

ISSN 2307-5732
DOI 10.31891/2307-5732

Науковий журнал



ВІСНИК

**Хмельницького національного
університету**

Технічні науки

ISSN 2307-5732

DOI 10.31891/2307-5732

НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ

4.2023

ВІСНИК

Хмельницького

національного

університету

Технічні науки

Technical sciences

SCIENTIFIC JOURNAL

HERALD OF KHMELNYTSKYI NATIONAL UNIVERSITY

2023, Issue 4, Volume 323

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, № 4(323)

**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=aIUP9OYAAAAAJ
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., 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., Мясішев 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 № 1 від 30.08.2023 р.**

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

☎	(038-2) 67-51-08	web:	http://journals.khnu.km.ua/vestnik
e-mail:	visnyk.khnu@khmnu.edu.ua visnyk.khnu@gmail.com		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, 2023
© Редакція журналу "Вісник Хмельницького національного університету", 2023

ЗМІСТ

АНТОНЕНКО АРТЕМ, ПАХОМОВ ММИХАПІЛО, КАЛИТА ТЕТЯНА, ГАЛЕТА ВОЛОДИМИР ВИКОРИСТАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМАХ	11
БІДОЧКО АНДРІЙ ВИКОРИСТАННЯ ВЕЛИКИХ МОВНИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ГЕНЕРУВАННЯ ПРОГРАМНОГО КОДУ НА ОСНОВІ ДОМЕННО-СПЕЦИФІЧНИХ МОВ	21
БОЙКО НАТАЛІЯ, МИХАЙЛИШИН ВЛАДИСЛАВ ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ РЕКУРСИВНОГО ПРОЦЕСУ РОЗПОДІЛУ НАБОРУ ДАНИХ З ВИКОРИСТАННЯМ АЛГОРИТМУ CART	25
БОЙКО СЕРГІЙ, КАСАТКІНА ІРИНА, БЕРІДЗЕ ТЕТЯНА, ЖУКОВ ОЛЕКСІЙ, БОМБИК ВАДИМ ПОТЕНЦІАЛ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ В УМОВАХ ПРОМИСЛОВИХ АГЛОМЕРАЦІЙ УКРАЇНИ ...	36
БОРТНИК ГЕННАДІЙ , БОРТНИК СЕРГІЙ , КИРИЛЮК СЕРГІЙ ПАРАЛЕЛЬНИЙ АНАЛОГО-ЦИФРОВИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ З КОРИГУВАННЯМ ЧАСОВОЇ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ВИХІДНОГО СИГНАЛУ	46
БОРТНИК ГЕННАДІЙ , БОРТНИК СЕРГІЙ, БРИЛЬ МИХАЙЛО, МЕЛЬНИЧУК СТЕПАН ПАРАЛЕЛЬНО-ПОСЛІДОВНІ АНАЛОГО-ЦИФРОВІ ПЕРЕТВОРЮВАЧІ З КОРИГУВАННЯМ ПОХИБОК НЕЛІНІЙНОСТІ	53
БОРОВИЦЬКИЙ ВОЛОДИМИР, ГУДЗЬ ОЛЕКСІЙ МЕТОД ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ КОНТРАСТУ ПРИ ЗАСТОСУВАННІ ГАРМОНІЧНОЇ ПРОСТОРОВОЇ МОДУЛЯЦІЇ ОСВІТЛЕННЯ	59
ВОЗНЮК МАРТА, ШАБЛІЙ ТЕТЯНА ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ОЧИЩЕННЯ ВОДНИХ ЕМУЛЬСІЙ ВІД НАФТИ ФІЗИКО-ХІМІЧНИМИ МЕТОДАМИ	65
ГРАБАР ІВАН, ЖУКОВСЬКИЙ ОЛЕКСАНДР, СЕНН ФІЛІПП МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІКИ РОТОРІВ ЗМІННОЇ МАСИ ТЕХНОЛОГІЧНИХ МАШИН	73
ГОМЕЛЯ МИКОЛА, ТРУС ІННА, ВАКУЛЕНКО АННА, ФАТЄЄВ ДАНИЛО ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ОЧИЩЕННЯ ВОДИ ВІД НІТРАТІВ МЕТОДОМ ЗВОРОТНОГО ОСМОСУ	82
ГРИНЬКО ІРИНА, СКРИПНИК ТЕТЯНА, БАРМАК ОЛЕКСАНДР КВАНТОВІ ЗГОРТКОВІ НЕЙРОННІ МЕРЕЖІ: ОСОБЛИВОСТІ РЕАЛІЗАЦІЇ У ТЕХНІЧНИХ, ПРИРОДНИЧИХ І СОЦІАЛЬНО-ЕКОНОМІЧНИХ СИСТЕМАХ	87
ДЕНИСЮК ВАЛЕРІЙ, ПОТАПОВА НАДІЯ, ЗЕЛІНСЬКА ОКСАНА, ТАРАСЮК МИКОЛА ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ АЛГОРИТМІВ ПАРАЛЕЛЬНОГО ШВИДКОГО СОРТУВАННЯ	95
ДОМАНЦЕВИЧ ІРИНА, ЯЦИШИН БОГДАН ПОЛІЕТИЛЕНОВІ ПЛІВКИ ДЛЯ ДОВГОТРИВАЛОГО ЗБЕРІГАННЯ МЕТАЛОПРОДУКЦІЇ: ВИМОГИ, ПОТРЕБИ, ВЛАСТИВОСТІ	106
ГОРЯЩЕНКО КОСТЯНТИН, СТЕЦЮК ВІКТОР, ГОРЯЩЕНКО СЕРГІЙ, ЛИСИЙ АНДРІЙ МОДЕЛЮВАННЯ ТА ВИПРОБУВАННЯ СИНХРОННИХ ДВИГУНІВ З ПОСТІЙНИМИ МАГНІТАМИ	112

ДУПЛЯК СТЕПАН, ШАХОВСЬКА НАТАЛІЯ ОЦІНКА АДЕКВАТНОСТІ КОНТЕНТУ ЗА КОНТЕКСТОМ МЕТОДАМИ АНСАМБЛІВ МОДЕЛЕЙ BERT	118
ДУДА ОЛЕКСІЙ, СТАНЬКО АНДРІЙ АРХІТЕКТУРА МЕРЕЖЕВОЇ ПЛАТФОРМИ МОНИТОРИНГУ ОБ'ЄКТІВ У КІБЕРФІЗИЧНИХ СИСТЕМАХ «РОЗУМНИХ МІСТ»	123
ЗАСЬЦЬ АНТОНІНА, АНДРЕЄВА ОЛЬГА ТРАДИЦІЙНІ ПІДХОДИ І НОВІТНІ РОЗРОБКИ В ОБЛАСТІ РІДИННОГО ОЗДОБЛЕННЯ НАТУРАЛЬНОЇ ШКІРИ	131
ЗАСПА ЮРІЙ ЕЛЕКТРОМАГНІТНІ ТА ГРАВІТОМАГНІТНІ МУЛЬТИПЛІКАТИВНІ ТЕРМОРЕЗОНАНСИ КОГЕРЕНТНИХ ГЕЛІКОННИХ ФОРМ РУХУ ГЕТЕРОФАЗНОГО ПЛАЗМОВОГО СЕРЕДОВИЩА ЦЕНТРАЛЬНО-АНТИСИМЕТРИЧНОГО КОМПЛЕКСНОГО ПРОСТОРУ. РОЗРИВНА ТЕРМОМАГНЕТОПЛАЗМОННА ПРИРОДА МАСИ, ЗАРЯДУ, СПІНУ ТА МАГНІТНОГО МОМЕНТУ	139
КАЧАН РОМАН, ЗАКОМОЛДІНА АЛІНА, ЯЦУТА ІННА СТВОРЕННЯ ПОЛІМЕРНОГО КОМПОЗИЦІЙНОГО ЗАСОБУ З ФУНГІЦИДНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ	149
КОВАЛЬЧУК ОЛЬГА МЕТОД ГОЛОВНИХ КОМПОНЕНТ ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ РИЗИКІВ КРИМІНАЛЬНОЇ ЗЛОЧИННОСТІ	154
КОНДРА АРТУР, КУНАНЕЦЬ НАТАЛІЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА ЕЛЕКТРОННОЇ КОМЕРЦІЇ БРЕНДУ ОДЯГУ	159
КОШЕЛЬ СЕРГІЙ, КОШЕЛЬ ГАННА, ЗАЛЮБОВСЬКИЙ МАРК, КОШЕЛЬ ОЛЕКСАНДР СТРУКТУРНИЙ АНАЛІЗ МЕХАНІЗМІВ ЧЕТВЕРТОГО КЛАСУ З ТРЬОМА СКЛАДНИМИ ЛАНКАМИ	168
КИРИЛОВИЧ ВАЛЕРІЙ, КРАВЧУК АНТОН ТРИРІВНЕВИЙ ПІДХІД ДО ПОЧАТКОВИХ ЕТАПІВ ПРОЄКТУВАННЯ КОЛАБОРАТИВНИХ РОБОТИЗОВАНИХ ТЕХНОЛОГІЙ	180
КУТІН ВАСИЛЬ, КУТІНА МАРИНА, КОВАЛЬОВ АРТЕМ ВИЗНАЧЕННЯ ПРИЧИН ВИНИКНЕННЯ ТА ХАРАКТЕРИСТИК ОДНОФАЗНИХ ЗАМИКАНЬ НА ЗЕМЛЮ РОЗПОДІЛЬЧИХ МЕРЕЖАХ НАПРУГОЮ 6-35 КВ	188
ЛУЗАН СЕРГІЙ, СИТНИКОВ ПАВЛО СТРУКТУРА ТА ВЛАСТИВОСТІ НАПЛАВЛЕНИХ ШАРІВ КОМПОЗИЦІЙНИМ МАТЕРІАЛОМ, ЯКИЙ ОДЕРЖАНО З ВИКОРИСТАННЯМ СВС-ПРОЦЕСУ	194
МАТУШКІН ДМИТРО ЩОДО ПИТАННЯ (НЕ)ПРАКТИЧНОСТІ МОДЕЛЕЙ СОНЯЧНОГО ПРОГНОЗУВАННЯ	202
НІКОЛЬСЬКИЙ СЕРГІЙ, КЛИМЕНКО ІРИНА ПРОГРЕСИВНА ІОТ-ПЛАТФОРМА НА ОСНОВІ ТЕХНОЛОГІЇ ПЕРИФЕРІЙНИХ ОБЧИСЛЕНЬ	211
ОСАДЧУК ОЛЕКСАНДР, ДУМЕНКО ДЕНИС АНАЛІЗ ЗАЛЕЖНОСТЕЙ ПАРАМЕТРІВ ТРАНЗИСТОРНИХ АНАЛОГІВ ІНДУКТИВНОСТІ ВІД ТЕМПЕРАТУРИ	218
ОВЧАРУК ОЛЕКСАНДР, МАЗУРЕЦЬ ОЛЕКСАНДР, СОБКО ОЛЕНА, МОЛЧАНОВА МАРИНА, КЛИМЕНКО ВАЛЕРІЯ ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ПРОГНОЗУВАННЯ РІВНЯ ЕПІДЕМІОЛОГІЧНОЇ НЕБЕЗПЕКИ З ВИКОРИСТАННЯМ НЕЙРОМЕРЕЖЕВОГО МОДЕЛЮВАННЯ	224

ПАВЛЕНКО ЄВГЕН, СТЕПАНОВ МИХАЙЛО МАСКУВАННЯ ВИХІДНОГО СИГНАЛУ, ВИЗНАЧЕННЯ МІНІМАЛЬНО НЕОБХІДНОГО РІВНЯ МАСКУЮЧОГО ШУМУ	231
ПАТРАШКУ ОЛЬГА , БРАЦЛАВЕЦЬ БОГДАН ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ МАШИН ТА ОБЛАДНАННЯ АПК ЗА РАХУНОК УПРАВЛІННЯ НАДІЙНІСТЮ ЇХ СИСТЕМ	236
ПАСТУШЕНКО ДЕНИС, ВОВК ОЛЕНА СУЧАСНІ АСПЕКТИ АВТОМАТИЗОВАНОГО СТВОРЕННЯ ВІЗУАЛЬНИХ ОБ'ЄКТІВ У ЗАДАЧАХ ГЕЙМІФІКАЦІЇ	242
ПИЛИПЕНКО ОЛЕКСАНДР ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ КОЛАБОРАТИВНИХ ПРОМИСЛОВИХ РОБОТІВ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ КОЛАБОРАТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ	251
ПИЛИПЕНКО ВЛАДИСЛАВ, СТАЦЕНКО ВОЛОДИМИР ПРОГНОЗУВАННЯ АКТИВНОСТІ КОРИСТУВАЧІВ ПЛАТФОРМИ MOODLE НА БАЗІ МЕТОДІВ МАШИННОГО НАВЧАННЯ	257
ПОЗУР МИХАЙЛО, ВОЙТКО ВІКТОРІЯ АНАЛІЗ ПІДХОДІВ ДО МЕТАПРОГРАМУВАННЯ В .NET	262
ПОКОТИЛО ОЛЕКСАНДР, БАЙЛЮК ЄЛІЗАВЕТА, ЩУР НАТАЛІЯ ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ ЗАГРОЗ	268
ПОПОВИЧ БОГДАН, ПОПОВИЧ РОМАН ЕЛЕМЕНТИ ВЕЛИКОГО ПОРЯДКУ ДЛЯ КРИПТОСИСТЕМ З НЕАБЕЛЕВИМИ БАЗОВИМИ ГРУПАМИ	278
РАЦУК МАРІЯ, ЮРОВА ТЕТЯНА, БЄЛКА АЛІНА ВИЗНАЧЕННЯ ЯКОСТІ ТА БЕЗПЕЧНОСТІ РАФІНОВАНОЇ СОНЯШНИКОВОЇ ОЛІЇ	286
РУБАНКА МИКОЛА, ВИННИЧУК МАРІЯ, ВИДОЛОБ ДМИТРО, ПОЛІЩУК ОЛЕГ, КАМЕНЕВ ВОЛОДИМИР ДОЦІЛЬНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ СУЧАСНОГО ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ ТРИВИМІРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ У ЮВЕЛІРНІЙ СПРАВІ	292
РЯБЧИКОВ МИКОЛА , МИЦА ВІКТОРІЯ , МОВЧАНЮК АНАСТАСІЯ ФОРМУВАННЯ КОНЦЕПЦІЇ ДИЗАЙНУ ОДЯГУ ЗА ДОПОМОГОЮ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ	298
СЕВЕРИНЕНКО ДАНИЛО, СЕНИК АНДРІЙ, ПУКАЧ ПЕТРО РОЗРОБКА КРОСПЛАТФОРМНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ОСОБИСТОГО ФІНАНСОВОГО АНАЛІЗУ ЗА ДОПОМОГОЮ ПРОГРАМНОГО КАРКАСУ FLUTTER	303
СТРИЖОВА ОКСАНА, БАЗИЛЮК ЕЛЬВІРА ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТЕЙ ВИКОРИСТАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ У ВІЗУАЛЬНОМУ ТА КОМУНІКАТИВНОМУ ВИДАХ ГЕНЕРАТИВНОГО ДИЗАЙНУ	307
ТЕСЛЮК ГЕННАДІЙ, ЗОЛОТАВСЬКА ОЛЕНА, ПОНОМАРЕНКО НАТАЛІЯ, ІВЛЄВ ВІТАЛІЙ, ЛУЦ ПАВЛО ДОСЛІДЖЕННЯ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ НАСІННЯ ГАРБУЗА ДЛЯ ЧИСЕЛЬНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ЇХ СЕПАРАЦІЇ	310
ТУРОВСЬКИЙ ОЛЕКСАНДР, МЕЛЕШКО ТЕТЯНА ОЦІНКА ВПЛИВУ МУЛЬТИПЛИКАТИВНОЇ ЗАВАДИ НА ІМОВІРНІСТЬ БІТОВОЇ ПОМИЛКИ КОГЕРЕНТНОГО ПРИЙОМУ СИГНАЛІВ З БАГАТОПОЗИЦІЙНОЮ ФАЗОВОЮ МАНІПУЛЯЦІЄЮ	318
ФАЛЬКОВСЬКИЙ ІГОР, ГОЛОВНЯ ОЛЕНА OPENWRT У ВІРТУАЛЬНОМУ СЕРЕДОВИЩІ VIRTUALBOX	325

ХОБОР ОЛЕКСІЙ РОМАНОВИЧ, СЕНИК АНДРІЙ ПЕТРОВИЧ, ЛИТВИН ВАСИЛЬ ВОЛОДИМИРОВИЧ ВИКОРИСТАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ЗАПОБІГАННЯ МЕТЕОРОЛОГІЧНИМ РИЗИКАМ	332
ЦУРКАН ОЛЕГ, РУТКЕВИЧ ВОЛОДИМИР, ДІДИК АНДРІЙ ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ СУШІННЯ ВОЛОСЬКИХ ГОРІХІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ВІБРАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ	337
ЩЕРБАНЬ ВОЛОДИМИР , КОЛИСКО ОКСАНА, МЕЛЬНИК ГЕННАДІЙ, КОЛИСКО МАР'ЯНА, ЩЕРБАНЬ ЮРІЙ. КОМП'ЮТЕРНА РЕАЛІЗАЦІЯ МОДУЛЯ ДЛЯ ШАТУННО-КОРОМИСЛОВІ ГРУПИ ПРОГРАМИ K DAM ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ КІНЕМАТИЧНИХ ТА ДИНАМІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ	343
ЯРОШЕНКО ОЛЕКСАНДР СЕНТИМЕНТ АНАЛІЗ ВІДГУКІВ ПРО ПРОДУКТИ ЗА ДОПОМОГОЮ МОДЕЛЕЙ ГЛИБОКОГО НАВЧАННЯ	347
ЩУР ВАДИМ, КУЛАКОВ ЮРІЙ АНАЛІЗ СУЧАСНИХ МЕТОДІВ БАЛАНСУВАННЯ НАВАНТАЖЕННЯ В SDN МЕРЕЖАХ	352
КУШНІРЧУК АНДРІЙ, ТКАЧУК ВІТАЛІЙ, КАРАЗЕЙ ВІТАЛІЙ, ХАРЖЕВСЬКИЙ В'ЯЧЕСЛАВ, МАРЧЕНКО МАКСИМ ВИКОРИСТАННЯ SOLIDWORKS У ПРОТОТИПУВАННІ АЕРОДИНАМІЧНОГО ХВОСТОВОГО КЕРМА	358
КАРПЕНКО МАРГАРИТА, РАДОВЕНЧИК В'ЯЧЕСЛАВ ОЦІНКА МОЖЛИВОСТІ ЗМЕНШЕННЯ НЕГАТИВНОГО ВПЛИВУ НА ДОВКІЛЛЯ ДРУГОГО ТА ТРЕТЬОГО ЕТАПІВ ОБРОБКИ ВОДИ В СИСТЕМАХ ЗВОРОТНЬОГО ОСМОСУ	362
СЕГЕДА МИХАЙЛО, СІКОРСЬКА ОЛЕНА, ДУДУРИЧ ОЛЕКСАНДРА, РОМАНІВ СТАНІСЛАВ ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ГОЛОВНИХ СХЕМ ЕЛЕКТРИЧНИХ З'ЄДНАНЬ СУЧАСНИХ МЕРЕЖЕВИХ ВІТРОВИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ СТАНЦІЙ ПІД ЧАС ВИБОРУ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ОСНОВНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВІТРОЕЛЕКТРИЧНОЇ УСТАНОВКИ ДЛЯ ІНТЕГРАЦІЇ В РОБОТУ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНОЇ СИСТЕМИ	358
БАНДУРА ІРИНА, КОШЕЛЬ ОЛЕНА АКТУАЛЬНІСТЬ ДОСЛІДЖЕНЬ ЩОДО ЗАСТОСУВАННЯ ГРИБІВ У ПРИ ВИРОБНИЦТВІ М'ЯСОПРОДУКТІВ.....	377
ЛЕБЕДЕНКО ТЕТЯНА, ПОПОВА СВІТЛАНА, НИКИФОРОВ РАДІОН, КОРЕНЕЦЬ ЮРІЙ, ШКВАРУН ЛЮБОВ ІННОВАЦІЙНІ ПІДХОДИ РОЗРОБКИ ОПЕРАТОРІВ ПРОЦЕСУ НАДАННЯ ПОСЛУГ ПІДПРИЄМСТВ ГОТЕЛЬНО-РЕСТОРАННОГО ГОСПОДАРСТВА	385

CONTENT

ANTONENKO ARTEM , PAKHOMOV MYKHAILO, KALYTA TETIANA, HALETA VOLODYMYR USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN AUTOMATED SYSTEMS	11
BIDOCHKO ANDRII UTILIZING LARGE LANGUAGE MODELS FOR SOFTWARE GENERATION BASED ON DOMAIN- SPECIFIC LANGUAGES	21
BOYKO NATALIYA, MYKHAILYSHYN VLADYSLAV EVALUATION OF THE EFFICIENCY OF THE RECURSIVE DATA SET DISTRIBUTION PROCESS USING THE CART ALGORITHM	25
BOYKO SERHIY, KASATKINA IRINA, BERIDZE TETIANA, ZHUKOV OLEKSIY, BOMBYK VADYM THE POTENTIAL OF SOLAR ENERGY IN THE CONDITIONS INDUSTRIAL AGGLOMERATIONS OF UKRAINE	36
BORTNYK GENNADIY, BORTNYK SERHII, KYRYLYUK SERHII PARALLEL ANALOG-DIGITAL CONVERTER WITH CORRECTION OF THE TIME UNCERTAINTY OF THE OUTPUT SIGNAL	46
BORTNYK GENNADIY, BORTNYK SERHII, BRYL MYKHAILO, MELNYCHUK STEPAN PARALLEL-SEQUENTIAL ANALOG-DIGITAL CONVERTERS WITH NONLINEARITY ERROR CORRECTION	53
BOROVYTSKY VOLODYMYR, HUDZ OLEKSII TECHNIQUE FOR CONTRAST DETERMINATION IN CASE OF HARMONIC SPATIAL MODULATION OF ILLUMINATION	59
VOZNIUK MARTA , SHABLIY TETYANA EVALUATION OF THE EFFECTIVENESS OF TREATMENT WATER EMULSIONS FROM OIL BY PHYSICO-CHEMICAL METHODS	65
GRABAR IVAN, ZHUKOVSKYI OLEXANDR, SENN PHILIPP MODELING OF THE DYNAMICS OF ROTORS OF VARIABLE MASS OF TECHNOLOGICAL MACHINES	73
GOMELYA MUKOLA, TRUS INNA, VAKULENKO ANNA, FATIEIEV DANYLO DEFINITION OF THE EFFICIENCY OF NITRATE REMOVAL FROM WATER USING THE REVERSE OSMOSIS METHOD	82
HRYNKO IRYNA, SKRYPNYK TETYANA, BARMAK OLEXANDER QUANTUM CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORKS: IMPLEMENTATION SPECIFICS IN TECHNICAL, NATURAL, AND SOCIO-ECONOMIC SYSTEMS	87
DENYSIUK VALERII, POTAPOVA NADIHA, ZELINSKA OKSANA, TARASIUK MYKOLA SOFTWARE IMPLEMENTATION AND RESEARCH OF QUICK SORTING ALGORITHMS	95
DOMANTSEVYCH NINA, YATSYSHYN BOGDAN POLYETHYLENE FILMS FOR LONG-TERM STORAGE OF METAL PRODUCTS: REQUIREMENTS, NEEDS, PROPERTIES	106
HORIASHCHENKO KOSTYANTYN, STETSIUK VIKTOR, HORIASHCHENKO SERHIY, LYSYI ANDRIY MODELLING AND TESTING OF SYNCHRONOUS MOTORS WITH PERMANENT MAGNETS.....	112
DUPLIAK STEPAN, SHAKHOVSKA NATALIA ASSESSMENT OF ADEQUACY OF CONTENT BY CONTEXT USING BERT MODEL ENSEMBLE METHODS	118

DUDA OLEKSII, STANKO ANDRII THE NETWORK PLATFORM ARCHITECTURE FOR MONITORING OBJECTS IN CYBERPHYSICAL SYSTEMS OF SMART CITIES	123
ZAIETS ANTONINA, ANDREYEVA OLGA TRADITIONAL APPROACHES AND THE LATEST DEVELOPMENTS IN THE FIELD OF LIQUID FINISHING OF NATURAL LEATHER	131
ZASPA YURII ELECTROMAGNETIC AND GRAVITO-MAGNETIC MULTIPLICATIVE THERMORESONANCES OF COHERENT HELICON FORMS OF THE MOTION OF THE HETEROPHASE PLASMA MEDIUM OF THE CENTRAL-ANTISYMMETRIC COMPLEX SPACE. DISCONTINUOUS THERMOMAGNETOPLASMONIC NATURE OF MASS, CHARGE, SPIN AND MAGNETIC MOMENT ...	139
KACHAN ROMAN, ZAKOMOLDINA ALINA, YATSUTA INNA CREATION OF A POLYMER COMPOSITE WITH FUNGICIDAL PROPERTIES	149
KOVALCHUK OLHA PRINCIPAL COMPONENTS ANALYSIS FOR MODELING RISKS OF CRIMINAL CRIME	154
KONDRA ARTUR, KUNANETS NATALIYA INTELLIGENT INFORMATION E-COMMERCE SYSTEM FOR CLOTHING BRAND	159
KOSHEL SERGEY, KOSHEL GANNA, ZALYUBOVSKYI MARK, KOSHEL OLEKSANDR STRUCTURAL ANALYSIS OF FOURTH CLASS MECHANISMS WITH THREE COMPLEX LINKS	168
KYRYLOVYCH VALERII, KRAVCHUK ANTON A THREE-TIERED APPROACH TO THE INITIAL STAGES OF DESIGN OF COLLABORATIVE ROBOTIC TECHNOLOGIES	180
KUTIN VASYL, KUTINA MARYNA, KOVALYOV ARTEM DETERMINATION OF THE CAUSES AND CHARACTERISTICS OF SINGLE-PHASE GROUND CIRCUITS IN DISTRIBUTION NETWORKS WITH A VOLTAGE OF 6-35 KV	188
LUZAN SERGII, SYTNYKOV PAVLO STRUCTURE AND PROPERTIES OF DEPOSITED COATINGS OF COMPOSITE MATERIAL OBTAINED USING THE SHS PROCESS	194
MATUSHKIN DMYTRO CONCERNING THE MATTER OF THE (IM)PRACTICALITY OF SOLAR FORECASTING MODELS	202
NIKOLSKIY SERHIY, KLYMENKO IRYNA PROGRESSIVE IOT PLATFORM BASED ON EDGE COMPUTING TECHNOLOGY	211
OSADCHUK OLEXANDER, DUMENKO DENYS ANALYSIS OF THE DEPENDENCES OF THE PARAMETERS OF TRANSISTOR ANALOGUES OF INDUCTANCE ON TEMPERATURE	218
OVCHARUK OLEKSANDR, MAZURETS OLEKSANDR, SOBKO OLENA, MOLCHANOVA MARYNA, KLIMENKO VALERIYA INFORMATION TECHNOLOGY FOR PREDICTING THE LEVEL OF EPIDEMIOLOGICAL DANGER USING NEURONET MODELING	224
PAVLENKO YEVHEN, STEPANOV MIKHAILO MASKING OF OUTPUT SIGNAL, DETERMINING MINIMAL LEVEL OF MASKING NOISE	231
PATRASHKU OLGA, BRATSLAVETS BBOGDAN IMPROVING THE EFFICIENCY OF FUNCTIONING OF MACHINERY AND APPARATUS EQUIPMENT BY MANAGING THE RELIABILITY OF THEIR SYSTEMS	236

PASTUSHENKO DENYS, VOVK OLENA CONTEMPORARY ASPECTS OF AUTOMATED VISUAL OBJECTS CREATION IN GAMIFICATION TASKS	242
PYLYPENKO OLEKSANDR FEATURES OF THE USE OF COLLABORATIVE INDUSTRIAL ROBOTS AND PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF COLLABORATIVE TECHNOLOGIES	251
PYLYPENKO VLADYSLAV, STATSENKO VOLODYMYR PREDICTION OF USERS ACTIVITY IN THE MOODLE PLATFORM BASED ON MACHINE LEARNING METHODS	257
POZUR MYKHAYLO, VOITKO VIKTORIIA ANALYSIS OF METAPROGRAMMING APPROACHES IN .NET	262
POKOTYLO OLEKSANDRA, BAILIUK YELYZAVETA, SHCHUR NATALIYA COMPARATIVE ANALYSIS OF THREAT MODELING SOFTWARE	268
POPOVYCH BOGDAN, POPOVYCH ROMAN ELEMENTS OF HIGH ORDER FOR CRYPTOSYSTEMS WITH NON-ABELIAN PLATFORM GROUPS ...	278
RATSUK MARIYA, YUROVA TATYANA, BIELKA ALINA DETERMINATION OF THE QUALITY AND SAFETY OF REFINED SUNFLOWER OIL	286
RUBANKA MYKOLA, VYNNYCHUK MARIYA, VYDOLOB DMYTRO, POLISHCHUK OLEH, HORIASHCHENKO SERHIY THE FEASIBILITY OF USING MODERN SOFTWARE FOR THREE-DIMENSIONAL MODELING IN THE JEWELRY INDUSTRY	292
RIABCHYKOV MYKOLA , MYTSA VIKTORIIA, MOVCHANIUK ANASTASIIA CONCEPT FORMATION IN CLOTHING DESIGN USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE	298
SEVERYNENKO DANYLO, SENYK ANDRIY, PUKACH PETRO DEVELOPMENT OF A CROSS-PLATFORM SYSTEM FOR PERSONAL FINANCIAL ANALYSIS USING THE FLUTTER FRAMEWORK	303
STRYZHOVA OKSANA, BAZYLIUK ELVARA RESEARCH OF THE POSSIBILITIES OF USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN VISUAL AND COMMUNICATIVE TYPES OF GENERATIVE DESIGN	307
TESLYUK HENNADIY, ZOLOTAVSKA OLENA, PONOMARENKO NATALIA, IVLEV VITALIY, LUTS PAVLO STUDY OF PHYSICAL-MECHANICAL PROPERTIES OF PUMPKIN SEEDS FOR NUMERICAL SIMULATION OF THEIR SEPARATION PROCESS	310
TUROVSKY OLEKSANDR, MELESHKO TETIANA EVALUATION OF THE INFLUENCE OF MULTIPLICATIVE INTERFERENCE ON THE BIT ERROR PROBABILITY OF COHERENT RECEPTION OF SIGNALS WITH MULTIPOSITION PHASE SHIFT KEYING	318
FALKOVSKIY IHOR, HOLOVNYA OLENA OPENWRT IN A VIRTUAL ENVIRONMENT USING VIRTUALBOX	325
KHOBOR OLEXIY, SENYK ANDRIY, LYTVYN VASYL USAGE OF INFORMATION TECHNOLOGIES TO PREVENT METEOROLOGICAL RISKS	332
TSURKAN OLEH, RUTKEVYCH VOLODYMYR, DIDYK ANDRII THEORETICAL RESEARCH OF THE DRYING PROCESS OF WALNUTS USING VIBRATION TECHNOLOGIES	337

SHCHERBAN VOLODYMYR, KOLISKO OKSANA, MELNIK GENADIJ, KOLISKO MARJANA, SHCHERBAN YURYJ COMPUTER IMPLEMENTATION OF THE MODULE FOR THE CONNECTING ROD GROUP OF THE KDAM PROGRAM FOR THE DETERMINATION OF KINEMATIC AND DYNAMIC PARAMETERS	343
YAROSHENKO OLEKSANDR SENTIMENT ANALYSIS OF PRODUCT REVIEWS WITH DEEP LEARNING MODELS	347
SHCHUR VADYM, KULAKOB YURII ANALYSIS OF MODERN LOAD BALANCING METHODS IN SDN NETWORKS	352
KUSHNIRCHUK ANDRIY, TKACHUK VITALII, KARAZEY VITALII, KHARZHEVSKYI VIACHESLAV, MARCHENKO MAKSYM USING SOLIDWORKS FOR PROTOTYPING AERODYNAMIC STEERING DRIVES	358
KARPENKO MARGARYTA, RADOVENCHYK VYACHESLAV ASSESSMENT OF THE POSSIBILITY OF REDUCING THE NEGATIVE IMPACT ON THE ENVIRONMENT OF THE SECOND AND THIRD STAGES OF WATER TREATMENT IN REVERSE OSMOSIS SYSTEMS	362
SEGEDA MYKHAILO, SIKORSKA OLENA, DUDURYCH OLEXANDRA, ROMANIV STANISLAV FEATURES OF THE APPLICATION OF THE MAIN DIAGRAMS OF ELECTRICAL CONNECTIONS OF MODERN NETWORKED WIND POWER PLANTS DURING THE SELECTION AND JUSTIFICATION OF THE MAIN CHARACTERISTICS OF THE WIND ELECTRIC PLANT FOR INTEGRATION IN THE WORK OF ELECTRICAL ENERGY ISSUE	368
BANDURA IRYNA, KOSHEL OLENA THE RELEVANCE OF RESEARCH THE PROGRESS ON THE APPLICATION OF MUSHROOM IN MEAT PRODUCTS PROCESSING	377
LEBEDENKO TETIANA, POPOVA SVITLANA, NYKYFOROV RADION, KORENETS YURII, SHKVARUN LYBOV INNOVATIVE APPROACHES TO MODELING BUSINESS PROCESSES OF HOTEL AND RESTAURANT ENTERPRISES	385

ЦУРКАН ОЛЕГ

Відокремлений структурний підрозділ «Ладизинський фаховий коледж

Вінницького національного аграрного університету»

ORCID ID: [0000-0002-7218-0026](https://orcid.org/0000-0002-7218-0026)e-mail: tsurkan_ov76@ukr.net

РУТКЕВИЧ ВОЛОДИМИР

Вінницький національний аграрний університет

ORCID ID: [0000-0002-6366-7772](https://orcid.org/0000-0002-6366-7772)e-mail: v_rut@ukr.net

ДІДИК АНДРІЙ

Вінницький національний аграрний університет

ORCID ID: [0000-0002-0524-0017](https://orcid.org/0000-0002-0524-0017)e-mail: anddidyk99@gmail.com

ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ СУШІННЯ ВОЛОСЬКИХ ГОРІХІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ВІБРАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Розглянуто питання підвищення якісних показників волоських горіхів в процесі зберігання та переробки за рахунок теоретичних досліджень процесу сушіння волоських горіхів у вібраційній машині.

На основі аналізу наукових досліджень з даної тематики встановлено, що використання вібраційних технологій підвищує ефективність сушіння волоських горіхів і дозволяє зменшити час сушіння до 30-40 % в порівнянні з традиційними методами. Крім того, вібраційні технології дозволяють зберегти якість горіхів, зменшуючи вплив тепла на їх структуру.

Зазначено, що вібраційні технології покращують процес сушіння за рахунок стимулювання руху вологи з поверхні волоських горіхів. При цьому на практиці застосовують різні типи вібрації, такі як лінійна, коливальна, відцентрова та ультразвукова.

Розроблено конструктивно-технологічну схему вібраційної машини для сушіння волоських горіхів в шкаралупі. Під час вібраційного сушіння у вібраційній машині волоський горіх розміщується на віброуючій поверхні, яка генерує механічні коливання, що допомагають розподілити тепло та вологу по всьому волоському горіху. Використання запропонованої конструкції вібраційної машини для сушіння волоських горіхів дозволяє досягти більш рівномірного та швидкого видалення вологи з продукту.

В результаті теоретичних досліджень було встановлено, що вібраційне сушіння є ефективним методом для сушіння волоських горіхів, який дозволяє зберігати якість продукту та зменшити витрати на енергію. Для досягнення поставлених результатів необхідно дотримуватися оптимальних параметрів сушіння, таких як температура, відносна вологість та амплітуда вібраційного руху.

Також зазначено, що використання вібраційних технологій у процесі сушіння волоських горіхів є перспективним напрямом досліджень, який може забезпечити покращення економічної ефективності та якості волоських горіхів.

Ключові слова: волоський горіх, сушильне обладнання, вібрація, вібраційна машина, продуктивність, енергоефективність, витрати, вологість.

TSURKAN OLEH

Separated structural unit «Ladyzhyn Professional College of Vinnytsia National Agrarian University»

RUTKEVYCH VOLODYMYR, DIDYK ANDRII

Vinnytsia National Agrarian University

THEORETICAL RESEARCH OF THE DRYING PROCESS OF WALNUTS USING VIBRATION TECHNOLOGIES

The question of increasing the quality indicators of walnuts in the process of storage and processing is considered, due to theoretical studies of the process of drying walnuts in a vibrating machine.

Based on the analysis of scientific research on this topic, it was established that the use of vibration technologies increases the efficiency of drying walnuts and allows to reduce the drying time by 30-40 % compared to traditional methods. In addition, vibration technologies allow to preserve the quality of nuts, reducing the effect of heat on their structure.

It is noted that vibration technologies improve the drying process by stimulating the movement of moisture from the surface of walnuts. At the same time, various types of vibration are used in practice, such as linear, oscillatory, centrifugal and ultrasonic.

A structural and technological diagram of a vibrating machine for drying walnuts in the shell has been developed. During vibration drying in a vibrating machine, a walnut is placed on a vibrating surface that generates mechanical vibrations that help distribute heat and moisture throughout the walnut. The use of the proposed design of the vibrating machine for drying walnuts allows to achieve a more uniform and rapid removal of moisture from the product.

As a result of theoretical studies, it was established that vibration drying is an effective method for drying walnuts, which allows you to preserve product quality and reduce energy costs. To achieve the set results, it is necessary to observe optimal drying parameters, such as temperature, relative humidity and amplitude of vibration movement.

It is also stated that the use of vibration technologies in the process of drying walnuts is a promising direction of research that can improve the economic efficiency and quality of walnuts.

Keywords: walnut, drying equipment, vibration, vibration machine, productivity, energy efficiency, costs, humidity.

Постановка проблеми

Особливі кліматичні умови України сприяють ефективному розвитку горіхового бізнесу, але

відсутність високоефективного та ресурсоощадного обладнання для його переробки завдають значних збитків виробникам даної галузі. Завищений вміст вологи на рівні 35-45 % (міжнародний стандарт 10 %) при збиранні створюють сприятливі умови для розвитку мікробіологічних та ферментативних процесів, що призводять до швидкого псування волоського горіха та погіршення його якості [1,2].

Для зменшення вологості волоських горіхів зазвичай використовують методи сушіння такі, як природне сушіння або сушіння у спеціальних камерах, але наявне обладнання не завжди забезпечує ефективне сушіння, що може призводити до зниження якості продукту та втрати ваги, що є фінансово невигідно.

Дослідження процесу сушіння волоських горіхів з використанням вібраційних технологій є досить актуальним напрямком досліджень в галузі обробки сільськогосподарської продукції. Вібраційне сушіння має декілька переваг порівняно з традиційними методами сушіння, такими як термічне сушіння або сушіння на повітрі, а саме, вібраційне сушіння дозволяє зменшити час та збільшити ефективність процесу. Крім того, вібраційне сушіння дозволяє зберегти більше корисних речовин та вітамінів у продуктах, порівняно із термічним сушінням.

Таким чином, створення нового, більш ефективного обладнання для сушіння волоських горіхів є важливою проблемою для виробників українського волоського горіха. Дане обладнання має забезпечувати швидке та ефективне сушіння продукту з мінімальною втратою ваги та збереженням якості волоських горіхів, що може збільшити прибутковість та конкурентоспроможність українських виробників волоського горіха на міжнародному ринку.

Аналіз останніх джерел

Основні принципи сушіння волоських горіхів полягають у зменшенні вмісту води в продукті до певного рівня. Це досягається за допомогою збільшення температури та вентиляції навколишнього повітря. При цьому необхідно дотримуватися оптимальних параметрів температури та вологості, щоб не пошкодити якість волоського горіха [3].

Дослідження, присвячені вивченню аналізу фізико-хімічних змін складу горіхоплідних у процесі зберігання, проведені багатьма вітчизняними та зарубіжними вченими, зокрема: Сперанським В.Г., Страховим С.А., Цурканом О.В., Скоканом Л.Є., Котовим Б.І., Grossom N.R., Martinez M.L., Çağlarirmak N., Amaral J.S., Savage G.P. та іншими [3-5].

Вібраційні технології використовуються для покращення процесу сушіння за рахунок стимулювання руху вологи з поверхні продукту. При цьому застосовуються різні типи вібрації, такі як лінійна, коливальна, відцентрова, ультразвукова тощо. Вібраційні технології дозволяють зменшити час сушіння та покращити якість продукту [3, 5, 6].

У наукових дослідженнях були досліджені різні методи вібраційного сушіння, такі як сушіння на вібраційному столі, у вібраційній сушці, сушіння у вібраційному барабані. У результаті досліджень було встановлено, що вібраційне сушіння є ефективним методом для сушіння волоських горіхів, який дозволяє зберігати якість продукту та зменшити витрати на енергію, але для досягнення найкращих результатів, необхідно дотриматись оптимальних параметрів сушіння, таких як температура, відносна вологість та амплітуда вібраційного руху.

Наукові дослідження про процес сушіння волоських горіхів з використанням вібраційних технологій показують, що цей процес має декілька переваг порівняно з традиційними методами сушіння.

Один з таких досліджень, проведених у 2015 році, показав, що вібраційне сушіння волоських горіхів зменшує час сушіння та покращує якість продукту порівняно з традиційними методами сушіння. В дослідженні було використано вібраційну сушарку з горизонтальним розташування горіхів. Було встановлено, що при використанні вібраційного сушіння час сушіння скоротився від 48 до 24 годин, а вміст вологи у продукті зменшився з 5,5 % до 2,5 % [5].

В науковому дослідженні, що проведено в Китаї у 2019 році було досліджено вплив вібрації на процес сушіння волоських горіхів. В результаті досліджень встановлено, що вібраційні коливання сприяють розподілу вологи по всій поверхні горіхів, що сприяє їх більш рівномірному висушуванню [3].

Інше дослідження, проведене у 2018 році, показало, що вібраційне сушіння волоських горіхів з використанням гіперзвукової вібрації є ефективним методом сушіння. У цьому дослідженні використовували вібраційні сушарки з вертикальним розташуванням горіхів. Встановлено, що застосування гіперзвукової вібрації сприяє зменшенню часу сушіння на 20-30 % та збільшення продуктивності на 10-15 % [6].

В журналі «Drying Technology», було опубліковано дослідження про процес сушіння волоських горіхів з використанням вібраційних технологій, що дозволяють зменшити час сушіння горіхів на 30-40 % в порівнянні з традиційними методами.

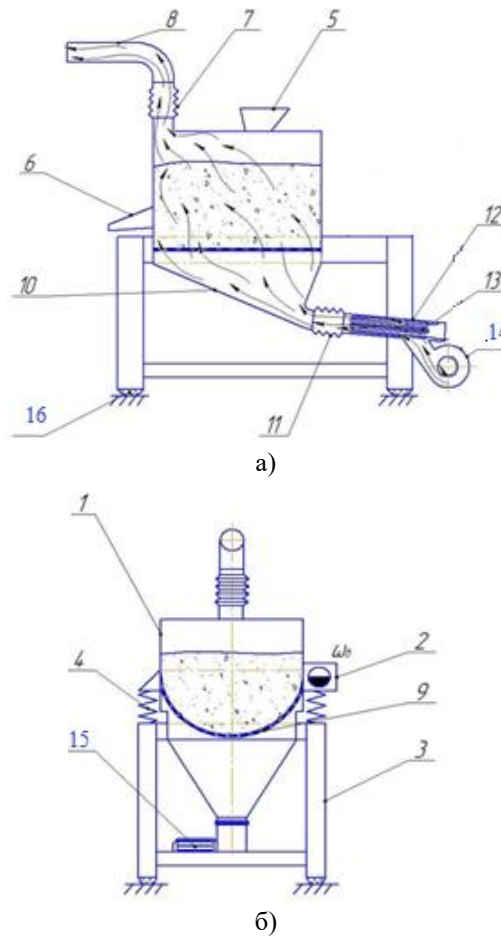
Крім того, дослідження показало, що використання вібраційних технологій дозволяє зберегти якість горіхів, зменшуючи вплив тепла на їх структуру, що зокрема проявляється у збереженні кольору, текстури та смакових якостей готових продуктів.

Таким чином, наукові дослідження показують, що використання вібраційних технологій в процесі сушіння волоських горіхів є ефективним і дозволяє зменшити час сушіння та зберегти якість горіхів.

Метою роботи є: розробка високоефективного та ресурсозберігаючого обладнання для сушіння волоських горіхів в шкарлупі.

Виклад основного матеріалу

Для підвищення ефективності та покращення якості сушіння волоських горіхів на кафедрі технологічних процесів та обладнання переробних і харчових виробництв Вінницького національного аграрного університету розроблена вібраційна машина, конструктивно-технологічна схема, якої приставлена на рис.1.



а – вигляд спереду; б – вигляд збоку;

Рис. 1. Конструктивно-технологічна схема вібраційної машини для сушіння волоських горіхів: 1 – U-подібна камера; 2 – вібратор; 3 – рама; 4 – пружини; 5 – завантажувальний лоток; 6 – розвантажувальний лоток; 7, 11 – еластичні з'єднання; 8 – повітропровід для виведення відпрацьованого повітря; 9 – перфороване днище; 10 – піддон; 12 – повітропровід; 13 – електричні нагрівальні елементи; 14 – вентилятор; 15 – електродвигун; 16 – гумові опори

Вібраційна машина для сушіння волоських горіхів містить: U-подібну камеру 1, що оснащена вібратором 2 та встановлена на рамі 3 на пружинах 4. Сушильна камера 1 містить завантажувальний 5 і розвантажувальний 6 лоток. Виведення відпрацьованого повітря здійснюється через повітропровід 8, що з'єднаний через еластичне з'єднання 7 з сушильною камерою. Нижня частина камери містить перфороване днище 9 і піддон 10, який через еластичне з'єднання 11 сполучений з нагрівальними елементами 13, по якому подається підігріте повітря, яке підводиться по повітропроводу 12 до вентилятора 14, який приводиться в рух електродвигуном 15. Рама встановлена на опорах 16.

Вібраційна машина працює наступним чином. Волога горіхова маса подається через завантажувальний лоток 5 поступає в U-подібну камеру 1. Одночасно вмикається вібратор 2, електричні нагрівальні елементи 13 та електродвигун 15 вентилятора 14. За допомогою вентилятора подається в повітропровід 12, де нагрівається електричними нагрівальними елементами 13 і через еластичне з'єднання 11, піддон 10 та перфороване днище 9 поступає в U-подібну камеру з вологою горіховою масою. Пройшовши через матеріал, відпрацьоване повітря через еластичне з'єднання 7 та повітропровід 8 виводиться із сушильної камери. При досягненні необхідної вологості волоського горіха вимикається електродвигун вентилятора та нагрівальні електричні елементи. Вивантаження горіхів здійснюється через розвантажувальний лоток 6 за рахунок вібрацій U-подібної камери.

Вібраційна машина для сушіння волоських горіхів відноситься до машин, які працюють за конвективним методом з використанням вібраційних технологій для змішування переробної сировини.

При вирішенні задач, які пов'язані із підвищенням енергетичного удосконалення сушильних установок, необхідно визначати кількісні показники, які називають критеріями ефективності або характеристиками цілі [7-11].

Важливим показником енергетичного (теплого) удосконалення вібраційної машини прийнято

термічний коефіцієнт корисної дії, що являє собою відношення корисно використаної теплоти (q_k) до всієї теплоти (q_3), яку витрачено на процес сушіння:

$$\eta_T = \frac{q_k}{q_3} \quad (1)$$

Витрачена теплота в розрахунку на один кілограм сухого повітря, що нагрівається в теплогенераторі або топковому блоці, визначається [9]:

$$q_3 = c_p (t_1 - t_0), \quad (2)$$

де c_p – питома теплоємність повітря, Дж/(кг · К);
 t_1 – температура сушильного агента на вході в сушарку, К;
 t_0 – температура повітря, яке подається в теплогенератор, К.

Теплота, яка витрачена на випаровування вологи, віднесена до кілограма нагрітого повітря (сухого), визначається за формулою [3]:

$$q_k = \frac{r(d_2 - d_1)}{1000}, \quad (3)$$

де d_1, d_2 – вологовміст теплового агента на вході і виході вібраційної машини, кг/м³.
 Тоді:

$$\eta_T = r \frac{d_2 - d_1}{c_p (t_1 - t_0) \cdot \rho_{CA}} \cdot 10^{-3}, \quad (4)$$

де ρ_{CA} – густина сушильного агента, кг/м³.

Для визначення найбільшого коефіцієнта корисної дії вібраційної машини доцільно використовувати залежність (5). Виходячи із залежності (5) коефіцієнт корисної дії досягається при максимальній різниці вологовмісту теплового агента на вході і виході з вібраційної машини (коли вологовміст теплового агента на виході із вібраційної машин досягне насичення $d_2 = d_m$), а температура теплового агента на виході – $t_2 = t_m$.

При сушінні із використанням конвективного методу [6]:

$$\eta = \frac{t_1 - t_2}{t_1 - t_0}, \quad (5)$$

де t_2 – температура сушильного агента на виході із сушарки.

У данному виразі корисною тепловою енергією є вся теплота, яка виділяється енергоносієм в вібраційній машині.

Отже:

$$\eta_{\max} = (t_1 - t_m) / (t_1 - t_0), \quad (6)$$

де t_m – температура вологого термометра, °С.

Ступінь впливу початкової t_1 і кінцевої t_2 температури теплового агента на енергетичну ефективність процесу сушіння неоднозначна. Відповідно до співвідношення (5) ККД збільшується при підвищенні t_1 , оскільки при цьому має збільшуватись швидкість сушіння і відповідно зменшуватись t_2 . Однак, дослідження [3, 5] показують, що підвищення швидкості сушіння супроводжується підвищенням інтенсивності нагріву волоського горіха. В результаті цього співвідношення між витратами теплоти на нагрівання волоського горіху, яка втрачається в навколишнє середовище та фізичною теплотою, що надходить до машини, зростає. При цьому зменшується ступінь насичення теплового агента [9].

Енергетичну ефективність сушильного процесу можна оцінити більш загальним (для всіх машин) показником – питомими витратами енергії на одиницю (1 кг) випаруваної вологи або висушених волоських горіхів, що може бути кількісно оцінено за допомогою співвідношення [6]:

$$q_0 = \frac{c_p \cdot (t_1 - t_0)}{(d_2 - d_1) \cdot 10^{-3}} = \frac{I_1 - I_0}{(d_2 - d_1) \cdot 10^{-3}}, \quad (7)$$

де I_1, I_0 – ентальпія теплового агента на вході до робочої камери і на вході до теплогенератора відповідно.

Величина $\Delta d = d_2 - d_1$ в знаменнику (7) визначає кількість випаруваної вологи, яка з урахуванням того, що процес сушіння відрізняється від ізобарного, може бути відповідно до [5] визначена із співвідношення:

$$\Delta d = \frac{c_p \cdot (t_1 - t_2) - \sum Q_{emp}}{3,01 + 5,51 \cdot (t_1 + t_2 + 546) \cdot 10^{-5} + r_1}, \quad (8)$$

де Q_1 – теплота, яку сприйняла волога (1 кг) в машині;
 $\Sigma Q_{\text{втр}} –$ теплові втрати, віднесені до 1 кг випаруваної вологи.
 Кількість випаруваної вологи в процесі сушіння можна визначити також і з балансного рівняння:

$$L \cdot \rho_{CA} \cdot \Delta d = G_0 \frac{dU}{dt}, \quad (9)$$

де dU/dt – швидкість зневоднення горіхів, кг/год;
 G_0 – продуктивність машини по абсолютно сухих волоських горіхах, кг/год;
 L – витрати теплового агента, м³/год.
 Визначаючи Δd з (9) і порівнюючи з (8), отримаємо для «теоретичної сушарки» ($\Sigma Q_{\text{втр}} = 0$):

$$t_1 - t_2 = \frac{G_0}{L\rho} \cdot \frac{dU}{d\tau} 10^{-3} \cdot \frac{1}{c_p} \cdot f(t, r). \quad (10)$$

Підставляючи значення (10) в (5), отримаємо:

$$\eta = \frac{G_0 \cdot \frac{dU}{d\tau} 10^{-3} \cdot f(t, r)}{L \cdot \rho_{CA} \cdot c_p \cdot (t_1 - t_0)}. \quad (11)$$

Враховуючи, що $L = S \times V_{CA}$, остаточно отримаємо залежність для ККД вібраційної машини:

$$\eta = \frac{G_0 \cdot I \cdot f(t, r) 10^{-3}}{S \cdot V_{CA} \cdot \rho_{CA} \cdot c_p (t_1 - t_0)}, \quad (12)$$

де $I = \frac{dU}{dt}$ – швидкість втрати вологи волоського горіху, кг/год;
 $f(t, r)$ – питомі затрати теплового агента:

$$f(t, r) = \frac{r}{G}, \quad (13)$$

де G – продуктивність сушіння волоських горіхів, кг/год.
 V_{CA} – швидкість теплового агента у вібраційній машині, м/с.
 Таким чином, енергетична ефективність вібраційної машини загалом залежить від режимних параметрів сушильного процесу: температури теплового агента, його швидкості, інтенсивності видалення вологи і експозиції сушіння.

Висновки.

Отже, підвищення виконання технологічного процесу сушіння волоських горіхів, може бути здійснено за рахунок нових методів та напрямків вдосконалення технології сушіння в розробленій вібраційній машині, за допомогою використання раціональних та регламентованих режимів сушіння.

Література

1. Сатіна Г. М. Грецький горіх в Україні: економічний огляд і перспективи / Г. М. Сатіна // Київ: видавничий центр НАУ. – 2006. – 22 с.
2. Глобальний і вітчизняний ринок волоських горіхів [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://agro-business.com.ua/agro/ekonomichnyi-hektar/item/24754-hlobalnyi-i-vitchyzniyani-rynok-voloskykh-horikhiv.html> (дата звернення 1.04.2023).
3. Калетнік Г. М. Особливості конструкції вібраційного обладнання для сушіння високо вологої сировини / Г. М. Калетнік, О. В. Цуркан // Вібрації в техніці та технологіях. Серія: «Технічні науки» – 2021. – №1(100). С. 5–13.
4. Руткевич В. С. Огляд методів та засобів для сушіння волоського горіха в шкаралупі / В. С. Руткевич, А. М. Дідик // Вісник Хмельницького національного університету. Серія: «Технічні науки» – 2023. – №1(317). С. 230 – 236.
5. Цуркан О. В. Аналіз вібраційних технічних засобів для сушіння насіння гарбуза / О. В. Цуркан // Вібрації в техніці та технологіях. Серія: «Технічні науки» – 2021. – № 4 (103). С. 5 – 14.
6. Kaletnik G. Determination of the kinetics of the process of pumpkin seeds vibrational convective drying / G. Kaletnik, O. Tsurkan, T. Rimar, O. Stanislavchuk // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2020. Vol. 8(103), № 1. P. 1 – 17.
7. Ratushna N. Методичні підходи до створення нової сільськогосподарської техніки у відповідності з вимогами ринку наукоємної продукції / N. Ratushna, I. Mahmudov, A. Kokhno // MOTROL. – 2007. – № 9А. С. 119–123.

8. Ivanov M.I. Research on the block-portion separator parameters influence on the adjustment range of operating elements speed / M.I. Ivanov, V.S. Rutkevych, O.M. Kolisnyk, I.O. Lisovoy // *INMATEH - Agricultural Engineering*. – 2019. – № 1 (57). P. 37–44.
9. Цуркан О.В. Передумови розробки математичної моделі руху насіння гарбуза у вібраційній сушарці /О.В. Цуркан// *Вібрації в техніці та технологіях. Серія: «Технічні науки»* – 2021. – № 1 (104). С. 12 – 19.
10. Gunko I. Optical sensor of harmful air impurity concentration / I. Gunko, V. Hraniak, V. Yaropud, I. Kupchuk, V. Rutkevych // *Przegląd elektrotechniczny*. – 2021. – № 7 (97). P. 76 – 79.
11. Honcharuk I. Mathematical modeling and creation of algorithms for analyzing the ranges of the amplitude-frequency response of a vibrating rotary crusher in the software Mathcad / I. Honcharuk, I. Kupchuk, V. Yaropud, R. Kravets, S. Burlaka, V. Hraniak, Ju. Poberezhets, V. Rutkevych // *Przegląd Elektrotechniczny*. – 2022. – № 9 (98). P. 14–20.

References

1. Satina H. M. Hrets'kyi horikh v Ukraini: ekonomichniy ohliad i perspektyvy /H.M.Satina // Kyiv: vydavnychiy tsentr NAU. – 2006. – 22 s.
2. Hlobalnyi i vitchyzniani rynok voloskykh horikhiv [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu: <http://agro-business.com.ua/agro/ekonomichniy-hektar/item/24754-hlobalnyi-i-vitchyzniani-rynok-voloskykh-horikhiv.html> (data zvernennia 1.04.2023).
3. Kaletnik H.M. Osoblyvosti konstruktivnoho obladnannia dlia sushinnia vysoko volohoi syrovyny / H.M. Kaletnik, O.V. Tsurkan // *Vibratsii v tekhnitsi ta tekhnolohiiakh*. – 2021. – №1(100). S. 5–13.
4. Rutkevych V.S. Ohliad metodiv ta zasobiv dlia sushinnia voloskoho horikha v shkaralupi /V.S. Rutkevych, A.M. Didyk// *Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Serii: «Tekhnichni nauky»* – 2023. – №1(317). С. 230 – 236.
5. Tsurkan O.V. Analiz vibratsiinykh tekhnichnykh zasobiv dlia sushinnia nasinnia harbuza /O.V. Tsurkan/ *Vibratsii v tekhnitsi ta tekhnolohiiakh. Serii: «Tekhnichni nauky»* – 2021. – № 4 (103). S. 5 – 14.
6. Kaletnik G. Determination of the kinetics of the process of pumpkin seeds vibrational convective drying / G. Kaletnik, O. Tsurkan, T. Rimar, O Stanislavchuk // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. – 2020. Vol. 8(103), № 1. P. 1 – 17.
7. Ratushna N. Metodychni pidkhody do stvorennya novoi silskohospodarskoi tekhniki u vidpovidnosti z vymohamy rynku naukoiemnoi produktsii / N. Ratushna, I. Mahmudov, A. Kokhno // *MOTROL.*–2007. – № 9A. S. 119–123.
8. Ivanov M.I. Research on the block-portion separator parameters influence on the adjustment range of operating elements speed / M.I. Ivanov, V.S. Rutkevych, O.M. Kolisnyk, I.O. Lisovoy // *INMATEH - Agricultural Engineering*. – 2019. – № 1 (57). P. 37– 44.
9. Tsurkan O.V. Peredumovy rozrobky matematychnoi modeli rukhu nasinnia harbuza u vibratsiinii sushartsii /O.V. Tsurkan// *Vibratsii v tekhnitsi ta tekhnolohiiakh. Serii: «Tekhnichni nauky»* – 2021. – № 1 (104). S. 12 – 19.
10. Gunko I. Optical sensor of harmful air impurity concentration / I. Gunko, V. Hraniak, V. Yaropud, I. Kupchuk, V. Rutkevych // *Przegląd elektrotechniczny*. – 2021. – № 7 (97). P. 76 – 79.
11. Honcharuk I. Mathematical modeling and creation of algorithms for analyzing the ranges of the amplitude-frequency response of a vibrating rotary crusher in the software Mathcad / I. Honcharuk, I. Kupchuk, V. Yaropud, R. Kravets, S. Burlaka, V. Hraniak, Ju. Poberezhets, V. Rutkevych // *Przegląd Elektrotechniczny*. – 2022. – № 9 (98). P. 14–20.