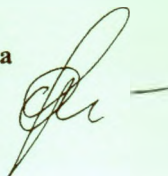


авторер.
0-66

ОДЕСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

ОРЛОВА Світлана Сергіївна



УДК 664.7:621.3.029.6

**МІКРОХВИЛЬОВА ОБРОБКА ЗЕРНА
ПІД ЧАС РУХУ У ВІБРОКАНАЛІ**

спеціальність 05.18.12 – процеси та обладнання харчових,
мікробіологічних та фармацевтичних виробництв

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Одеса – 2006



v017612

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Одеській національній академії харчових технологій
Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Калінін Лев Георгійович, Одеська національна
академія харчових технологій,
кафедра процесів та апаратів, професор кафедри

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Гросул Леонід Гнатович, Одеська національна
академія харчових технологій,
кафедра технологічного обладнання зернових
виробництв, професор кафедри

кандидат технічних наук, професор
Титар Сергій Семенович, Одеський
національний політехнічний університет,
кафедра теплових електричних станцій та
енергозберігаючих технологій, професор кафедри

Провідна установа: Харківський державний університет харчування та
торгівлі, кафедра енергетики та фізики,
Міністерство освіти і науки України, м. Харків

12 *в. е.ю.када* 2006 р. о *10³⁰* годині на засіданні
088.01 при Одеській національній академії.
739, м. Одеса, вул. Канатна, 112

Одеської національної
Одеса, вул. Канатна, 112

12

Горгачова К.Г.

v017612

ОНАХТ

БІБЛІОТЕКА

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Розвиток зернових та харчових виробництв не може здійснюватися тільки удосконаленням існуючого устаткування, його модернізацією чи впровадженням імпортного. Одночасно необхідно створення принципово нової високоефективної апаратури нового покоління, технології для якісно нових виробництв.

Доцільність застосування мікрохвильового електромагнітного поля (МХ ЕМП) у харчовій промисловості, медицині, фармакології в даний час визначені досить ясно. Можливі області застосування мікрохвильової енергії виявлені порівняно недавно, і перехід від експериментальної перевірки результатів до широкого господарського застосування ще не відбувся. Однак перспективність даного напрямку очевидна.

Зокрема, доведено, що в основі МХ-обробки зерна лежить енергетичний вплив електромагнітного поля на клітинну структуру зерна, при якому відбувається своєрідне "включення" механізмів росту, що забезпечує дружні сходи, силу росту і, насамкінець, підвищення врожайності сільськогосподарських культур.

Відомо, що відсутність ефективної технічної бази робить безперспективною саму привабливу технологічну ідею. Оскільки існуюча і розповсюджена у світі МХ-апаратура (зокрема, побутові МХ-печі) не може бути використана для передпосівної обробки зерна в обсягах, прийнятних для практичних потреб, виникло питання про необхідність створення оригінальних конструкцій, у яких обробка зерна ведеться з дотриманням двох основних вимог:

- реалізуються необхідні часові та енергетичні режими обробки зерна;
- продуктивність пристроїв відповідає розумним запитам споживачів.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана у рамках проекту № 1400 Українського науково-технологічного центру (УНТЦ) "Мікрохвильова технологія біостимуляції, дезинсекції та зневоднення насіння".

Мета і завдання дослідження. Мета роботи – обґрунтування конструкції, конструктивно-режимних параметрів та продуктивності МХ-апарату, які гарантують досягнення в апараті ефекту біостимуляції зерна з високим ступенем рівномірності.

Для досягнення мети поставлені такі завдання:

- дослідження розподілу ЕМП усередині камер МХ-апаратів;
- теоретичне дослідження розподілу температурного поля в умовах дії МХ-поля;
- конструктивне забезпечення усередненого рівня МХ-поля, що сприймається об'єктом навантаження, створення умов для переміщення зерна у робочому об'ємі камери з урахуванням нерівномірності розповсюдження в ній МХ-енергії;
- обґрунтування рівня енергопідведення в МХ-апарат;
- визначення видаткових характеристик і необхідної потужності при заданому рівні продуктивності МХ-апаратів;

- обґрунтування конструктивно-режимних параметрів за умовами взаємодії зерен із МХ-полем і вимогами по продуктивності;
- дослідження механічних характеристик гик вібраційної системи;
- визначення деяких експлуатаційних характеристик;
- розробка методики визначення температури зернового шару в МХ-полі;
- розробка методики визначення робочих режимів передпосівної обробки (за схожістю та енергією проростання);
- дослідження можливості існування сумарного ефекту під час послідовної дії МХ-поля та низькочастотного магнітного поля;
- формування технічних вимог до проектування дослідного зразку апаратури для МХ-обробки насіння.

Предмет дослідження – зерно колосових, олійних і бобових культур насіннєвого призначення.

Об'єкт дослідження – механічні, тепло-, масообмінні та електрофізичні процеси обробки зерна з використанням вібропристрою та МХ ЕМП.

Методи дослідження – аналітичні та експериментальні методи визначення впливу вібрації на інтенсифікацію процесів МХ-обробки зерна; розроблені нами методи та методики визначення і контролю поточної температури в дисперсному середовищі (шару зерна) при МХ підведенні енергії, а також оцінки впливу вібрації і кута нахилу віброканалу на рівномірність ЕМП у камері апарату.

Наукова новизна одержаних результатів. Наукова новизна отриманих результатів полягає в науковому обґрунтуванні та експериментальному підтвердженні конструкції, режимів роботи і продуктивності МХ-апарату.

У результаті аналітичних і експериментальних досліджень в роботі вперше отримані наступні результати:

- аналітично обґрунтовано і експериментально підтверджено доцільність МХ-обробки для досягнення ефекту біостимуляції зерна;
- запропонована методика визначення і контролю поточної температури зернового шару в умовах дії МХ-поля;
- запропонована методика оцінки впливу вібрації і кута нахилу віброканалу на рівномірність ЕМП у камері апарату;
- визначено конструктивно-режимні параметри та експлуатаційні характеристики МХ-апарату;
- обґрунтовано конструкторське виконання МХ-апарату за умовами взаємодії зерен із МХ-полем і вимогами по продуктивності;
- обґрунтовані і сформульовані технічні вимоги до проектування дослідного зразку апарату для МХ-обробки насіння.

Практичне значення одержаних результатів. Полягає в розробці фермерської установки безперервної дії для біостимуляції зерна (продуктивність 1000...1500 кг/год; щільність МХ-енергії до 0,15 кВт/кг).

Використання вібраційної схеми руху зерна забезпечує інтенсивне перемішування зернин у шарі за напрямком потоку і забезпечує необхідну рівномірність розподілу МХ-навантаження, що сприймає матеріал.

Особистий внесок здобувача полягає в постановці, проведенні та обробці експериментальних досліджень, у розробці методики визначення і контролю по точної температури зернового шару в умовах дії МХ-полю, у розробці методик оцінки впливу вібрації та кута нахилу віброканалу на рівномірність ЕМП у камер апарату, узагальненні результатів дослідження, публікації одержаних результатів

Апробація результатів дисертації. Основні результати досліджень доповіді лися на наукових конференціях ОДАХТ (1999-2003 рр.), ОНАХТ (2004-2005 рр.), ІV-VI Міжнародних науково-практичних конференціях “Хлібопродукти” (2002-2006 рр.)

Публікації. За матеріалами дисертації опубліковано 7 робіт, у тому числі . у збірниках наукових праць і 4 у науково-практичних фахових журналах.

Структура та обсяг роботи: Дисертаційна робота складається з вступу, чо тирьох основних розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Повний обсяг дисертації складає 150 сторінок, з них 113 основного тексту, 14 ри сунків (6 сторінок), 11 таблиць (7 сторінок), список використаних джерел з 121 найменувань (10 сторінок) та додатки (21 сторінка).

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність роботи, сформульовані мета і задачі досліджень, наведено наукову новизну та практичну цінність одержаних результатів.

Перший розділ є оглядом літературних джерел з одночасним аналізом.

Поява у лабораторній практиці МХ-апаратів викликала велике число експериментальних робіт, основною задачею яких було виявлення ефектів, що позитивно впливають на біоструктури, зокрема на розвиток рослинних структур.

З'явилися нові технології, що засновані на енергетичному впливі штучних електромагнітних полів (ЕМП) надвисокої частоти на біологічні об'єкти.

Експериментально визначено вплив електромагнітного (ЕМП) на зерно.

Досить чітко наведені такі факти:

- існують режими дії МХ ЕМП на зерно, які сприяють підвищенню врожайних показників;
- такі режими не змінюють біохімічний склад зерна, крім того не ведуть до змін на генному рівні.

Одним з напрямків робіт у цій галузі є визначення умов взаємодії МХ ЕМП з зерном, які сприяють поліпшенню його якості, що веде, насамкінець, до збільшення врожаю.

Другий розділ присвячено питанню про особливості МХ-обробки, що виникають під час спроби розв'язати задачу вимірювання температури шару зерна під час дії МХ-поля.

Сьогодні практично відсутні методи та апаратура, які дозволяють виконувати досить ретельно та надійно вимірювання температури під час руху шару зерна в МХ-полі. Наведено методичне обґрунтування та постановка задачі експерименту, а також його результати.

Основні труднощі, які виникають під час проведення експерименту в МХ ЕМП, пов'язані з тим, що використання традиційної вимірювальної апаратури, як правило, стає практично неможливим, оскільки ЕМП безпосередньо діє на чутли-

ві елементи (сенсори), викривляючи їх показники. Зокрема, вимірювання такого важливого параметру як середня температура шару, стає задачею, котру не можливо розв'язати, оскільки ні термопари, ні інші контактні термометри практично не можуть бути використаними. В той же час необхідність оцінки зміни температури шару під час його контакту з ЕМП є очевидною, оскільки під час обробки зерна його температура не може перейти припустимі межі, оговорені нормативними документами на насіннєве зерно.

В цих умовах методично виправданим є шлях аналітичної оцінки середньої температури дисперсного шару зерна на основі відомого рівняння нестационарної теплопровідності, запропонованого акад. А.В. Ликовим.

1. Аналітичне рішення щодо формування температурного поля у шарі дисперсного матеріалу в умовах дії МХ поля.

Сформульовано граничні та початкові умови задачі:

- розглядаються умови взаємодії напівобмеженого стрижня (модель шару сипкого матеріалу) із зовнішнім МХ ЕМП W_0 , параметри якого визначаються за рівнянням (4);
- розглядаються нестационарні умови формування температурного поля в стрижні, коли температура усередині нього менше температури на поверхні; за умови, прийнятої Ликовим А.В., температура t_c є сталою в процесі підведення енергії ($t(x, \tau) = t_x - t_0$; $t_c = t_c - t_0$);

- питома течія енергії зменшується при переміщенні її всередину стрижня за законом

$$W = W_0 \cdot \exp(-Kx), \quad (1)$$

де W_0 – питома потужність джерела, [Вт/м³]

$$W_0 = (P \cdot V) / \eta, \quad (2)$$

(K – стала; P – потужність МХ-джерела, Вт/м³; η – ККД; V – робочий об'єм, м³);

- усі теплофізичні параметри шару (стрижня) прийняті у вигляді ефективних значень ($a_{\text{эф}}$, $\lambda_{\text{эф}}$, $C_{\text{эф}}$, $\rho_{\text{н.эф}}$) і запозичені з відомих джерел (наведено у додатку А дисертації);
- розглядаються умови формування поля температур від поверхні шару до координати, що дорівнює глибині проникнення Δ . При цьому значення ефективної потужності МХ ЕМП повинне бути нижче початкового в «е» разів (за визначенням);
- розмір стрижня в напрямку дії потоку енергії не перевищує значення 2Δ .

Ефект об'ємного нагрівання при обробці в МХ-полі досягається проникненням електромагнітних хвиль в продукт обробки. Тому критерієм рівномірності та ефективності нагрівання служить глибина проникнення ЕМ поля в середовище

$$\Delta = \frac{\lambda}{\pi \sqrt{\epsilon' t g \delta}} \quad \text{або} \quad \Delta = \frac{A}{\sqrt{\epsilon'}}, \quad (3)$$

де λ – робоча довжина хвилі, м;

$t g \delta$ – тангенс кута діелектричних втрат ($t g \delta = \epsilon''$);

ϵ' , ϵ'' – дійсна та уявна частини комплексної відносної діелектричної проникності;

A – коефіцієнт ($A = 6 \dots 8$ для харчових продуктів).

Для прийнятих умов справедливе розв'язання нестационарного диференціального рівняння в частинних похідних, що отримане А.В. Ликовим

$$\Theta = \frac{t(x, \tau)}{t_c} = \operatorname{erfc} \frac{x}{2\sqrt{a\tau}} - \frac{W_0}{\lambda k^2 t_c} \left[\operatorname{erfc} \frac{x}{2\sqrt{a\tau}} - e^{-kx} - \frac{1}{2} e^{k^2 a \tau - kx} \operatorname{erfc} \left(k\sqrt{a\tau} - \frac{x}{2\sqrt{a\tau}} \right) + \frac{1}{2} e^{k^2 a \tau + kx} \operatorname{erfc} \left(k\sqrt{a\tau} + \frac{x}{2\sqrt{a\tau}} \right) \right]. \quad (4)$$

Для конкретизації цього рівняння розглянемо умови зміни ефективної температури на глибині шару, обумовленої величиною Δ .

Після розкладання в ряд функція $\operatorname{erfc}(x) = \frac{1}{\sqrt{\pi x}} \exp(-x^2)$ у критеріальній формі рівняння (4) буде мати вигляд

$$\Theta = 2\sqrt{\frac{F_0}{\pi}} \exp\left(-\frac{1}{4F_0}\right) \left[1 - P_0 \frac{4F_0^2 - 2}{4F_0^2 - 1} \right] + 0,367P_0. \quad (5)$$

Запропоноване рівняння дозволяє без вимірювання температури шару зерна в ході експерименту, прогнозувати максимальне значення температури в центрі шару по досягненні визначеного проміжку часу МХ-обробки. Необхідні для проведення розрахунків дані наведено в дисертації.

2. Експериментальне визначення впливу вібрації та кута нахилу віброканалу в умовах дії МХ-поля.

Принципова схема наведена на рис. 1.

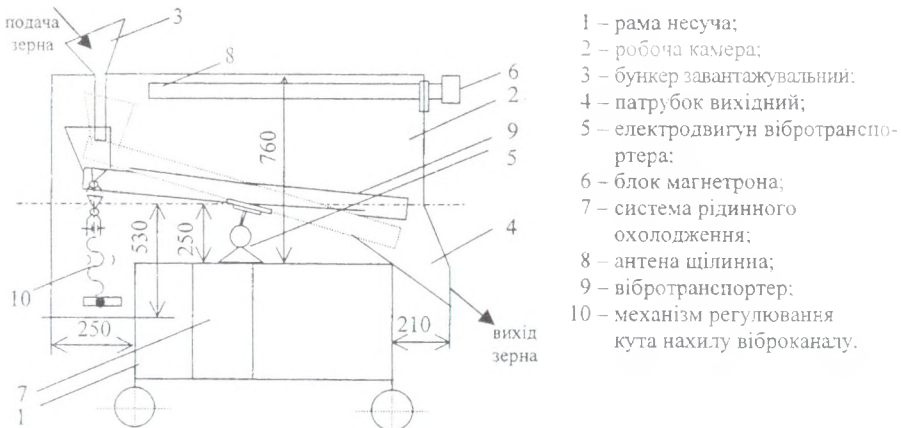


Рис. 1. Принципова схема дослідної установки

Структурна схема МХ-модуля наведена на рис. 2.

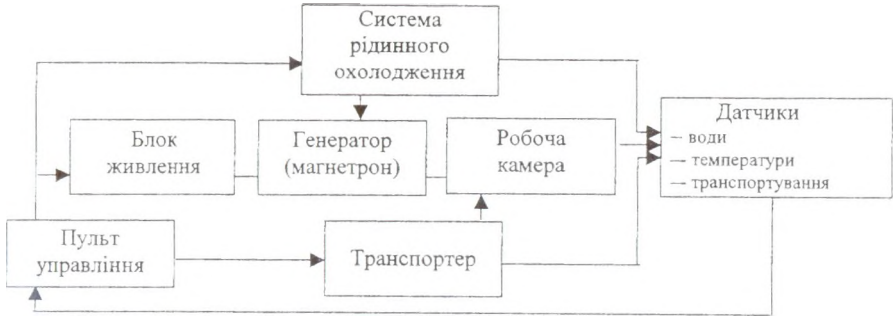


Рис. 2. Структурна схема дослідної лабораторної установки для мікрохвильової обробки зерна

Були проведені експерименти по вивченню зміни характеру взаємодії мікрохвильового електромагнітного поля з навантаженням (із застосуванням вібропереміщення) і без навантаження при різних кутах нахилу вібротранспортера.

Розроблено методику дослідження сумісного впливу механічної вібрації з МХ-обробкою.

Методика проведення експерименту була такою.

Оскільки класичним прикладом дипольної молекули є молекула води, що грає основну роль у процесі поглинання енергії при діелектричному нагріванні рослинної сировини, то за зразок була обрана вода (так званий водяний еквівалент).

По довжині транспортера були встановлені 13 контейнерів (у даному випадку ємності, зроблені з поліпропілену $\epsilon' = 0,005$) з водою. Маса води в кожному контейнері складала 0,13 кг. При різних кутах нахилу транспортера при мікрохвильовому підведенні енергії з застосуванням механічної дії вібрації і без неї виміряли початкову і кінцеву температури зразків після закінчення проміжку часу (120 с), який відповідає середньому показнику експозиції при обробці зерна.

Схема експерименту приведена на рис. 3.

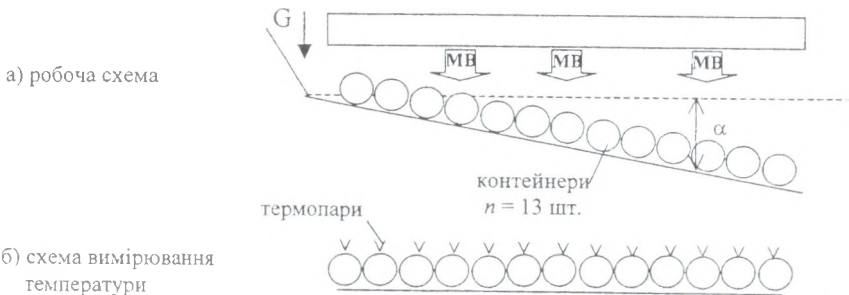


Рис. 3. Схема експерименту

Приймаємо, що об'єм та теплофізичні характеристики діелектрика в процесі впливу на нього мікрохвильового поля залишаються сталими, і основним змінним параметром є температура, яка є функцією розподілу МХ-енергії в об'ємі камери.

Під час експерименту вимірювали початкову та кінцеву температури в контейнерах з водою за допомогою термопар без впливу МХ-поля. При цьому дослід виконували двічі (з вібрацією та без неї) змінюючи кут нахилу віброканалу.

За результатами експерименту розраховували: збільшення температури в одиницю часу; кількість теплоти, отриманої одиницею об'єму діелектрика; потужність і ККД за формулами:

$$Q_t = m_i \cdot C_p \cdot \Delta t; \quad N_t = Q_t / \tau; \quad \eta_t = N_t / N_{i0}, \quad (6)$$

де C_p – питома теплоємність (для води $C_p = 4,18 \cdot 10^3$ Дж/кг·К);

$$N_{i0} = 1,5/13 = 0,115 \text{ кВт} - \text{стала.}$$

Отримані графічні залежності представлено на рис. 4.

В табл. 1 наведено визначення коефіцієнтів розподілу температурного поля за результатами експерименту.

Таблиця 1

Визначення коефіцієнтів розподілу температурного поля при МХ-обробці

Кут нахилу, град	Приріст температури, °С		K_t		K_{t1}		K_{t2}		\bar{K}_t	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
1.7	7,23	11,61	3,25	1,875	1,798	1,29	0,553	0,69	1,176	0,990
2.5	6,46	10,76	1,50	2,28	1,240	1,49	0,83	0,65	1,035	1,070
3.3	7,30	11,78	2,00	2,28	1,096	1,41	0,550	0,62	0,823	1,015
4.3	7,30	8,69	2,75	2,00	1,510	1,38	0,550	0,69	1,030	1,05
5.5	6,92	9,15	3,33	4,00	1,450	1,75	0,430	0,44	0,940	1,085

1 - без вібрації, 2 - з вібрацією

Коефіцієнти, які наведені в табл. 1 розраховували за формулами:

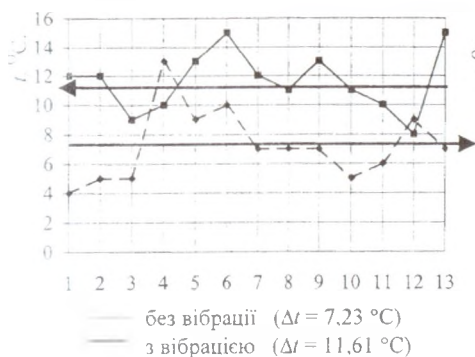
$$K_t = t_{max} / t_{min}; \quad K_{t1} = t_{max} / \Delta t; \quad K_{t2} = t_{min} / \Delta t; \quad \bar{K}_t = (K_{t1} + K_{t2}) / 2 \quad (7)$$

Для оцінки загальної ефективності дії вібрації на рівномірність розподілу МХ ЕМП в робочому об'ємі обробки одержаних даних проведено за такою схемою. Якщо ідеальна рівномірність відповідає вимозі $\bar{K}_0 = 1$, то різниця $\bar{K}_n = \bar{K}_0$ є показником нерівномірності, а в середніх визначеннях

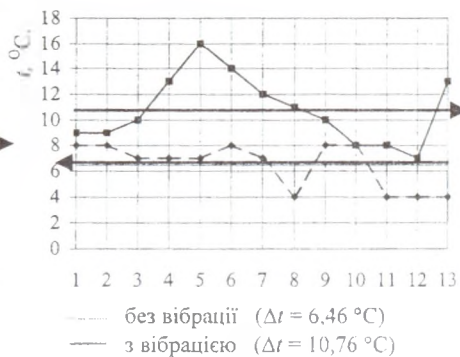
$$\frac{(\frac{1}{n} \sum_1^n \bar{K}_n)_1 - K_0}{(\frac{1}{n} \sum_1^n K_n)_2 - K_0} = \varepsilon, \quad (8)$$

де ε – співвідношення нерівномірності за умов експерименту.

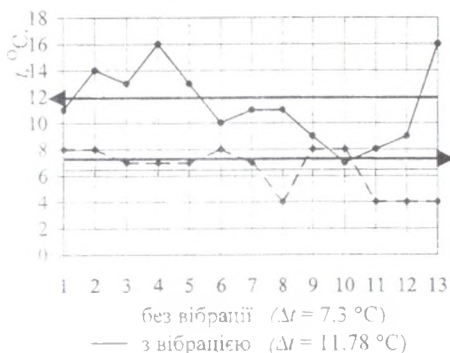
За даними, наведеними в табл. 1, нерівномірність розподілу МХ ЕМП в робочій камері зменшилась за рахунок дії вібрації на 54 %.



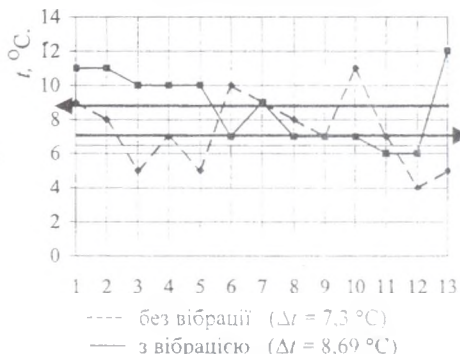
а) кут нахилу
вібротранспортера $1,7^\circ$



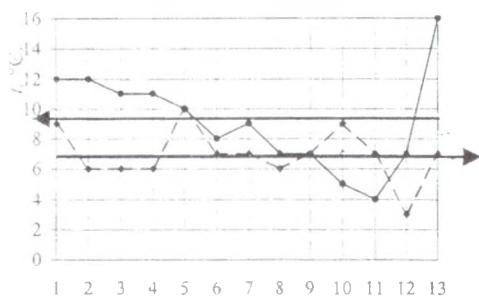
б) кут нахилу
вібротранспортера $2,5^\circ$



в) кут нахилу
вібротранспортера $3,3^\circ$



г) кут нахилу
вібротранспортера $4,6^\circ$



д) кут нахилу
вібротранспортера $5,5^\circ$

Рис. 4. Залежність розподілу температурного поля при МХ-обробці від зміни кута нахилу віброканалу з додатковою дією механічної вібрації та без неї

Розподіл температурного поля наглядно показано на рис. 5.

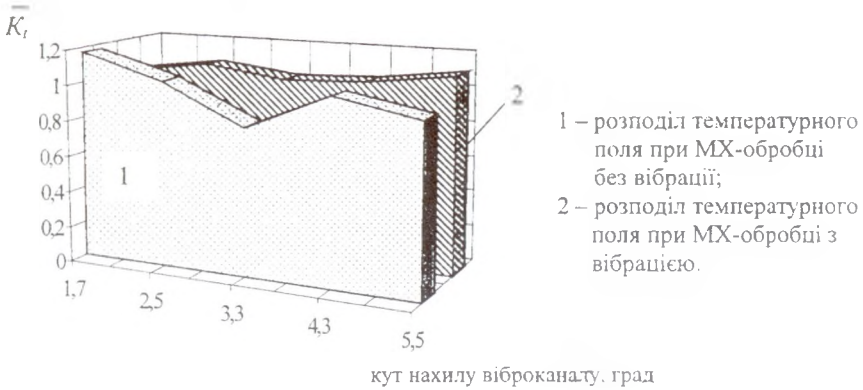


Рис.5. Залежність розподілу температури в апараті для передпосівної обробки зернових від вібрації та кута нахилу віброканалу

Для оцінки похибки вимірювань вважали, що одноразове вимірювання температури рідини за допомогою термопари проводиться протягом 5 секунд. Число вимірювань у одному досліді 13, тобто час вимірювань складає $\tau = 5 \cdot 13 = 65$ с. Це дає розрахункову похибку виміру $< 5\%$, що припустимо.

3. З метою одержання дійсних значень витрат для зерна різних культур в умовах дії вібрації нахиленого лотка, які не можна оцінити аналітично, були проведені додаткові експерименти, результати яких наведено в табл. 2.

Таблиця .

Залежність масової витрати (кг) зернового матеріалу від кута нахилу віброканалу на експериментальній установці

Культура	Кут нахилу віброканалу, α			
	1,7°	2,5°	3,3°	4,6°
Кукурудза	480	864	920	1560
Ячмінь	660	900	2124	4200
Гречка	617	900	1086	1350
Горох	720	990	990	1320
Ріпак	617	690	870	924
Соняшник	324	564	678	720
Соя	558	900	1008	1068
Овес	480	648	864	1008
Сорго	440	660	780	960
Пшениця	462	702	744	924

На основі експериментальних даних були отримані графічні залежності для кожної культури, які дозволили отримати розрахункові співвідношення масової витрати від кута нахилу віброканалу.

У третьому розділі обґрунтована можливість ефективної МХ-обробки зерна та наведені необхідні розрахунки дослідної установки.

Були розглянуті схеми декількох існуючих мікрохвильових апаратів, що за двома технічними характеристиками відповідали деяким заданим технологічним вимогам. Дослідження розподілу ЕМ-поля усередині камер цих установок показали його значну нерівномірність, що було причиною утворення «тіньових» зон, у яких зерно не одержувало необхідну дозу опромінення.

Таким чином, принциповою особливістю МХ-поля є нерівномірність розподілу ЕМП в просторі взаємодії, що пов'язано з урахуванням співвідношення лінійних розмірів робочої камери та довжини хвилі ЕМП. З метою поліпшення умов взаємодії об'єкту з МХ-полем здійснюються різноманітні конструктивні заходи.

Значні можливості в цьому плані відкриваються з використанням вібраційного транспортування.

Рівномірність розподілу МХ-поля досягається за рахунок вібраційного переміщення зернового шару, що знаходиться усередині робочого простору МХ-апарата.

Розглянуто вплив вібрації на оброблюване середовище в напрямку, що забезпечує її переміщення в процесі обробки. Транспортування на коливальному органі здійснюється під дією сил інерції і сил тертя середовища об транспортуючу поверхню.

Розрахункова схема вібраційного транспортера наведена на рис. 6.

Коливальний рух транспортера у вертикальній площині здійснюється за допомогою джерела вібрації (ексцентрикового).

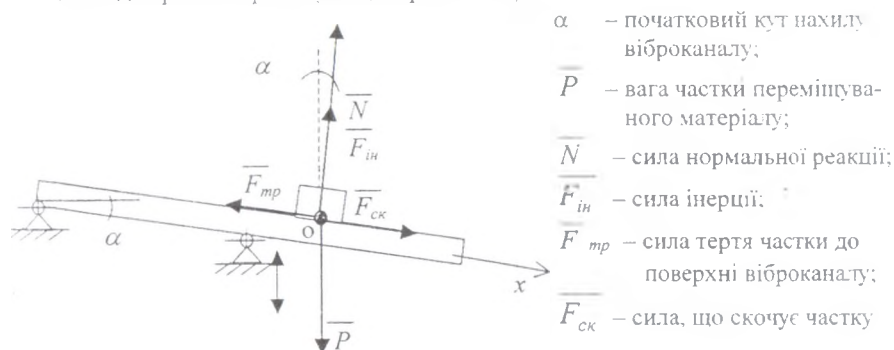


Рис. 6. Розрахункова схема вібраційного транспортера

Умова руху частки по транспортеру:

$$F_{ck} > F_{mp} \quad (9)$$

або $mg \cdot \sin \alpha > fmg \cdot \cos \alpha - fma, \quad (10)$

$$fa > g(f \cos \alpha - \sin \alpha), \quad (11)$$

$$a > [g(f \cos \alpha - \sin \alpha)]/f. \quad (12)$$

Отже, для того, щоб частинка розпочала рух по поверхні віброканалу вниз по його нахилу, необхідне виконання умови

$$a > \frac{q(f \cdot \cos \alpha - \sin \alpha)}{f} \quad (13)$$

Оскільки нас цікавить амплітудне значення швидкості і прискорення

$$4\pi^2 \cdot v^2 A = \frac{q(f \cdot \cos \alpha - \sin \alpha)}{f} \quad (14)$$

то, розв'язуючи рівняння відносно A , одержимо

$$A > [9,8 \cdot (0,7 \cdot 0,9659 - 0,2588)] / [0,7 \cdot 4 \cdot 3,142 \cdot 50^2 > 0,085 \text{ мм.}$$

Таким чином, при амплітуді коливного ексцентрика, яка перевищує 0,1 мм буде здійснюватися рух зерна по транспортеру вниз по його нахилу.

Розглянемо умову, за якої буде здійснюватися відрив частки від поверхні транспортера, тобто одержання віброкиплячого шару, при цьому сила тертя $F_{mp} = 0$.

Частка цілком відірветься від поверхні транспортера за умови:

$$f m a > f m g \cdot \cos \alpha \quad \text{або} \quad a > g \cdot \cos \alpha; \quad (15)$$

$$a > 9,8 \cdot 0,9659 > 9,5 \text{ м/с}^2.$$

Амплітуда переміщення віброканалу у вертикальній площині, при якій має місце відривання частки від його поверхні, знаходиться як

$$A > a / 4 \cdot \pi^2 v^2 > 9,5 / 4 \cdot 3,14^2 \cdot 50^2 > 0,096 \text{ мм.} \quad (16)$$

З наведених розрахунків видно, що при амплітуді переміщення віброканалу у вертикальній площині 1 мм будуть створені умови для гарантованого переміщення зерна вниз по нахилу транспортера та одержання віброкиплячого шару.

Експериментально отримані режими реалізації ефекту передпосівної біостимуляції зерна після впливу МХ ЕМП були покладені в основу розробки дослідного зразка мікрохвильового апарату.

Основні задачі при виборі робочих камер для апарату МХ-обробки складаються в узгодженні робочого діапазону частот камери і генератора та забезпеченні необхідної рівномірності нагрівання діелектрика (зерна), що оброблюється.

Лінійні розміри резонаторів, зазвичай застосовуваних у МХ-апаратах, у 5... разів перевищують довжину хвилі генератора. Тому змінюючи в незначних межах параметри резонатора чи робочу частоту генератора, у резонаторі можна створити кілька видів коливань, які мають різне розташування вузлів і пучностей електричного поля, що призводить до істотного збільшення рівномірності нагрівання шару.

Зміна робочої частоти генератора пов'язана зі значними конструктивними труднощами і подорожчанням установок, оскільки вимагає створення спеціальних генераторів.

Прямокутні резонатори розраховуються за умови, що довжини хвиль власних коливань прямокутних резонаторів визначаються рівністю

$$\lambda = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{m}{2a}\right)^2 + \left(\frac{n}{2b}\right)^2 + \left(\frac{l}{2c}\right)^2}} \quad (17)$$

де m, n, l – будь-які цілі числа;

a, b, c – лінійні розміри резонатора.

При обраній і фіксованій довжині хвилі генератора для $\epsilon', tg \delta$, відповідної початковій температурі середовища, визначається геометрія камери.

На підставі проведених розрахунків одержані такі показники як геометричні розміри камери та параметри хвильоводу, а також розроблена експериментальна лабораторна установка.

Таким чином, основними конструктивними розрахунковими засадами щодо отримання ефективної взаємодії МХ-поля з віброшаром зернових та інших культур є:

- вібротранспортер;
- зміна кута нахилу;
- МХ-поле.

Розроблено методику інженерного проектування МХ-апарату.

Вихідними даними для розрахунку МХ-апарату є дані з діелектричних властивостей оброблюваного об'єкта, продуктивності установки, припустимої потужності споживання електроенергії.

Розрахунок установки проводиться за таким алгоритмом:

– визначається робоча частота, виходячи з діелектричних характеристик продукту та його об'єму, а також необхідної максимальної потужності МХ-апарату;

– розраховують кількість камер або довжину простору взаємодії в залежності від визначених значень швидкості наростання температури;

– у залежності від характеру продукту, що обробляють, припустимого часу обробки продукту та температури обробки визначають необхідність введення в установку додаткових енергоносіїв (гаряче повітря, вакуум, знижене температура);

– виходячи з необхідної продуктивності, вибирають поперечний переріз камери і швидкість проходження об'єкта обробки (зерна);

– об'єкт (зерно, сипкий матеріал, тощо) визначає розміри секції і характер транспортування.

В залежності від маси, габаритів, діелектричних характеристик об'єкта обробки вибирається той чи інший тип камери.

У **четвертому розділі** наведено результати дослідження сумарного ефекту послідовної дії МХ-поля та низькочастотного магнітного поля.

Перспективним являється використання для передпосівної обробки зернових культур спільний вплив мікрохвильового і низькочастотного електромагнітних полів (НЧ ЕМП) при оптимальних режимах. Це дозволить знизити загальну потужність МХ-апарату. При цьому зменшаться енергетичні витрати на обробку, вартість установки в зв'язку з використанням менш потужних генераторів мікрохвильового діапазону, що не потребують застосування системи рідинного охолодження.

Результати лабораторної схожості та енергії проростання, отримані після спільної обробки при розроблених режимах і пророщення зерна деяких культур, наведено в табл. 3.

Експерименти виконувались на установці, призначеної для електромагнітної біостимуляції передпосівної обробки зернового матеріалу «Біостим-2». Живлення установки здійснювалось від мережі змінного струму 220 В 50 Гц, споживна потужність не перевищувала 2000 Вт.

**Зміна енергії проростання та лабораторної схожості
в залежності від виду передпосівної обробки**

Культура	Вид ЕМП	Енергія проростання, %	Лабораторна схожість, %
Соя рядова	контроль	48	53
	МХ ЕМП	64	66
	НЧ+МХ ЕМП	68	70
Кукурудза, сорт «Одеська-10»	контроль	45	63
	МХ ЕМП	54	71
	НЧ+МХ ЕМП	63	78
Ячмінь рядовий	контроль	42	53
	МХ ЕМП	54	65
	НЧ+МХ ЕМП	58	74
Соняшник «Козацький»	контроль	76	80
	МХ ЕМП	85	88
	НЧ+МХ ЕМП	87	92
Пшениця «Айсберг»	контроль	68	72
	МХ ЕМП	88	90
	НЧ+МХ ЕМП	90	92

Обробку зернових культур здійснювали імпульсним синусоїдальним магнітним полем частотою 50 Гц при величинах імпульсного магнітного поля величиною 2,5; 5 і 10 мТс.

Проведені експерименти по послідовній передпосівній обробці зерна різних культур з метою стимуляції їхніх посівних якостей мікрохвильовим і НЧ ЕМП підтвердили позитивний ефект.

Лабораторні дослідження з передпосівної обробки зерна НЧ ЕМП проведені на різних резонансних частотах з наступним їхнім пророщуванням. визначенням схожості та енергії проростання показали, що при рекомендованих режимах обробки схожість і енергія проростання зростають на 15...20 % у порівнянні з контрольними зразками. Слід зазначити, що МХ ЕМП є більш ефективним для знищення насінневої інфекції, ніж низькочастотне ЕМП. Виявлено, що ефект післядії при мікрохвильовій обробці зберігається більш тривалий час, ніж при низькочастотному методі впливу на зерно різних культур.

Не розглядаючи конкретні механізми впливу поля, які складають самостійну складну задачу, можна припустити, що причиною зміни фізіологічних функцій зернових та інших культур під впливом комбінованих МХ та НЧ ЕМП є резонансна дія поля на рухливість не тільки неорганічних катіонів, але й інших заряджених часток у клітинах.

Для розрахунку резонансної частоти використали формулу А.Б. Узденського

$$f_n = \frac{767}{n} \cdot \frac{Q}{M}, \quad (18)$$

де f_n – резонансна частота;

Q – валентність іона;

M – маса, виражена в атомних одиницях маси.

За даними рис. 7, діапазони резонансних частот біохімічно важливих органічних іонів складають від 1 до 20 Гц. В область 11...17 Гц попадають «зарядоємні» молекули з високим зарядом і незначною молекулярною масою, які завдяки могутній електростатиці, імовірно, відіграють важливу роль у регуляції біохімічних процесів.

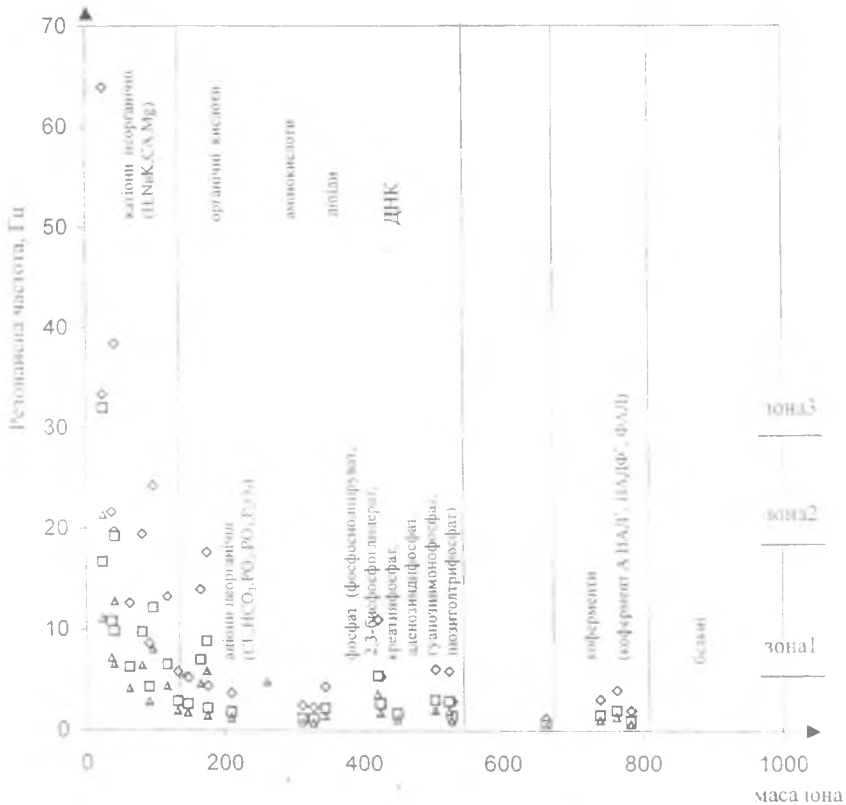


Рис. 7. Область розподілу резонансних частот

ВИСНОВКИ

1. Науково обґрунтована доцільність застосування при обробці зерна мікрохвильового електромагнітного поля спільно з механічною вібрацією для стимуляції посівної якості насіння.

2. Отримано спрощене розв'язання екстационарного диференціального рівняння в частинних похідних, яке встановлює зв'язок безрозмірної температури з лінійною координатою і часом. Це дозволяє, не проводячи експериментального вимірювання температури зерна, прогнозувати максимальне значення його температури в центрі шару за визначений проміжок часу МХ-обробки (60...120 с в залежності від зерна, що обробляється).

3. Розроблена методика експериментального визначення спільного впливу механічної вібрації та мікрохвильової обробки на рівномірність розподілу енергії в робочій камері. Встановлено, що застосування вібрації дозволяє знизити нерівномірність розподілу МХ ЕМП на 54 %.

4. Визначені видаткові характеристики, потужність та встановлена залежність масових витрат зерна (продуктивності) вібротранспортера від кута нахилу його каналу в діапазоні 1,7...5,5°.

5. Запропоновано методику інженерного проектного розрахунку МХ-апаратів. Обґрунтовано конструкторське виконання та геометричні характеристики МХ-апарату за умовою взаємодії з МХ-полем і вимогами по продуктивності.

6. Встановлено, що при послідовному впливі мікрохвильового і низькочастотного електромагнітного полів на насіння сільськогосподарських культур поліпшуються їхні посівні якості. Схожість і енергія проростання при розроблених режимах обробки зростають на 15...20 % у порівнянні з необробленим насінням.

7. На підставі виконаних теоретичних і експериментальних досліджень спільно з СГП (м. Одеса) була створена фермерська установка безперервної дії для передпосівної обробки насіння зернових та олійних культур МХ-енергією продуктивністю 1000...1500 кг/год і потужністю МХ-енергії до 0.15 кВт/кг.

Результати попередніх випробовувань установки у промислових умовах показали, що завдяки прийняттю схемотехнічним рішенням її техніко-експлуатаційні характеристики вигідно відрізняються від аналогічних характеристик існуючих МХ-установок.

8. Економічна ефективність обробки МХ-полем при розрахунку на 1 тону сортового насіння соняшника складає 30000 грн. При обробці МХ-полем елітного насіння соняшнику прибуток з 1 тонни складе 300000 грн.

Список опублікованих наукових праць

1. Калінін Л.Г. Дослідження мікрохвильового сушіння насінного зерна / Л.Г.Калінін, Л.В. Сердюк, С.С. Орлова // ОДАХТ. Наук. праці. Вип. 20. – Одеса, 1999. – С. 39-43.

Здобувач обґрунтувала існуючі методи сушіння насінневого зерна та провела досліді по зміні схожості м'якої пшениці при мікрохвильовій обробці.

2. Микроволновые устройства для предпосевной обработки семян сельскохозяйственных культур. Опыт разработки / Л.Г. Калинин, С.С. Орлова, В.П. Тучный, В.П. и др. // ОДАХТ. Наук. праці. Вип. 24. – Одеса, 2002. – С. 40-43.

Здобувач приймала участь в розробці дослідного зразка мікрохвильового апарата.

3. Калинин Л.Г. Сравнительные характеристики микроволновой и низкочастотной магнитной обработки семян перед посевом / Л.Г. Калинин, Г.И. Панченко, С.С. Орлова // *Хранение и переработка зерна*. – 2004. – № 5. – С. 25-27.
- Здобувач брала участь в експериментальних дослідженнях по спільній обробці зерна сільськогосподарських культур з цілю стимуляції їх посівних якостей мікрохвильовим і низькочастотним ЕМП.*
4. Калинин Л.Г. Методика оцінки режимних параметрів мікрохвильової обробки сипких систем / Л.Г. Калинин, С.С. Орлова // *Хранение и переработка зерна*. – 2004. – № 8. – С. 34-36.
- Здобувач провела визначення основних ефективних значень теплофізичних характеристик основних сільськогосподарських культур, приймала участь в обґрунтуванні і розробці методики оцінки режимних параметрів мікрохвильової обробки сипких систем.*
5. Калинин Л.Г. Эксплуатационные показатели микроволнового пристрою “Микростим – 2” для передпосівної обробки насіння / Л.Г. Калинин, В.В. Малиновський, С.С. Орлова // *ОНАХТ. Наук. праці. Вип. 27*. – Одеса, 2004. – С. 265-268.
- Здобувач приймала участь у вивченні експлуатаційних показників мікрохвильового апарата “Микростим – 2”.*
6. Калинин Л.Г. Як визначити оптимальну продуктивність мікрохвильової установки для передпосівної обробки сільськогосподарських культур / Л.Г. Калинин, С.С. Орлова // *Зерно і хліб*. – 2004. – № 4. – С. 24-25.
- Здобувач виконала експериментальні дослідження при застосуванні вібротранспортеру для переміщення оброблюваного дисперсного матеріалу (зерна), отримала залежність масової витрати від кута нахилу вібротранспортера.*
7. Калинин Л.Г. Облік нерівномірності розподілу електромагнітного поля в апараті для мікрохвильової обробки зерна / Л.Г. Калинин, С.С. Орлова // *Зернові продукти і комбікорми*. – 2005. – № 2. – С. 48-50.
- Здобувач брала участь в проведенні експерименту по вивченню розподілу температури в дисперсних системах, під час їх руху.*

АНОТАЦІЯ

Орлова С.С. Мікрохвильова обробка зерна під час руху у віброканалі. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.18.12 – процеси і обладнання харчових, мікробіологічних та фармацевтичних виробництв. – Одеська національна академія харчових технологій, Одеса, 2006.

Дисертація присвячена дослідженню особливостей взаємодії дисперсного шару основних видів зернових культур з МХ-полем з метою обґрунтування конструкції, конструктивно-режимних параметрів та продуктивності МХ-апарату, що гарантувало досягнення в апараті ефекту біостимуляції зерна з високим ступенем рівномірності.

Принциповою особливістю МХ-поля є нерівномірність розподілу ЕМП в просторі взаємодії, що пов'язано з урахування співвідношення лінійних розмірів робочої камери та довжини хвилі ЕМП. З метою поліпшення умов взаємодії об'єкту з МХ-полем здійснюються різноманітні конструктивні засоби.

Для переміщення зерна передбачено віброканал, який забезпечує додаткове перемішування матеріалу при його транспортуванні і, тим самим, забезпечує більш рівномірну його обробку МХ-полем по об'єму.

Використання вібраційної схеми руху зерна (дисперсного матеріалу) дає найкраще рішення задачі, оскільки у цьому випадку частки матеріалу одержують додаткове вертикальне прискорення, що в остаточному підсумку забезпечує інтенсивне перемішування часток у шарі по ходу потоку і забезпечує необхідну рівномірність розподілу сприйнятої матеріалом МХ-навантаження.

Проведені та оброблені результати наведених у роботі експериментів, розроблена методика визначення і контролю поточної температури в дисперсному середовищі (шару зерна) при мікрохвильовому підведенні енергії, а також сформульовані висновки та вимоги до конструювання напівпромислового зразку.

Ключові слова: мікрохвильова обробка, мікрохвильова енергія, температура, дисперсне середовище (шар зерна), віброканал, передпосівна біостимуляція, перемішування, рівномірність.

АННОТАЦИЯ

Орлова С.С. Микроволновая обработка зерна при движении в виброканале. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.18.12 – процессы и оборудование пищевых, микробиологических и фармацевтических производств. – Одесская национальная академия пищевых технологий, Одесса, 2006.

Диссертация посвящена исследованию особенностей взаимодействия вибрирующего дисперсного слоя основных видов зерновых культур с МВ-полем с целью получения информации, необходимой для реализации в специализированной аппаратуре эффекта предпосевной биостимуляции и создания МВ-аппарата для предпосевной обработки зерна.

Для перемещения зерна предусмотрен вибротранспортер, обеспечивающий дополнительное перемешивание материала при его транспортировании и, тем самым, обеспечивающий более равномерную его обработку МВ-полем по объему.

Использование вибрационной схемы движения дисперсного материала дает наилучшее решение задачи, поскольку в этом случае частицы материала получают дополнительное вертикальное ускорение, которое в конечном итоге обеспечивает интенсивное перемешивание частиц в слое по ходу потока и обеспечивает необходимую равномерность распределения воспринимаемой материалом МВ-нагрузки.

Проведенные и обработанные результаты приведенных в работе экспериментов, разработана методика определения и контроля текущей температуры в

дисперсной среде (слое зерна) при микроволновом подводе энергии, а также сформулированы выводы и требования для конструирования полупромышленного образца.

Ключевые слова: микроволновая обработка, микроволновая энергия, температура, дисперсная среда (слой зерна), виброканал, предпосевная биостимуляция, перемешивание, равномерность.

THE SUMMARY

Orlova S.S. «Microwave treatment of grain it movement of vibration channel». – Manuscript.

The dissertation for competition of a candidate of engineering sciences academy degree by 05.18.12 speciality – processes and equipment of food, microbiological and pharmaceutical manufactures. – Odessa National Academy of Food Technologies, Odessa, 2006.

The dissertation is devoted to features of vibrating disperse layer of basic grains, which are districted in Ukraine, and microwave field interaction investigation which the object of gathering the information which is necessary for realization of presowing biostimulation effect in the dedicated equipment.

For the grain's movement a vibrating conveyor is stipulated. It provides additional mixing of a material during its transportation, thus supplying equaler processing of its volume. The use of the disperse material vibrating scheme of movement provides the best solution of given problem because in this way, besides the horizontal movement, that is unnecessary for material charges through the working directed vibration, particles get additional vertical acceleration, that finally supports the intence mixing of particles in the layer by the way of the flow movement and the unnecessary evenness of the microwave loading distribution, that the material perceives. Carried out and processed results are given in work of experiment, the method of definition and inspection of current temperature in the disperse environment (grain layer) in the presence of MW energy admission, and the conclusions are also formulated.

Key words: microwave processing, microwave energy, temperature, disperse environment (grain layer), vibrating conveyor, presowing biostimulation effect, mixing, uniformity.