

Всеукраїнський науково-технічний журнал

Ukrainian Scientific & Technical Journal

ISSN 2306-8744

DOI: 10.37128/2306-8744-2022-1

# Вібрації в техніці та технологіях



**Всеукраїнський науково-технічний журнал**

**Ukrainian Scientific & Technical Journal**

# **Вібрації в техніці та технологіях**

**№ 1 (104)**

**Вінниця 2022**

**ВІБРАЦІЇ В  
ТЕХНІЦІ ТА  
ТЕХНОЛОГІЯХ**

Журнал науково-виробничого та навчального  
спрямування Видавець: Вінницький національний  
аграрний університет

Заснований у 1994 році під назвою “Вібрації в техніці та  
технологіях”

*Свідоцтво про державну реєстрацію засобів масової  
інформації*

КВ № 16643-5115 ПР від 30.04.2010 р.

*Всеукраїнський науково-технічний журнал “Вібрації в техніці та  
технологіях” / Редколегія: Калетнік Г.М. (головний редактор) та інші. – Вінниця,  
2022. – 1 (104) – 137 с.*

*Друкується за рішенням Вченої ради Вінницького національного аграрного  
університету (протокол № 10 від 29.04.2022 р.)*

*Періодичне видання включено до Переліку наукових фахових видань  
України з технічних наук (Категорія «Б» Наказ Міністерства освіти і науки  
України від 02.07.2020 р. № 886)*

**Головний редактор**

**Калетнік Г.М.** – д.е.н., професор,  
академік НААН України, Вінницький  
національний аграрний університет

**Заступник головного  
редактора**

**Адамчук В.В.** – д.т.н., професор, академік  
НААН України, Національний науковий  
центр “Інститут механізації та електрифікації  
сільського господарства”

**Відповідальний секретар**

**Солона О.В.** – к.т.н., доцент, Вінницький  
національний аграрний університет

**Члени редакційної колегії**

**Булгаков В.М.** – д.т.н., професор, академік  
НААН України, Національний університет  
біоресурсів і природокористування України

**Граняк В.Ф.** – к.т.н., доцент, Вінницький  
національний аграрний університет

**Деревенько І. А.** – к.т.н., доцент,  
Національний університет «Львівська  
політехніка»

**Зіньковський А.П.** – д.т.н., професор,  
Інститут проблем міцності імені Г. С.  
Писаренка НАН України

**Купчук І.М.** – к.т.н., доцент, Вінницький  
національний аграрний університет

**Матвєєв В.В.** – д.ф.-м.н., професор,  
академік НАН, Інститут проблем міцності  
імені Г.С. Писаренка НАН України

**Полєвода Ю.А.** – к.т.н., доцент, Вінницький  
національний аграрний університет

**Севостьянов І.В.** – д.т.н., професор,  
Вінницький національний аграрний  
університет

**Твердохліб І.В.** – к.т.н., доцент, Вінницький  
національний аграрний університет

**Токарчук О.А.** – к.т.н., доцент, Вінницький  
національний аграрний університет

**Цуркан О.В.** – д.т.н. доцент, Вінницький  
національний аграрний університет

**Зарубіжні члени редакційної колегії**

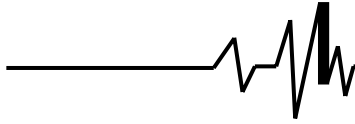
**Максімов Джордан Тодоров** – д.т.н., проф., Технічний Університет Габрово (Болгарія)

Технічний редактор **Замрій М.А.**

Адреса редакції: 21008, Вінниця, вул. Сонячна 3, Вінницький національний аграрний  
університет, тел. 46 – 00– 03

Сайт журналу: <http://vibrojournal.vsau.org/>

Електронна адреса: [vibration.vin@ukr.net](mailto:vibration.vin@ukr.net)

**З М І С Т****1. ТЕОРІЯ ПРОЦЕСІВ ТА МАШИН**

<i>Sevostianov I., Ivanchuk Ya.</i> ELABORATION AND RESEARCHES OF A VIBRO-PRESS FOR DEHYDRATION OF DAMP DISPERSIVE MATERIALS.....	5
<i>Цуркан О. В.</i> ПЕРЕДУМОВИ РОЗРОБКИ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ РУХУ НАСІННЯ ГАРБУЗА У ВІБРАЦІЙНІЙ СУШАРЦІ.....	12
<i>Граняк В. Ф., Солоня О. В.</i> ПЕРСПЕКТИВИ ВИЯВЛЕННЯ ДЕФЕКТІВ ОБЕРТОВИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МАШИН НА ОСНОВІ АНАЛІЗУ ЇХ ВІБРОСИГНАЛІВ.....	20
<i>Омельянов О. М., Токарчук О. А.</i> ОБҐРУНТУВАННЯ АМПЛІТУДНО-ЧАСТОТНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТА КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ СЕПАРАТОРА З ВІБРАЦІЙНИМ ПРИВОДОМ ЗБУДЖЕННЯ ПРОСТОРОВИХ КОЛИВАНЬ.....	30
<i>Мельник В. М., Косова В. П., Остапенко Ж. І., Швиденко В. В.</i> ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ УЛЬТРАЗВУКУ НА М'ЯСНУ СИРОВИНУ.....	38
<i>Ярошенко Л.В., Чубик Р.В.</i> ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ НЕЙРОКОНТРОЛЕРА ДЛЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ВІБРОПРИВОДОМ АДАПТИВНИХ ВІБРАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ МАШИН.....	44

**2. МАШИНОБУДУВАННЯ ТА МАТЕРІАЛООБРОБКА**

<i>Sevostianov I., Melnyk O.</i> ELABORATION AND RESEARCHES OF APPARATUS OF CONTROL FOR HYDROPONIC INSTALLATIONS.....	57
<i>Бовсуновський А. П., Носаль О. М.</i> МОДЕЛЮВАННЯ РОЗВИТКУ ТРІЩИНИ ВТОМИ ПРИ ПОПЕРЕЧНИХ КОЛИВАННЯХ ВАЛУ ТУРБІНИ.....	63
<i>Веселовська Н. Р.</i> РОЗРОБКА АЛГОРИТМІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ ПРАКТИЧНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ ВИПРОБУВАЛЬНО-ДІАГНОСТИЧНОГО КОМПЛЕКСУ ВЕРСТАТІВ З ЧПК.....	71
<i>Матвійчук В. А., Михалевич В. М., Колісник М. А.</i> ОЦІНКА ДЕФОРМОВНОСТІ МАТЕРІАЛУ ЗАГОТОВОК ПРИ ПРЯМОМУ І ЗВОРОТНОМУ ВИТИСКУВАННІ МЕТОДОМ ШТАМПУВАННЯ ОБКОЧУВАННЯМ.....	81
<i>Сивак Р. І., Островський А. Й., Залізняк Р. О.</i> ВИЗНАЧЕННЯ КІНЕМАТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЛАСТИЧНОЇ ТЕЧІЇ МЕТАЛУ В УМОВАХ ОСЬОВОЇ СИМЕТРІЇ ПРОЦЕСУ ДЕФОРМУВАННЯ.....	92
<i>Яропуд В. М., Грицун А. В., Мазур І. М.</i> ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ І ТЕХНІЧНІ ЗАСОБИ ОБРОБКИ РІДКОГО ГНОЮ НА СВИНОФЕРМАХ.....	98
<i>Trukhanska O.</i> RESEARCH OF THE WORKING PROCESS OF THE CLEANING SYSTEM OF MACHINES FOR HARVESTING ROOT CROPS.....	106

**3. ПЕРЕРОБНІ ТА ХАРЧОВІ ВИРОБНИЦТВА**

<i>Присяжнюк Д. В.</i> ДОСЛІДЖЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ СУШІННЯ ЗЕРНОВОЇ СИРОВИНИ З ВИКОРИСТАННЯМ ВІБРООЗОНУЮЧОГО КОМПЛЕКСУ.....	117
<i>Полевода Ю. А., Соломон А. М., Бондар М. М.</i> МОДЕРНІЗАЦІЯ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА СИРНОГО ПРОДУКТУ.....	124
<i>Шибецький В. Ю., Остапенко Ж. І., Фесенко В. В.</i> ДОСЛІДЖЕННЯ ГІДРОДИНАМІКИ І ТЕПЛООБМІНУ У ВІНОСНИХ ТЕПЛООБМІННИХ ЕЛЕМЕНТАХ ЕКСТРАКТОРІВ.....	132

**Полевода Ю. А.**

к.т.н., доцент

**Соломон А. М.**

к.т.н., доцент

**Бондар М. М.**

асистент

**Вінницький національний  
аграрний університет****Polievoda Y.**Ph.D. of Engineering, Associate  
Professor**Solomon A.**

Ph.D., Associate Professor

**Bondar M.**

assistant

**Vinnitsia National Agrarian  
University****УДК 66.048.5.022.63****DOI: 10.37128/2306-8744-2022-1-15****МОДЕРНІЗАЦІЯ ОБЛАДНАННЯ  
ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА СИРНОГО  
ПРОДУКТУ**

*В статті обґрунтовано модернізацію апарата для плавлення сирних мас, що відрізняється способом теплопідведення робочих ємностей заміною парової сорочки на обігрів гнучким плівковим резистивним електронагрівачем випромінювального типу (ГПРЕНВТ). В апараті збільшено поверхню теплообміну робочої ємності за рахунок наявності обігріву перемішуючого пристрою. Удосконалена установка відрізняється наявністю використання вторинної теплової енергії плавлення сирних мас (35...95°C) перетворенням її елементами Пельтьє у низьковольтну напругу живлення автономних вентиляторів (3,5...12 Вт) для охолодження блоку керування. Це призведе до підвищення ефективності запропонованої конструкції, що пояснюється зменшенням габаритно-вагових параметрів апарата плавлення сирних мас за рахунок заміни парового способу обігріву на електричний.*

*Експериментально підтверджено зменшення тривалості виходу обладнання на стаціонарний режим (85°C) при плавленні сирних мас: для чаші дослідного апарату – 575 с, в порівнянні з аналогом – 725 с. В даній науковій роботі підтверджено скорочення тривалості виходу на стаціонарний режим на 2% порівняно з базовим апаратом Б6-ОПЕ-400.*

*Доведено, що основний показник ресурсоефективності питомих витрат енергії на нагрівання об'єму одиниці продукту зменшився у 1,2 рази. У модернізованому апараті для плавлення сирних мас він рівний 3037,2 кДж/кг, а показник базового варіанту Б6-ОПЕ-400 – 3672,5 кДж/кг.*

*За отриманими результати спостерігається підвищення ресурсоефективності, що досягається: усуненням парових тепломереж; збільшенням поверхні теплообміну робочих чаш обігріванням мішалки за допомогою гнучкого плівкового резистивного електронагрівача випромінювального типу. Теплопідведення нагрівача покращує експлуатаційні показники системи стабілізації температури у чаші апарата плавлення сирних мас. Отримані результати можуть використовуватись при проектуванні теплового обладнання з електричним обігріванням в умовах використання вторинної теплової енергії.*

**Ключові слова:** апарат плавлення сирних мас, теплопідведення, питомі витрати енергії, вторинна енергія.

**Вступ.** Підвищення попиту на збалансоване харчування у багатьох країнах світу формує потребу забезпечення організму функціонально-фізіологічними інгредієнтами для збереження здоров'я та зміцнення імунітету та якісного супротиву екологічним і пандемічним чинникам. Зокрема, молочні продукти зі значним вмістом біологічно активних та мінеральних речовин, мають вагоме значення для здоров'я

організму та неодмінно повинні вживатися у повноцінному раціоні харчування, в незалежності від віку споживачів [1, 2]. Акцентуючи увагу на необхідності забезпечення споживачів, необхідними рослинними нутрієнтами для підтримки та формування здоров'я у вигляді якісної молочної продукції природного походження.

Одними з поширених молочних продуктів є різноманітні плавлені сири, для виробництва яких



використовують сичужні сири та різноманітні сирні вироби тощо, які потребують якісної тепломасообмінної обробки при виробництві. А отже, доцільним є забезпечення ресурсоефективної переробки молочної сировини у плавлені сирні вироби з дотриманням всіх рецептурних співвідношень, стабілізованого теплового впливу та використання вторинної теплової енергії для технологічних потреб. Впровадження у рецептурах плавлених сирів органічних рослинних напівфабрикатів у пастоподібній, порошкоподібній консистенціях забезпечує додаткове насичення виробів функціонально-фізіологічними інгредієнтами, підвищуючи харчову цінність та формуючи оригінальні органолептичні властивості продукту [9, 10, 11, 12].

**Постановка проблеми.** Ефективність апаратурно-технологічного комплексу виробництва плавлених сирів залежить від якості проведення тепломасообмінної обробки, зокрема операцій плавлення, потребуючи впровадження сучасних інженерних рішень для забезпечення ресурсоефективної реалізації процесів. Одним з рішень є зменшення металоємності апаратів для плавлення сирів шляхом заміни парової складової та забезпечення стабілізованого низькоінерційного температурного впливу за рахунок сучасних електричних теплоносіїв. Крім того, доцільним рішенням є забезпечення використання вторинної теплової енергії на потреби виробництва (автономність певних конструктивних елементів, охолодження тощо).

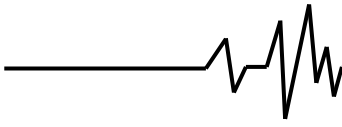
**Мета дослідження.** Метою роботи є вдосконалення (модернізація) апарату для плавлення сирних мас, де обігрів робочої поверхні та мішалки здійснюється гнучким плівковим резистивним електронагрівачем випромінювального типу, а також з охолоджуючою сорочкою і елементами Пельтьє. Запропоноване апаратурно-технологічне рішення забезпечить підвищення ефективності технологічного процесу в цілому за рахунок ліквідації парової складової класичних способів плавлення сирів в умовах використання вторинної теплової енергії.

Для досягнення поставленої мети було розроблено модельну конструкцію вдосконаленого апарату для плавлення сирних мас з обігрівом робочої поверхні та мішалки гнучким плівковим резистивним електронагрівачем випромінювального типу та охолоджуючою сорочкою і елементами Пельтьє. Експериментально-розрахунковими дослідженнями визначили та підтвердили ефективність запропонованих конструктивно-технологічних рішень в порівнянні з класичними конструкціями апаратів для виробництва плавлених сирів.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Дана проблематика досліджувалась у

багатьох вітчизняних та закордонних наукових працях [2, 3, 4]. Для повноцінного аналізу процесу виробництва плавлених сирів слід враховувати комплексний вплив апаратурно-технологічної складової, що дозволить забезпечити ефективність апаратурної частини та конкурентоспроможність і високу технологічну якість. Підвищення харчової цінності можливе за рахунок впровадження сучасних технологій та методів переробки органічної сировини, як природного джерела функціонально-фізіологічних інгредієнтів, при виробництві напівфабрикатів високого ступеня готовності [9]. Традиційні апарати з виробництва плавлених сирів характеризуються використанням парових теплоносіїв та можливістю надходження пари в робочу ємність під час тепломасообмінної обробки [2]. Недоліком внесення в робочий простір апарату пари є необхідність трикратного очищення, а використання пари призводить до штучного збільшення металоємності, а отже, ускладнює експлуатацію, обслуговування та підвищує вартість апаратурної та технологічної складової. Підтверджуючи актуальність впровадження інноваційних рішень спрямованих на вдосконалення апарату для виробництва якісних плавлених сирів. Слід відзначити, що в повній мірі залишаються невизначеними питання стосовно шляхів підвищення ресурсоефективності за рахунок зменшення металоємності при ліквідації парової складової.

Заміну парових сорочок на електричний нагрів наведено в роботі [2] на прикладі вдосконаленої конструкції роторного випарника, проте залишаються не визначеними питання стосовно впливу способу теплопідведення на гідродинамічні властивості. Також вивчали ефективність використання електричного нагрівання в умовах подальшого досушування попередньо концентрованої харчової сировини. Проте в роботі не наводяться данні впливу терморадіаційної складової тепломасообмінного процесу у поєднанні з конвективною, зокрема виникає потреба в аналізі поглинальних властивостей сировини, що обробляється. Також доцільним є визначення ефективності використання конструкцій мішалок з нагрівальною поверхнею, як одного з рішень заміни необхідності надходження пари в робочу ємність апарату. Електричний нагрів робочої ємності та поверхні мішалки сучасним гнучким плівковим резистивним електронагрівачем випромінювального типу (ГПРЕНВТ) [4], забезпечить зменшення металоємності, стабілізований та низькоінерційний температурний нагрів у порівнянні з традиційним апаратом. Проводились дослідження процесів теплопередачі та електропровідності термоелектричних генераторів в умовах аналізування ефективності елементів Пельтьє за 127 термопарами. Завдяки впливу ефекту Пельтьє



і теплового потоку еквівалентна теплопровідність збільшуються на 30,2%, коли різниця температур між гарячою та холодною стороною становить 100°C, а термоелектричний генератор досягає максимальної вихідної потужності. Проте дослідження базуються на використанні лише впливу конвективного теплообміну, що ускладнює доведення ефективності використання елементів Пельтьє при змішаному теплопідведенні.

Також наводяться дослідження визначення ефективності використання елементів Пельтьє у низькотемпературному тепломасообмінному апараті, проте зазначаються лише початкові та кінцеві параметри забезпечення автономності витяжних елементів. Без зазначення впливу конвективної складової при термічній обробці дослідної сировини, проте наведені дослідження підтверджують ефективність використання елементів Пельтьє при перетворенні вторинної енергії у низьковольтну напругу живлення вентиляторів, що забезпечує їх автономність [2].

Досліджували та визначали відсоток споживачів, які ведуть здоровий спосіб життя з формуванням міцного імунітету в умовах пандемії, різноманітних вад здоров'я та екологічних викликів. Впровадження IT-технологій в умовах карантину є ефективним рішенням, проте є спрямованим на використання у більшості випадках напівфабрикатів, оскільки виробництво високоякісних виробів харчування у домашніх умовах є складним завданням. Особливо зазначається попит на рослинні дієти для укріплення здоров'я, зокрема створюються різноманітні комерційно успішні продукти молочного та м'ясного асортименту на рослинній основі. Проте виробництво даної продукції є складною технологічно-апаратною складовою, яка значною мірою впливає на якість отримуваних кінцевих молочних виробів. Це пов'язано з тим, що процес виробництва сирів та інших продуктів харчування в більшості випадках реалізується за рахунок тепломасообмінних операцій, які потребують чіткої стабілізації температурного впливу. При цьому, залишаються в повній мірі не визначеними сучасні шляхи забезпечення якісних тепломасообмінних процесів, що характеризуватимуться ресурсоефективністю, а отже є актуальним науково-практичним напрямком досліджень [10].

В роботі [6] дослідження спрямовані на визначення та підтвердження підвищення харчової цінності плавлених сирів в умовах додавання до їх рецептури різноманітних овочевих порошоків. Встановлено, що зміною частки внесення природної функціонально-фізіологічної композиції можна регулювати структурно-механічні, органолептичні властивості, проте розглядається лише технологічна складова процесу. Оскільки більшість виробництв використовують апаратні комплекси, які за своїми експлуатаційними

властивостями в повній мірі не здатні забезпечувати не лише якісну переробку, а й ресурсоефективність. Це пов'язано в більшості випадках з використанням проміжних теплоносіїв, штучно збільшеної металоемності устаткування для проведення тепломасообмінних операцій плавлення, підтверджуючи актуальність досліджень за цим напрямком. Так в роботі [2] наведені данні комплексного поєднання процесів проектування та моделювання виробництва сирного спрямування для покращення екологічних та економічних показників промисловості. Дана модель дозволяє врахувати перспективи виробництва та кінцевого споживання на основі поетапного розгляду. Значна увага приділяється в моделі шляхам вдосконалення технологічного процесу, забезпеченні енергоефективності та навіть вартості відходів, проте модель не враховує узагальнену ефективність від вдосконалення апаратурної складової процесу. Це пов'язано з швидким розвитком сучасних технологій для вдосконалення наявних тепломасообмінних комплексів, забезпечуючи ефективність процесу в цілому, наприклад за рахунок ліквідації парових систем, зменшення відходності, використання вторинної теплової енергії тощо.

В роботі [7] наведені дослідження визначення впливу деформації в діапазоні 0,196...359% та температури на отримувані структурно-механічні властивості різноманітних сирів, а аналіз липкості дозволив отримати інформацію про адгезійні властивості. Результати досліджень підтверджено збільшенням швидкості плавлення сиру в залежності від температури, при цьому зменшуються адгезійні властивості, а отже зменшується необхідна енергія тепломасообмінного процесу. Для визначення ефективності плавлення сирів використовують комп'ютерні технології для аналізування впливу тривалості (0-20 хв) та температури (70-200°C) на ступінь та швидкість плавлення сиру. Встановлено, що сири «chedder» та «моцарелла» швидко плавляться на початковому етапі приготування, і плавлення сповільнюється приблизно через 3-4 хвилини. Максимальний ступінь та швидкість плавлення мали місце при температурі близько 130-160°C, проте тривале приготування за високої температури призводило до зменшення плавлення. Проте в роботах не визначено вплив способу теплопідведення, як один з головних чинників ефективності процесу в цілому, це пояснюється використанням традиційного обладнання, яке в більшості випадках використовує парові проміжні теплоносії. А отже, апаратурна ефективність апаратів є під питанням, оскільки витрата енергії на плавлення впливає на отримувану якість та кінцеву вартість продукції, зумовлюючи актуальність досліджень спрямовану на підвищення ресурсоефективності.



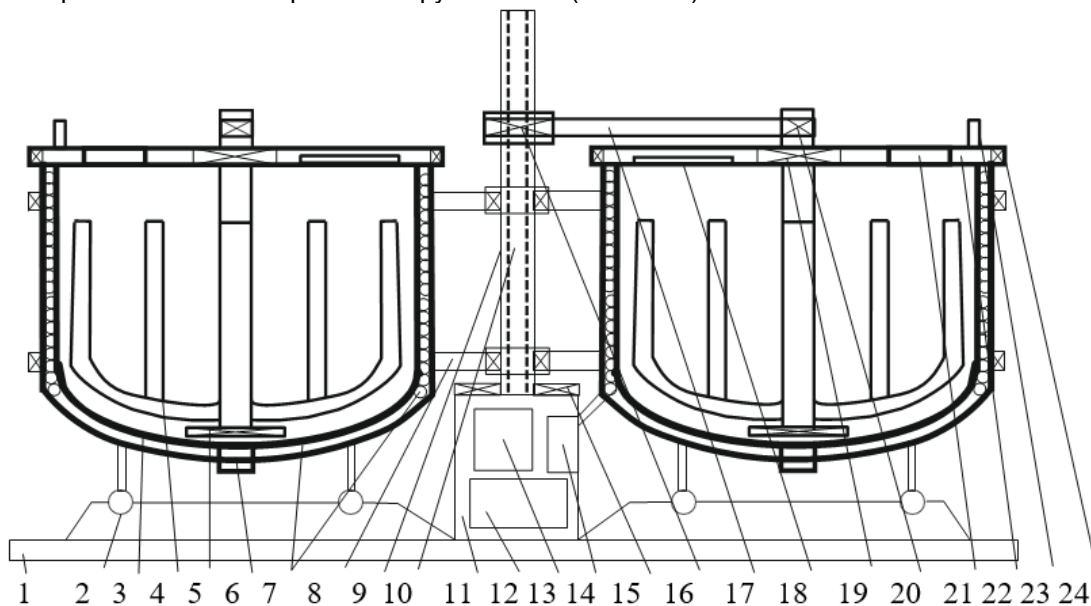
Отримані науково-практичні результати характеризуватимуться позитивним впливом на ефективність тепломасообмінного процесу плавлення сиру, а отже забезпечать конкурентоспроможність отримуваних виробів, тим самим, підтверджуючи доцільність досліджень в цьому напрямі.

**Основні результати досліджень** Для вирішення багатьох зазначених технологічних і технічних проблем була модернізована (вдосконалена) модельна конструкція апарату для плавлення сирних мас з обігрівом робочої поверхні та мішалки з гнучким плівковим резистивним електронагрівачем випромінювального типу та наявністю охолоджуючої сорочки з елементами Пельтьє. Конструкція дозволяє дослідити раціональні тепломасообмінні режими з урахуванням впливу способу теплопідведення на динаміку виходу на стаціонарний режим, що в свою чергу, забезпечить плавне плавлення сирної маси. Запропоновані в апараті конструктивно-

технологічні рішення можуть бути використані для різних процесів в поєднанні з вібраційними ефектами – подрібнення, розділення, змішування, тепломасообмінної обробки і т. д. [5, 8].

Порівняння характеристик вдосконаленої модельної конструкції апарату для плавлення сирних мас та традиційного апарату Б6-ОПЕ-400 проводилося за методиками теплового розрахунку апаратів й експериментальною методикою з використанням вимірювальних пристроїв «ОВЕН» (Україна).

Вдосконалена модель апарату для плавлення сирних мас наведена на рис. 1. Апарат змонтовано на станині 1, яка призначена для кільцевого руху по ній чаш для плавлення змонтованих на колесах 2. Обігрів чаш для плавлення та поверхні лопатевої мішалки 4 поетапно здійснюється гнучким плівковим резистивним електронагрівачем випромінювального типу з теплоізолюючою зовнішньою поверхнею (ГПРЕНВТ) 3.



**Рис. 1. Схема вдосконаленої модельної конструкції апарату для плавлення сирних**

**мас**

1 – станина; 2 – колеса для обертального руху чаш; 3 – гнучкий плівковий резистивний електронагрівач випромінювального типу з теплоізолюючою зовнішньою поверхнею (ГПРЕНВТ); 4 – лопатева мішалка з ГПРЕНВТ; 5 – катерний ніж; 6 – патрубок розвантаження плавленого сиру з шиберною засувкою; 7 – сорочка охолодження зі змієвиковим теплообмінником; 8 – обертальні направляючі чаш; 9 – технічний кожух; 10 – вал обертання та внутрішня висувна рейка; 11 – комплекс управління; 12 – моторне відділення; 13 – блок керування технологічними параметрами; 14 – водокільцевий насос; 15 – автономні вентилятори; 16 – пружно-втулково пальцева муфта; 17 – зубчаста рейка; 18 – елементи Пельтьє; 19, 20 – муфти; 21 – завантажувальний бункер; 22 – кришка; 23 – патрубок під'єднання вакууму; 24 – ущільнювач кришки

Для додаткового подрібнення сирних мас, нижня частина лопатевої мішалки має зафіксований кутерний ніж 5, що забезпечує однорідне подрібнення сирної фракції. В нижній частині чаш з плавлення сирних мас розмішений патрубок розвантаження 6 з автономною шиберною засувкою, який дозволяє здійснювати подальше транспортування сировини згідно

технологічним потребам. З метою забезпечення охолодження сирної маси чаша забезпечена охолоджуючими сорочками 7 зі змієвиковим теплообмінником, при процесі плавлення у сорочці 7 знаходиться повітря, забезпечуючи додаткову теплоізоляцію тепломасообмінного процесу.

Для попередження перегріву комплексу управління 11 в конструкції кришки 22 розміщені





елементи Пельтьє 18, які дозволяють перетворити вторинну теплову енергію плавлення (35...95°C) у низьковольтну напругу живлення (3,5...12 Вт). Цієї енергії вистачає для автономної роботи витяжних вентиляторів 15, розміщених у верхній частині комплексу 11. А для проведення тепломасообмінних процесів під вакуумом удосконалена конструкція має патрубок під'єднання вакууму 23.

Плавлення сирних мас реалізується наступним чином: попередньо подрібнену сировину через бункер 21 завантажують до робочого простору чаші, вмикають комплекс керування 11, встановлюючи необхідні технологічно-апаратні параметри, зокрема ГПРЕНВТ 3 та лопатевої мішалки 4. Здійснюють нагрівання з подальшим остаточним подрібненням за рахунок кутерних ножів 5 та плавленням сирної маси до 85...90°C протягом 15...20 хв за технологічної необхідності. Для видалення специфічного запаху з сировини при плавленні до апарата під'єднують вакуум 40...50 кПа через патрубок 23. Розвантаження апарата здійснюється крізь нижній патрубок 6 з автоматичною шиберною засувкою, піднімають кришку 22 з лопатевою

мішалкою 4 та переміщують наступну чашу для повторення процесу. Використана чаша надходить на санітарну обробку та очищення.

Експериментальні дослідження процесу плавлення сирних мас у досліджуваному апараті проводились для встановлення основних параметрів ведення процесу для отримання вихідних даних щодо подальших розрахунків апарату. Перехідну характеристику нагрівання робочої ємності (чаші) під час плавлення сирних мас наведено на рис. 2.

Порівняльний аналіз нагрівання сирної маси у чашах підтверджує ефективність запропонованих конструктивно-технічних рішень стосовно зменшення металоємності робочої чаші та збільшення поверхні теплообміну при обігріванні мішалки за допомогою ГПРЕНВТ. Тривалість виходу на стаціонарний режим (85°C) у дослідному апараті для плавлення сирних мас – 575 с, в аналогу, цей показник становить 725 с. Тим самим, забезпечуючи скорочення тривалості виходу на стаціонарний режим дослідного апарату на 21% порівняно з базовим Б6-ОПЕ-400.

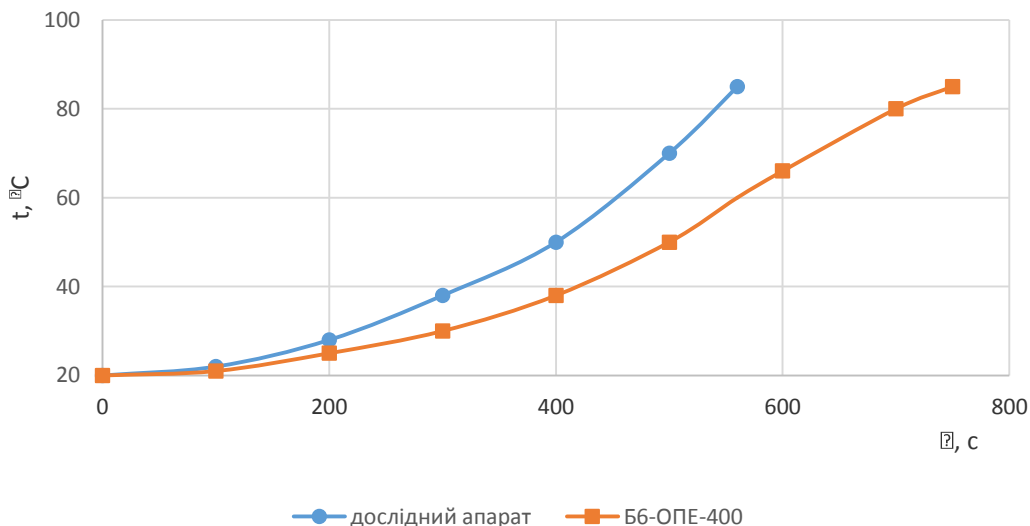


Рис. 2. Перехідна характеристика нагрівання сирної маси у чашах

Підтверджуючи зменшення тривалості нагрівання чаші дослідного апарата, а отже тривалості плавлення сирних мас за рахунок підвищення ефективності зі зменшенням металоємності та збільшенням поверхні теплообміну.

Для визначення ефективності вдосконаленого модельного апарата для плавлення сирних мас приведено його характеристику в порівнянні з базовою конструкцією Б6-ОПЕ-400. Розрахунки проводилися без врахування витрат в навколишнє середовище.

Встановлено зменшення у 1,2 рази основного показника ресурсоефективності

питомих витрат енергії на нагрівання об'єму одиниці продукту у вдосконаленому апараті для плавлення сирних мас: дослідний – 3037,2 кДж/кг, базовий Б6-ОПЕ-400 (3672,5 кДж/кг). Ефект пояснюється зменшенням габаритно-вагових параметрів апарата для плавлення сирних мас (відсутність парових тепломереж тощо), а також скороченням тривалості нагрівання апарату до заданої температури (85°C). У дослідному апараті 568 с, а у традиційному – 720 с, забезпечуючи зменшення тривалості температурного впливу під час періоду плавлення сиру, тим самим підвищуючи ефективність тепломасообмінного процесу.



Наведені практично-експериментальні порівняльні дослідження удосконаленого апарата для плавлення сирних мас в якому обігрів робочої поверхні та мішалки здійснюється ГПРЕНВТ, забезпеченого охолоджуючою сорочкою і елементами Пельтьє (рис. 1), підтверджують ефективність промислового використання. Використання ГПРЕНВТ для обігріву з відсутньою теплоємністю та низькою інерційністю на відміну від технічних мереж на основі парового теплопідведення, забезпечує за необхідності швидке охолодження технологічної сировини. При цьому розміщення у комплексі (поз. 11, рис. 1) водокільцевого насоса 14, забезпечує нагнітання рідини у охолоджуючу сорочку 7 з кільцевим теплообмінником. Для попередження перегріву комплексу управління 11 в конструкції кришці 22 розміщені елементи Пельтьє 18 для перетворення вторинної теплової енергії плавлення (35...95°C) у низьковольтну напругу живлення (3,5...12 Вт) автономних витяжних вентиляторів.

Практичне впровадження запропонованих конструктивно-технологічних рішень забезпечить якісну тепломасообмінну обробку продукту. Встановлено, що це досягається за рахунок зменшення теплоємності робочої чаші при ліквідації парової складової та збільшення поверхні теплообміну за умов обігрівання мішалки за допомогою ГПРЕНВТ. Зокрема, тривалість виходу на стаціонарний режим (85°C) апаратів для плавлення сирних мас у дослідній чаші становить 575 с, в порівнянні з аналогом 725 с (рис. 2 при експериментальному визначенні). Тим самим, забезпечуючи скорочення тривалості виходу на стаціонарний режим на 21% порівняно з базовим Б6-ОПЕ-400. Згідно отриманим технічним характеристикам вдосконаленого модельного апарата для плавлення сирних мас в порівнянні з базовою конструкцією Б6-ОПЕ-400, визначено зменшення у 1,2 рази питомих витрат енергії на нагрівання об'єму одиниці продукту. Так у вдосконаленому апараті для плавлення сирних мас цей показник становить – 3037,2 кДж/кг, а у базовому Б6-ОПЕ-400 – 3672,5 кДж/кг. Експериментально-практичним шляхом визначено скорочення тривалості нагрівання апарату до технологічної температури плавлення (85°C), зокрема для дослідного апарата: 568 с, а традиційного – 720 с. Тим самим, забезпечуючи зменшення тривалості температурного впливу при плавленні сирних мас, а отже в цілому запропоновані рішення підвищують ефективність тепломасообмінного процесу. Характерною відмінністю, порівняно з існуючими технологічно-апаратними аналогами плавлення сирних мас на базі класичних апаратів з паровою складовою, є відсутність мішалки, що обігривається, та внесення пари в робочий об'єм, знижуючи ефективність процесу.

Одним з основних обмежень при плавленні

сирних мас є стабілізація температурного впливу в залежності від технологічних потреб та рецептурного складу. Для вирішення якої, як варіант, виникає потреба у використанні низько інерційних та без металевих нагрівачів, зокрема ГПРЕНВТ з урахуванням температурного діапазону для якісної тепломасообмінної обробки рецептурної композиції. Подальші дослідження можуть бути спрямовані на визначення раціональних режимів плавлення для сирних мас в рецептурах яких є функціонально-фізіологічні інгредієнти органічного походження (пасти, порошки, лакто- та біфідобактерій тощо) [11, 12]. Це, в свою чергу, дозволить підвищити харчову цінність отримуваних виробів з оригінальними органолептичними властивостями, забезпечуючи конкурентоспроможність отримуваних виробів оздоровчо-профілактичного призначення, що є актуальним в умовах екологічних та пандемічних викликів сьогодення.

#### **Висновки**

Вдосконалено модель апарата для плавлення сирних мас, який відрізняється способом теплопідведення робочих ємностей та наявністю обігріву перемішуючого пристрою (завдяки гнучкому плівковому резистивному електронагрівачу випромінювального типу з теплоізолюючою зовнішньою поверхнею). Також апарат відрізняється наявністю використання вторинної теплової енергії плавлення (35...95°C) перетворенням її елементами Пельтьє у низьковольтну напругу живлення (3,5...12 Вт) та автономних вентиляторів для охолодження блоку керування.

Експериментально підтверджено зменшення тривалості виходу на стаціонарний режим (85°C) при плавленні сирних мас: для чаші дослідного апарату – 575 с, в порівнянні з аналогом – 725 с. Підтверджуючи про скорочення тривалості виходу на стаціонарний режим на 21% порівняно з базовим апаратом Б6-ОПЕ-400. Розрахунковим шляхом, встановлено зменшення у 1,2 рази питомих витрат енергії на нагрівання об'єму одиниці продукту у вдосконаленому апараті для плавлення сирних мас – 3037,2 кДж/кг, а в базовому Б6-ОПЕ-400 – 3672,5 кДж/кг. Підвищення ефективності запропонованої конструкції дослідного апарата пояснюється зменшенням габаритно-вагових (відсутність парових тепломереж тощо), енергометалоємності та збільшенням поверхні теплообміну робочих чаш, за рахунок мішалки, що обігривається ГПРЕНВТ.

#### **Список використаних джерел**

1. Mykhailov V., Zahorulko A., Zagorulko A., Liashenko B., Dudnyk S. Method for producing fruit paste using innovative equipment. *Acta Innovations*. 2021. № 39. P. 15–21. DOI: <https://doi.org/10.32933/actainnovations.39.2>.



2. Bondar M., Skoromna O., Ponomarenko N., Tesliuk H., Honcharova I., Nedosiekova N., Shaferivskiy B., Zakharchenko R. Improving the unit for melting cheese masses. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2021. 6 (11 (114)). P. 99–105. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.246300>.

3. Grossmann L., McClements D. J. The science of plant-based foods: Approaches to create nutritious and sustainable plant-based cheese analogs. *Trends in Food Science & Technology*. 2021. № 118. P. 207–229. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.10.004>.

4. Гнучкий плівковий резистивний електронагрівач випромінюючого типу: пат. 108041 Україна. № u201600827; заявл. 02.02.2016; опубл. 24.06.2016, Бюл. № 12. 5 с.

5. Полевода Ю. А. Перспективи застосування вібраційних ефектів в рідких технологічних системах харчових і переробних виробництв. *Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету*. 2015. Вип. 1. С. 124–130.

6. Технология производства плавящего сыра и характеристика технологического оборудования. URL: <http://www.milkbranch.ru/publ/view/340.html> (дата звернення: 15.01.2022).

7. Гуць В. С., Полевода Ю. А., Коваль О. А. Визначення структурно-механічних характеристик в'язко-пружних дисперсних систем. *Упаковка*. 2011. № 1. С. 46–47.

8. Yanovych V., Polievoda Y., Duda D. Development of a vibrocentric machine for raw glycerin purification. *University Politehnica of Bucharest. Scientific bulletin, Series D: Mechanical Engineering*. 2019. Vol. 81. Iss. 4. P. 17–28.

9. Solomon A., Bondar M., Dyakonova A. Substantiation of the technology for fermented sour-milk desserts with bifidogenic properties. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2019. 1 (11 (97)). P. 6–16. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.155278>.

10. Соломон А. М., Полевода Ю. А. Кисломолочні десерти збагачені біфідобактеріями. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. 2019. № 2 (105). С. 66–74.

11. Solomon A., Bondar M., Dyakonova A. Development of technological sour – milkdessert senriched with bifidobacteria. «*EUREKA Life Sciences*». Tallin. 2019. № 2. P. 20–26.

12. Власенко В. В., Соломон А. Н., Крыжак Л. Н. Разработка технологий кисломолочных продуктов с использованием растительных наполнителей. *Известия вузов. Пищевая технология*. 2013. № 5. С. 38–42.

## References

1. Mykhailov, V., Zahorulko, A., Zagorulko, A., Liashenko, B., Dudnyk, S. (2021). Method for producing fruit paste using innovative equipment. *Acta Innovations*, 39, S. 15–21 [in English].

2. Bondar, M., Skoromna, O., Ponomarenko, N., Tesliuk, H., Honcharova, I., Nedosiekova, N., Shaferivskiy, B., Zakharchenko, R. (2021). Improving the unit for melting cheese masses. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. [in English].

3. Grossmann, L., McClements, D. J. (2021). The science of plant-based foods: Approaches to create nutritious and sustainable plant-based cheese analogs. *Trends in Food Science & Technology*. 2021. [in English].

4. Gnuchkiy plivkoviy rezistivniy elektronagrivach viprominyuyuchogo tipu [Flexible film resistive electric heater of radiating type]. pat. 108041 Ukraina. № u201600827; zavavl. 02.02.2016; opubl. 24.06.2016, Byul. № 12. 5 s. [in Ukrainian].

5. Polievoda, Yu. A. (2015). Perspektivy zastosuvannya vibratsiynykh efektiv v ridkykh tekhnolohichnykh systemakh kharchovykh i pererobnykh vyrobnystv [Prospects for the application of vibration effects in liquid technological systems of food and processing industries]. *Zbirnyk naukovykh prats' Vinnytskoho natsionalnoho ahramoho universytetu. [Collection of scientific works of Vinnytsia National Agrarian University]*, 1, S. 124–130. [in Ukrainian].

6. Tehnologiya proizvodstva plavlenogo syra i harakteristika tehnologicheskogo oborudovaniya. [Processed cheese production technology and characteristics of technological equipment]. [in Russian].

7. Guts, V. S., Polevoda, Yu. A., Koval, O. A. (2011). Vyznachennya strukturno-mehanichnih harakteristik v'yazko-pruzhnykh dispersnykh sistem. [Determination of structural and mechanical characteristics of viscoelastic dispersed systems]. *Upakovka*, 1, S. 46–47. Kyiv [in Ukrainian].

8. Yanovych, V., Polievoda, Y., Duda, D. (2019). Development of a vibrocentric machine for raw glycerin purification. *UPB Scientific Bulletin, Series D: Mechanical Engineering*, 81 (4), S. 17–28. Bucharest [in English].

9. Solomon, A., Bondar, M., Dyakonova, A. (2019). Substantiation of the technology for fermented sour-milk desserts with bifidogenic properties. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (11 (97)), S. 6–16. [in English].



10. Solomon, A. M., Polevoda, Y. A. (2019). Kyslomolochni deserty zbahacheni bifidobakteriiamy [Dairy desserts are enriched with bifidobacteria], *Tekhnika, enerhetyka, transport APK*, 2 (105), S. 66–74. [in Ukrainian].

11. Solomon, A., Bondar, M., Dyakonova, A. (2019). Development of technological sour – milkdessert senriched with bifidobacteria. «*EUREKA Life Sciences*», 2, S. 20–26. Tallin [in English].

12. Vlasenko, V. V., Solomon, A. N., Kryzhak, L. N. (2013). Razrabotka tehnologij kislomolochnyh produktov s ispolzovaniem rastitel'nyh napolnitelej. [Development of technologies for fermented milk products using vegetable fillers]. *Izvestija vuzov. Pishhevaia tehnologija*, 5. S. 38–42. [in Russian].

#### MODERNIZATION OF EQUIPMENT FOR PRODUCTION OF CHEESE PRODUCT

*The article substantiates the modernization of the apparatus for melting cheese masses, which differs in the method of heat supply of working tanks by replacing the steam jacket for heating with a flexible film resistive electric heater of the radiating type (GPReVT). The heat transfer surface of the working tank is increased in the apparatus due to the heating of the mixing device. The advanced installation is characterized by the use of secondary thermal energy of melting of cheese masses (35... 95°C) by converting its Peltier elements into low-voltage supply voltage of autonomous fans (3.5...12 W) to cool the control unit. This will increase the efficiency of the*

*proposed design, due to the reduction of dimensional and weight parameters of the apparatus for melting cheese masses by replacing the steam method of heating with electric.*

*The reduction of the duration of the equipment output to the stationary mode (85 ° C) during melting of cheese masses was experimentally confirmed: for the bowl of the research apparatus - 575 s, in comparison with the analogue – 725 s. This scientific work confirms the reduction of the duration of entering the stationary mode by 2% compared to the basic device B6-OPE-400.*

*It is proved that the main indicator of resource efficiency of specific energy consumption for heating the volume of a unit of product has decreased 1.2 times. In the modernized apparatus for melting cheese masses, it is equal to 3037,2 kJ/kg, and the indicator of the basic version B6-OPE-400 – 3672.5 kJ/kg. According to the obtained results, there is an increase in resource efficiency, which is achieved by: elimination of steam heating networks; increasing the heat transfer surface of the working bowls by heating the stirrer with a flexible film resistive electric heater of the radiating type. Heat dissipation of the heater improves the performance of the temperature stabilization system in the bowl of the cheese melter. The obtained results can be used in the design of thermal equipment with electric heating in the use of secondary thermal energy.*

**Key words:** cheese melting apparatus, heat supply, specific energy consumption, secondary energy.

#### Відомості про авторів

**Полєвода Юрій Алікович** – кандидат технічних наук, доцент кафедри технологічних процесів та обладнання переробних і харчових виробництв Вінницького національного аграрного університету (вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, 21008, Україна, e-mail: [vinyura36@gmail.com](mailto:vinyura36@gmail.com)).

**Соломон Алла Миколаївна** – кандидат технічних наук, доцент кафедри харчових технологій та мікробіології Вінницького національного аграрного університету (вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, 21008, Україна, e-mail: [Soloalla78@ukr.net](mailto:Soloalla78@ukr.net)).

**Бондар Мар'яна Михайлівна** – асистент кафедри харчових технологій та мікробіології Вінницького національного аграрного університету (вул. Сонячна 3, м. Вінниця, 21008, Україна, e-mail: [bondar\\_mar@vsau.vin.ua](mailto:bondar_mar@vsau.vin.ua)).

**Polievoda Yurii** – PhD, Associate Professor of the Department of technological processes and equipment for processing and food production, Vinnytsia National Agrarian University: Vinnitsia, st. Sonyachna 3, VNAU, 21008, e-mail: [vinyura36@gmail.com](mailto:vinyura36@gmail.com).

**Solomon Alla** – PhD, Associate Professor of the Department of food technology and microbiology of the Vinnytsia National Agrarian University (3, Sonyachna st., Vinnytsia, Ukraine, 21008, e-mail: [Soloalla78@ukr.net](mailto:Soloalla78@ukr.net)).

**Bondar Mariana** – assistant, department of food technologies and microbiology, Vinnitsia National Agrarian University (3, Sonyachna st., Vinnytsia, Ukraine, 21008, e-mail: [bondar\\_mar@vsau.vin.ua](mailto:bondar_mar@vsau.vin.ua)).