

ISSN 2307-5732

DOI 10.31891/2307-5732

НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ

2.2022

ВІСНИК

Хмельницького

національного

університету

Технічні науки

Technical sciences

SCIENTIFIC JOURNAL

HERALD OF KHMELNYTSKYI NATIONAL UNIVERSITY

2022, Issue 2, Volume 307

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, № 2(307)

**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., 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.т.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., Малогулко Ю. В., к.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., Сарібєкова 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., Бубуліс Альгімантас, доктор наук (Литва), Елсаєд Ахмед Ельнашар, доктор наук (Єгипет), Кальчинські 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 № 15 від 28.04.2022 р.**

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



(038-2) 67-51-08

web: <http://journals.khnu.km.ua/vestnik>

e-mail: visnyk.khnu@khmnu.edu.ua

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

БОЙКО Н. І., БЛАЖЕВСЬКИЙ С. Г. МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ СТРУКТУРИ МОДЕЛІ ОПТИМАЛЬНОЇ СКЛАДНОСТІ	7
ГУРБИЧ О. В. МЕТОД МЕТА-НАВЧАННЯ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ МОЛЕКУЛЯРНОЇ СПОРІДНЕНОСТІ	14
БОЙКО Н. І., ПЕТРОВСЬКИЙ О. С. МАШИННОГО НАВЧАННЯ ДЛЯ ПОБУДОВИ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ НА МУЛЬТИМОДАЛЬНИХ ДАНИХ	25
ГНАТЧУК Є. Г., КАПУСТЯН М. В., ЧЕРНЕЦЬКА В. Ю. ПІДТРИМКА ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ЩОДО МОЖЛИВОСТІ НАДАННЯ ЕКСТРАКОРПОРАЛЬНОГО ЗАПЛІДНЕННЯ	33
БЕРДНИК Д. А., БОЙЧУК А. Б. ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ МЕТОДІВ ТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ДЛЯ АНАЛІЗУ ВІДГУКІВ В ІНТЕРНЕТ МАГАЗИНІ ЦИФРОВИХ ТОВАРІВ	37
ФЕДУШКО С. С., БУЧІЙ Н. П., СЄРОВ Ю. О. ІНФОРМАЦІЙНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ІНТЕРНЕТ-МАГАЗИНУ В СОЦІАЛЬНІЙ МЕРЕЖІ INSTAGRAM	42
СМІРНОВА Т. В., ЯКИМЕНКО Н. М., СМІРНОВ О. А., ПОЛЩУК Л. І., СМІРНОВ С. А. ДОСЛІДЖЕННЯ СТАТИСТИЧНОЇ СТІЙКОСТІ ТА ШВИДКІСНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗАПРОПОНОВАНОЇ ФУНКЦІЇ ГЕШУВАННЯ УДОСКОНАЛЕНОГО МОДУЛЯ КРИПТОГРАФІЧНОГО ЗАХИСТУ В ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ	46
ДАВИДЕНКО Н. В., КУНИЦЬКИЙ С. О. РОЗРОБКА ПРОТОТИПУ БАЗИ ДАНИХ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ МОНІТОРИНГУ ВИТРАТИ ВОДИ З МЕРЕЖІ ВОДОПОСТАЧАННЯ НАСЕЛЕНИХ ПУНКТІВ	53
ПАЗДЕРСЬКА Р.С. МІСЦЕ ВІРТУАЛЬНИХ СПІЛЬНОТ У НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕННЯХ СУСПІЛЬНИХ КОМУНІКАЦІЙ	58
ТАЛАНЧУК Д. О., КРАВЕЦЬ Р. Б. ЕЛЕКТРОННА КОМЕРЦІЯ. ІНТЕРНЕТ-МАГАЗИН: ЙОГО РОЗРОБКА, ЕТАПИ ВПРОВАДЖЕННЯ ТА МЕТОДИ ЗАХИСТУ	66
ПОТАПОВА Н. А., ВОЛОНТИР Л. О., ЗЕЛІНСЬКА О. В. МАТЕМАТИЧНЕ ТА КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ФУНКЦІОНУВАННЯ ЛОГІСТИЧНИХ ПРОЦЕСІВ ТА СИСТЕМ	73
КРИВЕНЧУК Ю. П., НЕВІНСЬКИЙ Д. В., НОВИЦЬКИЙ Ю. Л., ВИКЛЮК Я. І. АНАЛІЗ ОТРИМАННЯ ЗОБРАЖЕННЯ ЗА ДОПОМОГОЮ ТОМОГРАФА	81
ПЕТРОВ Д. Д., БОЙЧУК А. Р. МЕТОД КЛАСТЕРИЗАЦІЇ ДАНИХ НА ОСНОВІ АЛГОРИТМУ ОБХОДУ ГРАФА	87
НАУМЕНКО М. М., МИКОЛЕНКО С. Ю., ГУРІДОВА В. О., ГЕЗЬ Я. В. МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПЕРЕМІЩЕННЯ ЗЕРНОВОЇ СИРОВИНИ ПРИ ВЗАЄМОДІЇ З ДИСПЕРГАТОРОМ І ШНЕКОВИМ ЖИВИЛЬНИКОМ	92
ЗАЛЮБОВСЬКИЙ М. Г., ПАНАСЮК І. В. АНАЛІТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ДЕЯКИХ КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ ГАЛТУВАЛЬНОЇ МАШИНИ З ДВОМА РОБОЧИМИ ЄМКОСТЯМИ, ЩО З'ЄДНАНІ МІЖ СОБОЮ ОБЕРТАЛЬНОЮ КІНЕМАТИЧНОЮ ПАРОЮ	97

ХОРОЛЬСЬКИЙ В. П., КОРЕНЕЦЬ Ю. М., ПЕТРУШИНА Ю. М. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ОЦІНКИ НАДІЙНОСТІ ОБЛАДНАННЯ ХОЛОДИЛЬНИХ МАШИН НА ОСНОВІ НЕЙРОНЕЧІТКОГО МЕТОДУ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ЇХ СТАНУ	103
ГАНЗЮК А. Л., ГОРДЄЄВ А. І., КРАВЧУК О. В., КРАВЧУК В. В. ЗАСТОСУВАННЯ СПЕЦІАЛЬНОГО УСТАТКУВАННЯ ТА ІННОВАЦІЙНОГО СПОСОБУ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ КУТА ЗАГОСТРЕННЯ ТА ФОРМИ ЛЕЗА КЛИНКОВОЇ ХОЛОДНОЇ ЗБРОЇ ПРИ ПРОВЕДЕННІ ЕКСПЕРТНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	110
ОСАДЧУК Я. О., ОСАДЧУК О. В., ОСАДЧУК В. С. АВТОГЕНЕРАТОРНІ ПАРАМЕТРИЧНІ СЕНСОРИ МАГНІТНОГО ПОЛЯ З ЕЛЕМЕНТОМ ХОЛЛА І ДВОКОЛЕКТОРНИМ БІПОЛЯРНИМ МАГНІТОТРАНЗИСТОРОМ	114
БОЙКО Ю. М., ПЯТІН І. С., ПАРХОМЕЙ І. Р. МЕТОДИКА ОБРОБКИ ТА СИНХРОНІЗАЦІЇ СИГНАЛІВ У ПРОГРАМНО-ОБУМОВЛЕНИХ РАДІОСИСТЕМАХ З OFDM	123
ПИВОВАР О. С., ПІДЧЕНКО С. К., ТАРАНЧУК А. А. ПОЛІГАРМОНІЧНИЙ ВІЯВНИК СЛАБКИХ СФІГМОМЕТРИЧНИХ СИГНАЛІВ	133
ТКАЧУК А. Г., БЕЗВЕСІЛЬНА О. М., БОНДАРЧУК В. М., КРИЖАНІВСЬКА І. В. ПРОЕКТУВАННЯ СТАБІЛІЗОВАНОЇ ПЛАТФОРМИ ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ РОЗВІДУВАЛЬНИХ ОПЕРАЦІЙ	141
ВАЩИШАК І. Р., ЦИХ В. С. УДОСКОНАЛЕННЯ КОМБІНОВАНОЇ СИСТЕМИ ГЕНЕРАЦІЇ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ	146
ПАРАСКА О. А., ПОДОЛІНА К. О., ХЕС ЛЮБОШ, КОВТУН Х.О. АНАЛІЗ СОЦІАЛЬНО-ЕКОНОМІЧНИХ, ТЕХНОЛОГІЧНИХ, ЕКОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ ТЕКСТИЛЬНИХ ВИРОБІВ	153
ТРУШ В. С. ВПЛИВ НАСИЧЕННЯ ВОДНЕМ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ЦИРКОНІЮ (ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД)	159
РАЦУК М. Є., САРІБСЬКОВА Д. Г., ВОДЯНИЦЬКА З. М. ОДЕРЖАННЯ ВАРЕНИХ КОВБАСНИХ ВИРОБІВ З ХАРЧОВИМИ ВОЛОКНАМИ	169
СІРЕНКО С. О., ШАРКО В. В. ТОВАРОЗНАВЧА ХАРАКТЕРИСТИКА СУЧАСНОГО ЧОЛОВІЧОГО ВЗУТТЯ	173
КРИЖАК Л. М. SLITORIA TERNATEA — ДЖЕРЕЛО ФУНКЦІОНАЛЬНОГО КОМПОНЕНТУ ДЛЯ ЗБАГАЧЕННЯ ЙОГУРТІВ	182
САЛЄБА Л. В., САРІБСЬКОВА Д. Г., МЕЛЕХОВА Н. А. ДОСЛІДЖЕННЯ ПЕРЕРОБКИ СОЇ МЕТОДОМ ФОРПРЕСУВАННЯ – ЕКСТРАКЦІЯ	188
ЩЕРБАНЬ В. Ю., КОЛИСКО О. З., КОЛИСКО М. І., КИРИЧЕНКО А. М., ЩЕРБАНЬ Ю. Ю. КОМП'ЮТЕРНА РЕАЛІЗАЦІЯ ПОВТОРЕННЯ АЛГОРИТМУ ДЛЯ НАПРЯЖЕННЯ ДЕВ'ЯТКИ ДЛЯ МАШИН НА ГІБІНЦІ	194
ПОЛЮХОВИЧ І. В., ЗАХАРКЕВИЧ О. В., ЛИСЕНКО С. М. ФОРМУВАННЯ НОМЕНКЛАТУРИ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ ДЛЯ ПРОЄКТУВАННЯ ТАНЦЮВАЛЬНОГО СМАРТ-ОДЯГУ	198
ПОПОВА С.Ю., ГОПКАЛО Л.М., ГВОЗДІК А.Г., ШВЕНЬ А. В. ПІДВИЩЕННЯ БІОЛОГІЧНОЇ ЦІННОСТІ ДРІЖЖОВОГО ТІСТА ЗА РАХУНОК ВИКОРИСТАННЯ ЗНЕЖИРЕНОЇ МОЛОЧНОЇ СЕРОВИНИ	206

CONTENTE

NATALIYA BOYKO, STEPAN BLAZHEVSRYY METHOD OF DETERMINING THE STRUCTURE OF THE MODEL OF OPTIMAL COMPLEXITY	7
OLEKSANDR GURBYCH METHOD SUPER LEARNING FOR DETERMINATION OF MOLECULAR RELATIONSHIP	14
NATALIYA BOYKO, OLEKSANDR PETROVSKYI METHODS OF CLASSIFICATION OF MACHINE LEARNING FOR CONSTRUCTION OF MATHEMATICAL MODELS ON MULTIMODAL DATA	25
YELIZAVETA HNATCHUK, MARIIA KAPUSTIAN, VIKTORIYA CHERNETSKA SUPPORT OF DECISION MAKING ON THE POSSIBILITY OF THE PROVISION OF EXTRACORPOREAL FERTILIZATION	33
DANYLO BERDNYK, ANDRII BOICHUK COMPARATIVE ANALYSIS OF THEMATIC MODELING METHODS FOR ANALYSIS OF REVIEWS IN THE ONLINE STORE OF DIGITAL GOODS	37
SOLOMIIA FEDUSHKO, NATALIHA BUCHII, YURIY SYEROV INFORMATION SUPPORT OF THE INTERNET-STORE ON THE SOCIAL NETWORK INSTAGRAM	42
TETIANA SMIRNOVA, NATALIHA YAKYMENKO, OLEKSII SMIRNOV, LIUDMYLA POLISHCHUK, SERHII SMIRNOV STUDY OF STATISTICAL STABILITY AND FAST CHARACTERISTICS OF THE PROPOSED HASHING FUNCTION OF THE IMPROVED CRYPTOGRAPHIC MODULE IN INFORMATION AND COMMUNICATION SYSTEMS	46
NINA DAVYDENKO, SERGII KUNYTSKYI DEVELOPMENT OF A PROTOTYPE DATABASE OF INFORMATION TECHNOLOGY FOR MONITORING WATER CONSUMPTION FROM THE WATER SUPPLY NETWORK OF SETTLEMENTS	53
RUSLANA PAZDERSKA THE PLACE OF VIRTUAL COMMUNITIES IN SCIENTIFIC RESEARCH PUBLIC COMMUNICATIONS	58
DMYTRO TALANCHUK, RUSLAN KRAVETS E-COMMERCE. ONLINE-SHOP: ITS DEVELOPMENT, IMPLEMENTATION STAGES, AND PROTECTION METHODS	66
NADIHA POTAPOVA, LUDMILA VOLONTYR, OKSANA ZELINSKA MATHEMATICAL AND COMPUTER MODELING OF FUNCTIONING LOGISTICS PROCESSES AND SYSTEMS	73
YURII KRYVENCHUK, YAROSLAV VYKLYUK, YURII NOVYTSKYI, DENYS NEVINSKYI ANALYSIS OF OBTAINING AN IMAGE WITH THE TOMOGRAPH	81
DMYTRO PETROV, ANDRYI BOICHUK МЕТОД CLUSTERIZATION METHOD BASED ON BREADTH FIRST SEARCH OR BFS FOR A GRAPH	87
MYKOLA NAUMENKO, SVETLANA MYKOLENKO, VICTORIA GURIDOVA, YANA HEZ MATHEMATICAL MODEL OF GRAIN RAW MOVEMENT IN INTERACTION WITH DISPERSER AND SCREW FEEDER	92
MARK ZALYUBOVSKYI, IGOR PANASYUK ANALYTICAL INVESTIGATION OF SOME CONSTRUCTIVE PARAMETERS OF A HOLDING MACHINE WITH TWO WORKING CAPACITIES CONNECTED BETWEEN EACH OTHER	97

VALENTYN KHOROLSKY, YURII KORENETS, YULIYA PETRUSHYNA THEORETICAL FOUNDATIONS FOR ASSESSING THE RELIABILITY OF REFRIGERATION MACHINE EQUIPMENT ON THE BASIS OF THE NEURO-FUZZY METHOD FOR IDENTIFYING THEIR STATE	103
ANDRYI GANZYUK, ANATOLYI HORDIEIEV, OLEG KRAVCHUK, VITOR KRAVCHUK APPLICATION OF SPECIAL EQUIPMENT AND INNOVATIVE METHOD FOR MEASURING THE ANGLE OF EXHIBITION AND SHAPE OF THE BLADE OF A BLADE COLD COLL	110
JAROSLAV OSADCHUK, ALEXANDER OSADCHUK, VLADIMIR OSADCHUK AUTOGENERATOR PARAMETRIC SENSORS OF THE MAGNETIC FIELD WITH A HALL ELEMENT AND A TWO-COLLECTOR BIPOLAR MAGNETOTRANSISTOR	114
JULIY BOIKO, ILYA PYATIN, IGOR PARKHOMEY SIGNAL PROCESSING AND SYNCHRONIZATION TECHNIQUE IN SOFTWARE-DEFINED RADIO SYSTEMS WITH OFDM	123
OLEG PYVOVAR, SERHII PIDCHENKO, ALLA TARANCHUK POLYHARMONIC DETECTOR OF WEAK SPHIGMOMETRIC SIGNALS	133
ANDRII TKACHUK, OLENA BEZVESILNA, VASIL BONDARCHUK, ILONA KRYZHANIVSKA DESIGN OF STABILIZED INFORMATION AND MEASURING SYSTEM PLATFORM FOR INTELLIGENCE OPERATIONS	141
IRYNA VASHCHYSHAK, VITALII TSYKH IMPROVEMENT OF THE COMBINED SYSTEM OF ELECTRICITY GENERATION	146
OLGA PARASKA, KATERYNA PODOLINA, HES LUBOS, HRYSTYNA KOVTUN ANALYSIS OF SOCIO-ECONOMIC, TECHNOLOGICAL, ENVIRONMENTAL CHARACTERISTICS OF THE LIFE CYCLE OF TEXTILE PRODUCTS	153
VASYL TRUSH INFLUENCE OF HYDROGEN SATURATION ON CHARACTERISTICS OF ZIRCONIUM (Literature review)	159
MARIYA RATSUK, DIANA SARIBEKOVA, ZOYA VODYANITSKA PREPARATION OF COOKED SAUSAGE PRODUCTS WITH FOOD FIBERS	169
SVITLANA SIRENKO, VITALII SHARKO COMMODITY CHARACTERISTICS OF THE MODERN MEN'S SHOES	173
LILIIA KRYZHAK CLITORIA TERNATEA — SOURCE OF FUNCTIONAL COMPONENT FOR ENRICHING YOGHURTS ..	182
LUDMILA SALEBA, DIANA SARIBEKOVA, NATALIIA MELEKHOVA INVESTIGATION OF SOYBEAN PROCESSING BY FORCING – EXTRACTION METHOD	188
VOLODYMYR SHCHERBAN, OKSANA KOLISKO, MARJANA KOLISKO, ANTON KIRICHENKO, YURYJ SHCHERBAN COMPUTER IMPLEMENTATION OF THE RECURSION ALGORITHM FOR A COMB-BASED TENSIONING DEVICE FOR HOOSING MACHINES	194
IRYNA POLUCHOVICH, OKSANA ZAKHARKEVICH, SERGII LISENKO FORMATION OF NOMENCLATURE OF QUALITY INDICATORS FOR DESIGN OF DANCE SMART CLOTHES	198
SVITLANA POPOVA, LARISA HOPKALO, ANASTASIIA HVOZDIK, ANASTASIIA SHVEN INCREASING THE BIOLOGICAL VALUE OF YEAST TEST DUE TO THE USE OF SKIMMED RAW MATERIALS	205

НАУМЕНКО М. М.

<https://orcid.org/0000-0002-1697-3478>e-mail: itfn@ukr.net

МИКОЛЕНКО С. Ю.

<https://orcid.org/0000-0002-1959-1141>e-mail: svetlana.mykolenko@gmail.com

ГУРІДОВА В. О.

<https://orcid.org/0000-0002-7684-5072>e-mail: guridova@ukr.net

ГЕЗЬ Я. В.

Дніпровський державний аграрно-економічний університет

<https://orcid.org/0000-0003-2173-7338>e-mail: yanavasilevna11@gmail.com

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПЕРЕМІЩЕННЯ ЗЕРНОВОЇ СИРОВИНИ ПРИ ВЗАЄМОДІЇ З ДИСПЕРГАТОРОМ І ШНЕКОВИМ ЖИВИЛЬНИКОМ

Біоактивоване дисперговане зерно, яке отримують шляхом замочування з наступним здрібненням на диспергатора, є перспективною сировиною для розширення асортименту хлібобулочних виробів і забезпечення населення продукцією з підвищеною біологічною цінністю. Задля визначення кінематичних характеристик руху зернової суміші в диспергаторі в залежності від його конструктивних характеристик і кутової швидкості шнека живильника запропоновано математичну модель переміщення зернової сировини під час подрібнення. Отримано математичні залежності для визначення швидкості процесу диспергування, які можна застосовувати з врахуванням фізичних властивостей матеріалу при стаціонарному режимі роботи диспергатора.

Ключові слова: диспергатор, біоактивоване зерно, шнек, зернова суміш, стаціонарний режим роботи, алгебраїчні залежності, кінематичні характеристики.

MYKOLA NAUMENKO, SVETLANA MYKOLENKO, VICTORIA GURIDOVA, YANA HEZ
Dnipro State Agrarian and Economic University

MATHEMATICAL MODEL OF GRAIN RAW MOVEMENT IN INTERACTION WITH DISPERSER AND SCREW FEEDER

Bioactivated dispersed grain, which is obtained by soaking followed by grinding on a dispersant is a promising raw material for expanding the range of bakery products and providing the population with products of high biological value. Bioactivation is understood as the process of grain saturation with moisture, during which the transformation of macromolecular substances into easily accessible forms takes place, which makes it a source of bioactive substances. However, the implementation of the process of dispersing bioactivated grain material remains relevant, the process of grinding which is mainly influenced by such factors as moving the grain with the help of a screw feeder and pushing it through the cutting mechanism.

To obtain dispersed grain, there are a large number of crushing machines, the main working bodies of which are the screw feeder, knives and lattice. Many scientific papers are devoted to improving the helical transport mechanism of the disperser, by changing its design, which allows to increase the homogeneity of the grain mass at the outlet, its dispersion, reduce energy consumption and increase productivity. However, the use of screw feeders for grain dispersion raises a number of issues that require further research. Namely, the study of the influence of the additional pressure required to work when loading the material on the process of its movement, and determining the speed of movement of the grain material through the cutting mechanism for grinding in the dispersant.

To address the above issues, a mathematical model for the movement of grain raw materials during grinding is proposed. Mathematical dependences for determining the speed of the dispersing process have been obtained, which can be applied taking into account the physical properties of the material in the stationary mode of operation of the dispersant.

Key words: dispersant, grain bioactivation, auger, grain mixture, stationary mode, algebraic parameters, kinematic characteristics.

Постановка проблеми у загальному вигляді

та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

Завданням харчової і переробної промисловості є забезпечення населення харчовими продуктами підвищеної біологічної цінності. На сьогодні перспективним у виробництві хлібобулочних виробів є використання біоактивованої диспергової зернової сировини [1–4]. Під біоактивацією розуміють процес насичення зерна вологою, в ході якого відбувається трансформація високомолекулярних речовин в легкодоступні форми, що і робить його джерелом біоактивних речовин [5–6]. Проте, актуальним залишається реалізація процесу диспергування біоактивованого зернового матеріалу, на процес подрібнення якого переважно впливають такі чинники, як переміщення зерна за допомогою шнекового живильника та проштовхування його крізь ріжучий механізм.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Для отримання диспергової зернової сировини існує велика кількість здрібнюючих машин [7, 8], основними робочими органами яких є шнековий живильник, ножі і решітка. Багато наукових праць присвячено вдосконаленню гвинтового транспортного механізму диспергатора, за рахунок зміни його конструкції [7, 8],

що дозволяє підвищити однорідність зернової маси на виході, її дисперсність, знизити енерговитрати і підвищити продуктивність. У роботах [9–13], досліджено такі питання, як навантаження на гвинтові робочі органи, їх розрахунок і проектування. Проте, при використанні шнекових живильників для диспергування зерна виникає ряд питань, які потребують додаткових досліджень. А саме, дослідження впливу додаткового тиску, необхідного для роботи при завантаженні матеріалу на процес його переміщення, і визначення швидкості руху зернового матеріалу крізь ріжучий механізм для його подрібнення у диспергаторі. Розробка математичної моделі взаємодії зернового насипного матеріалу з елементами диспергатора в стаціонарному режимі роботи дозволила б удосконалити процес диспергування.

Формування цілей статті

В зв'язку з відміченими проблемними питаннями завданням роботи стали розробка математичної моделі взаємодії зернового матеріалу зі шнеком диспергатора в стаціонарному режимі роботи та отримання залежностей кінематичних характеристик руху зернової суміші в диспергаторі від конструктивних і кінематичних характеристик самого диспергатора.

Виклад основного матеріалу

У роботі [14] обґрунтована математична модель взаємодії зернової суміші з шнековим живильником диспергатора при перехідному режимі його роботи. При усталеній роботі диспергатора, розглядаючи рух зернової суміші як єдиного цілого, будемо вважати швидкість переміщення в осьовому напрямку сталою (V_1). При проходженні через решітку в процесі подрібнення матеріалу на виході з диспергатора швидкість зростає, приймаючи значення V_2 . Крім того вважаємо, що об'єм шнека повністю заповнений продуктом; об'єм матеріалу, що заповнює шнек на будь-якому кроці, має такі ж кінематичні характеристики, як і об'єм, що заповнює сусідній крок; крок гвинтової поверхні шнека є незмінним; під час роботи диспергатора при завантаженні забезпечується сталий тиск q (рис. 1).

Для аналізу процесу подрібнення матеріалу і для можливого його удосконалення важливо встановити залежність кінцевої швидкості V_2 від кутової швидкості шнека диспергатора ω_0 .

Застосовуючи до об'єму матеріалу, що надходить в диспергатор теорему Ейлера для суцільного середовища [15], прийдемо до рівняння:

$$-M_c V_2 + N \cos \alpha - f_1 N \sin \alpha - f_2 N_k \cos \beta + Q = 0 \quad (1)$$

де M_c – секундна маса;

V_2 – швидкість на виході з диспергатора;

N – сумарний тиск поверхні шнека на матеріал;

α – кут нахилу гвинтової лінії шнека;

f_1 – коефіцієнт тертя на поверхні шнека;

f_2 – коефіцієнт тертя на корпусі шнека;

β – кут, який утворює вектор швидкості граничної частини матеріалу з осьовим напрямком;

N_k – сумарний радіальний тиск корпусу шнека на матеріал;

Q – осьова сила від додаткового тиску q на матеріал.

За відомого додаткового тиску q при подачі матеріалу на шнек осьову силу Q визначатимемо як

$$Q = q\pi \frac{D^2 - d^2}{4},$$

де D – внутрішній діаметр корпусу шнека;

d – діаметр вала шнека (рис. 1)

Радіальна сила N_k буде залежати від додаткового тиску N_q , від відцентрової сили N_ω та від сили ваги P .

Силу N_q будемо визначати як

$$N_q = q \cdot \pi \cdot D \cdot l,$$

де l – довжина корпусу.

Відцентрова сила

$$N_\omega = m \cdot \omega^2 \cdot R,$$

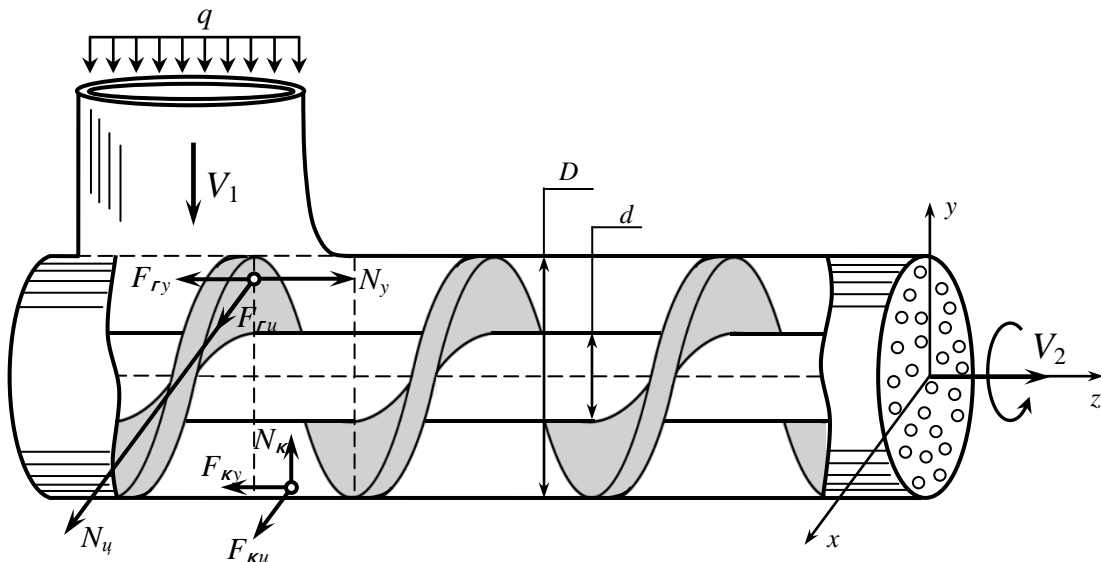


Рис. 1. Диспергатор

де m – маса матеріалу в диспергаторі ($m = \gamma \cdot l \cdot \frac{D^2 - d^2}{4}$);

ω – кутова швидкість матеріалу;

R – середній радіус об'єму матеріалу в диспергаторі ($R = \frac{D+d}{2}$).

Вагу матеріалу визначаємо як

$$P = \gamma \cdot g \cdot \pi \left(\frac{D^2 - d^2}{4} \right),$$

де γ – густина суміші;

g – прискорення вільного падіння.

Таким чином сила тертя, що виникає при взаємодії матеріалу з корпусом наближено можна визначити як

$$N_k = f(N_q + N_\omega + P)$$

При визначенні швидкості руху суміші в осьовому напрямі V_1 прийемо до уваги, що вона забезпечується робочою поверхнею шнека живильника. За умови, що суміш рухається тільки в осьовому напрямі за один оберт шнека з кутовою швидкістю ω_0 осьове переміщення матеріалу зі швидкістю V_1 складатиме один крок шнека h , що дає можливість отримати співвідношення

$$\frac{\omega_0}{2\pi} = \frac{V_1}{h} \tag{2}$$

Враховуючи, що насипний матеріал обертається з кутовою швидкістю ω співвідношення (2) прийме вигляд

$$\frac{\omega_0 - \omega}{2\pi} = \frac{V_1}{h},$$

звідки

$$V_1 = \frac{(\omega_0 - \omega) \cdot h}{2\pi} \tag{3}$$

Враховуючи викладене для кута β прийдемо до співвідношень

$$\cos \beta = \frac{V_1}{\sqrt{V_1^2 + \frac{\omega^2 \cdot D^2}{4}}} \quad \text{і} \quad \sin \beta = \frac{\omega \cdot D}{2 \cdot \sqrt{V_1^2 + \frac{\omega^2 \cdot D^2}{4}}}$$

або

$$\cos \beta = \frac{2V_1}{\sqrt{4V_1^2 + \omega^2 \cdot D^2}} \quad \text{і} \quad \sin \beta = \frac{\omega \cdot D}{\sqrt{4V_1^2 + \omega^2 \cdot D^2}}$$

Приймаючи до уваги усталений рух потоку матеріалу в живильнику, складемо рівняння рівноваги моментів сил прикладених до масиву відносно осі обертання:

$$N \sin \alpha R + fN \cos \alpha R - N_k \sin \beta \frac{D}{2} = 0 \quad (4)$$

Залежність швидкостей V_1 і V_2 впливає з умови нерозривності потоку Бернуллі, згідно з якою

$$S_1 V_1 = S_2 V_2,$$

де S_1 – площа поперечного перерізу об'єму матеріалу в диспергаторі; S_2 – площа поперечного перерізу потоку при проходженні через решітку.

Тоді

$$V_2 = \frac{S_1}{S_2} V_1 = \frac{S_1}{S_2} \cdot \frac{(\omega_0 - \omega)}{2\pi} \cdot h \quad (5)$$

Підставляючи вирази для V_1 і V_2 з формул (3) і (5) в рівняння (1) отримаємо

$$-\gamma \frac{S_1^2}{S_2} \cdot \frac{(\omega_0 - \omega) \cdot h^2}{4\pi^2} + N \cos \alpha - fN \cdot \sin \alpha - f_2 N_k \cos \beta + Q = 0 \quad (6)$$

Сумісний розв'язок рівнянь (4) і (6) дає можливість знаходити кутову швидкість ω та швидкості V_2 і V_1 в залежності від кутової швидкості шнека і параметрів конструкції диспергатора.

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

Рух продукту в шнековому диспергаторі визначається як конструктивними і кінематичними характеристиками живильника, так і фізичними властивостями частинок матеріалу, що обробляється. Розроблено і запропоновано математичну модель, що дозволяє аналізувати кінематичні характеристики руху зернової суміші в диспергаторі в залежності від його конструктивних характеристик та кутової швидкості шнека живильника.

Для стаціонарного режиму роботи отримані достатньо прості алгебраїчні залежності, що дозволяють визначати швидкість диспергування за відомих фізичних властивостей матеріалу. Дослідження руху суміші в диспергаторі дає можливість підбирати раціональні характеристики диспергатора для забезпечення його ефективної роботи.

Література

1. Mykolenko S., Hez Y., Pivovarov O. Effect of bioactivated amaranth grain on the quality and amino acid composition of bread. *Ukrainian Food Journal*. 2021. Vol. 10. Iss. 3. P. 576–591.
2. Guardianelli L.M., Salinas M.V., Puppo M.C. (2021), Quality of wheat breads enriched with flour from germinated amaranth seeds, *Food Science and Technology International*, 0(0), pp. 1–9.
3. Pivovarov A., Mykolenko S., Hez, Y., Shcherbakov S. (2018), Plasma-chemically activated water influence on staling and safety of sprouted bread, *Journal of Food Science and Technology-Ukraine*, 12(2), pp. 100–107.
4. Guardianelli L.M., Salinas M.V., Puppo M.C. (2019), Hydration and rheological properties of amaranth-wheat flour dough: Influence of germination of amaranth seeds. *Food hydrocolloids*. 97(2). P. 1–26.
5. Platel K., Krishnapura Srinivasan K. (2016), Bioavailability of Micronutrients from Plant Foods: An Update, *Food Science and Nutrition*, 56(10), pp. 1608–1619.
6. Wojnanska T. (2002), The use of spelt wheat (*Triticum spelta* L.) for baking applications, *Rostlinna Vyroba*, 48, pp. 141–147. <https://doi.org/10.17221/4212-pse>
7. Акимов М.З., Момотюк С.Н., Светайло Ю.А. Измельчитель пищевых продуктов: пат. 2121399, Российская федерация: МПК В02С18/30. заявл. 29.12.1997; опубл. 10.11.1998.
8. Жикленков В.К., Корсакова Г.А., Третьяков И.Ф. Устройство для приготовления тестовой массы из зерна : пат. 2156065, Российская федерация, МПК А21С1/12, В02С18/30. заявл. 22.02.2000; опубл. 20.09.2000.
9. Гевко І. Б. Гвинтові транспортно-технологічні механізми: розрахунок і конструювання / І. Б. Гевко. – Тернопіль : ТДТУ ім. Ів. Пулюя, 2008. – 307 с.
10. Рогатинський Р. М. Дослідження крутильних коливань шнека у випадку дії імпульсних сил / Р. М. Рогатинський, І. Б. Гевко, А. Е. Дячун // Науковий вісник НГУ. – 2015. – № 5. – С. 64–68.
11. Грудовий Р. С. Моделювання характеру навантаження на гвинтові робочі органи / Р. С. Грудовий // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин : загальнодерж. міжвід. наук.-техн. зб. Кіровоград, КНТУ. – 2012. – № 42. – С. 171–181.
12. Nevko R.B., Zalutskyi S.Z., Tkachenko I.G., et al. Development and investigation of reciprocating screw with flexible helical surface. *INMATEH Agricultural Engineering*. 2015. Vol. 46. № 2. P.133–138.
13. Newko B.M., Popovich P.V., Diachun A.Y., et al. The study of bulk material kinematics in a screw conveyor-mixer. *INMATEH Agricultural Engineering*. 2015. Vol. 47 Iss. 3. P. 156–163.
14. Обґрунтування математичної моделі взаємодії зернової сировини з шнековим живильником при диспергуванні / М. М. Науменко [та ін.] // Праці ТДАТУ. – 2012. – Т. 1, № 21. – С. 101–108.

References

1. Mykolenko S., Hez Y., Pivovarov O. Effect of bioactivated amaranth grain on the quality and amino acid composition of bread. *Ukrainian Food Journal*. 2021. Vol. 10. Iss. 3. P. 576–591.
2. Guardianelli L.M., Salinas M.V., Puppo M.C. (2021), Quality of wheat breads enriched with flour from germinated amaranth seeds, *Food Science and Technology International*, 0(0), pp. 1–9
3. Pivovarov A., Mykolenko S., Hez, Y., Shcherbakov S. (2018), Plasma-chemically activated water influence on staling and safety of sprouted bread, *Journal of Food Science and Technology-Ukraine*, 12(2), pp. 100–107.
4. Guardianelli L.M., Salinas M.V., Puppo M.C. (2019), Hydration and rheological properties of amaranth-wheat flour dough: Influence of germination of amaranth seeds. *Food hydrocolloids*. 97(2). P. 1–26.
5. Patel K., Krishnapura Srinivasan K. (2016), Bioavailability of Micronutrients from Plant Foods: An Update, *Food Science and Nutrition*, 56(10), pp. 1608–1619.
6. Bojnanska T. (2002), The use of spelt wheat (*Triticum spelta* L.) for baking applications, *Rostlinna Vyroba*, 48, pp. 141–147. [https://doi: 10.17221/4212-pse](https://doi.org/10.17221/4212-pse)
7. Akimov M.Z., Momotyuk S.N., Svetajlo Yu.A. Izmelchitel pishevyyh produktov: pat. 2121399, Rossijskaya federaciya: MPK B02C18/30. zayavl. 29.12.1997; opubl. 10.11.1998.
8. Zhiklenkov V.K., Korsakova G.A., Tretyakov I.F. Ustrojstvo dlya prigotovleniya testovoj massy iz zerna : pat. 2156065, Rossijskaya federaciya, MPK A21C1/12, B02C18/30. zayavl. 22.02.2000; opubl. 20.09.2000.
9. Hevko I. B. Hvyntovi transportno-tehnolohichni mekhanizmy: rozrakhunok i konstruiuvannia / I. B. Hevko. – Ternopil : TDTU im. Iv. Puliuia, 2008. – 307 s.
10. Rohatynskyi R. M. Doslidzhennia krutylnykh kolyvan shneka u vypadku dii impulsnykh syl / R. M. Rohatynskyi, I. B. Hevko, A. E. Diachun // *Naukovyi visnyk NHU*. – 2015. – № 5. – S. 64–68.
11. Hrudovyi R. S. Modeliuvannia kharakteru navantazhennia na hvyntovi robochi orhany / R. S. Hrudovyi // *Konstruiuvannia, vyrobnytstvo ta ekspluatatsiia silskohospodarskykh mashyn: zahalnodierzh. mizhvid. nauk.-tekhn. zb. Kirovohrad, KNTU*. – 2012. – № 42. – S. 171–181.
12. Development and investigation of reciprocating screw with flexible helical surface / Hevko R.B., Zalutskyi S.Z., Tkachenko I.G., et al // *INMATEH Agricultural Engineering*. 2015. Vol. 46. № 2. P.133–138.
13. The study of bulk material kinematics in a screw conveyor-mixer / Hewko B.M., Popovich P.V., Diachun A.Y., et al // *INMATEH Agricultural Engineering*. 2015. Vol. 47 Iss. 3. P. 156–163.
14. Obgruntuvannia matematychnoi modeli vzaiemodii zernovoi syrovyny z shnekovym zhyvlynykom pry dysperhuvanni / M. M. Naumenko [ta in.] // *Pratsi TDATU*. – 2012. – T. 1, № 21. – S. 101–108.
15. Pavlovskyi M. A. Teoretychna mekhanika / M. A. Pavlovskyi. – Kyiv : Tekhnika, 2002. – 497 s.