

ISSN 2307-5732

DOI 10.31891/2307-5732

НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ

2.2023

---

# ВІСНИК

**Хмельницького  
національного  
університету**

*Том 1*

**Технічні науки**

---

**Technical sciences**

SCIENTIFIC JOURNAL

HERALD OF KHMELNYTSKYI NATIONAL UNIVERSITY

2023, Issue 2, Volume 319

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, 2023, № 2(319)**

---

**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](http://nbuv.gov.ua/j-tit/Vchnu_tekh)

Включено до науково-метричних баз:

<b>Google Scholar</b>	<a href="http://scholar.google.com.ua/citations?hl=uk&amp;user=aUP9OYAAAAAJ">http://scholar.google.com.ua/citations?hl=uk&amp;user=aUP9OYAAAAAJ</a>
<b>Index Copernicus</b>	<a href="http://jml2012.indexcopernicus.com/passport.php?id=4538&amp;id_lang=3">http://jml2012.indexcopernicus.com/passport.php?id=4538&amp;id_lang=3</a>
<b>Polish Scholarly Bibliography</b>	<a href="https://pbn.nauka.gov.pl/journals/46221">https://pbn.nauka.gov.pl/journals/46221</a>
<b>CrossRef</b>	<a href="http://doi.org/10.31891/2307-5732">http://doi.org/10.31891/2307-5732</a>

<b>Головний редактор</b>	<b>Скиба М. Є.</b> , 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
<b>Заступник головного редактора</b>	<b>Синюк О. М.</b> , д.т.н., професор кафедри машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем Хмельницького національного університету
<b>Відповідальний секретар</b>	<b>Горященко С. Л.</b> , 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., Говорущенко 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), Мушял 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 № 10 від 27.04.2023 р.**

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

<b>☎</b>	(038-2) 67-51-08	<b>web:</b>	<a href="http://journals.khnu.km.ua/vestnik">http://journals.khnu.km.ua/vestnik</a>
<b>e-mail:</b>	<a href="mailto:visnyk.khnu@khmnu.edu.ua">visnyk.khnu@khmnu.edu.ua</a> <a href="mailto:visnyk.khnu@gmail.com">visnyk.khnu@gmail.com</a>		<a href="http://lib.khnu.km.ua/visnyk_tup.htm">http://lib.khnu.km.ua/visnyk_tup.htm</a>

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, 2023  
© Редакція журналу "Вісник Хмельницького національного університету", 2023

## ЗМІСТ

<b>ЗАЛЮБОВСЬКИЙ МАРК, БЛАЖЕНКО МАРІЯ, ПАНАСЮК ІГОР.</b> СИЛОВЕ ДОСЛІДЖЕННЯ РЕАКТИВНИХ НАВАНТАЖЕНЬ У КІНЕМАТИЧНИХ ПАРАХ ГАЛТУВАЛЬНОЇ МАШИНИ З РОБОЧОЮ ЄМКІСТЮ ЗІ СКЛАДНИМ ПРОСТОРОВИМ РУХОМ ТА ЗМІННИМ ОБ'ЄМОМ .....	9
<b>АСАУЛЮК ТЕТЯНА, САРІБСКОВА ЮЛІЯ, СЕМЕШКО ОЛЬГА, КУЛІШ ПРИНА</b> ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПРЕКУРСОРІВ НА СТРУКТУРНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ СИНТЕЗОВАНИХ НАНОЧАСТИНОК ZnO .....	15
<b>БАБИЧ АНТОНІНА, ТЕЛУШКА СВІТЛАНА, БЩЕНЄВА ТЕТЯНА</b> РОЗРОБКА КОЛЕКЦІЇ ЖІНОЧИХ ЛЕГКИХ СУКОНЬ З УРАХУВАННЯМ ОСОБЛИВОСТЕЙ ФІГУРИ ЗАМОВНИКА .....	20
<b>БАТИГІН ЮРІЙ, ШИНДЕРУК СВІТЛАНА, ЧАПЛИГІН ЄВГЕН, ФЕНДРИКОВ ДЕНИС</b> РІЗНІ ПІДХОДИ ДО ПЕРЕТВОРЕННЯ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ В АКТИВНУ .....	27
<b>БЕЗВЕСІЛЬНА ОЛЕНА, НЕЧАЙ СЕРГІЙ, ТОЛОЧКО ТЕТЯНА, ГРИНЕВИЧ МАРІЯ</b> ДОСЛІДЖЕННЯ ЗМІНИ МОДЕЛІ ПОБУДОВИ СТАБІЛІЗАТОРА З МЕТОЮ ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ .....	36
<b>ВАСИЛИНИЧ АНАСТАСІЯ, КИРИЦЯ ІННА</b> «ЗЕЛЕНІ ПОВЕРХИ» – МАЙБУТНЄ ЕКОЛОГІЧНИХ МІСТ .....	44
<b>ВАСИЛЬКІВСЬКИЙ МИКОЛА, БОЛДИРЕВА ОЛЬГА, ВАРГАТЮК ГАННА, БУДАШ МИХАЙЛО</b> ОПТИМАЛЬНІ СИГНАЛЬНО-КОДОВІ КОНСТРУКЦІЇ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ІНФОКОМУНІКАЦІЙНИХ РАДІОСИСТЕМ МОБІЛЬНОГО ЗВ'ЯЗКУ 5G ТА 6G .....	48
<b>ВАСИЛЬКІВСЬКИЙ МИКОЛА, ГОРОДЕЦЬКА ОКСАНА, СТАЛЬЧЕНКО ОЛЕКСАНДР, БУДАШ МИХАЙЛО</b> ІНТЕГРОВАНА РАДІОСИСТЕМА СКАНУВАННЯ ТА ЗВ'ЯЗКУ .....	56
<b>ВОЛОШКО АНАТОЛІЙ, ДЖЕРЯ ТЕТЯНА</b> МЕТОД ЛОКАЛЬНОГО ВІДНОВЛЕННЯ СЕГМЕНТІВ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИГНАЛІВ .....	64
<b>ГАНЗЮК АЛЛА, МАСЛО ЛЕСЯ</b> ДОСЛІДЖЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК САПОНІТОВОГО ГРАНУЛЯТУ .....	70
<b>ДАНИЛИК ВІТАЛІЙ, ЛИТВИН ВАСИЛЬ, МУШАСТА СОЛОМІЯ</b> ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА ІДЕНТИФІКАЦІЇ ТЕРМІНІВ ТА АБРЕВІАТУР У ТЕКСТОВИХ ДОКУМЕНТАХ .....	81
<b>ДАНИЛКОВИЧ АНАТОЛІЙ, ЛІЩУК ВІКТОР, САНГІНОВА ОЛЬГА</b> ФОРМУВАННЯ ШКІРИ, НАПОВНЕНОЇ МОДИФІКОВАНОЮ СИНТАННО-ТАНІДНОЮ КОМПОЗИЦІЄЮ .....	88
<b>ДУБАС ЮРІЙ, КУНАНЕЦЬ НАТАЛІЯ</b> ВИКОРИСТАННЯ ОНТОЛОГІЇ В ІНФОРМАЦІЙНІЙ СИСТЕМІ ДЛЯ ДОПОМОГИ У ФОРМУВАННІ ІНДИВІДУАЛЬНОЇ ОСВІТНЬОЇ ТРАЄКТОРІЇ СТУДЕНТІВ .....	94
<b>ЄФІМОВА ВЕРОНІКА, ЛУЦЕНКО ТЕТЯНА</b> РОЗРОБКА СКЛАДУ ЛІКУВАЛЬНО-ПРОФІЛАКТИЧНОЇ ЗУБНОЇ ПАСТИ З ЕКСТРАКТОМ ШАВЛІЇ, ЯЛВІЦЮ ТА РОМАШКИ .....	103
<b>ЗАВГОРОДНІЙ ОЛЕКСІЙ, ЛЕВКІН ДМИТРО, МАКАРОВ ОЛЕКСАНДР, КОТКО ЯНА</b> ДОСЛІДЖЕННЯ РОЗРАХУНКОВИХ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ .....	108
<b>ЗАЙЦЕВ СЕРГІЙ, ТІХЕНКО ВАЛЕНТИН</b> ДІАГНОСТУВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ОЛИВИ В СИСТЕМАХ ОХОЛОДЖЕННЯ НАСОСНИХ АГРЕГАТИВ ОБЛАДНАННЯ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ .....	113
<b>ЗАСПА ЮРІЙ</b> ТРОЇСТІ МУЛЬТИПЛІКАТИВНІ ТЕРМОРЕЗОНАНСИ НА СПЕКТРАХ ОБМІННОГО ІНЕРЦІЙНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ, ЗГЕНЕРОВАНОГО В НЕРІВНОВАЖНИХ СЕРЕДОВИЩАХ З КОНТАКТНИМИ РОЗРИВАМИ В ТЕХНІЧНИХ, КОСМІЧНИХ, ПСЕВДОЕЛЕМЕНТАРНИХ ТА БІОЛОГІЧНИХ СИСТЕМАХ У КОМПЛЕКСНОМУ ПРОСТОРІ З ТРИПЛЕТНИМ ПОРУШЕННЯМ АНТИСИМЕТРІЇ .....	120
<b>ЗУБКОВА КАТЕРИНА, СТОЯНОВА ОЛЬГА, ШЕРСТЮК ВОЛОДИМИР</b> ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СХЕМИ СУШІННЯ ТОМАТНОЇ ПАСТИ ТА КОНТРОЛЮ БЕЗПЕЧНОСТІ ЗГІДНО З ПРИНЦИПАМИ НАССР .....	134

<b>КАЛИТА ОЛЕГ</b> МОДЕЛЬ ПОДАННЯ МІМІЧНИХ ПРОЯВІВ ЕМОЦІЙНИХ СТАНІВ ЛЮДИНИ ДЛЯ СИСТЕМ ВІДЕОНАГЛЯДУ .....	143
<b>КАРПОВ ІГОР. , БУРОВ ЄВГЕН</b> ОНТОЛОГІЇ У ПРОЦЕСІ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ .....	149
<b>КОВАЛЕНКО ЮРІЙ, ТОКАРЧУК ВОЛОДИМИР, КОВАЛЕНКО СВІТЛАНА</b> ВПЛИВ СУЛЬФАТ-ІОННОГО СЕРЕДОВИЩА НА МОДИФІКОВАНУ ЦЕМЕНТНУ МАТРИЦЮ РЕДИСПЕРГОВАНИМИ ПОЛІМЕРАМИ .....	154
<b>КОВАЛЕНКО ОЛЕКСАНДР, БОНДАРЕНКО ВІКТОР, БОНДАРЕНКО НАТАЛІЯ</b> КОНТРОЛЬ І ПІДТРИМКА ЯКОСТІ ОБСЛУГОВУВАННЯ У VoIP МЕРЕЖІ .....	163
<b>КРИВЕНЧУК ЮРІЙ, ВОВЧАК ЛЮБОМИР</b> ПРОГНОЗУВАННЯ ТЕНДЕНЦІЙ АВТОМОБІЛЬНОГО РИНКУ ЗА ДОПОМОГОЮ МЕТОДІВ МАШИННОГО НАВЧАННЯ .....	167
<b>КРИВЕНЧУК ЮРІЙ, ПИХНЕЙ ВЕРОНІКА</b> ВЕБ-АПЛІКАЦІЯ З АНАЛІЗОМ ТА ВІЗУАЛІЗАЦІЄЮ МЕТРИК КРИПТОВАЛЮТ З ПЕРЕДБАЧЕННЯМ МАЙБУТНЬОЇ ЦІНИ ЗА ДОПОМОГОЮ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ .....	171
<b>КРИЛИК ЛЮДМИЛА</b> ВИЗНАЧЕННЯ ЯКІСНОГО ВПЛИВУ ФАКТОРІВ НА ЧУТЛИВІСТЬ ЄМНІСНОГО СЕНСОРА ВОЛОГОСТІ ДВОШАРОВОЇ СТРУКТУРИ, ОСНОВАНОГО НА БАГАТОФАКТОРНОМУ ДИСПЕРСІЙНОМУ АНАЛІЗІ .....	175
<b>КУЛЕШОВА СВІТЛАНА, ЛУЩЕВСЬКА ОЛЕНА, ЛЕБЕДИНСЬКА ОКСАНА., СЛОБОДЕНЮК ОКСАНА, КОВАЛЬСЬКА ДАРЬЯ</b> АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД СУЧАСНОГО СТАНУ НАПРАЦЮВАНЬ З ПРОЄКТУВАННЯ АДАПТИВНИХ РЕАБІЛІТАЦІЙНИХ ВИРОБІВ .....	181
<b>ЛЕМЕШКО АНДРІЙ, АНТОНЕНКО АРТЕМ, ДОБРОВОЛЬСЬКИЙ ОЛЕКСІЙ, ЗАВАДСЬКИЙ В'ЯЧЕСЛАВ</b> ОПТИМІЗАЦІЯ ЧАСУ РЕАГУВАННЯ ВЕБ СЕРВЕРУ АРАСНЕ.....	189
<b>МАРЦЕНЮК ВАСИЛЬ, АНДРУЩАК ІГОР, КІТ НАТАЛІЯ, КРАВЧИК ЮРІЙ, СВЕРСТЮК АНДРІЙ, ПАЛЯНИЦЯ ЮРІЙ</b> ПОРІВНЯННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ЧИСЕЛЬНОГО АНАЛІЗУ МОДЕЛЮВАННЯ КІБЕРФІЗИЧНИХ БІОСЕНСОРНИХ СИСТЕМ .....	202
<b>МЕЛЬНИЧЕНКО ОЛЕКСАНДР</b> МЕТОД ОБЧИСЛЕННЯ КІЛЬКОСТІ ОБ'ЄКТІВ У ФРУКТОВОМУ САДУ В РЕАЛЬНОМУ ЧАСІ .....	213
<b>МИХАЛЕВСЬКИЙ ДМИТРО</b> ВІРОГІДНІСТЬ КОНТРОЛЮ ВИРОБІВ ЕЛЕКТРОННОЇ ТЕХНІКИ ЗА РІВНЕМ НИЗЬКОЧАСТОТНИХ ШУМІВ .....	220
<b>ОЛІЙНИК ВЯЧЕСЛАВ, ЛУКІН ВОЛОДИМИР</b> ВИКОРИСТАННЯ МЕТРИК ПОДІБНОСТІ ПРИ СТІЙКОМУ ОЦІНЮВАННІ ЗАТРИМКИ ЧАСУ .....	224
<b>ПАЯНОК ОЛЕКСАНДР, БАБІЙ СЕРГІЙ, ПРОЦЕНКО ДМИТРО, ГРАНЯК ВАЛЕРІЙ</b> ВДОСКОНАЛЕННЯ ОПТИМАЛЬНОГО КЕРУВАННЯ РОЗПОДІЛОМ ТА ВИКОРИСТАННЯМ ЕНЕРГІЇ ЕЛЕКТРИЧНИХ ГАЛЬМУВАНЬ МІСЬКОГО ЕЛЕКТРИЧНОГО ТРАНСПОРТУ .....	240
<b>ПЕРЛОВ ВІКТОР, КИРИЦЯ ІННА</b> ЗАСТОСУВАННЯ ТРАНСПОРТНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ПІД ЧАС ПЛАНУВАННЯ МІСТ НА ПРИКЛАДІ ВІННИЦІ .....	247
<b>ПОЛЩУК АНДРІЙ, ПОЛЩУК ОЛЕГ, ЛІСЕВИЧ СВІТЛАНА, УРБАНОК ЄВГЕН, РУБАНКА МИКОЛА</b> КОМПОЗИЦІЙНІ СУМІШІ НА ОСНОВІ СИНТЕТИЧНИХ ПОЛІМЕРІВ І НАПОВНЮВАЧІВ ТА ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ 3D-ДРУКУ НИМИ .....	252
<b>САВИЦЬКИЙ ЮРІЙ</b> МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ЗАПОВНЕННЯ МЕТАЛОМ ПІНОПОЛІСТИРОВОЇ ЛИВАРНОЇ ФОРМИ .....	263
<b>САМЧУК ЛЮДМИЛА, ПОВСТЯНА ЮЛІЯ, ЛІЩИНА НАТАЛІЯ, КЛІМЕНКО АРТЕМ</b> ВИКОРИСТАННЯ UML ДІАГРАМ ДЛЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ НА ВИРОБНИЦТВІ .....	268
<b>СЛАВІНСЬКА АЛЛА, СИРОТЕНКО ОКСАНА, МИЦА ВІКТОРІЯ, ДОМБРОВСЬКА ОКСАНА</b> КЛАСТЕРНИЙ АНАЛІЗ ПАРАМЕТРИЧНОЇ ГРАДАЦІЇ КОНТРОЛЬНИХ ВИМІРІВ ОДЯГУ ДЛЯ ЖІНОК ВЕЛИКИХ РОЗМІРІВ .....	276

<b>СЛОБОДЯН МАКСИМ</b> МОДЕЛЬ ХАОТИЧНОЇ НАДШИРОКОСМУГОВОЇ СИСТЕМИ ПЕРЕДАЧІ ІНФОРМАЦІЇ ДЛЯ БЕЗДРОВОТИХ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖ .....	284
<b>СМУТКО СВІТЛАНА, ПІДГАЙЧУК СВІТЛАНА, ОНОФРІЙЧУК ВОЛОДИМИР, РОМАНЕЦЬ ТАРАС</b> РОЗРОБКА ПРИНЦИПІВ ФОРМУВАННЯ СТРУКТУРИ УНІВЕРСАЛЬНИХ ЗУБЧАСТО- ВАЖІЛЬНИХ МЕХАНІЗМІВ .....	289
<b>СОКІЛ МАРІЯ, ЗВОРСЬКИЙ АНДРІЙ</b> ЕЛЕКТРОННІ РЕСУРСИ В НАУКОВО-ТЕХНІЧНІЙ БІБЛІОТЕЦІ ЛЬВІВСЬКОЇ ПОЛІТЕХНІКИ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЗРУЧНОСТІ ТА ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ КОРИСТУВАЧІВ .....	294
<b>ТКАЧИК ОЛЕКСАНДР</b> ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ КЛАСТЕРИЗАЦІЇ ДАНИХ ДЛЯ СТВОРЕННЯ ЦІЛЬОВИХ ГРУП КОРИСТУВАЧІВ НА РИНКУ НЕРУХОМОСТІ .....	300
<b>ТКАЧУК АНДРІЙ, ГРОМОВИЙ ОЛЕКСІЙ, БЕЗВЕСІЛЬНА ОЛЕНА, БОНДАРЧУК ВАСИЛЬ</b> ДОСЛІДЖЕННЯ НА УДАРНІ НАВАНТАЖЕННЯ МОБІЛЬНОЇ ГУСЕНИЧНОЇ ПЛАТФОРМИ ІЗ АВТОНОМНОЮ СИСТЕМОЮ СТАБІЛІЗАЦІЇ .....	308
<b>ХОДЯЧИЙ ВЛАДИСЛАВ, НІКІТІН ОЛЕКСАНДР</b> ПАРАМЕТРИ ПОТОКІВ ЗЕРНОВИХ МАТЕРІАЛІВ .....	314
<b>ЩЕРБАНЬ ВОЛОДИМИР, ШИЛІНГОВ СЕРГІЙ, ЛУКАШЕВ АНДРІЙ, КОЛИСКО ОКСАНА, ЩЕРБАНЬ ЮРІЙ</b> СТРУКТУРА КОМП'ЮТЕРНОГО МОДУЛЯ ПРОГРАМИ КДАМ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ КІНЕМАТИЧНИХ ТА ДИНАМІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ВХІДНОЇ ЛАНКИ .....	319
<b>ЮСКОВИЧ-ЖУКОВСЬКА ВАЛЕНТИНА, ЯСІНСЬКИЙ АНДРІЙ, ЛОТЮК ЮРІЙ, СОЛОВЕЙ ЛЮДМИЛА</b> ТЕХНОЛОГІЇ VR/AR ДЛЯ E-LEARNING .....	323
<b>ЯРЕМЧЕНКО ОЛЕСАНДР, ПУКАЧ ПЕТРО</b> РОЗРОБКА ТА ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ АЛГОРИТМІВ РОЗПІЗНАВАННЯ МІКРОМІМІКИ ДЛЯ АНАЛІЗУ ЛЮДИНИ ЗА ДОПОМОГОЮ ЕМОЦІЙНОГО ШІ .....	329
<b>СИНЬКО АННА, ЖЕЖНИЧ ПАВЛО</b> МЕТОД АВТОМАТИЗОВАНОГО ВИЯВЛЕННЯ ТЕРМІНІВ СТАТЕЙ ЗА ДОПОМОГОЮ ДЕРЕВА ДЛЯ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ .....	338
<b>ЛИСЕНКО СЕРГІЙ, САХНЮК ВІТАЛІНА, БОНДАРУК ОЛЕГ</b> МЕТОД СИНТЕЗУ АПАРАТНО-ПРОГРАМНИХ ЗАСОБІВ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СТІЙКОСТІ КОРПОРАТИВНОЇ КОМП'ЮТЕРНОЇ МЕРЕЖІ .....	344
<b>ТИМЧИШИН ВАСИЛЬ, ОТОО ФРАНК</b> АРХІТЕКТУРА ПРОГРАМНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ЗАБРУДНЕННЯ ГРУНТІВ ВНАСЛІДОК ДИФУЗІЇ ДІОКСИДУ АЗОТУ В ГРУНТАХ ТА ГРУНТОВИХ ВОДАХ .....	351
<b>ЛИСЕНКО СЕРГІЙ, АТАМАНЮК ОЛЬГА, БОХОНЬКО ОЛЕКСАНДР</b> МЕТОД ПОБУДОВИ АПАРАТНОЇ АРХІТЕКТУРИ ДЛЯ СИСТЕМА КОМП'ЮТЕРНОГО ЗОРУ НА ОСНОВІ FPGA .....	360
<b>БОЙКО СЕРГІЙ, ЩОКІН ВАДИМ, ВИШНЕВСЬКИЙ СВЯТОСЛАВ, ДАНІЛІН ОЛЕКСАНДР, ГУСАРОВА ОКСАНА, ГРИБАНОВА СВІТЛАНА</b> АСПЕКТИ ДЕКАРБОНІЗАЦІЇ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ В УМОВАХ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ .....	369
<b>КУЛЕШОВА СВІТЛАНА, МАТВІЙЧУК СВІТЛАНА, КОРОЛЬ СВІТЛАНА, ЛЕБЕДИНСЬКА ОКСАНА</b> ІННОВАЦІЇ В ДИЗАЙН-ПРОЄКТУВАННІ СПЕЦІАЛЬНОГО ОДЯГУ .....	374
<b>ГНАТЧУК ЄЛИЗАВЕТА</b> МЕТОДИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ЩОДО МОЖЛИВОСТІ НАДАННЯ ЗАГАЛЬНИХ МЕДИЧНИХ, ТЕРАПЕВТИЧНИХ ТА СТОМАТОЛОГІЧНИХ ПОСЛУГ НА ОСНОВІ ЦИВІЛЬНО- ПРАВОВИХ ПІДСТАВ .....	382
<b>ТАРАСЕНКО МИКОЛА, КОЗАК КАТЕРИНА, ОМЕІЗА ЛУКМАН, ЗІНЬ МИРОСЛАВ</b> АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ТИПОВИХ ТА НЕ ТИПОВИХ ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК.....	391

# CONTENCE

<b>ZALYUBOVSKIY MARK, BLAZHENKO MARIIA, PANASYUK IGOR</b> FORCE STUDY OF REACTIVE LOADS IN KINEMATIC COUPLES OF A WORKING CAPACITY TURNING MACHINE WITH COMPLEX SPACE MOVEMENT AND VARIABLE VOLUME .....	9
<b>ASAULYUK TATYANA, SARIBYEKOVA YULIA, SEMESHKO OLGA, KULISH IRINA</b> STUDY OF THE EFFECT OF PRECURSORS ON THE STRUCTURAL CHARACTERISTICS OF SYNTHETIZED ZnO NANOPARTICLES .....	15
<b>BABYCH ANTONINA, TELUSHKA SVITLANA, BITSENEVA TETYANA</b> DEVELOPMENT OF A COLLECTION OF WOMEN'S LIGHT DRESSES TAKING INTO ACCOUNT THE CHARACTERISTICS OF THE CUSTOMER'S FIGURE .....	20
<b>BATYGIN YURIY, SHINDERUK SVITLANA, CHAPLYGIN EVGEN, FENDRYKOV DENIS</b> THE DIFFERENT APPROACHES TO THE TRANSFORMATION OF REACTIVE POWER INTO AN ACTIVE POWER .....	27
<b>BEZVESILNA OLENA, NECHAI SERGEY, TOLOCHKO TETIANA, GRYNEVYCH MARIIA</b> RESEARCH OF THE CHANGE OF THE STABILIZER CONSTRUCTION MODEL WITH THE PURPOSE OF INCREASING ACCURACY .....	36
<b>VASYLYNYCH ANASTASIIA, KYRYTSYA INNA</b> «GREEN FLOORS" – THE FUTURE OF ECOLOGICAL CITIES .....	44
<b>VASYLKIVSKIY MYKOLA, BOLDYREVA OLHA, VARGATYUK GANNA, BUDASH MTHAILO</b> OPTIMAL SIGNAL-CODE CONSTRUCTIONS FOR INCREASE EFFICIENCY OF 5G AND 6G MOBILE INFOCOMMUNICATION RADIO SYSTEMS .....	48
<b>VASYLKIVSKIY MYKOLA, HORODETSKA OKSANA., STALCHENKO OLEXANDER, BUDASH MYHAILO</b> INTEGRATED RADIO SCANNING AND COMMUNICATION SYSTEM .....	56
<b>VOLOSHKO ANATOLY, DZHERIA TETIANA</b> METHOD OF LOCAL RESTORATION OF SEGMENTS OF INFORMATION SIGNALS .....	64
<b>GANZYUK ALLA, MASLO LESYA</b> THE INVESTIGATION OF PERFORMANCE CHARACTERISTICS OF SAPONITE GRANULATE .....	70
<b>DANYLYK VITALII, LYTVYN VASYL, MUSHASTA SOLOMIYA</b> INFORMATION SYSTEM OF IDENTIFICATION OF TERMS AND ABBREVIATIONS IN TEXT DOCUMENTS .....	81
<b>DANYLKOVIYCH ANATOLII, LISHCHUK VIKTOR, SANGINOVA OLGA</b> FORMATION OF LEATHER FILLED WITH MODIFIED SYNTAN AND TANIDE COMPOSITION .....	88
<b>DUBAS YURII, KUNANETS NATALIJA</b> USE OF ONTOLOGY IN INFORMATION SYSTEM TO ASSIST IN THE FORMATION OF AN INDIVIDUAL EDUCATIONAL TRAJECTORY OF STUDENTS .....	94
<b>YEFIMOVA VERONIKA, LUTSENKO TETYANA</b> DEVELOPMENT OF THE COMPOSITION OF THE MEDICAL AND PREVENTIVE TOOTHPASTE WITH EXTRACT OF SAGE, JUNIPER AND CHAMOMILE .....	103
<b>ZAVGORODNIY OLEXIY, LEVKIN DMYTRO, KOTKO YANA, MAKAROV OLEXANDER</b> RESEARCH OF COMPUTATIONAL MATHEMATICAL MODELS FOR TECHNICAL SYSTEMS .....	108
<b>ZAITSEV SERGEY, TIKHENKO VALENTIN</b> DIAGNOSIS OF POWER OIL IN PUMPING UNITS COOLING SYSTEMS OF POWER PLANT EQUIPMENT .....	113
<b>ZASPA YURII</b> TRIPLE MULTIPLICATIVE THERMORESONANCES ON THE SPECTRA OF EXCHANGE INERTIAL RADIATION GENERATED IN NON-EQUILIBRIUM MEDIA WITH CONTACT GAPS IN ENGINEERING, COSMIC, PSEUDO-ELEMENTARY AND BIOLOGICAL SYSTEMS IN COMPLEX SPACE WITH TRIPLET VIOLATION OF ANTISYMMETRY .....	120
<b>ZUBKOVA KATERYNA, STOYANOVA OLHA, SHERSTIUK VOLODYMYR</b> STUDY OF THE TECHNOLOGICAL SCHEME OF TOMATO PASTE DRYING AND SAFETY CONTROL ACCORDING TO THE PRINCIPLES OF HACCP .....	134

<b>KALYTA OLEG</b> MODEL OF MIMIC EXPRESSIONS OF HUMAN EMOTIONAL STATES FOR THE VIDEO SURVEILLANCE SYSTEMS .....	143
<b>KARPOV IHOR, BUROV EUGENE</b> ONTOLOGIES IN THE DECISION-MAKING PROCESS .....	149
<b>KOVALENKO YURI, TOKARCHUK VOLODYMYR, KOVALEKO SVITLANA</b> INFLUENCE OF SULFATE ION ENVIRONMENT ON THE CEMENT MATRIX MODIFIED BY REDISPERisible POLYMERS .....	154
<b>BONDARENKO VIKTOR, BONDARENKO NATALIYA, KOVALENKO OLEKSANDR</b> CONTROL AND SUPPORT OF THE QUALITY OF SERVICE IN THE VoIP NETWORK .....	163
<b>KRYVENCHUK YURI, VOVCHAK LIUBOMYR</b> CREATION OF AUTOMOTIVE MARKET PREDICTION SYSTEM .....	167
<b>KRYVENCHUK YURI, PYKHNEI VERONIKA.</b> WEB APPLICATION WITH ANALYSIS AND VISUALIZATION OF CRYPTOCURRENCY METRICS WITH FUTURE PRICE PREDICTION USING NEURAL NETWORKS .....	171
<b>KRYLIK LYUDMILA</b> DETERMINATION OF THE QUALITATIVE INFLUENCE OF FACTORS ON THE SENSITIVITY OF THE CAPACITIVE HUMIDITY SENSOR OF A TWO-LAYER STRUCTURE BASED ON MULTIFACTOR DISPERSION ANALYSIS .....	175
<b>KULESHOVA SVITLANA, LUSCHEVSKA OLENA, LEBEDINSKA OKSANA, SLOBODENIUK OLGA, KOVALSKA DARIA</b> ANALYTICAL REVIEW OF THE CURRENT STATE OF DEVELOPMENT IN THE DESIGN OF ADAPTIVE REHABILITATION GARMENTS .....	181
<b>LEMESHKO ANDRII, ANTONENKO ARTEM, DOBROVOLSKYI OLEKSII, ZAVADSKYI VIACHESLAV</b> APACHE WEB SERVER RESPONSE TIME OPTIMIZATION .....	189
<b>MARTSENYUK VASYL, ANDRUSHCHAK IGOR, KOZODII NATALIYA, KRAVCHYK YURI, SVERSTIUK ANDRIY , PALANIZA YURI</b> COMPARISON OF RESULTS OF NUMERICAL ANALYSIS OF SIMULATION OF CYBERPHYSICAL BIOSENSOR SYSTEMS .....	202
<b>MELNYCHENKO OLEKSANDR</b> METHOD OF COUNTING OBJECTS IN AN ORCHARD IN REAL TIME .....	213
<b>MYKHALEVSKIY DMYTRO</b> RELIABILITY OF THE CONTROL OF ELECTRONIC DEVICES BY LOW-FREQUENCY NOISE .....	220
<b>OLIINYK VIACHESLAV, LUKIN VOLODYMYR</b> USE OF SIMILARITY METRICS IN ROBUST TIME DELAY ESTIMATION .....	224
<b>PAYANOK OLEKSANDR, BABIY SERGIY, PROCENKO DMYTRO, GRANYAK VALERY</b> IMPROVEMENT OF OPTIMAL MANAGEMENT OF THE CITY ELECTRIC TRANSPORT ELECTRIC BRAKING ENERGY DISTRIBUTION AND USE .....	240
<b>PERLOV VIKTOR, KYRYTSYA INNA</b> APPLICATION OF TRANSPORT MODELING IN URBAN PLANNING USING THE EXAMPLE OF VINNYTSIA .....	247
<b>POLISHCHUK ANDRII, POLISHCHUK OLEH, LISEVICH SVITLANA, URBANIUK YEVHEN, RUBANKA MYKOLA</b> COMPOSITE MIXTURES BASED ON SYNTHETIC POLYMERS AND FILLERS AND EQUIPMENT FOR 3D PRINTING WITH THEM .....	252
<b>SAVYTSKYI YURI</b> SIMULATION OF THE PROCESS OF FILLING POLYSTYRENE FOAM FOUNDRY MOLD WITH THE METAL .....	263
<b>SAMCHUK LUDMILA, POVSTIANA YULIA, LISHCHYNA NATALIYA, KLYMENKO ARTEM</b> USING UML DIAGRAMS FOR THE TECHNOLOGICAL PROCESS IN PRODUCTION .....	268

<b>SLAVINSKA ALLA, SYROTENKO OKSANA, MYTSA VICTORIIA, DOMBROVSKA OKSANA</b> CLUSTER ANALYSIS OF PARAMETRIC GRADATION OF CONTROL MEASUREMENTS OF CLOTHING FOR WOMEN OF LARGE SIZES .....	276
<b>SLOBODIAN MAKSYM</b> MODEL OF A CHAOTIC ULTRA-WIDEBAND INFORMATION TRANSMISSION SYSTEM FOR WIRELESS SENSOR NETWORKS .....	284
<b>SMUTKO SVITLANA, PIDHAICHUK SVITLANA, ONOFRIICHUK VOLODYMYR, ROMANETS TARAS</b> DEVELOPMENT OF THE PRINCIPLES OF FORMING THE STRUCTURE OF UNIVERSAL GEAR AND LEVER MECHANISMS .....	289
<b>SOKIL MARIIA</b> ELECTRONIC RESOURCES IN THE SCIENTIFIC AND TECHNICAL LIBRARY OF LVIV POLYTECHNIC TO ENSURE USER CONVENIENCE AND EFFICIENCY .....	294
<b>TKACHYK OLEXANDER</b> APPLYING DATA CLUSTERING METHODS FOR CREATING TARGETING USER GROUPS FOR REAL ESTATE .....	300
<b>TKACHUK ANDRII, GROMOVYI OLEKSIY, BEZVESILNA OLENA, BONDARCHUK VASIL</b> RESEARCH ON IMPACT LOADING OF A MOBILE TRACKED PLATFORM WITH AN AUTONOMOUS STABILIZATION SYSTEM .....	308
<b>KHODIACHIIY VLADYSLAV, NIKITIN OLEXANDER</b> PARAMETERS OF FLOWS OF GRAIN MATERIALS .....	314
<b>SHCHERBAN VOLODYMYR, SHILINGOV SERGEY, LUKASHEV ANDREW, KOLISKO OKSANA, SHCHERBAN YURYJ</b> STRUCTURE OF THE COMPUTER MODULE OF THE K DAM PROGRAM FOR DETERMINING KINEMATIC AND DYNAMIC PARAMETERS OF THE INPUT LINK .....	319
<b>YUSKOVYCH-ZHUKOVSKA VALENTINA, YASINSKIIY ANDRIY, LOTIUK YURII, SOLOVEI LIUDMYLA</b> VR/AR TECHNOLOGIES FOR E-LEARNING .....	323
<b>YAREMCHENKO OLEKSANDR, PUKACH PETRO</b> RESEARCH OF STRUCTURAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF MEAT AS AN OBJECT OF PROCESSING IN MEAT COMMUNUTOR .....	329
<b>SYNKO ANNA, ZHEZHNYCH PAVLO</b> METHOD OF AUTOMATED DETECTION OF ARTICLE TERMS USING A DECISION TREE .....	338
<b>LYSENKO SERGII, VITALINA SAKHNIUK, BONDARUK OLEG</b> A METHOD FOR SYNTHESIZING HARDWARE AND SOFTWARE TOOLS TO ENSURE THE STABILITY OF A CORPORATE COMPUTER NETWORK .....	344
<b>TYMCHYSHYN VASYL, OTOO FRANK</b> ARCHITECTURE OF A SOFTWARE SYSTEM FOR SOIL POLLUTION PROCESSES MODELING AS A RESULT OF DIFFUSION OF NITROGEN DIOXIDE IN SOILS AND GROUNDWATER .....	351
<b>LYSENKO SERGII,, ATAMANIUK OLGA, BOKHONKO O.</b> METHOD OF CONSTRUCTING HARDWARE ARCHITECTURE FOR COMPUTER VISION SYSTEM BASED ON FPGA .....	360
<b>BOIKO SERGEY, SHCHOKIN VADYM, VISHNEVSKYI SVIATOSLAV, DANILIN OLEKSANDR, HUSAROVA OKSANA, HRYBANOVA SVITLANA</b> ASPECTS OF DECARBONIZATION OF THE ELECTRICAL SUPPLY SYSTEM IN THE CONDITIONS OF INDUSTRIAL ENTERPRISES .....	369
<b>KULESHOVA SVITLANA, MATVIICHUK SVETLANA, KOROL SVITLANA, LEBEDYNSKA OKSANA</b> INNOVATIONS IN THE DESIGN OF SPECIAL CLOTHING .....	374
<b>HNATCHUK YELYZAVETA</b> METHODS OF SUPPORTING THE DECISION-MAKING ON THE POSSIBILITY OF PROVIDING GENERAL MEDICAL, THERAPEUTIC AND DENTAL SERVICES ON THE BASIS OF CIVIL LAW .....	382
<b>TARASENKO MYKOLA, KOZAK KATERYNA, OMEIZA LUKMAN, ZIN MYROSLAV</b> EFFICIENCY ANALYSIS OF USING TYPICAL AND ATYPICAL WIND ENERGY INSTALATIONS .....	391



КРИЛИК ЛЮДМИЛА

Вінницький національний технічний університет

<https://orcid.org/0000-0001-6642-754X>e-mail: [lyudmila.krylik@gmail.com](mailto:lyudmila.krylik@gmail.com)

## ВИЗНАЧЕННЯ ЯКІСНОГО ВПЛИВУ ФАКТОРІВ НА ЧУТЛИВІСТЬ ЄМНІСНОГО СЕНСОРА ВОЛОГОСТІ ДВОШАРОВОЇ СТРУКТУРИ, ОСНОВАНОГО НА БАГАТОФАКТОРНОМУ ДИСПЕРСІЙНОМУ АНАЛІЗІ

Застосовано багатofакторний дисперсійний аналіз з метою якісного оцінювання впливу таких факторів: товщина вологочутливого шару; товщина полімерного покриття як захисного шару; концентрація розчину солі NaCl як адсорбуючого матеріалу та їх сумісний вплив на чутливість ємнісного сенсора вологості двошарової структури. Розроблено багатofакторний план для випадку трьох якісних факторів. Використовуючи багатofакторний дисперсійний аналіз, доведено, що на відгук моделі, тобто на чутливість ємнісного сенсора вологості двошарової структури, впливають фактори: товщина захисного шару, концентрація розчину солі NaCl, а також сумісний вплив таких факторів: товщина вологочутливого шару + концентрація розчину солі; товщина захисного шару + концентрація розчину солі, тобто різниця в значеннях відгуку моделі пов'язана зі зміною значення фактора і не може бути спричинена тільки її випадковим характером. Однак, суттєво впливає на відгук моделі сумісний вплив фактора – товщина захисного шару + концентрація розчину солі. В цьому випадку значення критерію Фішера, яке спостерігається в експерименті, значно перевищує критичне значення критерію Фішера  $F > F_{кр}$  (13,01 > 4,49). Вплив таких факторів: товщина вологочутливого шару; товщина вологочутливого шару + товщина захисного шару; товщина вологочутливого шару + товщина захисного шару + концентрація розчину солі є несуттєвим, тобто різниця в значеннях відгуку моделі пов'язана з випадковим її характером. Використовуючи дисперсійний аналіз впливу фактора доведено, що на чутливість ємнісних сенсорів вологості впливає не тільки концентрація розчину солі NaCl, яка використовувалась для створення вологочутливого шару, але й конструктивне виконання сенсора.

Ключові слова: багатofакторний дисперсійний аналіз, фактор, відгук моделі, критерій Фішера, чутливість, ємнісний сенсор вологості.

KRYLIK LYUDMILA

Vinnytsia National Technical University

## DETERMINATION OF THE QUALITATIVE INFLUENCE OF FACTORS ON THE SENSITIVITY OF THE CAPACITIVE HUMIDITY SENSOR OF A TWO-LAYER STRUCTURE BASED ON MULTIFACTOR DISPERSION ANALYSIS

A multifactorial dispersion analysis was applied in order to qualitatively assess the influence of the following factors: thickness of the moisture-sensitive layer; the thickness of the polymer coating as a protective layer; the concentration of the NaCl salt solution as an adsorbent material and their combined effect on the sensitivity of the capacitive humidity sensor of the two-layer structure. Capacitive humidity sensors of a two-layer structure, made on a sital substrate, served as experimental samples. The copper film, which forms the covers of the capacitive humidity sensors, is applied to the surface of the sital substrate in the form of a meander. In the developed design, the moisture-sensitive layer is hygroscopic salt, which performs the function of a dielectric. A moisture-absorbing film of polymethylmethacrylate serves as a protective layer. A multifactorial plan is developed for the case of three qualitative factors. Using multifactorial dispersion analysis, it was proved that the response of the model, that is, the sensitivity of the capacitive humidity sensor of the two-layer structure, is influenced by such factors as the thickness of the protective layer, the concentration of the NaCl salt solution, as well as the combined effect of factors such as the thickness of the moisture-sensitive layer + the concentration of the salt solution; the thickness of the protective layer + concentration of the salt solution. That is, the difference in the response values of the model is related to the change in the value of the factor and cannot be caused only by its random nature. However, the response of the model is significantly affected by the combined effect of the factor – the thickness of the protective layer + the concentration of the salt solution. In this case, the value of Fisher's criterion, which is observed in the experiment, significantly exceeds the critical value of Fisher's criterion  $F > F_{cr}$  (13.01 > 4.49). The influence of such factors as the thickness of the moisture-sensitive layer; the thickness of the moisture-sensitive layer + the thickness of the protective layer; the thickness of the moisture-sensitive layer + the thickness of the protective layer + the concentration of the salt solution is insignificant, that is, the difference in the response values of the model is due to its random nature. Using the dispersion analysis of the influence of the factor, it was proved that the sensitivity of capacitive humidity sensors is affected not only by the concentration of the NaCl salt solution, which was used to create a moisture-sensitive layer, but also by the design of the sensor.

Keywords: multifactorial dispersion analysis, factor, model response, Fisher's criterion, sensitivity, capacitive humidity sensor.

### Постановка проблеми у загальному вигляді

#### та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

Натепер серед первинних перетворювачів різного типу особливе місце у вимірювальній техніці займають сенсори вологості. Необхідність контролю вологості у промисловості, а також у побуті робить актуальною проблему розроблення та дослідження сенсорів вологості різних типів, принцип дії яких базується на зміні електрофізичних параметрів. Водночас, сучасний стан науки і техніки висуває підвищені вимоги до засобів вимірювання вологості, які пов'язанні з автоматизацією технологічних процесів. Питання вивчення, розроблення та виробництва засобів вимірювання вологості є актуальним, оскільки перетворення рівня вологості в електричний сигнал відомими вимірювальними засобами ускладнене [1–4].

Використання первинних перетворювачів вологості в частотних пристроях, в яких вологість перетворюється у частоту, дозволяє значно підвищити чутливість, точність вимірювання вологості, спростити схеми подальшої обробки інформації. В цьому випадку необхідно використовувати вологочутливий елемент у вигляді ємності, який є найоптимальнішим за сукупністю параметрів [2, 5, 6].

Крім того, застосування методів математичної статистики як інструменту дослідницької роботи суттєво сприятиме як систематизації, так і обробленню та аналізу експериментальних даних [7–16].

### Аналіз останніх досліджень та публікацій

Технічний рівень сучасних сенсорних систем залежить як від конструктивного, так від технологічного виконання сенсорів фізичних величин та принципу їх дії. Крім того, створення нових чутливих елементів або вдосконалення існуючих потребує як проведення численних експериментальних досліджень, так і оброблення та аналізу результатів досліджень – експериментальних даних, ефективність та достовірність яких залежить від обраного метода математичної статистики. Нині, методи математичної статистики, до яких відносять: статистичні ряди розподілу, оцінювання параметрів розподілу, закони розподілу вибіркового характеру, дисперсійний, регресійний, кореляційно-регресійний аналіз тощо, широко застосовуються в різноманітних галузях промислової індустрії.

Регресійний аналіз кількісно здійснює оцінювання впливу фактора на відгук моделі, тобто забезпечує оптимізацію параметрів фактора [7, 9–12, 16]. А дисперсійний аналіз спрямований на визначення впливу фактора на відгук моделі на рівні «впливає» або «не впливає», тобто дисперсійний аналіз сприяє визначенню значущих факторів моделі. Крім того, щоб проаналізувати експеримент всебічно і зробити статистично ґрунтовні висновки або знайти оптимальні рішення, доцільно застосовувати експерименти за багатофакторними планами з урахуванням сумісного впливу факторів [8, 13–16].

Отже, розробка багатофакторного плану експерименту у випадку якісних факторів натепер актуальна.

### Постановка завдання

Метою роботи є оцінювання, за допомогою багатофакторного дисперсійного аналізу, якісного впливу на чутливість ємнісного сенсора вологості двошарової структури таких факторів:

- товщина вологочутливого шару;
- товщина полімерного покриття, як захисного шару;
- концентрація розчину солі як адсорбуючого матеріалу;
- сумісного впливу: товщина вологочутливого шару + товщина захисного шару; товщина вологочутливого шару + концентрація розчину солі; товщина захисного шару + концентрація розчину солі; товщина вологочутливого шару + товщина захисного шару + концентрація розчину солі.

Для досягнення поставленої мети у роботі потрібно вирішити такі задачі:

- 1) провести аналіз наукових джерел та обґрунтувати доцільність застосування багатофакторного експерименту у випадку трьох якісних факторів;
- 2) розробити багатофакторний план експерименту у випадку трьох якісних факторів;
- 3) використовуючи дисперсійний аналіз впливу фактора провести оцінювання впливу таких факторів: товщина вологочутливого шару; товщина захисного шару; концентрація розчину солі (гігроскопічна сіль NaCl) та сумісного впливу: товщина вологочутливого шару + товщина захисного шару; товщина вологочутливого шару + концентрація розчину солі; товщина захисного шару + концентрація розчину солі; товщина вологочутливого шару + товщина захисного шару + концентрація розчину солі.
- 4) зробити висновки з проведених досліджень.

### Виклад основного матеріалу

Досліджувалась залежність чутливості ємнісних сенсорів вологості двошарової структури від впливу таких факторів: товщина вологочутливого шару; товщина захисного шару; концентрація розчину солі (гігроскопічна сіль NaCl) та сумісного впливу: товщина вологочутливого шару + товщина захисного шару; товщина вологочутливого шару + концентрація розчину солі; товщина захисного шару + концентрація розчину солі; товщина вологочутливого шару + товщина захисного шару + концентрація розчину солі. Захисний шар створено з метою запобігання випадіння точки роси [3, 4].

Експериментальними зразками слугували ємнісні сенсори вологості двошарової структури (м. Вінниця, Україна, ВНТУ), які виготовлені на ситаловій підкладці розміром 0,7×0,9 мм. Плівка міді, яка утворює обклашки ємнісних сенсорів вологості, нанесена на поверхню ситалової підкладки у вигляді меандра. В розробленій конструкції вологочутливим шаром є гігроскопічна сіль NaCl, яка виконує функцію діелектрика. Для створення вологочутливої плівки використовувались розчини гігроскопічної солі NaCl з концентраціями 0,89 моль/л та 5,33 моль/л, які наносились на поверхню ємнісних сенсорів вологості товщинами 5,0 мкм та 10,0 мкм. Захисним шаром слугувала вологопоглинальна плівка поліметилметакрилату товщинами 40 мкм та 80 мкм.

Для розрахунків використаємо такі позначення: фактор  $A$  – товщина вологочутливого шару  $d_{ВШ}$ , мкм;  $A_1$  – нижній рівень фактора  $A$ ;  $A_2$  – верхній рівень фактора  $A$ ; фактор  $B$  – товщина захисного шару

$d_{3III}$ , мкм;  $B_1$  – нижній рівень фактора  $B$ ;  $B_2$  – верхній рівень фактора  $B$ ; фактор  $C$  – концентрація розчину солі NaCl, яка виконує функцію адсорбуючого матеріалу  $C$ , моль/л;  $C_1$  – нижній рівень фактора  $C$ ;  $C_2$  – верхній рівень фактора  $C$ ;  $AB$  – сумісний вплив фактора  $A$  та фактора  $B$ ;  $AC$  – сумісний вплив фактора  $A$  та фактора  $C$ ;  $BC$  – сумісний вплив фактора  $B$  та фактора  $C$ ;  $ABC$  – сумісний вплив факторів  $A$ ,  $B$  та  $C$ ; відгук моделі  $y$  – чутливість ємнісного сенсора вологості двошарової структури  $S_C$ , нФ/%.

Проведемо оцінювання впливу факторів  $A$ ,  $B$ ,  $C$ ,  $AB$ ,  $AC$ ,  $BC$  та  $ABC$  на чутливість ємнісного сенсора вологості. В табл. 1 надано результати факторного експерименту.

Таблиця 1

## Результати факторного експерименту

	$d_{BIII} = 5,0$ мкм	$d_{BIII} = 10,0$ мкм	$d_{3III} = 40,0$ мкм	$d_{3III} = 80,0$ мкм
$C = 0,89$ моль/л	0,38; 0,48; 0,54	0,75; 0,86; 0,91	0,42; 0,53; 0,6	0,83; 0,95; 1,25
$C = 5,33$ моль/л	0,57; 0,62; 0,75	0,97; 1,78; 2,82	0,68; 0,78; 0,82	1,89; 2,95; 3,78

Кожний фактор має два рівня, тобто  $q = 2$  та дванадцять прогонів, тобто  $p = 12$ . В табл. 2 подано результати експериментів, які відповідають багатофакторному плану у випадку трьох якісних факторів.

Таблиця 2

## Результати багатофакторного плану у випадку трьох якісних факторів

$2^3$	$A_1$		$A_2$		Дисперсійний аналіз	
	$C_1$	$C_2$	$C_1$	$C_2$	дисперсія	кількість ступенів вільності
$B_1$	0,38; 0,48; 0,54	0,75; 0,86; 0,91	0,42; 0,53; 0,6	0,83; 0,95; 1,25	фактор $A$ фактор $B$ фактор $C$ фактор $AB$ фактор $AC$	1 1 1 1 1
$B_2$	0,57; 0,62; 0,75	0,97; 1,78; 2,82	0,68; 0,78; 0,82	1,89; 2,95; 3,78	фактор $BC$ фактор $ABC$ залишкова	1 1 23-7=16
	$p = 12$		$N_{np} = 24$		загальна	24-1=23

З метою оцінювання впливу факторів на відгук моделі, проведемо багатофакторний дисперсійний аналіз.

Значення факторної дисперсії  $S_{факт}$ , залишкової дисперсії  $S_{залиш}$  обчислюють за такими формулами [16]:

$$S_{факт} = p \cdot \sum_{j=1}^2 (\bar{y}_j - \bar{y})^2, \quad (1)$$

$$S_{залиш} = \sum_{i=1}^p (y_{i1} - \bar{y}_1)^2 + \sum_{i=1}^p (y_{i2} - \bar{y}_2)^2, \quad (2)$$

де  $y_j$  – спостереження відгуку моделі в  $j$ -му експерименті;

$y_{i1}$ ,  $y_{i2}$  –  $i$ -е спостереження відгуку моделі нижнього та верхнього рівня факторів.

За формулами (3) обчислюються середні значення спостережень [16]:

$$\bar{y}_j = \frac{1}{p} \sum_{i=1}^p y_{ij}, \quad \bar{y} = \sum_{j=1}^2 \bar{y}_j. \quad (3)$$

З врахуванням кількості ступенів вільності, факторна  $d_{факт}$  та залишкова дисперсії  $d_{залиш}$  обчислюються за формулами [16]:

$$d_{факт} = S_{факт}, \quad d_{залиш} = \frac{S_{залиш}}{2 \cdot (p-1)}. \quad (4)$$

У формулах (4) в знаменнику виразу стоїть кількість ступенів вільності. За величиною критерію Фішера проводять порівняння факторної та залишкової дисперсії, які спостерігаються в експерименті [16]:

$$F = \frac{d_{факт}}{d_{залиш}}. \quad (5)$$

Оцінювання впливу факторів  $A$ ,  $B$ ,  $C$ ,  $AB$ ,  $AC$ ,  $BC$  та  $ABC$  за дисперсійним аналізом будемо проводити за виразами (1)–(5). Результати обчислень за формулами (1)–(5) подано в табл. 3.

Таблиця 3

**Результати оцінювання впливу факторів за дисперсійним аналізом**

Фактори							
$A$		$B$		$C$		$AB$	
$\overline{y_{A_1}}$	0,95	$\overline{y_{B_1}}$	0,71	$\overline{y_{C_1}}$	0,6	$\overline{y_{AB_1}}$	1,66
$\overline{y_{A_2}}$	1,29	$\overline{y_{B_2}}$	1,53	$\overline{y_{C_2}}$	1,65	$\overline{y_{AB_2}}$	2,82
$\overline{y_A}$	1,12	$\overline{y_B}$	1,12	$\overline{y_C}$	1,13	$\overline{y_{AB}}$	2,24
$S_{факт}$	0,6936	$S_{факт}$	4,0344	$S_{факт}$	6,6156	$S_{факт}$	8,0736
$S_{залиш}$	17,5513	$S_{залиш}$	14,1429	$S_{залиш}$	11,6515	$S_{залиш}$	31,6942
$d_{факт}$	0,6936	$d_{факт}$	4,0344	$d_{факт}$	6,6156	$d_{факт}$	8,0736
$d_{залиш}$	1,1	$d_{залиш}$	0,8839	$d_{залиш}$	0,7282	$d_{залиш}$	2,0
$F$	0,63	$F$	4,56	$F$	9,08	$F$	4,04
$F_{кр}$	4,49	$F_{кр}$	4,49	$F_{кр}$	4,49	$F_{кр}$	4,49
Фактори							
$AC$		$BC$		$ABC$			
$\overline{y_{AC_1}}$	1,55	$\overline{y_{BC_1}}$	1,31	$\overline{y_{ABC_1}}$	1,24		
$\overline{y_{AC_2}}$	2,94	$\overline{y_{BC_2}}$	3,18	$\overline{y_{ABC_2}}$	1,01		
$\overline{y_{AC}}$	2,25	$\overline{y_{BC}}$	2,25	$\overline{y_{ABC}}$	1,13		
$S_{факт}$	11,5932	$S_{факт}$	20,982	$S_{факт}$	0,318		
$S_{залиш}$	29,2028	$S_{залиш}$	25,7944	$S_{залиш}$	17,9245		
$d_{факт}$	11,5932	$d_{факт}$	20,982	$d_{факт}$	0,318		
$d_{залиш}$	1,8252	$d_{залиш}$	1,6122	$d_{залиш}$	1,1203		
$F$	6,35	$F$	13,01	$F$	0,28		
$F_{кр}$	4,49	$F_{кр}$	4,49	$F_{кр}$	4,49		

Потрібно зазначити, що в знаменнику залишкової дисперсії (4) стоїть кількість ступенів вільності 16, а не 22, як в однофакторному дисперсійному аналізі.

Порівняння факторної та залишкової дисперсії проводилось за величиною критерію Фішера. Отже, використовуючи багатофакторний дисперсійний аналіз доведено, що на відгук моделі, тобто на чутливість емісійного сенсора вологості двошарової структури впливають: фактор  $B$  – товщина захисного шару,  $F > F_{кр}$  (4,56 > 4,49); фактор  $C$  – концентрація розчину солі NaCl,  $F > F_{кр}$  (9,08 > 4,49), а також сумісний вплив факторів  $AC$  – товщина вологочутливого шару + концентрація розчину солі,  $F > F_{кр}$  (6,35 > 4,49) і факторів  $BC$  – товщина захисного шару + концентрація розчину солі,  $F > F_{кр}$  (13,01 > 4,49), тобто різниця в значеннях відгуку моделі пов'язана зі зміною значення фактора і не може бути спричинена тільки її випадковим характером. Однак, суттєво впливає на відгук моделі сумісний вплив факторів  $BC$ , а саме товщина захисного шару + концентрація розчину солі. В цьому випадку значення критерію Фішера, яке спостерігається в експерименті, значно перевищує критичне значення критерію Фішера, в порівнянні з вище наведеними значеннями впливу факторів. Вплив факторів  $A$ ,  $AB$  і  $ABC$ , а саме, товщина вологочутливого шару, сумісного впливу: товщина вологочутливого шару + товщина захисного шару; товщина вологочутливого шару + товщина захисного шару + концентрація розчину солі є несуттєвим, тобто різниця в значеннях відгуку моделі пов'язана з випадковим її характером і не пов'язана зі зміною значення фактора ( $F < F_{кр}$ ).

**Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі**

1. Встановлено, що методи математичної статистики доцільно використовувати для систематизації, оброблення та аналізу експериментальних даних, ефективність та достовірність яких залежить від обраного метода математичної статистики. В науково-дослідній роботі регресійний аналіз забезпечує оптимізацію параметрів фактора, тобто кількісно здійснює оцінювання впливу фактора на відгук моделі. Дисперсійний аналіз сприяє визначенню значущих факторів моделі, тобто він визначає вплив фактора на відгук моделі на рівні «впливає» або «не впливає». Крім того, щоб проаналізувати експеримент всебічно і зробити

статистично ґрунтовні висновки або знайти оптимальні рішення, доцільно застосовувати експерименти за багатофакторними планами з урахуванням сумісного впливу факторів.

2. Розроблено багатофакторний план для випадку трьох якісних факторів. Використовуючи багатофакторний дисперсійний аналіз доведено, що на відгук моделі, тобто на чутливість ємнісного сенсора вологості двошарової структури впливають фактори: товщина захисного шару, концентрація розчину солі NaCl, а також сумісний вплив таких факторів: товщина вологочутливого шару + концентрація розчину солі; товщина захисного шару + концентрація розчину солі. Тобто різниця в значеннях відгуку моделі пов'язана зі зміною значення фактора і не може бути спричинена тільки її випадковим характером. Однак, суттєво впливає на відгук моделі сумісний вплив фактора – товщина захисного шару + концентрація розчину солі. В цьому випадку значення критерію Фішера, яке спостерігається в експерименті значно перевищує критичне значення критерію Фішера  $F > F_{кр}$  (13,01 > 4,49). Вплив таких факторів: товщина вологочутливого шару; товщина вологочутливого шару + товщина захисного шару; товщина вологочутливого шару + товщина захисного шару + концентрація розчину солі є несуттєвим, тобто різниця в значеннях відгуку моделі пов'язана з випадковим її характером. Використовуючи дисперсійний аналіз впливу фактора доведено, що на чутливість ємнісних сенсорів вологості впливає не тільки концентрація розчину солі NaCl, яка використовувалась для створення вологочутливого шару, але й конструктивне виконання сенсора.

3. В подальших дослідженнях планується застосувати регресійний аналіз з метою оптимізації параметрів створення ємнісного сенсора вологості двошарової структури.

### Література

1. Готра З. Ю. Мікроелектронні сенсори фізичних величин. Том 2 / З. Ю. Готра. – Львів : Ліга-Прес, 2003. – 595 с.
2. Осадчук В. С. Сенсори вологості / В. С. Осадчук, О. В. Осадчук, Л. В. Крилик. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2003. – 208 с.
3. Осадчук В. С. Дослідження ємнісних вологочутливих елементів / В. С. Осадчук, О. В. Осадчук, Л. В. Крилик, М. В. Євсєєва // Вісник ВПІ. – 2002. – № 5. – С. 65–71.
4. Осадчук В. С. Ємнісний сенсор вологості гребінцевої структури на основі полімерних матеріалів / В. С. Осадчук, О. В. Осадчук, Л. В. Крилик, М. В. Євсєєва // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. Міжнародний науково-технічний журнал. – 2006. – № 2(12). – С. 222–227.
5. Осадчук О. В. Математична модель мікроелектронного автогенераторного засобу для вимірювання вологості / О. В. Осадчук, Л. В. Крилик, О. С. Звягін, Я. О. Осадчук // Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки. – 2021. – Т. 32(71), № 4. – С. 289–296.
6. Осадчук О. В. Математична модель параметричного перетворювача вологості з частотним виходом / О. В. Осадчук, Л. В. Крилик, Я. О. Осадчук // Прикладні питання математичного моделювання. – 2020. – № 2.1. – С. 206–215.
7. Крилик Л. В. Застосування регресійного аналізу в процесі оцінювання впливу фактора на чутливість ємнісного сенсора вологості / Л. В. Крилик, М. В. Євсєєва // Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки. – 2022. – № 4(311). – С. 119–124.
8. Крилик Л. В. Застосування багатофакторного дисперсійного аналізу з метою якісного оцінювання впливу факторів на чутливість ємнісного сенсора вологості / Л. В. Крилик // Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки. – 2022. – № 5(313). – С. 122–127.
9. Ляшок А. В. Планування багатофакторного експерименту при дослідженні процесу ультразвукового розпилення в тонкому шарі / А. В. Ляшок // Вісник НТУУ «КПІ». Серія машинобудування. – 2013. – № 3. – С. 13–17.
10. Павлюк К. В. Методичні підходи до розроблення нормативів і оцінки науково-дослідної праці на основі багатофакторного кореляційно-регресійного аналізу / К. В. Павлюк // Наукові праці НДФІ. – 2020. – № 3(92). – С. 5–19.
11. Аксьончиков С. О. Регресійний аналіз тенденцій розвитку кібератак / С. О. Аксьончиков, І. В. Смелянова, К. Д. Маркова, І. І. Сватовський // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія: Мат. моделювання. Інформаційні технології. Автоматизовані системи управління. – 2017. – Вип. 36. – С. 5–13.
12. Кучернюк П. В. Модель загроз безпеки в інформаційно-комунікаційних системах на основі регресійного аналізу / П. В. Кучернюк, А. О. Довгаль // Інформаційні та телекомунікаційні системи та технології, захист інформації. – 2017. – Вип. 22, № 2. – С. 79–84.
13. Самарець Н. М. Використання інформаційних технологій у статистичному аналізі даних для аграрних підприємств / Н. М. Самарець, Є. М. Харченко, Н. О. Чорна // АГРОСВІТ. – 2013. – № 20. – С. 14–20.
14. Шуть О. Теоретико-методологічні аспекти статистичних досліджень / О. Шуть // Збірник наукових праць ДЕТУТ. Серія «Економіка і управління». – 2012. – Вип. 22–21, Ч. 2. – С. 305–311.

15. Єріна А. М. Поєднання моделей регресійного і дисперсійного аналізу в соціально-економічних дослідженнях / А. М. Єріна // Наукові записки НаУКМА. Серія: Економічні науки. – 2000. – Том 18. – С. 12–17.

16. Стеценко І. В. Моделювання систем / І. В. Стеценко. – Черкаси : ЧДТУ, 2010. – 399 с.

### References

1. Hotra Z. Yu. Mikroelektronni sensory fizychnykh velychyn. Tom 2 / Z. Yu. Hotra. – Lviv : Liha-Pres, 2003. – 595 s.
2. Osadchuk V. S. Sensory volohosti / V. S. Osadchuk, O. V. Osadchuk, L. V. Krylyk. – Vinnytsia : UNIVERSUM – Vinnytsia, 2003. – 208 s.
3. Osadchuk V. S. Doslidzhennia yemnisnykh volohochutlyvykh elementiv / V. S. Osadchuk, O. V. Osadchuk, L. V. Krylyk, M. V. Yevsieieva // Visnyk VPI. – 2002. – №5. – S. 65–71.
4. Osadchuk V. S. Yemnisnyi sensor volohosti hrebintsevoi struktury na osnovi polimernykh materialiv / V. S. Osadchuk, O. V. Osadchuk, L. V. Krylyk, M. V. Yevsieieva // Optyko-elektronni informatsiino-enerhetychni tekhnologii. Mizhnarodnyi nauково-tekhnichnyi zhurnal. – 2006. – №2(12). – S. 222–227.
5. Osadchuk O. V. Matematychna model mikroelektronnoho avtoheteratornoho zasobu dlia vymiriuvannia volohosti / O. V. Osadchuk, L. V. Krylyk, O. S. Zviahin, Ya. O. Osadchuk // Vcheni zapysky Tavriiskoho natsionalnoho universytetu imeni V.I. Vernadskoho. Serii: Tekhnichni nauky. – 2021. – T. 32(71), № 4. – S. 289–296.
6. Osadchuk O. V. Matematychna model parametrychnoho peretvoriuvacha volohosti z chastotnym vykhodom / O. V. Osadchuk, L. V. Krylyk, Ya. O. Osadchuk // Prykladni pytannia matematychnoho modeliuvannia. – 2020. – T. 3, № 2.1. – S. 206–215.
7. Krylyk L. V. Zastosuvannia rehresiinoho analizu v protsesi otsiniuvannia vplyvu faktora na chutlyvist yemnisnoho sensora volohosti / L. V. Krylyk, M. V. Yevsieieva // Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Serii: Tekhnichni nauky. – 2022. – № 4(311). – S. 119–124.
8. Krylyk L. V. Zastosuvannia bahatofaktornoho dyspersiinoho analizu z metoiu yakisnoho otsiniuvannia vplyvu faktoriv na chutlyvist yemnisnoho sensora volohosti / L. V. Krylyk // Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Serii: Tekhnichni nauky. – 2022. – № 5(313). – S. 122–127.
9. Liashok A. V. Planuvannia bahatofaktornoho eksperymentu pry doslidzhenni protsesu ultrazvukovoho rozpylennia v tonkomu shari / A. V. Liashok // Visnyk NTUU «KPI». Serii: mashynobuduvannia. – 2013. – №3. – S. 13–17.
10. Pavliuk K. V. Metodychni pidkhody do rozroblennia normatyviv i otsinky nauково-doslidnoi pratsi na osnovi bahatofaktornoho koreliatsiino-rehresiinoho analizu / K. V. Pavliuk // Naukovi pratsi NDFI. – 2020. – № 3(92). – S. 5–19.
11. Aksonchykov S. O. Rehresiinyi analiz tendentsii rozvytku kiberatak / S. O. Aksonchykov, I. V. Yemelianova, K. D. Markova, I. I. Svatovskiy // Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho universytetu imeni V. N. Karazina. Serii: Mat. modeliuvannia. Informatsiini tekhnologii. Avtomatyzovani systemy upravlinnia. – 2017. – Vyp. 36. – S. 5–13.
12. Kucherniuk P. V. Model zahroz bezpeky v informatsiino-komunikatsiinykh systemakh na osnovi rehresiinoho analizu / P. V. Kucherniuk, A. O. Dovhal // Informatsiini ta telekomunikatsiini systemy ta tekhnologii, zakhyst informatsii. – 2017. – Vyp. 22, №2. – S. 79–84.
13. Samarets N. M. Vykorystannia informatsiinykh tekhnologii u statystychnomu analizi danykh dlia ahrarykh pidpriemstv / N. M. Samarets, Ye. M. Kharchenko, N. O. Chorna // AHROSVIT. – 2013. – № 20. – S. 14–20.
14. Shut O. Teoretyko-metodolohichni aspekty statystychnykh doslidzen / O. Shut // Zbirnyk naukovykh prats DETUT. Serii «Ekonomika i upravlinnia». – 2012. – Vyp. 22–21, Ch. 2. – S. 305–311.
15. Yerina A. M. Poiednannia modelei rehresiinoho i dyspersiinoho analizu v sotsialno-ekonomichnykh doslidzhenniakh / A. M. Yerina // Naukovi zapysky NaUKMA. Serii: Ekonomichni nauky. – 2000. – Том 18. – S. 12–17.
16. Stetsenko I. V. Modeliuvannia system / I. V. Stetsenko. – Cherkasy : ChDTU, 2010. – 399 s.