Світовий досвід показує, що впровадження новітніх технологій у транспортній галузі безумовно дає ряд однозначних бонусів для подальшого стабільного розвитку. Між тим, об'єкти транспортної галузі України мають значні території, що технологічно не задіяні у сільськогосподарській галузі та не можуть бути використані для розвитку культурної та соціальної сфери. У свою чергу об'єкти транспортної галузі України складають її транспортну інфраструктуру та розташовані на всій території України. На сьогоднішній день, воднева енергетика включає сукупність технологій виробництва, транспортування, акумулювання і використання універсального вторинного енергоносія - водню. Так, у концепції водневої енергетики водень доповнює собою найважливіший вторинний енергоносіє - електроенергію, енергетичне використання водню визначається можливістю екологічно чистого отримання електроенергії і тривалого зберігання з мінімізацією втрат, в тому числі у великих об'ємах. Розвиток відновлюваної енергетики, що отримує енергію від змінних природних ресурсів сонячної та вітрової енергії, а також активне впровадження технологій розподіленої генерації та «розумних» мереж стимулюють актуальність вирішення проблеми довготривалого зберігання енергії. Підхід розрахований на урегулювання також питання застосування ВЕС та СЕС у системах електропостачання шляхом стабілізації віддачі згенерованої ними електричної енергії до мережі. Безумовно, ВЕС та СЕС за необхідності, можуть бути під'єднані до мережі, між тим, з використанням запропонованого підходу є можливість зменшити втрати енергії, що отримується від природних джерел та раціонально і ефективно її використати. В умовах підприємств авіаційної галузі є актуальним та можливим є впровадження в загальну структуру систем електроживлення на базі відновлюваних джерел енергії. Запропонований підхід щодо впровадження водневої енергетики в умовах підприємств авіаційної галузі дозволяє ефективно використовувати джерела електричної енергії на базі відновлюваних джерел енергії як в автономних в системах електропостачання так інтегрувати їх до діючих систем електропостачання.

Ключові слова: воднева енергетика, відновлювані джерела енергії, підприємства авіаційної галузі, енергетичний баланс підприємств, власна генерація електроенергії.

BOYKO Serhiy, KOTOV Olexsiy

Zaporizhia Polytechnic National University

VYSHNEVSKY Svyatoslav

Vinnytsia National Technical University

MELNYK Olga

Donetsk National University of Economics and Trade named after Mykhailo Tugan-Baranovskiy

PODHORNYH Nadia

Kremenchug Flight College of Kharkiv University of Internal Affairs

ANALYSIS OF THE PROSPECTS OF THE IMPLEMENTATION OF HYDROGEN ENERGY IN THE ENERGY BALANCE OF COMPANIES IN THE AVIATION INDUSTRY

Hydrogen energy technologies, such as hydrogen storage of energy from renewable sources of electricity, by storing hydrogen as a battery for autonomous and distributed generation and refueling for hydrogen transport, are actively being introduced into the transport industry of developed countries. The transport industry of Ukraine is inextricably linked with the energy industry and has its own characteristics. World experience shows that the introduction of the latest technologies in the transport sector definitely gives a number of unambiguous bonuses for further stable development. Meanwhile, the objects of the transport industry of Ukraine have significant territories that are technologically not involved in the agricultural industry and cannot be used for the development of the cultural and social sphere. In turn, the objects of the transport industry of Ukraine make up its transport infrastructure and are located throughout the territory of Ukraine. Today, hydrogen energy includes a set of technologies for production, transportation, accumulation and use of the universal secondary energy carrier - hydrogen. Thus, in the concept of hydrogen energy, hydrogen complements the most important secondary energy

carrier - electricity, the energy use of hydrogen is determined by the possibility of environmentally clean production of electricity and long-term storage with the minimization of losses, including in large volumes. The development of renewable energy, which receives energy from variable natural resources of solar and wind energy, as well as the active implementation of technologies of distributed generation and "smart" networks stimulate the urgency of solving the problem of long-term energy storage. The approach is also designed to settle the issue of the use of wind turbines and SPPs in power supply systems by stabilizing the return of the electric energy generated by them to the network. Undoubtedly, WPPs and SPPs can be connected to the network if necessary, meanwhile, using the proposed approach there is an opportunity to reduce the loss of energy obtained from natural sources and to use it rationally and efficiently. In the conditions of aviation industry enterprises, it is relevant and possible to introduce into the general structure of power supply systems based on renewable energy sources. The proposed approach to the introduction of hydrogen energy in the conditions of aviation industry enterprises allows to effectively use sources of electrical energy based on renewable energy sources both in autonomous power supply systems and to integrate them into existing power supply systems

Key words: hydrogen energy, renewable energy sources, aviation industry enterprises, energy balance of enterprises, own electricity generation.

Постановка проблеми. Проект національної енергетичної стратегії до 2035 р вказує на розвиток сучасних технологій, поширення яких раніше або пізніше призведе до втрати вуглецевої енергетикою домінуючого положення, в тому числі поновлювані джерела енергії і накопичувачі енергії, гібридні та електромобілі, включаючи автомобілі на водневому паливі, в результаті буде потрібно прискорене освоєння сукупності перспективних груп технологій, в тому числі відновлюваних джерел енергії, водневої енергетики, накопичувачів енергії та інтелектуальних мереж [1].

Технології водневої енергетики, такі як водневе акумулювання енергії поновлюваних джерел електричної енергії, шляхом накопичення водню як акумулятора для автономної і розподіленої генерації та заправок для водневого транспорту, активно впроваджуються в транспортну галузь розвинутих країн [2].

На сьогоднішній день, воднева енергетика включає сукупність технологій виробництва, транспортування, акумулювання і використання універсального вторинного енергоносія - водню. Так, у концепції водневої енергетики водень доповнює собою найважливіший вторинний енергоносіє - електроенергію, енергетичне використання водню визначається можливістю екологічно чистого отримання електроенергії і тривалого зберігання з мінімізацією втрат, в тому числі у великих об'ємах [3].

Розвиток відновлюваної енергетики, що отримує енергію від змінних природних ресурсів сонячної та вітрової енергії, а також активне впровадження технологій розподіленої генерації та «розумних» мереж стимулюють актуальність вирішення проблеми довготривалого зберігання енергії.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз наукових праць за останні роки показав, що на початку 2000-х років відбувся активний розвиток наукової активності в області технологій отримання водню. При цьому після початку світової фінансової кризи на рубежі 2010 відзначений різкий перехід до стабілізації кількості публікацій за винятком різкого зростання інтересу до технологій отримання водню електролізом води [4].

За результатами аналізу наукових доробок у галузі водневої енергетики, було виявлено, що в даний час світова енергетика переживає період важливих структурних змін, пов'язаних зі збільшенням частки відновлюваних джерел енергії і розподіленої генерації в загальному енергетичному балансі [5]. Між тим, технології та підходи щодо підвищення стійкості мережі та створення сонячних і вітрових електростанцій з постійно нормованими енергетичними характеристиками, модернізація існуючих та проектування нових маневрових електростанцій, ефективні тільки до моменту досягнення відновлювальними джерелами енергії чверті частки в генерації. Тому забезпечення якості електропостачання, що на сьогоднішній день є важливим питанням у тому числі транспортної галузі, при широкому поширенні енергетичних установок на базі відновлювальних джерел енергії має бути забезпечене розвитком систем зберігання енергії [6-11].

Мета статті. Головною метою цієї роботи є аналіз можливостей та сучасних підходів щодо впровадження водневої енергетики до систем енергозабезпечення підприємств авіаційної галузі.

Виклад основного матеріалу. Поєднуючи екологічний підхід та економічні механізми розвитку транспортної галузі, можна збалансувати енергетичну складову галузі та забезпечити низьковуглецевий сценарій розвитку економіки країни в цілому. Однак в енергетиці України карбонові генератори займають значну частку виробленої енергії [2].

Транспортна галузь України нерозривно поєднана з енергетикою та має свої особливості. Світовий досвід показує, що впровадження новітніх технологій у транспортній галузі безумовно дає ряд однозначних бонусів для подальшого стабільного розвитку. Між тим, об'єкти транспортної галузі України мають значні території, що технологічно не задіяні у сільськогосподарській галузі та не можуть бути використані для розвитку культурної та соціальної сфери. У свою чергу об'єкти транспортної галузі України складають її транспортну інфраструктуру та розташовані на всій території України.

Слід зазначити той факт, що територія України придатна для впровадження та промислового використання електрогенеруючих установок на базі сонячної та вітрової енергії [3].

Тому, враховуючи необхідність екологізації транспортної галузі України та необхідності подальшого її розвитку шляхом покращення її інфраструктури, у тому числі підвищення надійності електропостачання відповідальних споживачів галузі слід розглядати можливість впровадження відновлюваних джерел електричної енергії в умовах об'єктів транспортної галузі України.

Між тим, слід зазначити, що потужності відновлювальної енергетики зростають та збільшують свій сегмент на енергетичному ринку країни та світу. Аналізуючи дані та розглядаючи всі можливі варіанти,

фахівці мають змогу розробляти гіпотетично можливі сценарії розвитку цієї галузі, змінюючи одну чи кілька складових та моделюючи наслідки, що можуть настати залежно від внесених змін. Таким чином розвиток енергетичного сектора нашої країни не є винятком та має три сценарії, відправною точкою яких є дотримання цілей Паризької угоди щодо «вуглецевого» та «низьковуглецевого» енергетичних шляхів [4].

Результати аналізу споживання ресурсів для енергогенерації [3] дає змогу простежити чітку тенденцію в економічних витратах. Тому до 2030 року витрати на ресурсне й технологічне забезпечення енергогенерації за «революційним» сценарієм будуть перевищувати витрати за «базовим». При цьому за «революційним» сценарієм будуть зростати капітальні інвестиції у розвиток та розбудову сектора відновлюваних джерел енергії. Між тим, всі сценарії прогнозів подальшого розвитку енергетики є гіпотетичними, а їх реалізація можлива лише за ідеальних умов при виконанні всіх запрограмованих та зазначених критеріїв.

Один з найбільш перспективних шляхів подальшого розвитку водневої енергетики ґрунтується на використанні водню, виробленого електролізом, як акумулятор енергії, при цьому все більшої популярності набуває технологія Power-to-Gas (P2G) [4].

Для перетворення хімічної енергії водню в електрику найбільш ефективним вважається використання паливних елементів, що володіють коефіцієнтом корисної дії близько 50%. В результаті роботи водневих паливних елементів крім електроенергії виробляється тільки тепло і вода, а також вони абсолютно безшумні.

Областю застосування паливних елементів може стати децентралізоване енергопостачання та транспортні технології.

З поміж іншого, залишається відкритим питання забезпечення споживачів воднем, а саме створення водневої інфраструктури (мереж водневих заправних станцій для транспортної галузі та трубопроводів для постачання водню до енергетичних об'єктів) [5].

На сьогоднішній день, характеристики первинних джерел енергії та графіків її споживання істотно впливають на основні технічні та економічні характеристики як окремих енергоспоживачів, так і системи акумулювання енергії. З поміж інших технологій зберігання енергії, водневе акумулювання відрізняється відносно низьким коефіцієнтом корисної дії, однак цей недолік компенсується перевагами водневих систем. Серед переваг водневої енергетики можна зазначити можливість тривалого зберігання енергії без суттєвих втрат, що на сьогоднішній день, поки що не досягнуто хімічними джерелами струму, висока щільність зберігання енергії і малі капітальні витрати в порівнянні з існуючими аналогами діючих в сучасних енергетичних системах [6].

Між тим, слід зазначити той факт, що водень є найпоширенішим елементом не тільки на планеті, а й у космосі, а також він входить до складу води, яка займає майже дві третини поверхні Землі. При цьому водень має значно вищу енергоємність, ніж сучасні енергоресурси, такі як природний газ, нафта чи вугілля, а продуктом згоряння водню є лише вода, що абсолютно безпечно для навколишнього середовища. Усі зазначені переваги водню роблять водневу енергетику одним із перспективних напрямків розвитку сучасної енергетики у тому числі у транспортній галузі.

З поміж іншого, водневі технології у поєднанні з відновлюваними джерелами енергії у перспективі можуть стати економічно вигіднішими, ніж викопні ресурси, особливо для країн з обмеженими запасами корисних копалин та зручним географічним розташуванням.

До основних напрямків розвитку водневої енергетики для побудови нової економічної моделі України такі [2]:

- розробка та впровадження ефективних енергосистем на основі відновлюваних джерел енергії та забезпечених системами акумулювання, зберігання, транспортування та використання водню різного виду та потужності, тобто так званого зеленого водню.

- розробка та впровадження систем акумулювання, зберігання, транспортування та використання водню різного виду та потужності у традиційній енергетиці для накопичення пікової електроенергії, тобто інакше званий промисловий водень.

- розробка та впровадження систем акумулювання та використання водню різного виду та потужності у транспортній галузі, тобто для потреб автомобільного, залізничного та авіаційного транспорту.

Тож, завдяки високому коефіцієнту корисної дії енергоустановок на базі паливних комірок, вони розглядаються в якості перспективних джерел енергії в кіловатний класі потужності. Ці енергоустановки вимагають використання водню чистотою вище 99.9%. Тому при використанні в автономних системах низькотемпературних паливних елементів може виявитися необхідної доочищення водню. В даний час створені ефективні електролізери на підвищений тиск з коефіцієнтом корисної дії більше 70% і енерговитратами (4.2-4.4) кВт·год / м³ і низькотемпературні паливні комірки (з твердополімерним і лужним електролітом) з коефіцієнтом корисної дії більше 50% [4]. Для комбінації «електролізер - паливна комірка» коефіцієнт рекуперації електроенергії може становити більше 40%, що цілком прийнятно для енергогенеруючих установок на базі відновлюваних джерел енергії. При розробці таких систем акумулювання електроенергії основні науково-технічні питання пов'язані зі створенням енергоефективних систем очищення і зберігання водню, інтегрованих з паливними елементами [6].

Між тим, найбільш широко використовувана технологія електролізу заснована на застосуванні

лужних електролітів. Сучасні вдосконалені лужні електролізери можуть бути використані для великомасштабного виробництва водню з води з відносно високою сумарною ефективністю перетворення первинної енергії, рівній 28-36% з урахуванням ККД електростанції на рівні 35-40% [9].

Перспективи впровадження електролізу пов'язані із застосуванням твердо-полімерних електролізерів (ТПЕ) з платиновими каталізаторами, які забезпечують більш високий вихід водню. Останнім часом ведуться розробки електролізерів з ТПЕ, що не містять дорогі металів, хоча, незважаючи на деякі успіхи в рішенні цієї задачі для спеціальних електролізерів з малим ресурсом роботи, прийнятного рішення для промислових електролізерів поки не знайдено. ТПЕ електролізери характеризуються значно більшими питомими капітальними витратами, ніж лужні, але ці витрати зменшаться при переході до великих обсягів виробництва [5].

Таким чином, як джерело електроенергії для електролізу доцільно розглядати енергопостачання від вироблення електроенергії на місці на базі поновлюваних джерел енергії.

Між тим, водень може вироблятися електролізом за високого тиску або електролізом води за низького тиску. А у сучасних ринкових умовах 50 кВт / год електроенергії, витраченої на виробництво одного кілограма стисненого водню, коштують приблизно стільки ж, скільки водень, вироблений за 8 центів/kWh. Між тим, ціновий еквівалент пояснюється тим, що більшість водню виробляється з викопних видів палива, які ефективніше використовувати для виробництва хімічного продукту безпосередньо, ніж для виробництва електроенергії і подальшого електролізу. Так чи інакше, головним завданням водневої енергетики є отримання водню з інших джерел, тож в майбутньому планується не використовувати викопне паливо як сировину [7].

Найчистішим способом отримання водню вважається той що базується на використанні електроенергії, виробленої фотоелектричними системами. Вода розкладається на водень і кисень шляхом електролізу – фотоелектрохімічного процесу, який також називають штучним фотосинтезом. Між тим, у фотоелектричній промисловості ведуться наукові дослідження, спрямовані на розвиток високоефективної технології мультиперехідних елементів [8].

Тому, на рисунку 1 представлено структуру схеми реалізації підходу щодо впровадження водневої енергетики в умовах підприємств авіаційної галузі.

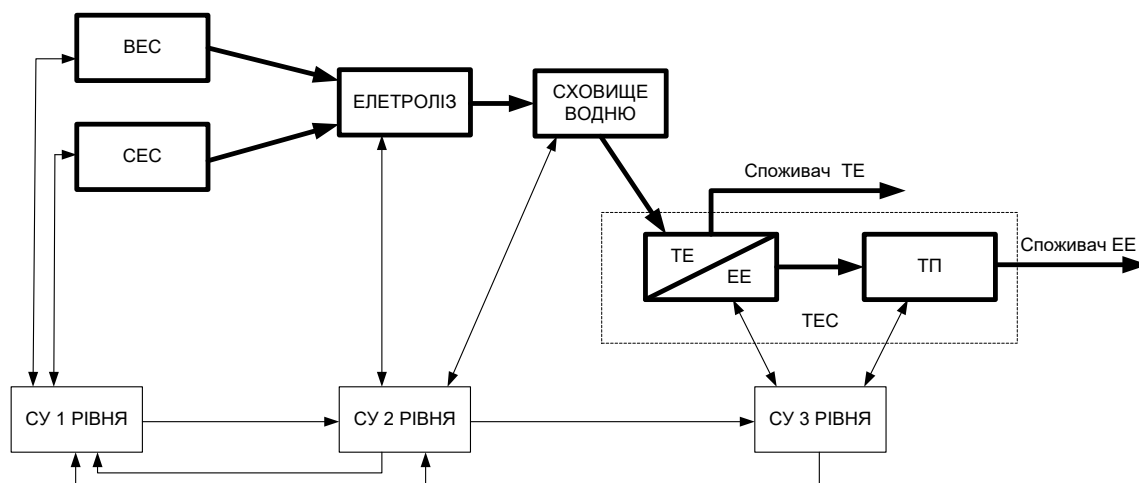


Рис. 1. Схема реалізації підходу щодо впровадження водневої енергетики в умовах підприємств авіаційної галузі

Відповідно до рисунку, схема реалізації підходу щодо впровадження водневої енергетики в умовах підприємств авіаційної галузі пояснюється наступним чином. Джерела електричної енергії на базі вітроенергетичних (ВЕС) та сонячних електростанцій (СЕС) генерують електричну енергію для реалізації вироблення водню шляхом електролізу. Водень із сховища надходить до теплової електростанції (ТЕС), система якої модернізована та адаптована для застосування водню.

Таким чином, ТЕС генерує електричну енергію (ЕЕ) та як додатковий вид енергії є можливість отримати теплову енергію (ТЕ).

Слід зазначити, що система курування складається з трьох рівнів чкї пов'язані між собою. Третій рівень системи курування є найвищим, та забезпечує функціонування всього комплексу вцілому. Другий рівень системи курування забезпечую управління отримання водню в залежності від генерації відновлювальних джерел енергії. Перший рівень курування виконує управління функціонуванням та взаємодією відновлювальних джерел енергії що під'єднані до комплексу.

Підхід розрахований на урегулювання також питання застосування ВЕС та СЕС у системах електропостачання шляхом стабілізації віддачі згенерованої ними електричної енергії до мережі.

Безумовно, ВЕС та СЕС за необхідності, можуть бути під'єднані до мережі, між тим, з використанням запропонованого підходу є можливість зменшити втрати енергії, що отримується від природних джерел та раціонально і ефективно її використати.

Висновки і пропозиції. 1. В умовах підприємств авіаційної галузі є актуальним та можливим є

впровадження в загальну структуру систем електроживлення на базі відновлюваних джерел енергії.

2. Запропонований підхід щодо впровадження водневої енергетики в умовах підприємств авіаційної галузі дозволяє ефективно використовувати джерела електричної енергії на базі відновлюваних джерел енергії як в автономних в системах електропостачання так інтегрувати їх до діючих систем електропостачання.

Література

1. Modern aspects of application and development of Unmanned Aerial Vehicles. Monograph / T. Shmelova, S. Boiko, O. Kotov, O. Burlaka, M. Nozhnova, Yu. Bershadskaya, L. Chyzhova, D. Hinosian, V. Zhurid, V. Yemets, Yu. Oliinyk, B. Moskaluk Warsaw: iScience Sp. z.o.o. 2021. 162 p.
2. Бойко С.М. Теоретичні засади формування електроенергетичних систем з джерелами розосередженої генерації гірничорудних підприємств. / С. М. Бойко // Монографія, під редакцією доктора техн. наук, професора О.М. Сінчука. – Кременчук, 2020. – 263с.
3. Buchholz B., Styczynski Z. Smart Grids Fundamentals and Technologies in Electricity Networks, Springer 2014. 396 p.
4. Gahleitner G. Hydrogen from renewable electricity: An international review of power-to-gas pilot plants for stationary applications // International Journal of Hydrogen Energy. 2013. T. 38. № 5. — С. 2039-2061.
5. Emonts B., Schiebahn S., Görner K., Lindenberger D., Markewitz P., Merten F., Stolten D. Reenergizing energy supply: Electrolytically-produced hydrogen as a flexible energy storage medium and fuel for road transport // Journal of Power Sources. 2017. T. 342. — С. 320-326.
6. Zoulias E.I., Lymberopoulos N. Hydrogen-based autonomous power systems: techno-economic analysis of the integration of hydrogen in autonomous power systems. : Springer, 2008.
7. Hydrogen and Fuel Cells: Fundamentals, Technologies and Applications. Ed. Stolten D. —Weinheim, Germany : WILEY-VCH Verlag GmbH, 2010. — 877.
8. Gupta R.B. Hydrogen fuel: production, transport, and storage. : CRC Press, 2008.
9. International Energy Agency. Technology Roadmap: Hydrogen and Fuel Cells - 2014 edition. — Paris : OECD/IEA, 2014.
10. Lototsky M.V., Tolj I., Pickering L., Sita C., Barbir F., Yartys V. The use of metal hydrides in fuel cell applications // Progress in Natural Science: Materials International. 2017. T. 27. № 1. — С. 3-20.
11. U. S. Department of Energy, <http://www.energy.gov/>

References

1. Modern aspects of application and development of Unmanned Aerial Vehicles. Monograph / T. Shmelova, S. Boiko, O. Kotov, O. Burlaka, M. Nozhnova, Yu. Bershadskaya, L. Chyzhova, D. Hinosian, V. Zhurid, V. Yemets, Yu. Oliinyk, B. Moskaluk Warsaw: iScience Sp. z.o.o. 2021. 162 p.
2. Boyko S.M. Teoretychni zasady formuvannya elektroenergetychnykh system z dzhelamy rozoseredzhenoyi heneratsiyi himykorudnykh pidpryyemstv. / S. M. Boyko // Monohrafiya, pid redaktsiyeyu doktora tekhn. nauk, profesora O.M. Sinchuka. – Kremenchuk, 2020. – 263s.
3. Buchholz B., Styczynski Z. Smart Grids Fundamentals and Technologies in Electricity Networks, Springer 2014. 396 p.
4. Gahleitner G. Hydrogen from renewable electricity: An international review of power-to-gas pilot plants for stationary applications // International Journal of Hydrogen Energy. 2013. T. 38. № 5. — С. 2039-2061.
5. Emonts B., Schiebahn S., Görner K., Lindenberger D., Markewitz P., Merten F., Stolten D. Reenergizing energy supply: Electrolytically-produced hydrogen as a flexible energy storage medium and fuel for road transport // Journal of Power Sources. 2017. T. 342. — С. 320-326.
6. Zoulias E.I., Lymberopoulos N. Hydrogen-based autonomous power systems: techno-economic analysis of the integration of hydrogen in autonomous power systems. : Springer, 2008.
7. Hydrogen and Fuel Cells: Fundamentals, Technologies and Applications. Ed. Stolten D. —Weinheim, Germany : WILEY-VCH Verlag GmbH, 2010. — 877.
8. Gupta R.B. Hydrogen fuel: production, transport, and storage. : CRC Press, 2008.
9. International Energy Agency. Technology Roadmap: Hydrogen and Fuel Cells - 2014 edition. — Paris : OECD/IEA, 2014.
10. Lototsky M.V., Tolj I., Pickering L., Sita C., Barbir F., Yartys V. The use of metal hydrides in fuel cell applications // Progress in Natural Science: Materials International. 2017. T. 27. № 1. — С. 3-20.
11. U. S. Department of Energy, <http://www.energy.gov/>

МАТЮХ Сергій

Хмельницький національний університет

<https://orcid.org/0000-0001-9899-109X>e-mail: matuh@khmnu.edu.ua**СКИБА Микола**

Хмельницький національний університет

<https://orcid.org/0000-0003-0217-9633>e-mail: rector@khnu.km.ua**СИНЮК Олег**

Хмельницький національний університет

<https://orcid.org/0000-0002-9615-0729>e-mail: synyukom@khnu.km.ua**ГОРЯЩЕНКО Сергій**

Хмельницький національний університет

<https://orcid.org/0000-0001-6623-2523>e-mail: gsl7@ukr.net

ВИКОРИСТАННЯ ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЙ У ЗАКЛАДАХ ВИЩОЇ ОСВІТИ

В статті розглядаються вимоги до створення автономного університету, розглянуті альтернативні заходи вирішення проблем енергозбереження, показано ефективність та необхідність проведення енергетичного аудиту установи, зазначені дії, що виконав Хмельницький національний університет в рамках енергозбереження. Впровадження новітніх технологій виробництва та споживання енергоресурсів, а також технологій з використанням альтернативних джерел енергії можливе на основі попередньо проведеного комплексного енергетичного аудиту. Доведено доцільність будівництва автономної системи тепlopостачання, яка дала змогу відключити основні будинки від загальноміської тепломережі. Проведено заходи з утеплення стін, заміни системи водопостачання, використання теплових пунктів підвищує енергоефективність використання ресурсів. Впроваджено сонячну електростанцію.

Ключові слова: енергозбереження, університет, енергоефективність, сонячні електростанції

MATIUKH Serhii, SKYBA Mykola, SYNYUK Oleh, HORIASHCENKO Serhiy
Khmelnitskyi national university

USE OF ENERGY-SAVING TECHNOLOGIES IN HIGHER EDUCATION INSTITUTIONS

The article examines the requirements for the creation of an autonomous university, considers alternative measures to solve energy saving problems, shows the effectiveness and necessity of conducting an energy audit of the institution, indicates the actions performed by Khmelnytskyi National University in the framework of energy saving. The methodology for evaluating the effectiveness of measures is similar to the calculation of current energy consumption and energy consumption for the previous representative period. The difference is that when evaluating energy-saving measures, it is necessary to predict how the situation will change after their implementation. This entails a change in many coefficients, such as the rate of energy consumption, the power utilization coefficient, the duration of equipment operation during the year.

To save energy, Khmelnytskyi National University built its own boiler house with a capacity of 3,900 kW, which made it possible to disconnect several buildings from the city-wide heat supply network. Solar power plants were put into operation, solar panels were placed on the roofs of the buildings of the educational institution, educational and production bases, sports complex.

The implementation of the latest technologies for the production and consumption of energy resources, as well as technologies involving the use of alternative energy sources, is possible on the basis of a previously conducted comprehensive energy audit. The feasibility of building an autonomous heating system, which made it possible to disconnect the main buildings from the city-wide heat supply network, has been proven. Taking measures to insulate walls, replace the water supply system, and use heating points increases the energy efficiency of resource use. In addition, the introduction of alternative energy systems, the creation of own solar power plants and modern control systems for them allows you to optimize lighting costs per hectare, reduce costs for electricity needs, and even make money from sales using the "green tariff".

In this way, any higher educational institution can organize and conduct its own measures to increase the energy-efficient consumption of energy resources, conduct information campaigns, involving students and teachers. This will not only improve the energy situation at the university, but will also help save energy at home.

Keywords: save energy, university, energy efficiency, solar power plants

Постановка проблеми

Обґрунтування заходів підвищення ефективності енерговикористання повинне містити певні елементи, головні з яких: модифікація будівель; заміна обладнання; модернізація обладнання, систем керування, ізоляція; удосконалення технічного обслуговування обладнання; запровадження нових процедур керування [1, 2].

Аспекти заощадження енергії з впровадженням рекомендацій: зменшення втрат; скорочення зайвих операцій (зниження температури повітря в приміщеннях в позаробочий час та у вихідні дні, виключення неробочого ходу обладнання); підвищення ефективності використання енергії; підвищення ефективності

перетворення енергії (заміна котла на інший з вищим ККД, заміна пневмоприводу на електричний тощо); використання дешевих енергетичних ресурсів.

Фінансові витрати і вигоди: капіталовкладення; амортизаційні видатки; видатки на технічне обслуговування; енергетичні видатки; аналіз ефективності капіталовкладень.

Методика оцінювання ефективності заходів аналогічна до розрахунку нинішнього енергоспоживання та енергоспоживання за попередній репрезентативний період. Різниця полягає в тому, що під час оцінювання заходів з енергоощадності потрібно прогнозувати, як зміниться ситуація після їх впровадження. А це тягне за собою зміну багатьох коефіцієнтів, таких, як норма споживання енергії, коефіцієнт використання потужності, тривалість експлуатації обладнання впродовж року [3].

Перерахуємо основні причини, що приведуть до зниження споживання енергії після запровадження заходів з енергоощадності: ліквідація прямих втрат (ізолювання труб, усунення витоків, повернення конденсату); скорочення надмірного енергоспоживання (керування часом і температурою опалення, ефективне пересилання енергії); скорочення потужності споживання (використання обладнання з меншою потужністю, оптимізація); підвищення ефективності перетворення (підвищення ККД котла, компресора тощо); утилізація тепла викидів (рекуперація тепла, рециркуляція повітря в системах вентиляції і кондиціонування повітря); – використання економнішого джерела енергії (дешевше паливо, відновлювальні джерела енергії) [4].

Виходячи з практичної діяльності можна окреслити проблеми сфери енергозбереження [5, 6, 7].

1. Відсутність обов'язкового енергоаудиту та відповідальних осіб з енергозбереження на більшості підприємств та у бюджетній сфері. Це, зазвичай, призводить до нераціонального освоєння коштів, котрі витрачаються на енергозберігаючі заходи.

2. Відсутність державних механізмів, щодо спонукання керівників підприємств та установ бюджетної сфери до раціонального використання ПЕР та води.

3. Передати функції впровадження енергозберігаючої продукції від енергопостачальників до органів влади чи спеціалізованих організацій. Контроль за впровадженням покласти на інспекцію.

4. Централізоване постачання та використання місцевих видів палива чи заміна на автономне опалення більшості об'єктів бюджетної сфери з малими обсягами споживання ПЕР.

5. Заміна застарілого обладнання на сучасне енергоефективне (ККД котлів понад 93%), місцеве опалення, застосування систем інфрачервоного опалення виробничих приміщень тощо.

6 Запровадження індивідуальних теплових пунктів, замість елеваторних вузлів. Обґрунтування фактичного та перспективного теплового навантаження та розробка програми реконструкції систем тепlopостачання (розробка оптимального гідравлічного режиму теплової мережі, оптимізується обсяг циркуляції теплоносія, за рахунок цього зменшуються теплові втрати, знижується споживання теплової чи електричної енергії).

Саме вища школа є тим осередком, де одночасно можуть вирішуватись завдання як напрацювання енергозберігаючих технологій, так і підготовки фахівців. Вищі навчальні заклади як господарські енергоспоживаючі комплекси є своєрідними полігонами для апробації технічних напрацювань і практичного тренінгу студентів з урахуванням норм [8, 9, 10, 11]. Досвід, отриманий студентами під час навчання, має перспективу бути перенесеним і тиражованим у різні сфери економіки. При цьому досягається скорочення фінансових витрат навчальними закладами за рахунок зниження видатків на паливно-енергетичні ресурси. Це один із шляхів реалізації основної мети – підвищення енергетичної безпеки держави.

На засіданні Уряду 29 грудня 2021 року було схвалено Національний план дій з енергоефективності на період до 2030 року та затверджено 3-річний план заходів з його реалізації у 2021-2023 роках, що розроблено спільно з Міненерго за участю Секретаріату Енергетичного Співтовариства. Національна ціль з енергоефективності та заходи для її досягнення мають відповідати європейським підходам та Директиви 2012/27/ЄС «Про енергоефективність». [12, 13] Тому створення автономного університету є послідовним шляхом підняття рівня відповідальності за споживання енергетичних ресурсів, прикладом їх ощадливого використання.

Основна частина

Реалізація новітніх технологій виробництва та споживання енергетичних ресурсів, а також технологій, що передбачають використання альтернативних джерел енергії можлива на основі попередньо проведеного комплексного енергоаудиту. Для проведення комплексного енергоаудиту потрібно здійснити інвентаризацію енергетичного обладнання, провести енергоаудит у закладах та установах освіти області, встановити прогресивні норми питомих витрат енерготеплоносіїв у порядку визначеному законодавством, встановити прогресивні норми питомих витрат енерготеплоносіїв у порядку визначеному законодавством, передбачати при реконструкції та модернізації котелень, заміну енергоємних циркуляційних насосів на енергозберігаючі, обладнання котелень утилізаторами тепла [14, 15].

З урахуванням того що університет має загальну площу понад 90 000м² було передбачено поступовий перевід будівель та споруд з централізованого опалення на локальне, максимальне уникнення зовнішніх теплових мереж чи зменшення їх протяжності, ліквідування пошкодження теплової ізоляції на тепломережах, обладнанні котелень, теплових пунктів.

Для специфічних споруд таких як водноспортивна база, спорткомплекс, що знаходяться на певній відстані від університету передбачено використання альтернативних джерел енергії такі як теплові насоси, теплові колектори, сонячні батареї, вітростанції тощо.

У людства немає іншої альтернативи, як жити відповідно до своїх можливостей, споживати необхідну кількість енергії при максимально ефективному використанні її ресурсів. У всіх галузях економіки держави для організації енергозберігаючих заходів мають бути напрацьовані оптимальні методики і відповідно підготовлені фахівці [14, 16].

Розробка рекомендацій є найважливішим етапом енергоаудиту, оскільки заради одержання обґрунтованих пропозицій з підвищення ефективності використання енергії, проводиться енергетичне обстеження [14, 17].

Важливо підкреслити, що не можна обмежуватися очевидними заходами, такими, наприклад, як запровадження більш енергоефективного обладнання. Слід звернути увагу на менш очевидні можливості підвищення енергоефективності, прикладами яких можуть бути зміни системи енергопостачання, застосування комплексного виробництва теплової і електроенергії, використання як палива відходів виробництва, інших методів виробництва, що дозволяють використовувати дешевші енергетичні ресурси ВНЗ, що мають власні виробничі потужності та теплові мережі.

Пропоновані рекомендації з енергоощадності можна розділити стосовно категорій енергоспоживачів чи стосовно альтернативних заходів вирішення, однієї і тієї ж самій енергетичній проблеми. Однак, найчастіше застосовують розподіл заходів за їх вартістю, як наведено нижче.

Безвитратні рекомендації: ощадливе використання наявних ресурсів; покращення до нормативного технічного обслуговування обладнання; придбання палива від іншого постачальника за нижчою ціною.

Низьковитратні рекомендації: встановлення ефективнішого обладнання; встановлення нових (автономних) засобів керування; теплова ізоляція теплотрас і приміщень; зміна регламенту технічного обслуговування обладнання; навчання персоналу; контроль енергоспоживання і оперативне планування.

Високовитратні рекомендації: зміна значної частини виробничого обладнання; встановлення комплексних систем керування; комплексне виробництво та використання теплової і електричної енергії; рекуперація тепла [18].

На виконання доручень Кабінету Міністрів України від 13.02.01р. №1614/2 та від 15.08.06р. №27288/71/1-06 щодо забезпечення розробки і контролю за виконанням загальнодержавного, галузевих та регіональних планів заходів зі скорочення споживання енергоресурсів на виробництві та у бюджетній сфері в Хмельницькому національному університеті наказом ректора № 34 від 7.02.2002 р. створено Регіональний інформаційно-інноваційний центр з енергозбереження, який є спеціалізованою організацією, що неодноразово отримував свідоцтва Національного агентства України з питань забезпечення ефективного використання енергетичних ресурсів (НАЕР) За час роботи центру виконано близько 300 енергетичних обстежень бюджетних установ та промислових підприємств, розроблено 4 програми енергозбереження міст і області.

Фахівцями РІЦ з енергозбереження ХНУ спільно з працівниками інших установ, підприємств та організацій, а також службовцями державних адміністрацій всіх рівнів виконуються заходи передбаченні державними та обласною програмами енергозбереження. Вони виконують такі роботи:

- проведення енергетичної паспортизації (заповнення енергетичного паспорта) підприємств, установ та організацій ;
- проведення енергоаудиту (проведення енергетичного обстеження та аналіз його результатів з наданням рекомендацій по зменшенню енергозатрат та енергоемності в собівартості продукції);
- участь у розробці районних та місцевих програм з енергозбереження;
- формування і супровід інформаційних баз даних про перспективні науково-технічні проекти, рішення, винаходи та іншу науково-технічну продукцію у сфері енергозбереження тощо.

На основі проведеного енергоаудиту та відповідно до планів заходів програми Міністерства освіти та науки України щодо зменшення споживання енергоресурсів навчальними закладами та установами освіти [18, 19] у Хмельницькому національному університеті для енергозбереження була побудована власна котельня потужністю 3900 кВт, яка дозволила відключити кілька корпусів від загальноміської мережі теплопостачання.

Загальна схема опалення приміщень корпусів даної котельнею показано на рис.1. Застосування власної котельні дозволило регулювати енерговитрати в залежності від сезонів, часу доби та днів тижня. Так, наприклад, в суботу і неділю, та в вечірні та нічні години котельня лише підтримує мінімальний рівень тепла у приміщеннях. Лише у робочі години вона працює на повну потужність, забезпечуючи комфортне перебування викладацького складу та студентів у стінах університету. (Рис.2) В результаті економія складає 213 т.у.п., або 28%.

Замінена повністю зношена розподільча тепломережа 537 п.м., що побудована у 80-х роках минулого століття, на сучасну з попередньо ізольованих труб з багатоканальною прокладкою, протяжністю 320 п.м. (Рис.4).



Рис. 1. Зовнішній вигляд автономної котельні ХНУ

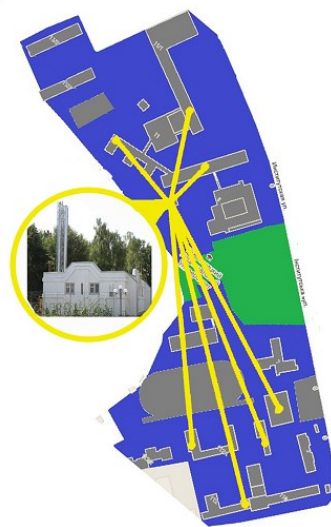


Рис. 2. Схема підключення автономної котельні



Рис. 3. Встановлений теплопункт



Рис. 4. Модернізація теплотраси

Проведена робота по утепленню фасадів навчальних корпусів, а також заміна фізично зношених дерев'яних блоків на пластикові вікна. (Рис.5)



Рис. 5. Роботи з утеплення стін корпусів

Хмельницький (місто)

Складено _____ 2010 р.
Щорічне корегування обсягів класифікації

**ЕНЕРГЕТИЧНИЙ ПАСПОРТ
БЮДЖЕТНОЇ УСТАНОВИ, ОРГАНІЗАЦІЇ**

Хмельницький національний університет
(найменування)

Міністерство освіти і науки України
(підпорядкованість)

Фінансується з бюджету: **державного**
(державного, обласного, районного, міського та інше фінансування)

Тип: **Науково-бібліотечний**

Передбачено проектом **1200** фактично **1000**
(визначено на добу)

 М. П. **Проректор з АГР та ВН**
(Посада керівника)

 **Фомов А.Д.**
(Примітка: ім'я та по батькові)

тел.: _____
факс: _____

Рис. 6. Приклад енергетичного паспорту

Таким чином встановлення автономної котельні підтвердило попередні розрахунки. Загальна економія енергетичних ресурсів складає 800 тис. грн. в рік. Результативність енергоефективних заходів показано у таблиці 1.

Таблиця 1

Заходи з енергоефективності				
№ п/п	Назва заходу з енергоефективності	Загальний обсяг фінансування, тис.грн.	Вартість зекономлених ресурсів, тис.грн/рік	Строк окупності, рік
1	Будівництво котельні потужністю 5000 кВт з реконструкцією мережі	1360	800	1,7
2	Модернізація теплотраси	900	80	3
3	Будівництво двох тепловпунктів	220	80	2,7
4	Утеплення стін	900	95	9,5
5	Заміна вікон	250	30	8

Ще один з прикладів реалізації енергоефективної роботи університету є Проект “Енергоефективні університетські містечка” [20] з урахуванням [21, 22]. Мета проекту : зменшення витрат Хмельницького національного університету на оплату комунальних платежів шляхом підвищення ефективності та раціональності використання енергоресурсів. Очікуваний результат – забезпечення ідеального мікроклімату у будівлях ХНУ за найменших витрат на оплату комунальних послуг. Учасники проекту: викладачі та студенти ХНУ.

Для реалізації поставленої мети було створено функціонально – організаційну структуру, метою якої був розподіл обов’язків між учасниками проекту відповідно до напрямку їх кваліфікації. Для організації ефективної роботи, більш чіткого окреслення завдань і контролю за їх виконанням, до кожної з груп були представлені керівники відповідно до спеціальностей і компетенції студентів - учасників цих груп.

Головним завданням було:

- проведення спрощеного енергоаудиту структурних підрозділів ХНУ;
- за результатами попередньо проведеного енергоаудиту обрати найбільш енерговитратні будівлі ХНУ;
- визначити причини, що призводять до втрат будівлями енергоресурсів;
- визначити втрати будівлею енергоресурсів у натуральному вимірнику;
- розробити та запропонувати заходи щодо підвищення ефективності використання енергоресурсів структурними підрозділами ХНУ.

Отримані результати:

За результатами проведеного нами спрощеного аудиту структурних підрозділів ХНУ було обрано 2 найбільш енерговитратні будівлі, а саме: спорткомплекс та гуртожиток №3. Наступним етапом нашої роботи було провести детальний аудит попередньо визначених будівель. За результатами проведеного нами детального енергоаудиту (створення енерговитратної моделі) було визначено причини, що призвели до неефективного та нерационального використання енергоресурсів гуртожитком № 3 та спорткомплексом. За результатами отриманих розрахунків було визначено найбільш ефективні та прийнятні заходи щодо скорочення витрат на теплопостачання.

Заходи щодо підвищення ефективності системи теплопостачання гуртожитку №3:

- підвищення термічного опору зовнішніх стін та даху будівлі. Дає змогу зменшити споживання на 154,22 Гкал на рік на опалення. За утеплюючий матеріал для стін прийнято пінополістирол(150 кг/м³) товщиною 6 см, а для покрівлі прийняли мати мінералватні прошиті(50 кг/м³) товщиною 5 см.
- встановлення індивідуального теплового пункту замість елеваторного вузла. Дає змогу зекономити 20% енергії і зменшити споживання 75,5 Гкал.
- ремонт та ущільнення вікон та дверей методом Euro – Stipt. Встановлення ущільнюючого матеріалу в спеціально вифрезерований паз. Зменшує інфільтрацію в приміщеннях на 7-9%.

За результатами проведеного нами енергоаудиту спорткомплексу, було виявлено, що будівля спорткомплексу отримує недостатню кількість теплоти, про що свідчить температура у приміщенні спорткомплексу, яка рівна 13 °С при нормативному показнику 18 °С. Впровадивши нижче перелічені заходи ми зможемо забезпечити ідеальний мікроклімат у приміщенні спорткомплексу та одночасно отримати економію у розмірі 106 Гкал.

Заходи щодо підвищення ефективності системи теплопостачання спорткомплексу:

- підвищення термічного опору зовнішніх стін та даху будівлі. Дає змогу зменшити споживання на 65,8 Гкал на рік на опалення. За утеплюючий матеріал для стін прийнято пінополістирол(150 кг/м³) товщиною 5 см, а для покрівлі прийняли мати мінералватні прошиті(50 кг/м³) товщиною 5 см.
- встановлення індивідуального теплового пункту замість елеваторного вузла. Дає змогу зекономити 20% енергії і зменшити споживання 39,6 Гкал.
- ремонт та ущільнення вікон та дверей методом Euro – Stipt. Встановлення ущільнюючого матеріалу в спеціально вифрезерований паз. Збільшує інфільтрацію в приміщеннях на 7-9%.

В рамках проекту «Енергоефективні університетські містечка» в університеті проводились такі компанії по роз’ясненню ощадливого використання енергоносіїв як: «Обмінняй лампочку на свічку – проведи

романтичний вечір», «Подаруй природі пів години відпочинку. Вимкни світло», студенти приймали участь у флеш-мобах «Тепло» «Як не замерзнути взимку», «Живий коридор».

У 2017 році в експлуатацію введено сонячні електростанції, сонячні панелі розмістили на дахах корпусів навчального закладу, навчально-виробничих базах, спорткомплексу. Таким чином університет зможе і себе забезпечити електроенергією, і в майбутньому продавати її надлишок за «зеленим тарифом». Зараз станція працює в межах 350 кіловат. Коли ж розшириться її потужність до 500 кіловат, навчальний заклад зможе себе сам повністю забезпечити.



Рис. 7. Розташування сонячних панелей електростанції на даху корпусу університету



Рис. 8. Система моніторингу стану сонячних панелей

Науковці Хмельницького національного університету розробили системи накопичення енергії двох типів: на акумуляторах і з використанням суперконденсаторів. Суперконденсатор має ємність три тисячі фарад. Єдина проблема, що він має невелику напругу – 2,7 вольт, тому елементи з'єднують послідовно.

У диспетчерському пункті сонячної електричної станції стоїть система зв'язку, яка дозволяє в автоматичному режимі спостерігати і моніторити, як електростанція працює і як здійснюється споживання генераторів електроенергії університеті.

Також в Хмельницькому національному університеті розроблено систему підвищення ККД сонячних панелей на основі модифікації поєднання оптимізатора і інвертору яка дає підвищення ефективності відбору енергії від панелей до 30 відсотків. Система запатентована, представлялася на міжнародних симпозиумах, виставках і конференціях, її актуальність висвітлена у серії публікацій які індексуються у наукометричних базах Scopus та Web of Science.

Висновки

Реалізація новітніх технологій виробництва та споживання енергетичних ресурсів, а також технологій, що передбачають використання альтернативних джерел енергії можлива на основі попередньо проведеного комплексного енергоаудиту. Доведена доцільність будівництва автономної опалювальної системи, яка дозволила відключити основні корпуси від загальноміської мережі теплопостачання. Загальна

економія енергетичних ресурсів складає від 800 тис. грн. в рік. Проведення заходів щодо утеплення стін, заміни системи водопостачання та застосування тепlopунктів підвищує показники енергоефективності використання ресурсів. Крім того впровадження систем альтернативної енергетики, створення власних сонячних електростанцій та сучасних систем керування ними дозволяє оптимізувати витрати на освітлення, знизити витрати на потреби у електроенергії і навіть заробляти на продажі з використанням «зеленого тарифу».

Таким чином любий вищий навчальний заклад може організувати та провести власні заходи по підвищенню енергоефективного споживання енергоресурсів, провести інформаційні компанії, залучивши студентство та викладачів. Це не тільки покращить енергетичну ситуацію в ВУЗі а ще буде сприяти економії енергоносіїв дома. Також заходи будуть сприяти вихованню ощадливої молоді, до дасть свої плоди економії в усіх регіонах нашої країни, що відповідає розробленою урядом Енергетичної стратегії України на період до 2030 року.

Література

1. Енергетична стратегія України на період до 2030 року: схвалена розпорядженням КМУ від 15.03.2006 р. № 145 – р. – К., 2006. – 129 с.
2. Закон України «Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо стимулювання заходів з енергозбереження» // Офіційний вісник України. – 2007. – № 27. – С. 7. – Ст. 1077.
3. Енергетичний аудит: навчальний посібник / О.І. Соловей, В.П. Розен, Ю.Г. Лега, О.О. Ситник, А.В. Чернявський, Г.В. Курбака. – Черкаси: ЧДТУ, 2005. – 299 с.
4. Енергоаудит: [посібник для слухачів навчальних курсів з енергетичного менеджменту] / укладач А. А. Малиновський. – Львів: РЦППКСЄЕ Нац. ун-ту «Львівська політехніка», 2000. – 92 с.
5. Стратегія енергозбереження в Україні: Аналітичні матеріали в 2-х томах: Т.2: Механізми реалізації політики енергозбереження. – К.: Академперіодика, 2006. – 600 с.
6. М.М. Кулик, В.Д. Білодід, М.В. Гнідий. Основи політики підвищення енергетичної ефективності та головні заходи з енергозбереження в економіці України // Проблеми загальної енергетики. – 2007. – № 15. – С. 7–16.
7. П.Н. Головатюк Енергетична стратегія України: пріоритетні напрями збереження енергоресурсів [Електронний ресурс] / П.Н. Головатюк. – Режим доступу: <http://www.kmu.gov.ua> (дата звернення: 14.06.2009).
8. ДСТУ 2155-93. Енергозбереження. Методи визначення економічної ефективності заходів по енергозбереженню [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://document.ua/documents/doc3157.php>.
9. ДСТУ 2339-94. Енергозбереження. Основні положення [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://normativ.com.ua/types/tdoc9601.php>.
10. ДСТУ 2420-94. Енергозбереження. Терміни та визначення [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.budinfo.org.ua/doc/1305147.jsp>.
11. ДСТУ 3755-98. Енергозбереження. Номенклатура показників енергоефективності та порядок їх внесення у нормативну документацію [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.budinfo.org.ua/doc/1305147.jsp>.
12. Уряд схвалив Національний план дій з енергоефективності на період до 2030 року [Електронний ресурс]. – Режим доступу: www.uazakon.com <https://www.rv.gov.ua/news/uryad-shvaliv-nacionalnij-plan-dij-z-energoefektivnosti-na-period-do-2030-roku>
13. С.Ф. Єрмілов. Енергетична політика в контексті сталого розвитку держави / С.Ф. Єрмілов // Проблеми екології та енергозбереження. – 2006. – № 3. – С. 9–24.
14. Балюта, С.М. Основи енергоаудиту та енергетичного менеджменту [Електронний ресурс] : навч. посібник / С.М.Балюта, Л.О.Копилова, І.Ю.Литвин. – К.: НУХТ, 2017.
15. Енергетичний менеджмент/ Ю.В. Дзядичев, М.В. Бурак, Р.І., Розум – Тернопіль: Економічна думка, 2010. -295 с.
16. Економіка України на шляху від депресії до зростання: джерела, важелі, інструменти / Я.А. Жаліло, Д.С. Покришка, Я.В. Белінська та ін. – К.: НІСД, 2010. – 96 с.
17. А.Є. Конеченков. Критичний аналіз основних положень «Енергетичної стратегії України на період до 2030 року» [Електронний ресурс] / Агентство з відновлюваної енергетики. – Режим доступу: http://www.mama86.org.ua/archive/files/critica_web.pdf.
18. Програми підвищення енергоефективності Хмельницької області на 2017-2021 роки. Від 23 березня 2017 року № 22-11/2017.
19. Про заходи щодо скорочення енергоспоживання бюджетними установами, організаціями та казенними підприємствами [Електронний ресурс]: указ Президента України. – Режим доступу: <http://zakon.rada.gov.ua/>.
20. Енергозбереження в університетських містечках. Збірник задач для студентів вищих навчальних закладів освіти. – К., 2011. – 195 с. 20. О.М. Суходоля. Енергоефективність економіки в контексті національної безпеки: методологія та механізми реалізації. – К.: Вид-во НАДУ, 2006. – 424 с.
21. Математичне моделювання автоматизованої теплоакumuлюючої системи/ С.Л. Горященко, О.О. Никитин, Ю.Ю. Кушнір, С.В. Успенко// Вісник хмельницького національного університету серія: Технічні науки, - 2017 - №6, с. 60-64

22. Експериментальні дослідження параметрів ефективності нагрівання та акумулювання тепла у системі "нагрівач-рідина-бак" / С. Л. Горященко, А. І. Гордєєв, Є. О. Голінка, С. В. Упаленко // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2016. – № 5. – С. 43-47.

23. Про схвалення Енергетичної стратегії України на період до 2030 року [Електронний ресурс]: розпорядження Кабінету Міністрів України (15.03.2006 № 145-р). – Режим доступу: http://zakon.nau.ua/doc/?doc_id=407517.

References

1. Enerhetychna stratehiya Ukrainy na period do 2030 roku: skhvalena rozporядzhenniam KМУ vid 15.03.2006 r. # 145 – r. – К., 2006. – 129 s.
2. Zakon Ukrainy «Pro vnesennya zmin do deyakikh zakonodavchikh aktiv Ukrainy shchodo stymuluvannya zakhodiv z enerhoberezhennya» // Ofitsiyny visnyk Ukrainy. – 2007. – # 27. – S. 7. – St. 1077.
3. Enerhetychnyy audyt: navchal'nyy posibnyk / O.I. Solovey, V.P. Rozen, Yu.H. Leha, O.O. Sytnyk, A.V. Chernyavs'kyi, H.V. Kurbaka. – Cherkasy: ChDTU, 2005. – 299 s.
4. Enerhoaudyt: [posibnyk dlya slukhachiv navchal'nykh kursiv z enerhetychnoho menedzhmentu] / ukladach A. A. Malinovs'kyi. – L'viv: RTsPPKKSEE Nats. un-tu «L'viv's'ka politehnika», 2000. – 92 s.
5. Stratehiya enerhoberezhennya v Ukraini: Analitichni materialy v 2-kh tomakh: T.2: Mekhanizmy realizatsiyi polityky enerhoberezhennya. – К.: Akademperiodyka, 2006. – 600 s.
6. M.M. Kulyk, V.D. Bilodid, M.V. Hnidy. Osnovy polityky pidvyshchennya enerhetychnoyi efektyvnosti ta holovni zakhody z enerhoberezhennya v ekonomitsi Ukrainy // Problemy zahal'noyi enerhetyky. – 2007. – # 15. – S. 7–16.
7. P.N. Holovatyuk Enerhetychna stratehiya Ukrainy: priorytetni napryamy zberezheniya enerhoresursiv [Elektronnyy resurs] / P.N. Holovatyuk. – Rezhym dostupu: <http://www.kmu.gov.ua> (data zvernennya: 14.06.2009).
8. DSTU 2155-93. Enerhoberezhennya. Metody vyznachennya ekonomichnoyi efektyvnosti zakhodiv po enerhoberezhennyu [Elektronnyy resurs]. – Rezhym dostupu: <http://document.ua/documents/doc3157.php>.
9. DSTU 2339-94. Enerhoberezhennya. Osnovni polozhennya [Elektronnyy resurs]. – Rezhym dostupu: <http://normativ.com.ua/types/doc9601.php>.
10. DSTU 2420-94. Enerhoberezhennya. Terminy ta vyznachennya [Elektronnyy resurs]. – Rezhym dostupu: <http://www.budinfo.org.ua/doc/1305147.jsp>.
11. DSTU 3755-98. Enerhoberezhennya. Nomenklatura pokaznykiv enerhoefektyvnosti ta poryadok yikh vnesennya u normativnu dokumentatsiyu [Elektronnyy resurs]. – Rezhym dostupu: <http://www.budinfo.org.ua/doc/1305147.jsp>.
12. Uryad skhvalyv Natsional'nyy plan diy z enerhoefektyvnosti na period do 2030 roku [Elektronnyy resurs]. – Rezhym dostupu: www.uazakon.com <https://www.rv.gov.ua/news/uryad-shvaliv-nacionalnij-plan-diy-z-energoefektivnosti-na-period-do-2030-roku>
13. S.F. Yermilov. Enerhetychna polityka v konteksti staloho rozvytku derzhavy / S.F. Yermilov // Problemy ekolohiyi ta enerhoberezhennya. – 2006. – # 3. – S. 9–24.
14. Balyuta, S.M. Osnovy enerhoaudytu ta enerhetychnoho menedzhmentu [Elektronnyy resurs] : navch. posibnyk / S.M.Balyuta, L.O.Kopylova, I.Yu.Lytyn. – К.: NUKhT, 2017.
15. Enerhetychnyy menedzhment/ Yu.V. Dzyadykevych, M.V. Buryak, R.I. Rozum – Ternopil': Ekonomichna dumka, 2010. – 295 s.
16. Ekonomika Ukrainy na shlyakhu vid depresiyi do zrostannya: dzhherela, vazheli, instrumenty / Ya.A. Zhalilo, D.S. Pokryshka, Ya.V. Belins'ka ta in. – К.: NISD, 2010. – 96 s.
17. A.Ye. Konechenkov. Krytychnyy analiz osnovnykh polozhen' «Enerhetychnoyi stratehiyi Ukrainy na period do 2030 roku» [Elektronnyy resurs] / Ahent'stvo z vidnovlyuvanoi enerhetyky. – Rezhym dostupu: http://www.mama86.org.ua/archive/files/critica_web.pdf.
18. Prohramy pidvyshchennya enerhoefektyvnosti Khmel'nyts'koyi oblasti na 2017-2021 roky. Vid 23 bereznia 2017 roku # 22-11/2017.
19. Pro zakhody shchodo skorochennya enerhospozhyvannya byudzhethnymi ustanovamy, orhanizatsiyamy ta kazennymy pidpryyemstvamy [Elektronnyy resurs]: ukaz Prezydenta Ukrainy. – Rezhym dostupu: <http://zakon.rada.gov.ua/>.
20. Enerhoberezhennya v universytet's'kykh mistechkakh. Zbirnyk zadach dlya studentiv vyshcheykh navchal'nykh zakladiv osvity. – К., 2011. – 195 s.
20. O.M. Sukhodolya. Enerhoefektyvnist' ekonomiky v konteksti natsional'noyi bezpeky: metodolohiya ta mekhanizmy realizatsiyi. – К.: Vyd-vo NADU, 2006. – 424 s.
21. Matematychno modelyvannya avtomatyzovanoyi teploakumulyuyuchoyi sysetemy/ S.L. Horyashchenko, O.O. Nykytyn, Yu.Yu. Kushnir, S.V. Uspalenko// Visnyk khmel'nyts'koho natsional'noho universytetu seriya: Tekhnichni nauky, - 2017 - #6, s. 60-64
22. Eksperymental'ni doslidzhennya parametriv efektyvnosti nahrivannya ta akumuluvannya tepla u systemi "nahrivach-ridyna-bak"/ S. L. Horyashchenko, A. I. Hordyeyev, Ye. O. Holinka, S. V. Upalenko // Visnyk Khmel'nyts'koho natsional'noho universytetu. Tekhnichni nauky. – 2016. – # 5. – S. 43-47.
23. Pro skhvalennya Enerhetychnoyi stratehiyi Ukrainy na period do 2030 roku [Elektronnyy resurs]: rozporядzhennya Kabinetu Ministriv Ukrainy (15.03.2006 # 145-r). – Rezhym dostupu: http://zakon.nau.ua/doc/?doc_id=407517.

За зміст повідомлень редакція відповідальності не несе

Повні вимоги до оформлення рукопису
http://journals.khnu.km.ua/vestnik/?page_id=37

**Рекомендовано до друку рішенням вченої ради Хмельницького національного університету,
протокол № 6 від 29.12.2022 р.**

Підп. до друку 29.12.2022 р. Ум.друк.арк. 27,38 Обл.-вид.арк. 26,05
Формат 30x42/4, папір офсетний. Друк різнографією.
Наклад 100, зам. № _____

Тиражування здійснено з оригінал-макету, виготовленого
редакцією журналу “Вісник Хмельницького національного університету”
редакційно-видавничим центром Хмельницького національного університету
29016, м. Хмельницький, вул. Інститутська, 7/1. тел (0382) 72-83-63