НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

Радіотехнічний факультет
(повна назва інституту/факультету)

Радіоконструювання і виробництва радіоапаратури
(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ Є. А. Нелін
(підпис) (ініціали, прізвище)

“_17_” __червня___2015 р.

Дипломна робота

на здобуття ступеня бакалавра

зі спеціальності 6.050902 — Радіоелектронні апарати
(код і назва)

на тему: Пристрій сушки зерна з двохстороннім опроміненням

Виконав: студент _4_ курсу, групи РБ-11
(шифр групи)

Васьковець Вадим Миколайович _____ _____
(прізвище, ім’я, по батькові) (підпис)

Керівник доцент Сидорук Ю. К. _____ _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

Консультант охорона праці к.т.н. доцент Гусєв А. М. _____ _____
(назва розділу) (посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище, ініціали) (підпис)

Рецензент старший викладач Захарченко О. С. _____ _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали) (підпис)

Засвідчую, що у цій дипломній роботі
немає запозичень з праць інших авторів
без відповідних посилань.
Студент _____
(підпис)

Київ – 2015 року

В. М. Васьковець, КІВРА 2015

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут»

Інститут (факультет)_____Радіотехнічний факультет_____
(повна назва)

Кафедра _____Радіоконструювання та виробництва радіоапаратури_____
(повна назва)

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність_____6.050902— Радіоелектронні апарати_____
(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
_____ Є. А. Нелін
(підпис) (ініціали, прізвище)
«_17_» _червня_ 2015 р.

ЗАВДАННЯ
на дипломну роботу студенту

_____Васьковець Вадим Миколайович_____
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи ____Пристрій сушки зерна з двохстороннім опроміненням__ ,
керівник роботи _____Сидорук Юрій Кіндратович, доцент _____ ,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «_21_»_ травня__ 2015 р. №488/2с

2. Термін подання студентом роботи ____червня 2015 року _____

3. Вихідні дані до роботи Існуючі розробки та винаходи з детальним аналізом; наукові досягнення інших авторів, що досліджували взаємодію поля надвисоких частот з зерном; задано загальну потужність випромінення магнетронів._____

4. Зміст роботи Вступ. 1.Огляд способів та пристроїв сушки та знезараження зерна. 2.Характер взаємодії електромагнітного поля з зерном. 3.Установка для сушки та знезараження зерна з двохстороннім опроміненням. 4.Охорона

В. М. Васьковець, КІВРА 2015

праці та безпека при виникненні надзвичайних ситуацій. Висновки. Список посилань.

5. Перелік ілюстративного матеріалу (із зазначенням плакатів, презентацій тощо) Презентація в середовищі Microsoft PowerPoint

6. Консультанти розділів роботи*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Гусєв А. М. к.т.н. доцент		

7. Дата видачі завдання 22 вересня 2014 року

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	Збір наукових матеріалів для виконання науково-дослідної роботи.	22.09.14 – 30.10.14	Виконано
2.	Аналіз сучасних методів сушки сипучих матеріалів, а також існуючих пристроїв для сушіння	1.11.14 – 1.02.15	Виконано
3.	Аналіз впливу електромагнітного поля на зерно. Аналіз принципу конструкції пристрою.	3.02.15 – 25.03.15	Виконано
4.	Розрахунок розподілу напруженості електричного поля.	1.04.15 – 22.04.15	Виконано
5.	Розділ охорони праці	23.04.15 – 29.05.15	Виконано
6.	Оформлення висновків	1.06.15 –02.06.15	Виконано
7.	Доробка остаточного варіанту	03.06.15 – 10.06.15	Виконано
8.	Передача роботи на рецензування	11.06.15 – 12.06.15	Виконано
9.	Представлення завідуючому кафедри	17.06.15	Виконано

Студент _____ В. М. Васьковець
(підпис) (ініціали, прізвище)

Керівник роботи _____ Ю. К. Сидорук
(підпис) (ініціали, прізвище)

* Консультантом не може бути зазначено керівника дипломної роботи.

В. М. Васьковець, КІВРА 2015

АНОТАЦІЯ

Дипломну роботу викладено на 86 сторінках, що містять 38 ілюстрацій, 4 таблиці, 18 використаних джерел та 1 додаток.

Метою роботи є наведення теоретичних відомостей для створення сушарки, принцип роботи якої заснований на використанні електромагнітного поля НВЧ. Розглядається оптимізований варіант НВЧ сушарки з використанням кількох магнетронів малої та середньої потужності (генераторів НВЧ енергії), а також окремих блоків, з яких складається пристрій.

Предметом роботи є розрахунок розподілу напруженості електромагнітного поля з урахуванням поглинання і фази відбитої хвилі при двохсторонньому опроміненні електромагнітним полем НВЧ.

Ключові слова: електромагнітне поле, генератор, зерно, магнетрон, НВЧ сушарка, опромінення, оптимізація, поглинання, поширення, сушіння.

В. М. Васьковець, КІВРА 2015

ANNOTATION

This work is presented in 86 pages, which contain 38 figures, 4 tables, 18 sources and 1 appendix.

The aim of the thesis is the theoretical data inference for a dryer. The principle of the machine is based on the use of microwave electromagnetic field. We consider the optimal variant of the SHF dryer using low-to medium-power magnetrons (SHF energy generator), as well as individual units that make up the device.

The subject is to calculate the distribution of electromagnetic field on the basis of absorption and phase of the reflected wave at bilateral irradiation by SHF electromagnetic field.

Keywords: electromagnetic field, generator, grain, magnetron, SHF drying, radiation, optimization, absorption, distribution, drying.

В. М. Васьковець, КІВРА 2015

ЗМІСТ

Перелік скорочень, умовних позначень та термінів 8

Вступ 9

1 Огляд методів та пристроїв сушіння та знезараження зерна 11

1.1 Короткий огляд способів сушки та знезараження зерна 11

1.1.1 Використанням інфрачервоного випромінювання для сушки зерна 12

1.1.2 Сушка зерна гарячим повітрям з використанням активної вентиляції 14

1.1.3 Сушіння зерна з використанням електромагнітного поля НВЧ 16

1.1.4 Основні методи знищення патогенної мікрофлори 19

1.2 Огляд існуючих сушарок, в яких застосовується електромагнітне поле надвисоких частот 20

2 Характер взаємодії електромагнітного поля з зерном 29

2.1 Основні параметри електромагнітної хвилі при поширенні в середовищі 29

2.2 Зміна вологості зерна при зміні діелектричних властивостей 34

2.3 Особливості взаємодії НВЧ випромінювання в речовині 36

2.4 Особливості взаємодії електромагнітного поля НВЧ з водою 38

Висновок 41

3 Установка для сушки та знезараження зерна з двохстороннім опроміненням 42

3.1 Побудова установки для сушки та знезараження зерна електромагнітним полем НВЧ 42

3.2 Розподіл напруженості електромагнітного поля в робочій камері 48

Висновок 68

4 Охорона праці та безпека при виникненні надзвичайних ситуацій 69

4.1 Визначення основних потенційно шкідливих та небезпечних факторів та їх оцінка 69

В. М. Васьковець, КіВРА 2015

4.2 Організаційні заходи та технічні рішення з безпеки і гігієни праці та виробничих приміщень 70
4.2.1 Освітлення робочого місця 70
4.2.2 Організація робочого місця при роботі за персональним комп'ютером 71
4.2.3 Електробезпека 73
4.2.4 Допустимі норми виробничого шуму 75
4.2.5 Параметри мікроклімату робочої зони 75
4.2.6 Забезпечення безпеки при виникненні надзвичайних ситуацій 76
4.2.7 Організація ефективної роботи системи оповіщення виробничого персоналу у разі виникнення надзвичайної ситуації 77
4.2.8 Технічні та організаційні вирішення питань з пожежної безпеки .. 78
Висновки 80
Список посилань 81
Додатки 83
Додаток А 84

В. М. Васьковець, КІВРА 2015

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА ТЕРМІНІВ

ВДТ — Візуальний дисплейний термінал;

ВЧ — Висока частота;

ЕМП — Електромагнітне поле;

ІЕМП — Імпульсне електромагнітне поле;

ІЧВ — Інфрачервоне випромінювання;

ККД — Коефіцієнт корисної дії;

ЛД — Лампа денного світла;

НВЧ — Надвисока частота;

НС — Надзвичайна ситуація;

ПК — Персональний комп’ютер;

СО — Система оповіщення.

В. М. Васьковець, КІВРА 2015

ВСТУП

Збільшення виробництва продуктів землеробства і тваринництва є головним завданням сільського господарства, мета якого полягає в задоволенні потреб населення в продовольстві. Збереження вирощеного врожаю досягається, в першу чергу, за допомогою сушки, яка є єдиним надійним способом припинення активних біохімічних процесів в рослинних матеріалах і їх консервування. Низька продуктивність сушильних комплексів і недостатня забезпеченість ними призводять до того, що через несвоєчасну сушку на зернотоках щорічно втрачається значна частина врожаю зерна.

У практиці сільськогосподарського виробництва використовують різноманітні прийоми для інтенсифікації процесу сушіння зерна: використання електроактивованого повітря, попередній нагрів зерна, застосування рециркуляційних режимів, вакуумування зони сушки, зміна газового складу сушильної камери і багато інших. Останнім часом пропонується використовувати вплив магнітного поля надвисокої частоти (НВЧ) на зерно. В результаті розроблені установки, які дозволяють удосконалити існуючі промислові сушарки, що застосовуються на сільськогосподарських підприємствах. Так само вивчалося застосування поля надвисокої частоти для передпосівної обробки насіння.

Використання пристроїв для сушіння та знезараження зернових культур за допомогою електромагнітного поля надвисоких частот (НВЧ) на сьогоднішній день є одним з найбільш ефективних та економічно вигідних способів оброблення зерна та інших сільськогосподарських продуктів. Завдяки цьому, можна використовувати електричну енергію, яка в порівнянні з іншими джерелами енергії є недорогою.

НВЧ сушарки мають ряд переваг порівняно з іншими, які використовують в сільському господарстві. Практично вся вироблена енергія, іде на нагрів матеріалу, а установка та повітря майже не нагрівається.

В.М. Васьковець, КВРА 2015

Процес сушки проходить набагато швидше, через те, що матеріал піддається рівномірному прогріву, не лише на поверхні, а також проводиться ефективна дезінсекція. Представлені сушарки зовсім не викидають шкідливих речовин в атмосферу. В даних установках керування потужністю електромагнітного поля відбувається досить просто, завдяки чому виключається варіант перегріву матеріалу. НВЧ-сушарки також дуже мобільні і можуть використовуватись всюди, де є доступ до електромережі або використання електрогенеранора.

Існуючі установки для НВЧ обробки застосовуються для сушіння в шахтних, конвеєрних сушарках, однак практично не вивчено застосування поля НВЧ для сушіння в бункерах.

Виготовлення і розробка НВЧ-сушарок в сільському господарстві досить доцільна. Це було підтверджено багатьма науковими дослідженнями, які підтверджують їх ефективність і економічність.

В. М. Васьковець, КіВРА 2015

4

1 ОГЛЯД МЕТОДІВ ТА ПРИСТРОЇВ СУШІННЯ ТА ЗНЕЗАРАЖЕННЯ ЗЕРНА

1.1 Короткий огляд способів сушки та знезараження зерна

У багатьох районах країни природно-кліматичні умови зумовлюють прибирання значної частини врожаю зернових, олійних та інших культур з підвищеною вологістю, при якій не може бути забезпечене їх тривале зберігання.

Основна ціль в сушінні сільськогосподарських продуктів полягає в зменшенні його вологості до рівня, коли продукти будуть зберігатись і не псуватись.

Проте сушіння використовують не лише для зменшення рівня вологи в продукті. Одночасно з цим в зерні проходить ряд фізичних і біохімічних процесів, що впливають на якість зерна. При сушінні роль повітря не обмежується функціями теплоносія і вологопоглинача. Кисень з повітря бере участь в біохімічних процесах в зародку і ендоспермі, які посилюються при підвищенні температури. При цьому інтенсифікуються процеси фізіологічного дозрівання зерна, що має велике значення для поліпшення його якості. Вчасно і правильно проведена сушка підвищує стійкість зерна при зберіганні, покращує його насіннєві та продовольчі властивості.

Сущка прискорює післязбиральне дозрівання зерна, вирівнює зернову масу за ступенем зрілості і вологості, покращує зовнішній вигляд зерна. Сушка робить позитивний вплив на якість продуктів переробки зерна. Сушка впливає на шкідників і патогенну мікрофлору зерна, дозволяє в деяких випадках поліпшити технологічні властивості дефектного зерна (пошкодженого). Таким чином, сушка дозволяє привести зерно в стійкий стан для зберігання і поліпшити його якість

В.М.Васьковець, КІВРА 2015

1.1.1 Використанням інфрачервоного випромінювання для сушки зерна

Процес інфрачервоного сушіння зернових має суттєві переваги порівняно з сушінням конвективним методом, через те, що не використовується органічне пальне. Інфрачервоні промені, знаходяться в спектральному проміжку між 760 нм та 420 мкм, та характеризуються високою тепловою дією, тому значно поширене використання ІЧ випромінювання в сільському господарстві для сушки зерна, теплової дезінсекції та ін. Принцип роботи інфрачервоного методу полягає в тому, що волога, яка знаходиться всередині зернини, поглинає інфрачервоні промені, через це відбувається її нагрівання. Іншими словами, енергію безпосередньо підводять до вологи, через це і вдалося досягти не лише високої ефективності, а й високої економічності. При використанні даного способу, відпадає потреба в перевищенні температури вологого зерна. Тому, процес випаровування можливо провести досить інтенсивно.

Одночасно, інфрачервона сушка зерна при температурі 40-60˚С приводить до знищення шкідливої мікрофлори, що наявна на поверхні зерна, через це воно стає чистим. Окрім цього, низькі температури не нагрівають технічне обладнання, і через це втрати тепла через вентиляцію відсутні.

Завдяки інфрачервоному випромінюванню, є можливість передачі енергії коли відсутній контакту між зерном та джерелом випромінювання, так як повітря не створює перешкод для проходження ІЧ променів.

Інфрачервоне випромінювання використовують для передпосівної обробки: впливом на насіння для зниження твердості насіння, а також для благотворного впливу на посівні якості. Інфрачервона обробка насіннєвих культур проходить протягом кількох хвилин,а сушка методом вентиляції потребує кількох днів. При інфрачервоному опроміненні потужністю 40...50 Вт/м^2 відбувається активація ферментів насіння, за 15...25 с температура

В. М. Васьковець, КіВРА 2015

зернини зростає до 30...50°С це позитивно впливає на якість, урожайність зерна, а також на швидкість проростання.

Інфрачервоне випромінювання також має дезінсекційну дію і є ефективним методом знезараження зернових культур і дозволяє захистити насіння від впливу шкідливої мікрофлори. При дезінсекції впливають потужністю 17 кВт/год. І при цьому якість зерна не погіршується.

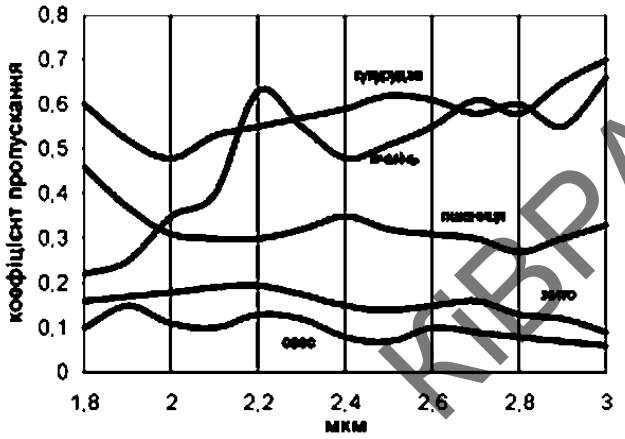

Рисунок 1.1 — Залежність коефіцієнта пропускання ІЧ випромінювання для різних видів зерна

Різні зернові культури по різному пропускають інфрачервоне випромінювання (рис. 1.1). Під час опромінення зерна, відбувається його швидке нагрівання, проте зернина прогрівається не повністю, а лише верхні шари. Просушування верхніх шарів зерна ефективний особливо тоді, коли потрібно знімати оболонку (луску) і підвищує якість облущення насіння.

Метод інфрачервоної сушки потребує значних затрат енергії, через це часто використовують комбіновані методи комбінуючи, наприклад, з активною вентиляцією. Ще одним недоліком даного виду сушки полягає в тому, що волога всередині довго зберігається, а поглинання теплоти відбувається завдяки зовнішній поверхні зерна.

До переваг сушки інфрачервоним випромінюванням можна віднести простоту та високу продуктивність обладнання для сушки, яким можна випарувати близько 25 % води із зерна протягом 90-100 с, а потім, вже з прогрітого зерна протягом 5-6 хвилин випаровується залишкова волога.

В.М.Васьковець, КВРА 2015

Досягти вологості 12-14% можна за 8-10 хвилин [1]. Використовуючи даний метод, можна досягнути високої якості зерна після сушіння, захистити від впливу шкідників, а також поліпшити передпосівні якості насіння різноманітних зернових культур.

1.1.2 Сушка зерна гарячим повітрям з використанням активної вентиляції

Для проведення сушіння сільськогосподарської продукції, було розроблено багато методів та способів сушки за основу класифікації, яких зазвичай приймають способи передачі теплової енергії. У сучасних установках найчастіше тепло передають від агента сушіння, який рухається: нагрітого в калориферах повітря або гарячої суміші повітря з топковим газами. Таку сушку називають конвективною.

Сушка відбувається методом продувки гарячого повітря крізь шар зерна по відвідних і підвідних повітряних каналах. Зважаючи на велику кількість поперечних каналів відбувається рівномірний розподіл загального об’єму теплоносія в бункері зерносушарки, а також ефективніше його використання. Крім того, саме через велику кількості поперечних повітряних каналів в зерносушарці, шар зерна, що просушується, менший і продувка відбувається з обох сторін, що також впливає на ефективність енергетичного використання теплоносія, а це позначається на витраті енергетичних затрат.

Даний метод є неефективний та енергоємний. У випадку, якщо вологість зернової маси значна, то його не можна просушувати сильно нагрітим повітрям, тобто чим вологість зерна більша, тим необхідна менша температура при його сушінні і тим більше потрібно часу на виконання всього процесу. Сушка відбувається не рівномірно — чим далі матеріал від каналу, по якому подають гаряче повітря, тим гірше відбувається просушування, а зерно, що знаходиться поряд може бути пошкоджене через

В. М. Васьковець, КІВРА 2015

значну температуру. Через це необхідно ретельно розраховувати розміщення повітряних каналів, а також забезпечення механізму для перемішування матеріалу. Волога, яка випаровується з нижніх шарів піднімається догори і конденсується у верхніх шарах, внаслідок чого відбувається підвищення вологості зерна в верхніх шарах і на його просушування необхідно буде затрати значно більше енергії.

При сушінні вентиляцією теплим або гарячим повітрям зменшується імовірність зараження зерна мікроорганізмами, проте значно збільшується кількість зерна з механічними пошкодженнями.

Під час проведення дослідів спостерігався певний вплив на якість насіння. Одним з таких процесів є сушка матеріалу, під час проходженні якого теж спостерігався побічний вплив на зерно.

Сушка з використанням звичайного, не нагрітого повітря зазвичай триває близько 4-8 діб. При використанні даного способу особливо щадятся зародки насіння кукурудзи. Однак через тривале використання цього способу часто викликає ураження зернин мікроорганізмами [2].

Через це на практиці використовують комбіновані методи: комбінують сушку гарячим повітрям і сушку за допомогою вентиляції звичайним повітрям. Таким чином можна уникнути ураження зернин шкідливими мікроорганізмами, а також запобігти значним механічним пошкодженням. Спочатку швидко зменшують вологість зерна з 40 до 20 % , а після цього, за допомогою вентиляції, звичайним, не підігрітим повітрям досягають вологості 14 %.

Одним з основних інтенсифікуючих факторів, що активно досліджується останніми роками це використанням в бункерах активного вентилювання озоно-повітряних сумішей (ОПС) та іонізованого повітря [3]. Експериментально доведено, що використання заряджених частинок призводить до зниження енергетичних витрат на сушку, крім того ОПС має бактерицидну дію, пригнічуючи мікрофлору. Однак застосування даного чинника викликає виникнення ряду проблем, таких як: нечітке знання

В. М. Васьковець, КіВРА 2015

фізичних законів (природи інтенсифікуючої дії), що дозволяє знижувати енергетичні витрати з використанням ОПС; складність пристрою каналу подачі озону до камери з матеріалом, бо озон є нестабільним з'єднанням і дуже швидко розпадається на іони; крім вищесказаного існує необхідність чітко стежити за концентрацією озону, який у великих концентраціях отруйний і може негативно впливати на матеріал, знижуючи його якість.

1.1.3 Сушіння зерна з використанням електромагнітного поля НВЧ

Для електромагнітних хвиль суха складова зернини не створює перешкод для проходження. Сушіння зерна з використанням імпульсного електромагнітного поля (ІЕМП) полягає в тому, що електромагнітні хвилі певної довжини активно поглинається водою в зерні, а суха частина матеріалу під час впливу електромагнітного випромінювання не нагріваються

Волога, нагріта при впливі електромагнітного поля НВЧ, віддає частину теплоти сухій складовій матеріалу, проте кількість цієї енергії досить мала. Тому виготовлення сушарок, принцип роботи яких оснований на використанні електромагнітного поля, є досить перспективним.

В основі представленого способу сушіння зерна лежить вплив інтенсивного електромагнітного поля надвисоких частот на матеріал.

Під час впливу електромагнітного поля НВЧ на молекули води, включаючи вологу в зернині, спостерігається ефект, що отримав назву «молекулярне тертя» В результаті даного ефекту, волога що зв’язана в матеріалі, виділяє теплову енергію, при цьому відбувається нагрів матеріалу «зсередини». При підвищенні температури, в шарах зернини виникає градієнт вологовмісткості і розпочинається випаровування води (рис. 1.2), волога рухається до поверхні зернини [4]. Сушіння продукту не зупиняється

В М. Васьковець, КіВРА 2015

навіть при зниженні вологості матеріалу, а на завершальних стадіях значно ефективніший порівняно з традиційними методами сушки.

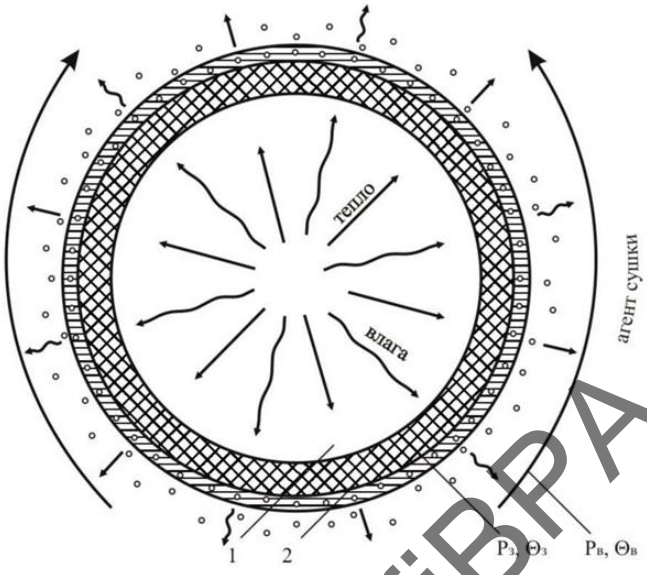

Рисунок 1.2 — Механізм видалення вологи із зерна при сушінні електромагнітним полем НВЧ.

Мікрохвильова обробка досить перспективна. НВЧ енергія виробляється генераторами, які працюють завдяки електричній енергії що являється екологічно чистотою. Електромагнітне поле проникає крізь весь об'єму матеріалу, а інтенсивність опромінення залежить лише від діелектричних властивостей матеріалу та значення напруженості електромагнітного поля.

За законом Джоуля-Ленца можна розрахувати потужність, що виділяється при нагріві зерна полем НВЧ:

$$P = 0{,}556 \cdot 10^{-6} \cdot \varepsilon^{/} \cdot tg\delta \cdot f \cdot E^2 \qquad (1.1)$$

де, P — потужність, Вт/м^3;

$\varepsilon^{/}$ — діелектрична проникність матеріалу;

E — напруженість електричного поля, В/м.

$tg\delta$ — тангенс кута діелектричних втрат;

f — частота випромінення електромагнітного поля, Гц;

В. М. Васьковець, КіВРА 2015

Процес сушіння діелектричних матеріалів з використанням електромагнітного поля визначається як параметрами поля — напруженістю *E* та частотою *f* так і діелектричними властивостями опромінюваного матеріалу ε' та tg. Це дозволяє досягнути високої продуктивності (високий ККД), рівномірного нагрівання матеріалу по всьому об'єму робочої камери, а також екологічно чистого підведення енергії до оброблюваного матеріалу [5].

В основі нагрівання і подальшої сушки матеріалів за допомогою електромагнітного поля НВЧ лежить явище діелектричної поляризації, тобто переміщення зв'язаних електричних зарядів (диполів) в певних межах (об'ємі). При впливі надвисокої частоти на матеріал, в ньому спостерігаються коливання та зміна положення зарядів, внаслідок чого з'являються струми провідності та струми зміщення.

Приведений спосіб не потребує затрат великої кількості енергії і являється більш ефективним порівняно з традиційними методами сушки. Наприклад, сушіння активною вентиляцією з використанням гарячого повітря потребує значних затрат природного газу, який є не з дешевих , в порівнянні з електричною енергією, яка використовується в НВЧ-сушарках. До того ж, НВЧ-сушарки дозволяють затратити значно менше часу на просушування необхідного матеріалу.

При впливі електромагнітної енергії на зернину, сушіння розпочинається зсередини і тиск пари в зернині направлений до поверхні, що дозволяє рівномірно просушувати матеріал і зберегти зародок насінини.

Під час сушіння зерна електромагнітним полем, волога з середини матеріалу переноситься до поверхні через капілярну систему і, відповідно, швидкість сушіння залежить від розмірів капілярів. В зерні макрокапіляри (капіляри радіус яких перевищує 10^{-7}м) відсутні.

Через велику швидкість нагріву матеріалу зернини виникає потужне джерело тепла всередині зернини та підвищення значення тиску водяної пари. Спостерігається перенесення вологи на молекулярному рівні типу фільтрування газоподібної речовини крізь дисперсне середовище, так як інші

В. М. Васьковець. КІВРА 2015

види дифузійного перенесення вологи придушуються. Тому, використання електромагнітного поля НВЧ дозволяє суттєво зменшити енергетичні витрати, не погіршуючи якість.

1.1.4 Основні методи знищення патогенної мікрофлори

Після сушіння зерна, його необхідно захистити від впливу різних патогенних мікроорганізмів, комах-шкідників, що потрапляють під час збору зернових з полів. Найбільш поширеними хворобами зерна є бактерії та гриби.

Для того щоб уникнути негативного впливу патогенної мікрофлори на якість продукції, її необхідно знищити. Одним з найпоширеніших способів є обробка насіння отруйними хімікатами. Це негативно впливає перш за все на ґрунт, знищуючи при цьому окрім патогенної мікрофлори і корисну. Протягом років кількість отрутохімікатів в ґрунтах збільшується і це негативно впливає на довкілля.

Поширений метод обеззараження насіння. Спочатку зерно замочують і воно набухає, він відрізняється тим, що, почергово, спочатку здійснюють замочування зерна в аноліті (позитивно електроактивованій воді) на1 — 2 години, після цього промивають, потім знову замочують, на цей раз уже в негативно електроактивовану воду на 10-12 годин. Даний метод досить енергозатрат ний, довгий, а також не може гарантувати повного знищення всієї патогенної мікрофлори [6].

Було досліджено, що при впливі електромагнітним полем потужністю 0,3 кВт/кг та при нагріванні 0,4-0,8°С/с на насіння пшениці, патогенна мікрофлора гине при денатурації білків, якщо ж збільшити темп нагріву 1,2-1,6°С/с,то відбувалося діелектричне руйнування живих тканин.

Для захисту зерна від комах-шкідників використовують інші способи.

Досить широко використовують метод обкурювання шкідників отруйними парами або газами фумігантами. Ці речовини нешкідливі для тварин, але досить токсичні. Представлений спосіб потребує послуг

В.М. Васьковець, КІВРА 2015

висококваліфікованих спеціалістів, які проводять свою роботу протягом 7-14 днів.

Часто використовують аерозольну обробку матеріалу, при якій з комахами-шкідниками зернового матеріалу борються за допомогою рідких інсектицидів цілеспрямованого впливу. Такий спосіб не потребує значних затрат. На даний час інсектициди спрямовують в товщу зерна у вигляді парів по системі газопроводів [6].

Представлені вище методи негативно впливають на організм людини, так як і там, і там використовують отруйні хімікати.

Дезінсекція зерна з використанням електромагнітного поля є альтернативним методом. Нагрівання в зерновому матеріалі і в тілі комахи, має пряму залежність від вологи через діелектричні втрати і може мати різні значення. В цьому полягає, так званий, «вибірковий прогрів». На основі експериментальних досліджень, наведених в [4], при впливі електромагнітного поля з частотою 24,1 ГГц, можна стверджувати про ефективність знищення шкідників в шарі зерна. Доведено, що через різне значення вмісту вологи, для нагріву зерна до критичних температур 55°-57°С значення необхідної експозиції складає близько 900 с, при достатніх 2 с для знищення комах-шкідників.

1.2 Огляд існуючих сушарок, в яких застосовується електромагнітне поле надвисоких частот

Зерносушильні установки класифікують за рядом ознак: схемою руху агента сушіння щодо висушуваного зерна; числу зон сушіння; влаштуванню випускного механізму; способом нагріву сушильного агента; структурі зернового шару; кратності використання сушильного агента; конструктивними ознаками (шахтні, жалюзійні, рециркуляційні, барабанні, камерні, бункерні) і т.д.

В. М. Васьковець, КіВРА 2015

Велика кількість наукових досліджень направлена на створення нових конструкцій сушарок різноманітних типів. Представлені ВЧ та НВЧ-сушарки, розділяють умовно на кілька груп: установки, процес нагріву в яких відбувається в електромагнітному полі при нормальному тиску в робочій камері, з використанням вакуумних камер, комбінованих установок за нормального, атмосферного, тиску в зоні опромінення та комбіновані установки з вакуумною робочою камерою.

Більшість сушарок, удосконалених винахідниками для використання інтенсифікуючої дії НВЧ полів є шахтними або конвеєрними. Так на рисунку 1.3 представлена схема конвеєрної установки для комбінованого сушіння зерна з використанням НВЧ-енергії, розроблена В.І. Пахомовим [7]. Тут зерно надходить у завантажувальний бункер 6 і рухається по стрічковому транспортеру 7, піддаючись конвективній сушці повітрям, яке нагнітається по повітропроводам 4 і також піддаючись багаторазовому впливу НВЧ променів від хвилеводних пристроїв 2.

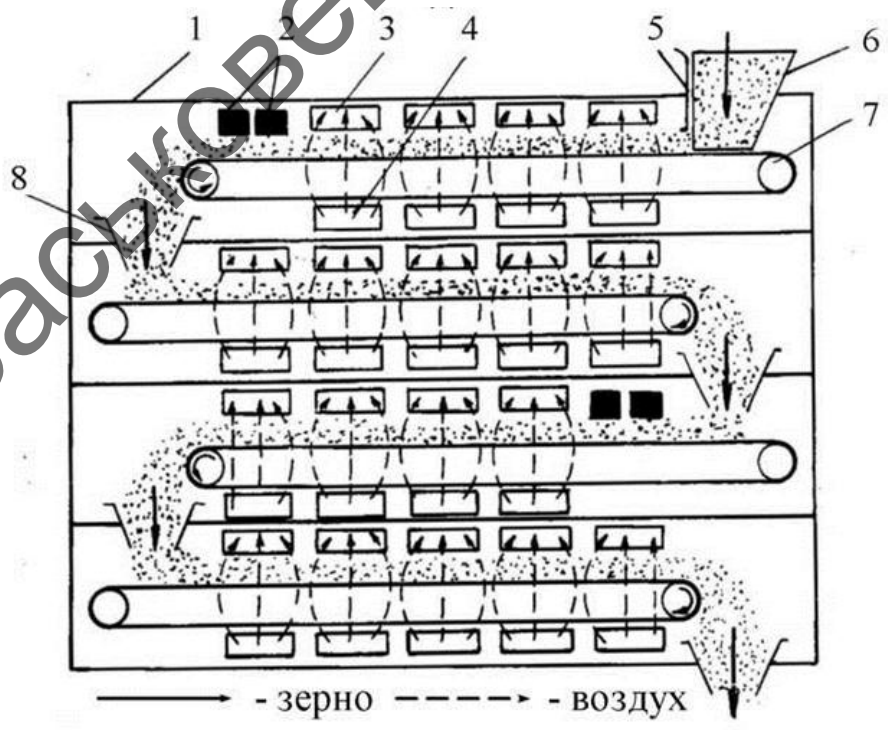

Рисунок 1.3 — Принципова схема конвеєрної установки для комбінованого сушіння зерна з використанням енергії НВЧ

В. М. Васьковець, КІВРА 2015

На рисунку 1.4 представлена схема виробничої установки для сушіння картопляних чіпсів, розроблена фірмою «Cober», США [8]. У цій установці НВЧ енергія до матеріалу, який рухається по стрічковому транспортеру, подається через щілинний хвилевід і одночасно з дією НВЧ поля піддається сушінню гарячим повітрям через систему подачі повітря.

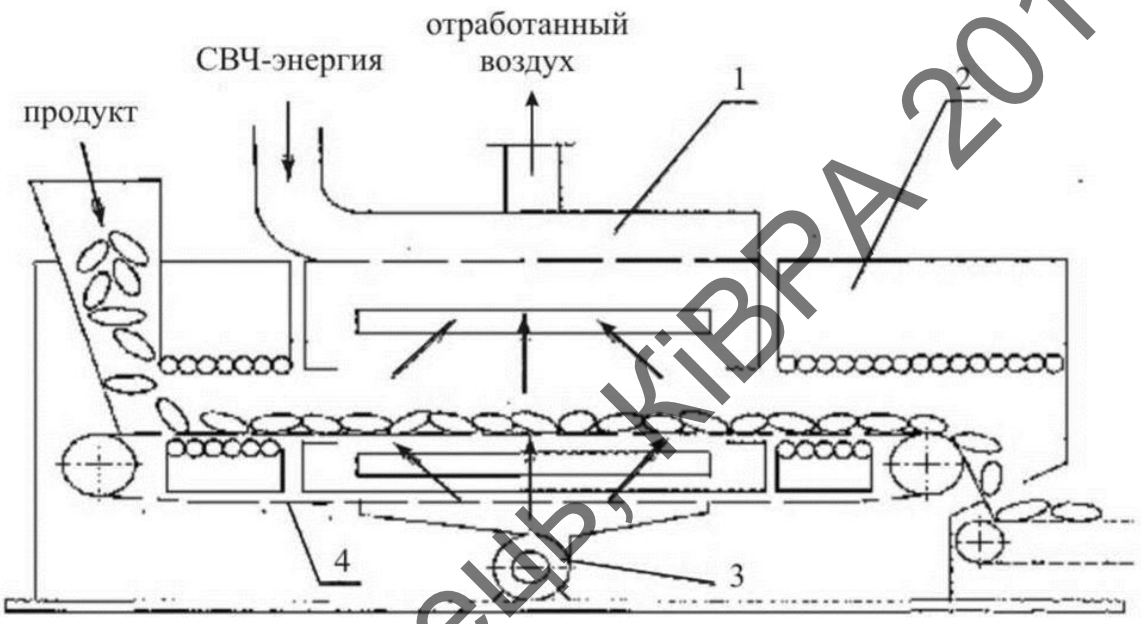

Рисунок 1.4 — Схема виробничої установки для сушіння чіпсів

На рисунку 1.5 представлено два виконання НВЧ сушарки «Мівак», в першому випадку (рисунок 1.5, а) матеріал рухається по транспортеру, піддаючись впливу НВЧ, у другому (рисунок 1.5, б) зона опромінення розташована вертикально. В обох випадках мають місце потужні НВЧ-генератори і досить довгі хвилеводи подачі НВЧ енергії оброблюваного матеріалу.

Крім того, в деяких роботах використовується послідовний нагрів декількома магнетронами (нагрівання в кілька етапів), але не проведені дослідження, які відображають зміну швидкості нагріву, при такому режимі НВЧ впливу.

В. М. Васьковець, КІВРА 2015

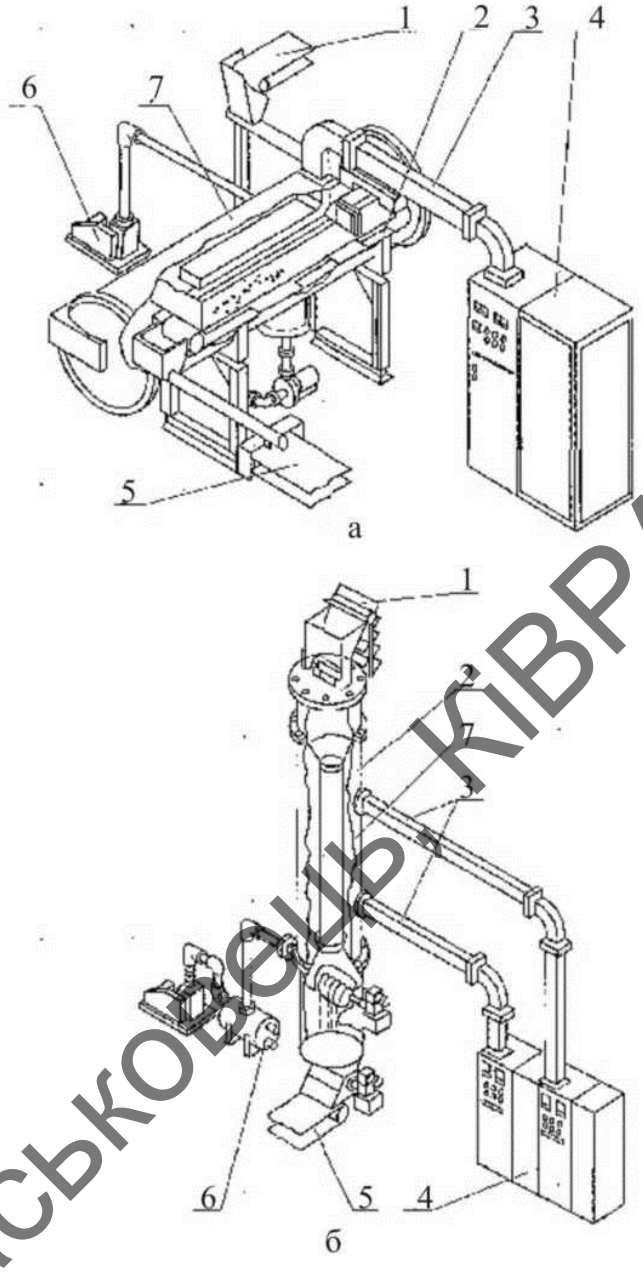

Рисунок 1.5 — НВЧ сушарка «Мівак»,

а — горизонтальний тип; б — вертикальний тип,

де 1 — прийомний бункер; 2 — конденсатор; 3 — хвилевід; 4 — НВЧ генератор; 5 — транспортер; 6 — вакуумний насос; 7 — сушильна камера.

Наступний тип сушарок, для яких застосовується НВЧ інтенсифікація сушки це шахтні сушарки. На рисунку 1.6 наведена принципова схема комбінованої сушіння зерна з використанням НВЧ-енергії в установці шахтного типу [9], де 1 — робоча камера шахтної сушили; 2 — верхній стрічковий транспортер; 3 — норія; 4 — хвилевідний пристрій введення

В.М. Васьковець КІВРА 2015

НВЧ-енергії; 5 — нижній стрічковий транспортер; 6 — вентилятор топки. У цій сушарці зерно спочатку норією подається на попередню просушку, після чого на вивантажний транспортер піддається впливу НВЧ поля і подається на повторну сушку.

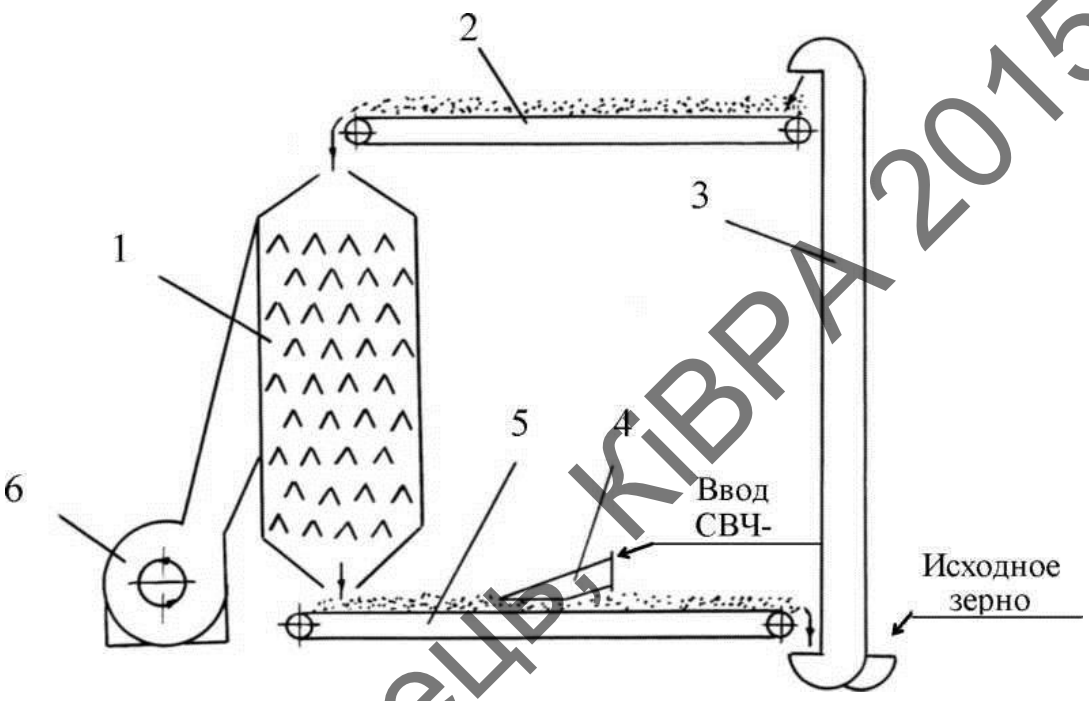

Рисунок 1.6 — Принципова схема сушки зерна з використанням НВЧ енергії в установці шахтного типу

На рисунку 1.7 наведена НВЧ установка для сушіння сипучих матеріалів, розроблена в Воронезькій державній технологічній академії (ВГТА) [7]. У цій установці енергія електромагнітного поля передається по хвилеводу, розташованому в центрі зони сушіння. Після проходження через матеріал НВЧ поле відбивається від стінок сушильної камери, виконаної таким чином, щоб результуюче поле було максимально рівномірним. Одночасно з впливом НВЧ поля відбувається продування сушимого матеріалу повітрям для видалення вологи.

В.М.Васьковець, КІВРА 2015

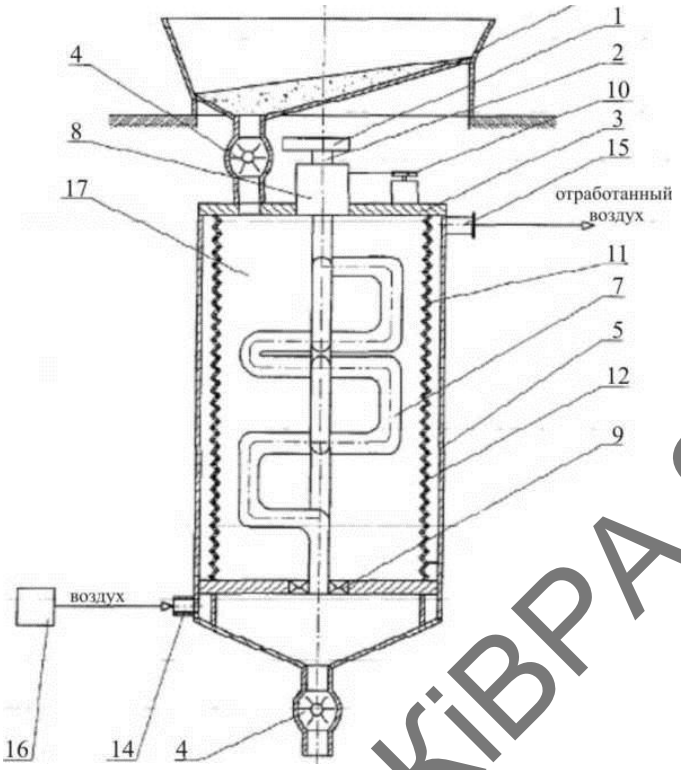

Рисунок 1.7 — НВЧ установка для сушіння сипучих матеріалів

1 — НВЧ генератор; 2 — випромінювач; 3 — кришка; 4 — дозатори; 5 — металевий циліндричний корпус; 6 — завантажувальний бункер; 7 — випромінювач; 8 — перший узгоджувач; 9 — другий узгоджувач; 10 — привід; 11 — екран; 12 — отвори; 13 — канали; 14 — патрубки для підведення повітря; 15 — патрубки для відводу повітря; 16 — блок подачі повітря; 17 — сушильна камера.

Наступна установка для мікрохвильового сушіння сипучих матеріалів, представлена на рисунку 1.8, розроблена у Воронежі [10]. Ця установка містить кілька рядів магнетронів, розташованих в стінках сушильної камери таким чином, що зерно, проходячи з завантажувального бункера, піддається послідовному впливу НВЧ поля кожного ряду магнетронів. Одночасно з цим відбувається продування зернового матеріалу потоком повітря. Розвантаження камери здійснюється шнеком.

В. М. Васьковець, КіВРА 2015

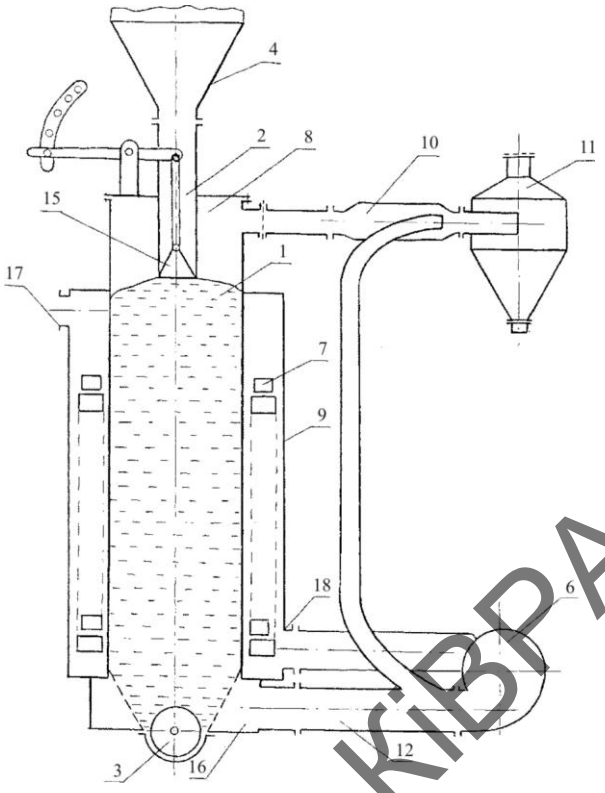

Рисунок 1.8 — Мікрохвильова установка для сушки сипучих матеріалів

Досить вдалою вважають установку для сушіння, представлену в [11] (рис. 1.9). В представленому варіанті конструкції для сушки гранульованого продукту, в тому числі зерна, в вакуумній камері застосовуються електромагнітне поле НВЧ діапазону та інфрачервоне випромінювання. Гранульований продукт вводиться в вакуумну камеру 4 з ємності 2 через вхідний шлюз 10 і розташовується на стрічці 14 вирівняним по висоті шаром. Стрічка 14 транспортує продукт послідовно через декілька зон 16, в яких він підлягає як мікрохвильовому, так і інфрачервоному опроміненню. Опромінення двома типами електромагнітного поля значно підвищує ефективність виходу вологи з продукту до камери 4, з якої вона відкачується вакуумним насосом 8. Сухий продукт залишає камеру 4 через вихідний шлюз

У будь-якій зоні 16 камери 4 НВЧ електромагнітна хвиля, що генерується генератором 24 і випромінюється антенами 28 в певній зоні відбивається від металевих поверхонь 2 та перетинок 20 і втрачає однорідність поляризації, яку мало при первинному випромінюванні. Це

В. М. Васьковець, КВРА 2015

позитивний ефект, так як при накладанні електромагнітних хвиль можна уникнути неоднорідності розподілу щільності потужності, що проявляється при однорідній поляризації за рахунок фазових співвідношень. Це електромагнітне поле нагріває продукт з середини.

Для організації інфрачервоного випромінювання використовується металеві пластинки з нагрівачами, розташованими всередині пластинки. Сама пластинка є прозорою для НВЧ електромагнітних хвиль завдяки певній конструкції системи щілин, що перевипромінюють електромагнітні хвилі. Інфрачервоне випромінювання нагріває продукт більше зовні, як в окремих зернівках так і в масі продукту, вирівнюючи його температурний профіль. Так як в процесі руху стрічки в камері 4 вологість продукту зменшується, то щільність потужності як НВЧ електромагнітного поля, так і інфрачервоного випромінювання в наступних камерах 16 зменшується. Позитивним є також те, що нагрівання відбувається в атмосфері пониженого тиску через що волога кипить при температурі набагато нижчій за традиційну точку кипіння, пов'язаною з водою, продукт ефективно висушується без перегріву.

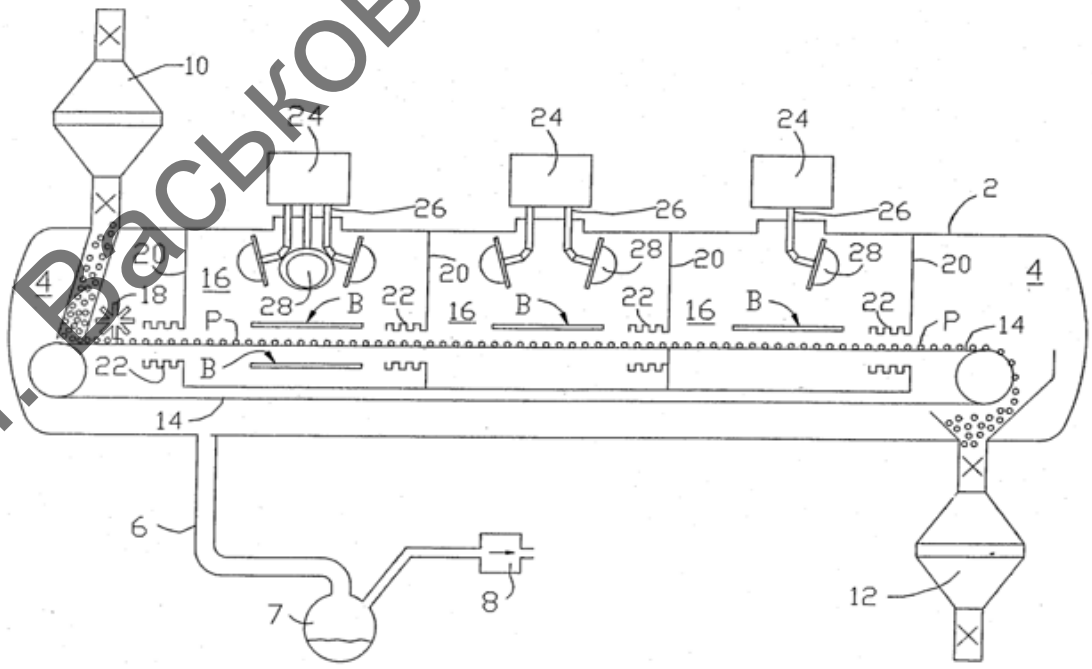

Рисунок 1.9 — Сушарка з вакуумною камерою в якій застосовується застосовуються електромагнітне поле НВЧ діапазону та інфрачервоне випромінювання.

В. М. Васьковець КІВРА 2015

Висновок

1) На даний час існує багато способів сушіння сільськогосподарських сипучих продуктів, таких як сушіння вентиляцією, з використанням гарячого повітря, інфрачервоного випромінювання та електромагнітного поля НВЧ.

2) Коли зерно просушують підігрітим або гарячим повітрям, то ймовірність зараження зерна мікроорганізмами незначна, проте процес сушіння не рівномірний; зерно, що містить велику кількість вологи не можна сушити даним методом; велика ймовірність перегріву матеріалу, що призводить до погіршення його продуктових якостей; метод потребує значних енерговитрат.

3) Інфрачервоне випромінювання успішно застосовують для дезінсекції зерна; сушка цим способом набагато ефективніша, порівняно з активною вентиляцією, спостерігається рівномірніше просушування лише на поверхні; на сушіння негативно впливає пил, який здатний осідати на випромінювачах ІЧ променів.

4) Застосування електромагнітних хвиль сприяє зменшенню енергозатрат; процес сушіння потребує менше часу; спостерігається підвищення якості зерна; можливість автоматизації технологічного процесу; мобільність установок, можливість використання в будь-яких місцях, де є доступ до електромережі.

5) З аналізу вищерозглянутих методів, можна стверджувати, що використання електромагнітного поля НВЧ є досить ефективним та продуктивним порівняно з використанням активної вентиляції або ж ІЧ випромінювання. Подальші дослідження електромагнітного поля НВЧ дозволять розширити застосування поля не лише в сільському господарстві, а й в медичній галузі.

В. М. Васьковець. КіВРА 2015

2 ХАРАКТЕР ВЗАЄМОДІЇ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ПОЛЯ З ЗЕРНОМ

2.1 Основні параметри електромагнітної хвилі при поширенні в середовищі

Різноманітні біологічні матеріали, зокрема зерно, мають різні діелектричні властивості, які залежать від зв'язку молекул та іонів води з вуглеводами та білками. Вода, наявна в біологічних матеріалах у вільному стані, має досить високу діелектричну активність, порівняно з водою, яка знаходиться у зв'язаному стані.

Діелектричні властивості різних матеріалів характеризуються діелектричною проникністю — здатністю біологічного матеріалу до збереження електричної енергії, та коефіцієнтом втрат, за допомогою якого можна визначити кількість енергії, яка була поглинута матеріалом. Значення діелектричної проникності матеріалу та коефіцієнта втрат буде збільшуватись при зменшенні частоти та при збільшенні об'єму води в продукті. Також значення діелектричної сталої може зростати при підвищенні температури, а коефіцієнт втрат від температури залежить непередбачувано і змінюється при збільшенні кількості вологи та частоти. При зменшенні значення коефіцієнта втрат спостерігається і зменшення кількості поглинутої електромагнітної енергії матеріалом. Діелектричні властивості мають пряму залежність від температури, вологи продукту та від частоти опромінюючих електромагнітних хвиль.

Завдяки селективній абсорбції енергії електромагнітного поля між молекулами води при діелектричному нагріванні матеріалу, теплова енергія утворюється у внутрішніх шарах опромінюваного матеріалу.

В.М. Васьковець, КІВРА 2015

Глибина проникнення (2.1) характеризує, на скільки електромагнітне поле прогріває опромінюваний матеріал і є одним з важливих параметрів при сущці зерна, за допомогою якого розрахувати глибину проникнення поля в зерно, на якій значення напруженості електромагнітного поля, складає 36,8% порівняно з поверхневим, початковим значенням напруженості:

$$d = \frac{\lambda_0 (\varepsilon^{/})^{0,5}}{2\pi\varepsilon^{//}}, \quad (2.1)$$

де, d — глибина проникнення електромагнітного поля, см;

λ_0 — значення довжини хвилі у вільному середовищі, см.

У вільному середовищі (в повітрі), значення довжини електромагнітної хвилі буде зростати при зниженні частоти. Таким чином можна досягнути кращого проникнення електромагнітного поля в матеріал.

Ефективнішого проникнення електромагнітного поля в матеріал можна досягнути збільшивши діелектричну проникність матеріалу. Значення діелектричної проникності знижується при зменшенні кількості води в матеріалі, через це, під час сушіння матеріалу, зростатиме проникнення електромагнітного поля.

Також важливим параметром в процесі сушки зерна виступає потужність. Значення потужності, яка поглинається матеріалом зростає зі збільшенням частоти, а також залежить від діелектричних властивостей опромінюваного матеріалу та інтенсивності опромінення. Величину розсіяної потужності можна розрахувати:

$$P = 55{,}63 \cdot 10^{-12} f E^2 \varepsilon^{//} V, \quad (2.2)$$

де, P — розсіяна потужність, Вт;

f — частота прикладеного поля, Гц;

E — напруженість поля, В/см;

$\varepsilon^{//}$ — коефіцієнт діелектричних втрат;

V — об’єм матеріалу, см^3;

В. М. Васьковець, КІВРА 2015

З наведеного виразу (2.2) бачимо, що для збільшення розсіяної потужності, необхідно підвищувати частоту опромінення f та напруженість електричного поля E. Збільшувати дані параметри можна до певних значень, щоб уникнути надзвичайних ситуацій, а також щоб не вийшло з ладу обладнання установки.

Послаблення потужності електромагнітної енергії, яка поглинається середовищем, а також величина глибини проникнення при сталій частоті, взаємозв'язана з діелектричними властивостями матеріалу.

Взаємозв'язок між напруженістю електромагнітного поля НВЧ, його частотою, а також діелектричними властивостями матеріалу, під час опромінення досить складний.

Амплітуду та фазу коефіцієнта пропускання найчастіше використовують для характеристики поля, що проникає крізь товщу зерна:

$$T = exp\,(-\gamma t) = |\tau| e^{-j\phi},$$

де $|\tau|$ — модуль коефіцієнта передачі;

ф — фазовий кут коефіцієнта передачі;

γ— постійна розповсюдження електромагнітної хвилі;

$$\gamma = \alpha + j\beta = \gamma_0 \sqrt{\varepsilon^*} = j\frac{2\pi}{\lambda_0}\sqrt{\varepsilon' - j\varepsilon''},$$

де α — постійна згасання;

β — фазова постійна;

ε^* — відносна комплексна діелектрична проникність матеріалу;

$$\varepsilon^* = \varepsilon' - \mathrm{j}\varepsilon'' = \varepsilon' - j\frac{\sigma}{\omega\varepsilon_0};$$

σ — питома провідність матеріалу, См/см;

$\varepsilon_0 = 8.854 * 10^{-12}$ Ф/м — діелектрична проникність вакууму;

$\gamma_0 = j(2\pi/\lambda_0)$ — постійна розповсюдження хвилі в повітрі;

λ_0 — довжина хвилі в повітрі, см;

В. М. Васьковець, КіВРА 2015

Модуль коефіцієнта передачі $|\tau|$, обчислюють виходячи з початкового та кінцевого вимірювань амплітудного значення при проходженні хвилі крізь об'єм матеріалу та за його відсутності. Відомо, що потужність випромінювання, що проходить крізь шар зерна зменшується згідно з множником $e^{-2\alpha x}$ (рис. 2.1). Коли x = 0, то потужність P_0, відповідно коли $x=t$, то прикладене значення потужності, (при відсутньому відбитті) розраховують:

$$P = P_0 e^{-2\alpha x}.$$

Згасання [12] характеризує загальне зниження потужності, виражається як:

$$A = -20log|\tau| = -10log\left(\frac{P}{P_0}\right) = -10\,log(e^{-2\alpha x}).$$

Фазове зміщення у товщі матеріалу розраховують виходячи зі значень початкового та кінцевого вимірювання фазового кута електромагнітної хвилі в площині x=t. Вимірювання початкової фази, ϕ_0, в вільному просторі, через які проходить електромагнітна хвиля (рис.2.1) [12], зв'язане з фазовою постійною β_0, та товщиною шару t, згідно:

$$\phi_0 = \beta_0 t.$$

Так само, визначають кінцеве значення фазового кута пов'язане зі зміною фази, , та товщиною шару t:

$$\phi_1 = \beta_1 t.$$

Значення зміни фазового кута, при проходженні електромагнітної хвилі через шар матеріалу, можемо подати так:

$$\phi = \phi_1 - \phi_0 = (\beta_1 - \beta_0)t.$$

Зміну фазового кута [12] можна подати, врахувавши, що фазова стала розраховується як $\frac{2\pi}{\lambda}$, так:

$$\phi = \left(\frac{2\pi}{\lambda} - \frac{2\pi}{\lambda_0}\right)t = 2\pi t\left(\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda_0}\right). \qquad (2.3)$$

В. М. Васьковець, КІВРА 2015

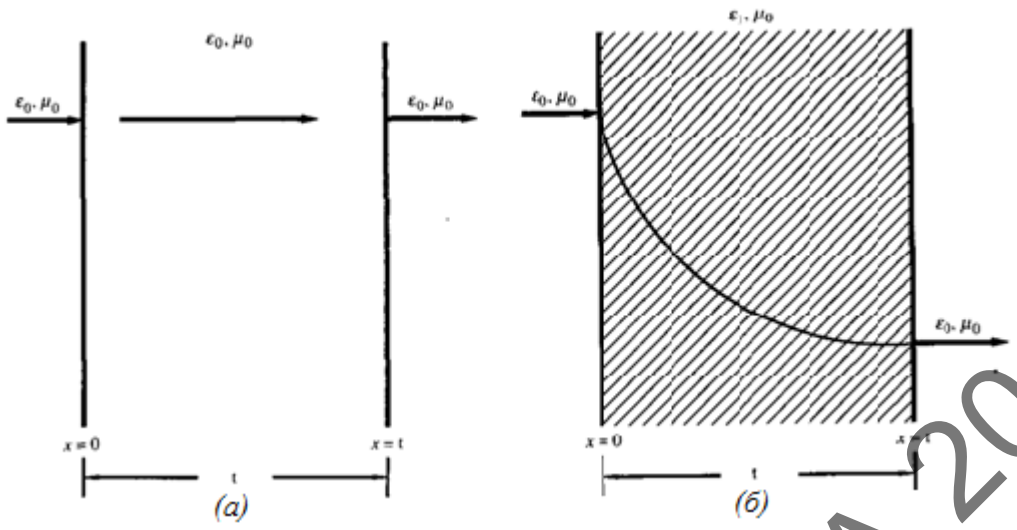

Рисунок 2.1— Поширення плоскої однорідної електромагнітної хвилі у вільному просторі (а) та крізь шар діелектрика(б)

З урахуванням періодичного характеру, фаза електромагнітної хвилі в середовищі з втратами буде кратною π чи $2\pi n$ в фазі, де n ціле значення, та існує для зразка товщина шару якого дорівнює t. Тобто вираз (2.3) можна переписати так:

$$2\pi t\left(\frac{1}{\lambda}-\frac{1}{\lambda_0}\right)=\begin{cases}\pm 2\pi n \pm \phi \\ \pm 2\pi n \pm (\pi-\phi),\end{cases} \qquad (2.4)$$

Так як значення довжини хвилі λ, в середовищі з втратами буде меншим, порівняно середовищем без втрат λ_0, то значення лівої частини виразу (2.4) буде додатнім , тому, значення правої частина теж повинно бути додатнім для довільного значення фазового кута [12]. Через це існують обмеження у рівнянні (2.4):

$$2\pi t\left(\frac{1}{\lambda}-\frac{1}{\lambda_0}\right)=\begin{cases}\left.\begin{matrix}|\phi| \\ |\pi-\phi|\end{matrix}\right\} n=0 \\ \left.\begin{matrix}\pm 2\pi n \pm \phi \\ \pm 2\pi n \pm (\pi-\phi)\end{matrix}\right\} n=1,2,3\ldots\end{cases}$$

Для вирішення двозначності фазового зсуву досліджують декілька зразків з різною товщиною шару, бо існують різні методи розв’язку даного рівняння.

В. М. Васьковець, КІВРА 2015

2.2 Зміна вологості зерна при зміні діелектричних властивостей

Кількість наявної вологи в зерні впливає його якість при його сушінні та зберіганні. Вміст вологи розраховують за формулою:

$$\mathrm{M} = \frac{m_{\mathrm{w}}}{m_{\mathrm{w}} + m_{\mathrm{d}}} * 100\%,$$

де m_{w} — маса вологого матеріалу;

m_{d} — маса сухого матеріалу;

Залежність швидкості поширення електромагнітних хвиль від частоти (або довжини хвилі), які проникають в товщу зерна, характеризується прямою залежністю від значення відносної діелектричної проникності, а також від розмірів. Вважається, що лінійно-поляризована, однорідна рівномірна електромагнітна хвиля з кутовою частотою *ω*, падає на плоску нескінченну поверхню однорідного матеріалу. В момент, коли кількість вологи значно змінюється, це впливає на проникність і, відповідно, на хвильові параметри. Так як значення відносної діелектричної проникності води (у будь-якому стані) суттєво відрізняється від значення сухих матеріалів, ефект води відмінний від ефекту сухих матеріалів. Цю відповідність можна виразити так [13]:

$$k = \Phi_1\left(\frac{m_w}{\upsilon}, \frac{m_d}{\upsilon}\right) \quad \text{і} \quad \eta = \Phi_2\left(\frac{m_w}{\upsilon}, \frac{m_d}{\upsilon}\right), \tag{2.5}$$

де k і η представляють два електромагнітні параметри хвилі, яка розглядається.

Зважаючи на складність приведеного рівняння 2.5, його можна розв’язати використавши два рівняння, при цьому вирахувавши значення концентрації води та густину сухого матеріалу (зерна) використавши два вимірювані хвильові параметри:

$$\frac{m_{\mathrm{w}}}{\upsilon} = \Psi_1(\kappa, \eta) \text{і} \frac{m_{\mathrm{d}}}{\upsilon} = \Psi_2(\kappa, \eta). \tag{2.6}$$

В. М. Васьковець, КіВРА 2015

Підставивши відповідні значення з рівнянь 2.5 та 2.6, отримаємо рівняння для визначення вмісту води в опромінюваному матеріалі, яке містить лише хвильові параметри, отримані експериментальним методом, і яке не залежить від густини матеріалу, та товщини шару матеріалу [13]:

$$\mathrm{M} = \frac{\Psi_1(\kappa, \eta)}{\Psi_1(\kappa, \eta) + \Psi_2(\kappa, \eta)} \cdot 100\%.$$

Густина різних видів зерна різна. Форма ядра зернини, вологість, розмір, температура, структура поверхні та умови зберігання впливають на густину. Зміна щільності в об’ємі зерен впливає на значення хвильових параметрів так само, як викликані змінами в вмісті води, призводячи до виникнення помилок при вимірюванні значення вологи. Тому підтримка постійного значення щільності зерна при вимірювання вологості є важким завданням.

Для оцінки характеру електромагнітної хвилі та наявності множинних відбиттів, матеріал з деяким вмістом води та заданим значенням об'ємної щільності, переміщують від початкового положення на половину відстані до передавальної, а потім і до приймальної антени. Виміри затухання і фази було проведено для всіх положень. В результаті виявилось, що послаблення та фазовий зсув залишаються без змін при вимірюванні приладом точністю (±0,25дБ при послабленні та ±3,0° при фазовому зсуві). Для перевірки поляризації, приймальну антену повільно повертають навколо своєї осі. Суттєве зменшення рівня сигналу було зафіксовано при найменшому куті між початковим положенням та скоригованим одноразово. З цього видно, що після проходження крізь товщу зерна, електромагнітна хвиля здатна зберегти свою початкову поляризацію.

Вимірявши значення модуля $\left|\mathrm{S}_{21}\right|$ та фази φ, можна визначити затухання та фазове зміщення, ϕ, які характерні для кожного зразка, наступним чином:

$$A = 20 \cdot \log\left|\mathrm{S}_{21}\right|,$$

В. М. Васьковець, КІВРА 2015

$$\phi = \varphi - 2\pi n,$$

де n — ціле число, яке отримують вибравши товщину для потрібної товщини проникнення, провівши вимірювання на двох частотах або шляхом повторних вимірювань зразків зерна з шаром різної товщини. Фазу можна виміряти лише в діапазоні -180 +180 градусів.

Можна зробити висновок, що при більшій товщині шару зерна, ніж довжина хвилі, спостерігається фазова неоднозначність.

2.3 Особливості взаємодії НВЧ випромінювання в речовині

Різноманітні матеріали, які піддаються опроміненню електромагнітним полем при виникненні володіють певними характеристиками. В матеріалі виникають струми зміщення та провідності. Струми зміщення утворюється коли змінюється електричне поля в часі. Як відомо, змінне електричне поле породжує таке ж магнітне поле так, як струм сприяє виникненню рухомих заряджених частинок. Струми провідності виникають в матеріалах і викликані вільними рухомими електричними зарядами. Різні матеріальні середовища мають різну провідність, через це і по різному будуть поводитись в електромагнітному полі.

Відношення щільності струмів провідності $j_{\text{пр}}$ та струмів зміщення $j_{\text{зм}}$ в матеріалі називається тангенсом кута діелектричних втрат

$$\text{tg}\delta = \frac{j_{\text{пр}}}{j_{\text{зм}}} = \frac{\sigma}{\omega\varepsilon_{\alpha}},$$

де σ — питома провідність речовини, См/см;

$\omega = 2\pi f$ — циклічна частота випромінювання, Гц;

ε_{α} — абсолютна діелектрична проникність матеріалу.

За величиною відношення даних струмів, речовини розділяють на: напівпровідники, провідники та діелектрики. Коли $j_{\text{пр}} \gg j_{\text{зм}}$, то $\text{tg}\delta \gg 1$, тоді

В. М. Васьковець, КІВРА 2015

матеріал провідник. Коли ж $j_{\text{пр}} \ll j_{\text{зм}}$, то tgδ≪1, тоді, відповідно, матеріал — діелектрик.

Шлях, при проходженні якого, амплітуда хвиль напруженості електричного поля зменшується в 2,73 рази називається глибиною проникнення, Δ:

$$\Delta = 1/\alpha,$$

$$\alpha = \sqrt{\frac{\omega\mu_\alpha}{2\varepsilon_\alpha}\left(\sqrt{\omega^2\varepsilon_\alpha^2 + \sigma^2} - 1\right)}, \qquad (2.7)$$

де α — коефіцієнт послаблення хвилі;

μ_α — абсолютна магнітна проникність речовини.

З виразу (2.7) бачимо, що на величину глибини проникності впливає частота прикладеного поля, діелектрична та магнітна проникності речовини, а також питома провідність опромінюваного матеріалу. Глибина проникнення не є константою для певного виду матеріалу, а може змінюватись, наприклад, при проникненні у внутрішні шари речовини електромагнітного випромінювання. Також під час впливу НВЧ поля, відбуваються температурні зміни, які по різному впливають на провідність та на діелектричні властивості опромінюваного матеріалу [14].

Для ефективного використання енергії електромагнітного поля, необхідно знати властивості опромінюваного матеріалу, як він поводить себе при впливі випромінювання різної частоти. Якщо в загальному, то достатньо мати дані про магнітні властивості опромінюваної речовини, знати залежність діелектричної проникності матеріалу від частоти опромінення, кількості води в матеріалі і температури *t*.

Можливість проникнення НВЧ променів дециметрового та сантиметрового діапазонів у внутрішні шари речовини дістало назву об'ємного ефекту і є основною, досить важливою особливістю. Це дозволяє набагато швидше, порівняно з традиційними способами, нагріти весь об’єм потрібного матеріалу. Слід зазначити, що проникнення НВЧ променів

В.М. Васьковець, КІВРА 2015

викликає не лише теплові, а й зовсім інші явища, наприклад, резонансні. Їх можна спостерігати навіть коли матеріал не піддається нагріву.

Використання електромагнітного поля НВЧ стає більш доступним та поширеним методом нагріву різноманітних матеріалів для більш ширшого кола споживача.

Основними перевагами використання електромагнітного поля в різноманітній господарські діяльності є:

— висока продуктивність (ККД) перетворення електромагнітної енергії в теплову;

— опромінення і подальший нагрів матеріалу відбувається досить рівномірно по всьому об'єму робочої камери;

— можливість миттєво вмикати та вимикати тепловий вплив на речовину, це дозволяє досить точно керувати нагріванням, ця властивість називається без інерційне нагрівання;

— можливість екологічно-чистого нагрівання;

— можливість саморегуляції нагріву під час сушіння вологих матеріалів, а також їх окремих складових (опромінюється та частина камери, де матеріал ще не висушений і припиняється вплив опромінення на сухий матеріал).

2.4 Особливості взаємодії електромагнітного поля НВЧ з водою

Вода входить до складу багатьох речовин. Для неї характерне високе значення діелектричної проникності ε, а також тангенса кута діелектричних втрат tgδ. Під час впливу НВЧ поля на воду, спостерігється поглинання енергії водою. Це відбувається завдяки процесу дегідратації. При частоті 1 ГГц, поглинання енергії складає 50% від сумарних затрат, при опроміненні частотою 10 ГГц, втрати становлять близько 85%, коли ж впливати на воду полем з частотою 30 ГГц, то можна досягнути 95-98% втрат енергії.

В. М. Васьковець, КіВРА 2015

Досягнути максимальних втрат енергії можна при опроміненні частотою 20 ГГц.

Коли електромагнітне поле проникає в товщу матеріалу, відбувається перетворення НВЧ енергії в теплову, що сприятиме значному підвищенню тиску в зернині, після чого вода зсередини буде виходити назовні по мікрокапілярах. Завдяки цьому, сушіння відбувається значно швидше, забезпечуючи високу однорідність зерна. Поле швидко змінюється, виконуючи при цьому «об'ємний струс» речовини, а кінетична енергія, під впливом енергії складових поля підвищує енергію коливання молекул речовини, це призводить до кількісного збільшення вільних носіїв заряду. В результаті даних коливань, температура в об'ємі матеріалу збільшується [14].

Здатність електромагнітного поля до поглинання енергії НВЧ водою, яка може бути у вільному та знаходитись у складі речовин, використовують в технологічних процесах сушіння великої кількості матеріалів, зокрема в сільському господарстві. Значно більше можливостей можна досягнути, досліджуючи взаємодію електромагнітного поля з матеріалами, якщо розробити спеціальні пристрої, здатні локалізовувати випромінювання в певному об'ємі.

Існуючі види пристроїв для сушіння зерна, розрізняють за використанням біжучої та стоячої хвилі, відповідно до розмірів НВЧ камери, методів збудження та характеристики опромінюваного діелектрика.

Для сушіння матеріалу, який погано поглинає електромагнітну енергію застосовують режим стоячої хвилі. Даний тип енергії можна отримати завдяки хвилям, що мають однакову амплітуду та розповсюджуються в протилежні сторони. Для сумарного поля стоячих хвиль характеризується характерне чергування мінімумів (вузлів) та максимумів (пучностей) В сушарках, де застосовується режим стоячих хвиль, нагрівання речовини відбувається неоднорідно, можливе виникнення резонансів, різке збільшення амплітуди коливань. Це призводить до того, що діелектричні матеріали, які

В. М. Васьковець. КіВРА 2015

погано поглинають електромагнітні хвилі, здатні поглинути всю підведену енергію.

Режим біжучої хвилі застосовують для опромінення матеріалів, які характеризуються сильною здатністю до поглинання електромагнітної енергії. Для режиму біжучої хвилі характерне розповсюдження від області збудження з затухаючою амплітудою в результаті поглинання енергії речовиною. В такому випадку нагрівання речовини відбувається неоднорідно в напрямку розповсюдження хвиль. Для кращого прогрівання оброблювану речовину перемішують в робочій камері.

Щоб матеріал нагрівався рівномірно в робочій камері, його перемішують або завдяки детекторам «переміщують» поле. Також можна змінювати розподілення енергії поля з часом.

Режим змішаних хвиль використовують у пристроях, в яких розповсюдження хвилі відбувається в протилежних напрямках з неоднаковою амплітудою. Для даного режиму характерне розподілення поля як в режимі стоячої хвилі, а в мінімумах спостерігається мінімальне значення енергії, а не повна його відсутність [14].

Сушарки, в основі принципу роботи яких лежить електромагнітне поле НВЧ, складаються з генератора хвиль, системи хвилеводів, а також камери опромінення. НВЧ пристрої потребують налаштування. Для цього використовують спеціальні стенди, за допомогою яких знімають результати досліджень в камері опромінення і в хвилеводах. Стенди дозволяють налаштувати установку, оптимізувати розміри, форму вузлів та їх розміщення. Властивості хвилеводних складових залежать від характеристик металу з якого вони виготовлені, методу його обробки та технології виробництва. Частотні властивості хвилеводу у великій мірі залежать від його розміру.

Доцільно проводити огляд складних вузлів та їх подальше моделювання за допомогою комп’ютера для оптимізації та зменшення розмірів. Розміри зменшують пропорційно до підвищення частоти опромінення, при цьому

В. М. Васьковець, КІВРА 2015

форма вузла не змінюється. Моделювання вузлів НВЧ установки в подальшому допоможе вирішити проблему з налаштуванням, скоротивши матеріальні та трудові затрати.

Існують електродинамічні характеристики, які не змінюються при зміні потужності, тому їх вимірювання слід виконувати на невисоких рівнях потужності (1-5 мВт), використовуючи при цьому стандартну вимірювальну апаратуру. Такі характеристики, які температура нагріву окремих компонентів установки та електрична міцність, досліджують на високих рівнях потужності. Тому для подальшого конструювання НВЧ пристрою, необхідно створювати спеціальні установки, які дозволяють виконувати дослідження при значних значеннях рівня потужності. Необхідно забезпечити спів падіння потужності по порядку величини, цього вистачатиме для дослідження характеристик температури нагрівання та електричної міцності.

Висновок

1. Аналізуючи велику кількість досліджень по взаємодії електромагнітного випромінювання з біологічним матеріалом під час його опромінення, наведених в публікаціях, можна стверджувати, що на процес сушіння впливає багато фізичних параметрів, які залежно від часу, температурних даних мають нелінійний характер. Через це, проведення детальних розрахунків без наукових експериментів виконувати нелегко. Так само проектування сушарок буде неможливим без знань залежностей вологості матеріалу від потужності випромінювачів електромагнітного поля, а також температурних змін в часі і просторі. Також, неможливо буде провести оптимізацію режимів сушіння для проведення якісного та ефективного процесу.

В.М. Васьковець, КіВРА 2015

3 УСТАНОВКА ДЛЯ СУШКИ ТА ЗНЕЗАРАЖЕННЯ ЗЕРНА З ДВОХСТОРОННІМ ОПРОМІНЕННЯМ

3.1 Побудова установки для сушки та знезараження зерна електромагнітним полем НВЧ

Представлена установка для сушіння та знезараження зерна з використанням електромагнітного поля надвисоких частот, має бункер куди завантажують зерно або інший матеріал для сушіння, робочу камеру, де зерно або інший матеріал піддається опроміненню електромагнітним полем НВЧ, генератори, які генерують електромагнітну енергію НВЧ. і конструктивно сполучені з антенами та виконують роль опромінювачів у робочій камері, а також бункери для прийому опроміненого електромагнітним полем зерна. Робоча камера створена у формі паралелепіпеда, який орієнтований вертикально. З обох протилежних сторін камери, паралельно до вертикальнх стінок. Опромінювальні антени мають структуру антенних решіток з лінійних хвилеводно-щілинних чи хвилеводно-вібраторних антен та випромінюють електромагнітні хвилі, з взаємно перпендикулярними поляризаціями.

Між робочою камерою та опромінюючою структурою розміщені діелектричні пластини та спеціальні поверхні, які здатні відбивати електромагнітні хвилі, для ефективнішого узгодження опромінюючих антен з робочою камерою, а також підбору оптимальної дистанції розміщення антен-опромінювачів і відбиваючої поверхні. Вони не створюють перешкоди при проходженні електромагнітної хвилі, яка проходить в камеру від опромінювача і непрозорі для електромагнітної хвилі, яка пройшла крізь робочу камеру.

В.М. Васьковець, КІВРА 2015

Також можливо розглядати установку, в якій між сусідніми лінійними опромінювачами, з яких побудована антенна решітка, по всій площі поперечного перерізу установки, розміщені сітки з металу, так звані екрани (рис. 3.3). Вони забезпечують розділення простору робочої камери, куди проникає електромагнітне поле на $N/2$, де N — загальна кількість хвилеводно-щіллинних або хвилеводно-вібраторних антен-опромінювачів розміщених в робочій камері установки. Дані екрани прозорі для зерна, яке опромінюється і непрозорі для електромагнітного поля НВЧ (рис. 3.3).

Процес сушіння зерна та іншої сільськогосподарської продукції з використанням електромагнітного поля НВЧ, можна оптимізувати і, відповідно, повністю автоматизувати, з точки зору енергетики та якості, завдяки сучасному розвитку прогресивних технологій.

Під час проектування НВЧ-сушарок, особливо високопродуктивних, відіграє неабияке значення показник корисної дії (ККД) установки, в якій електромагнітним полем опромінюється матеріал.

З усіх розглянутих в першому розділі варіантів пристроїв, електромагнітна хвиля проходить кріль шар зерна одноразово. Якщо ж вибрати товстий шар матеріалу, то енергія по товщині шару зерна розподіляється нерівномірно, через поглинання опромінюваним матеріалом: нижні шари підлягають меншому опроміненню в порівнянні з верхніми шарами. Коли подається тонкий шар зерна, то значна кількість електромагнітної енергії не використовується, а поглинається або ж розсіюється в робочій камері, цим самим зменшуючи продуктивність установки.

Даний недолік в представленій установці усунуто, через це продуктивність установки підвищується і, відповідно, рівномірність розподілу поля також підвищується за рахунок багатократного опромінення матеріалу. Опромінююча антена, яка розміщена з протилежної сторони робочої камери, випромінює електромагнітну хвилю з ортогональною поляризацією. Через це, співвідношення між фазами електромагнітних хвиль,

В. М. Васьковець. КіВРА 2015

які випромінюються антенами з протилежної сторони, не впливають на розподілення щільності енергії напруженості електромагнітного поля, а сумарне розподілення визначають завдяки розподілу амплітуди всіх електромагнітних хвиль.

Принцип роботи представленої НВЧ-сушарки такий. Матеріал для сушки з першого (вихідного) бункера 1, рис. 3.1 та рис. 3.3 подається до робочої камери 2, рис. 3.1, рис.3.2 та рис. 3.3 саме тут зерно чи насіння опромінюється електромагнітним полем НВЧ. Випромінювання даного поля в робочу камеру відбувається завдяки двом плоским антенним решіткам 3 і 4, рис. 3.1 та рис. 3.3, які паралельно розміщені до двох вертикальних стінок робочого бункера та паралельно до довжини робочої камери. Розміри робочої камери насамперед залежать від глибини проникнення. Розміри камери опромінення та розміри антенних випромінювачів визначають продуктивністю установки. Хвилі електромагнітного поля, що випромінюються антенними решітками, які розташовані на протилежних стінках камери, мають ортогональні поляризації, завдяки чому між випромінювальними гратками забезпечено незалежний розподіл щільності енергії в робочій камері від співвідношень між фазами даних хвиль. Щодо співвідношень між розмірами в камері опромінювання, то їх визначають через продуктивність заданої щільності енергії електромагнітного поля, глибину проникнення електромагнітних хвиль, коли вологість матеріалу максимальна, а також потужністю магнетронів (генеруючих пристроїв). Від значення заданої потужності і щільності енергії в матеріалі, а також потужності магнетронів (генеруючих пристроїв), залежить довжина камери опромінення. Чим потужність генеруючих пристроїв вища, тим, при потрібній щільності потужності, лінійний опромінював може бути довшим. Щодо висоти, то чим висота камери опромінення більша, відповідно розміри випромінюючої гратки будуть теж більші, тим зерно буде рухатися швидше, бо час перебування зерна в опромінюючій камері повинно бути однаковим,

В. М. Васьковець. КіВРА 2015

коли потужність буде заданою. Висоту камери опромінення визначають виходячи з продуктивності сушарки.

Електромагнітна хвиля, що випромінюється решіткою 3, рис. 3.1 та рис. 3.3, проходить крізь робочу камеру і частково поглинається середовищем, що опромінюється і відбивається від поляризаційного дзеркала 5 та вертається назад в камеру опромінення, при цьому, фаза змінюється, проте не змінюється поляризація. Так само і електромагнітна хвиля, яка отримана випромінюючою решіткою 4, рис. 3.1 та рис. 3.2, проходить крізь камеру опромінення в протилежному напрямі, відносно попередньої хвилі, в певній мірі поглинається матеріалами і відбивається від поляризованого дзеркала 6, рис. 3.1 та рис. 3.3, знову вертаючись назад в камеру опромінення. Поляризовані дзеркала 5 та 6 рис. 3.1 та рис. 3.3 прозорі для даного виду електромагнітних хвиль [16].

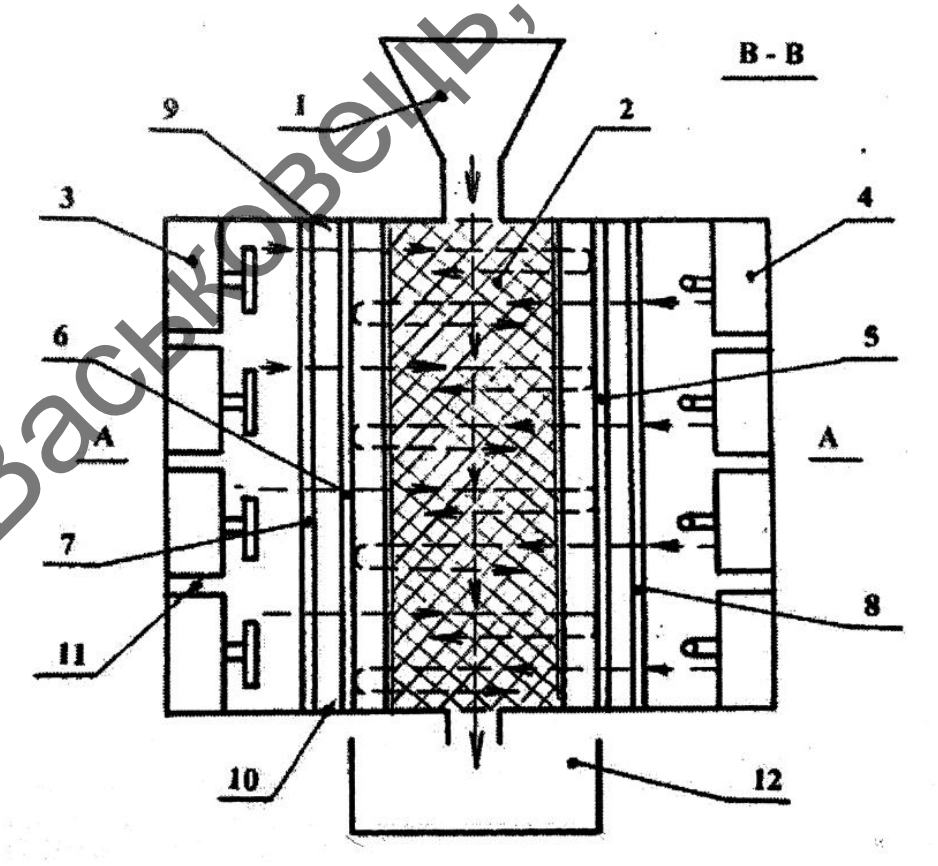

Рисунок 3.1 — Установка для сушіння зерна та інших сипучих матеріалів (вертикальний розріз)

В. М. Васьковець, КіВРА 2015

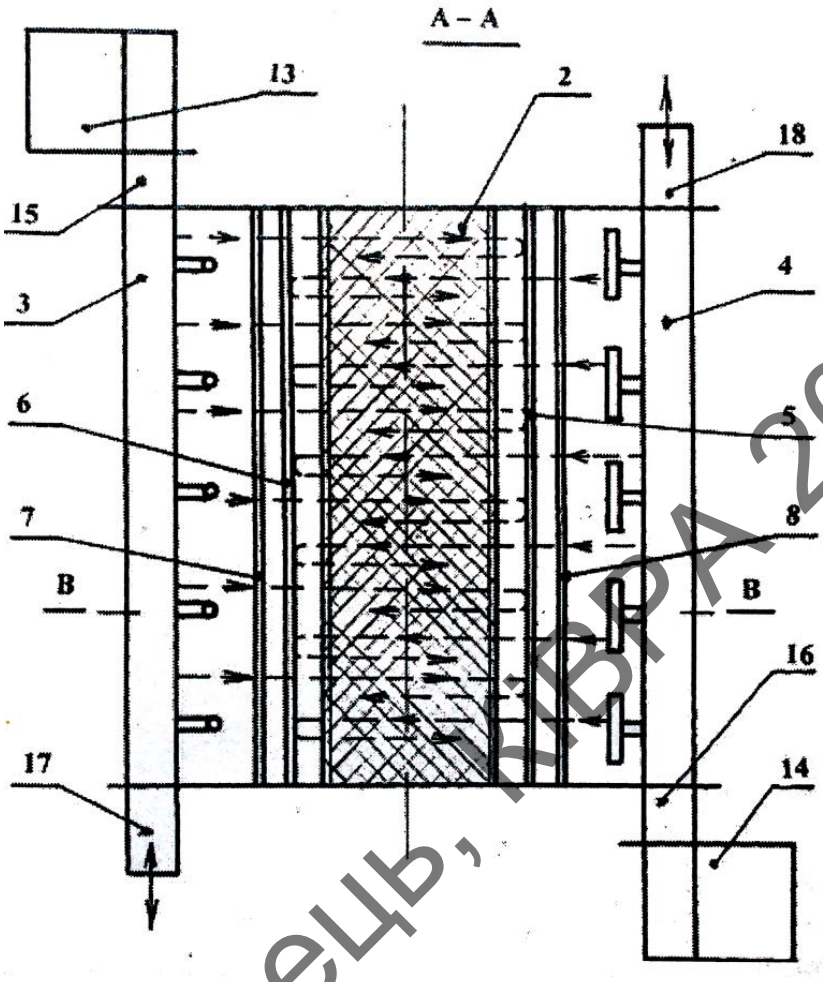

Рисунок 3.2 — Установка для сушіння зерна та інших сипучих матеріалів (горизонтальний розріз)

Поляризовані дзеркала формують з вузьких металевих смужок, які орієнтовані паралельно до вектора напруженості поля (поляризаційного вектору).

Діелектричні пластинки використовують Для узгодження антених граток 3 та 4, з камерою опромінення 2, 7 та 8 рис. 3.1 та рис. 3.3.

Наведені вище засоби: вибір камери опромінення, вибір оптимальної відстані до діелектричних пластин та поляризованих дзеркал, уможливлюють досягнення максимальної продуктивності (максимального значення ККД) робочої камери.

В. М. Васьковець, КВРА 2015

Щоб забезпечити повністю замкнений (екранований) простір використовують нижній та верхній 9 та 10 екрани, рис. 3.1 та рис. 3.3.

Чвертьхвилеві канавки 11, рис. 3.1. застосовують для розв'язування лінійних випромінювачів, які представляють собою хвилеводно-щілинні або хвилеводно-вібраторні випромінювальні антени. Забезпечення розв'язування відбувається за рахунок поперечних струмів, які протікають по вершині хвилеводу.

Опромінююча решітка сконструйована з хвилеводно-вібраторної та хвилеводно-щілинної антен, до яких з однієї сторони підключено магнетронні генератори 13 та 14, рис. 3.2 і прилади для узгодження магнетрона з опромінювачами 15 і 16, рис. 3.2, а з іншої сторони підключено замикаючі пристрої 17 і 18, рис. 3.2.

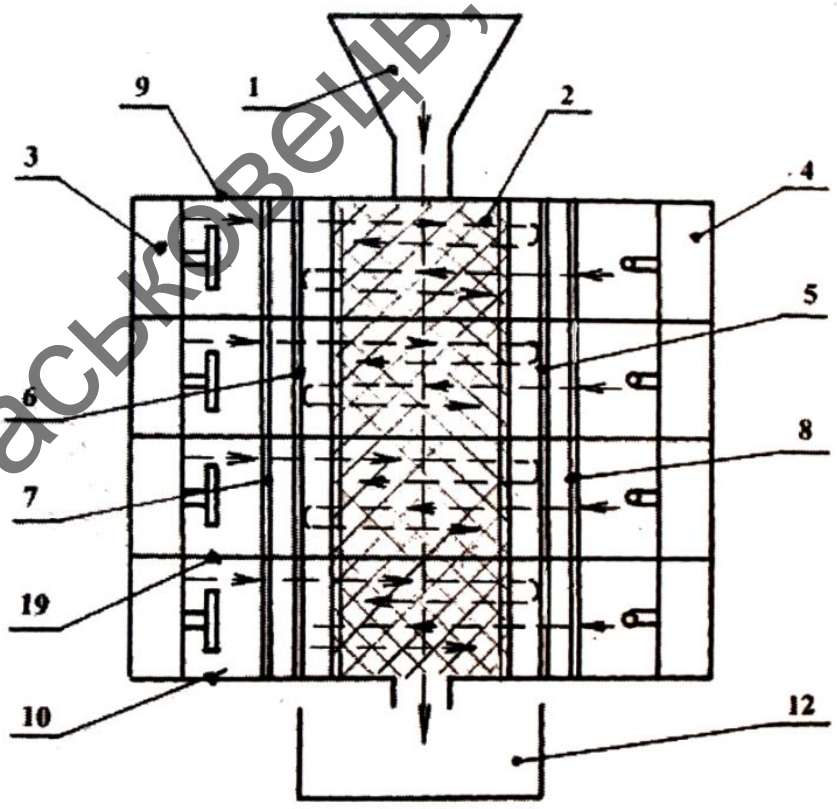

Рисунок 3.3 — Установка для сушіння зерна та інших сипучих матеріалів з використанням додаткових екрануючих сіток (вертикальний розріз)

В. М. Васьковець, КІВРА 2015

Екрануючі сітки 19 (рис. 3.3) використовують при потребі повної розв'язки між лінійним опромінювачами [16].

В установках з високим ККД використовують N магнетронів і N лінійних випромінювачів невеликої або середньої потужностей. В порівнянні з використаням єдиного потужного магнетрона, запропонований варіант має наступні переваги:

— підвищення надійності пристрою, бо при виході з ладу одного чи кількох магнетронів, сама установка працюватиме далі;

— значне зменшення вартості магнетронного генератора електромагнітних хвиль;

— збільшення сумарного часу використання випромінювачів;

— підвищити ККД генератора.

Це також дає значну економію, під час виробництва та експлуатаціл опромінювача з кількома магнетронами, в порівнянні з з використанням одного потужного магнетрона.

3.2 Розподіл напруженості електромагнітного поля в робочій камері

Розподіл амплітуди електричної компоненти електромагнітного поля в середовищі з поглинанням енергії і при наявності падаючої і відбитої хвиль без зміни поляризації відбитої хвилі

Варіант 1. Використання комплексної змінної і показової форми.

При даному підході падаюча хвиля може бути представлена виразом:

$$\dot{E}_{\text{п}} = \dot{E}_0 \cdot e^{-\alpha z} \cdot e^{-j\beta z} \cdot e^{j\omega t},$$

де E_0 – амплітуда напруженості електричного поля на вході в середовище; α – постійна згасання середовища; β – фазова постійна середовища; ω – кутова постійна сигналу; z – поточна координата, яка відраховується від границі середовища, яка знаходиться найближче до опромінювача; t – час.

В. М. Васьковець, КІВРА 2015

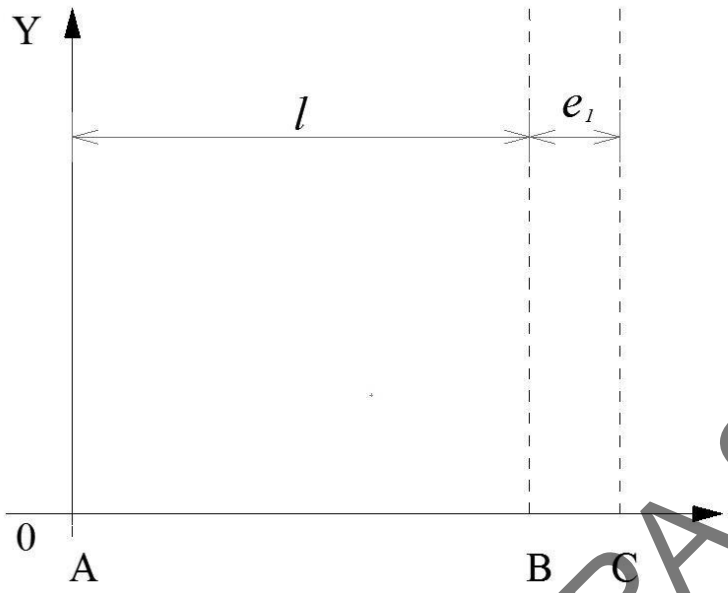

Рисунок 3.4

На представленому рисунку 3.4 l – товщина шару середовища, яке опромінюється електромагнітною хвилею і в якій енергія електромагнітного поля поглинається; *l1* – відстань до відбивача, що повністю відбиває електромагнітну хвилю; А – перша (найближча) границя середовища, в якому енергія поглинається ; В – друга (дальня) границя середовища з поглинанням енергії; С – площина відбивача, що повністю відбиває електромагнітну хвилю (метал). На проміжку ВС електромагнітна хвиля не поглинається.

Відбита хвиля:

$$\dot{E}_{\text{в}} = E_0 \cdot e^{-\alpha(l+l-z)} \cdot e^{-j\beta(l+l-z)} \cdot e^{-j\omega t} \cdot e^{-j2\varphi}$$

$$= E_0 \cdot e^{-\alpha(2l-z)} \cdot e^{-j\beta(2l-z)} \cdot e^{-j\omega t} \cdot e^{-j2\varphi}$$

Де $l + l - z$ – в множнику $e^{-\alpha(l+l-z)}$ характеризує згасання електромагнітної хвилі, що пройшла шлях в напрямку від А до В і втратила відповідну енергію; $l - z$ – шлях в зворотньому напрямку , на якому достатньо згасає електромагнітна хвиля. Так при $l = z$ хвиля проходить відстань l, а при *z=0* – відстань, що пройшла електромагнітна хвиля дорівнює $2l$ і відповідно, збільшилося її згасання. В множнику $e^{-j\beta(l+l-z)}$ відповідно

В. М. Васьковець, КіВРА 2015

змінюється фаза сигналу на відстані l при прямому русі і $l-z$ при зворотньому русі; множник $e^{-j2\varphi}$ характеризує зміну фази при русі електромагнітної хвилі на проміжку ВС при її русі в прямому і зворотньому напрямках, тобто φ означає зміну фази при русі електромагнітної хвилі в одному напрямку на відстані ВС в середовищі без втрат [17].

Розподіл напруженості електричного поля на проміжку АВ визначається сумою хвиль, що рухаються в прямому напрямку від А до В і в зворотньому, від В до А напрямках з врахуванням фазових співвідношень. Фазовий зсув на відрізку ВС:

$$\varphi = \beta_1 \cdot l_1,$$

де β_1 – фазова постійна на проміжку ВС=l_1 і дорівнює:

$$\beta_1 = \frac{2\pi}{\lambda},$$

де λ – довжина хвилі в повітрі.

Таким чином, задаючи значення φ, точніше l_1, можна підібрати оптимальну відстань відбиваючої стінки від камери з матеріалом, що опромінюється.

Сумарна хвиля на участку АВ=l_1.

$$\dot{E}_c = \dot{E}_{\text{п}} + \dot{E}_{\text{в}},$$

$$\dot{E}_c = E_0 \cdot e^{-\alpha z} \cdot e^{-j\beta z} \cdot e^{-j\omega t} + E_0 \cdot e^{-\alpha(2l-z)} \cdot e^{-j\beta(2l-z)} \cdot e^{j\omega t} \cdot e^{-j2\varphi}.$$

В даному виразі за дужки виноситься множники E_0, $e^{-\alpha l}$, $e^{-j\beta l}$, $e^{-j\omega t}$ та $e^{-j\varphi}$, тоді:

$$\dot{E}_c = E_0 \cdot e^{-\alpha l} \cdot e^{-j\beta l} \cdot e^{-j\varphi} \cdot e^{j\omega t}\left\{e^{\alpha(l-z)} \cdot e^{j\beta(l-z)} \cdot e^{j\varphi} + e^{-\alpha(l-z)} \cdot e^{-j\beta(l-z)} \cdot e^{-j\varphi}\right\}.$$

Або :

$$\dot{E}_c = E_0 \cdot e^{-j\beta l} \cdot e^{-\alpha l} \cdot e^{-j\varphi} \cdot e^{j\omega t}\left\{e^{\alpha(l-z)} + j\beta(l-z) + \varphi + e^{-[\alpha(l-z)+j\beta(l-z)+\varphi]}\right\}$$

Вираз в дужках можемо представити як:

$$e^{\gamma} + e^{-\gamma},$$

В. М. Васьковець, КІВРА 2015

де $\gamma = \alpha(l-z) + j[\beta(l-z)+\varphi]$, або $\gamma = \gamma_1 + j\gamma_2$, де – $\gamma_1 = \alpha(l-z)$; $\gamma_2 = \beta(l-z)+\varphi$.

Згідно з даними наведеними в довіднику [1]

$$e^{\gamma} + e^{-\gamma} = 2ch\gamma$$

$$ch\gamma = ch(\gamma_1 + j\gamma_2) = ch\gamma_1 \cos\gamma_2 + j\sin\gamma_1 ch\gamma_2$$

І, відповідно:

$$e^{\gamma} + e^{-\gamma} = 2\{ch\alpha(l-z)\cdot cos[\beta(l-z)+\varphi] + j\sin\alpha(l-z)\cdot ch[\beta(l-z)+\varphi]\}.$$

З урахуванням цього:

$$\dot{E}_c = E_0 \cdot e^{-\alpha l}\cdot e^{-j(\beta l+\varphi)}\cdot e^{j\omega t}\cdot 2\{ch\alpha(l-z)\cdot cos[\beta(l-z)+\varphi] + j\sin\alpha(l-z)\cdot ch[\beta(l-z)+\varphi]\}.$$

Відомо також, що:

$$e^{jx} = \cos x + j\sin x,$$

Тому:

$$e^{-j(\beta l+\varphi)} = cos(\beta l+\varphi) - j\sin(\beta l+\varphi).$$

Тоді:

$$\dot{E}_c = E_0 \cdot e^{-\alpha l}\cdot 2[cos(\beta l+\varphi) - j\sin(\beta l+\varphi)]\cdot\{ch\alpha(l-z)\cdot cos[\beta(l--z)+\varphi] + +j\sin\alpha(l-z)\cdot sh[\beta(l-z)+\varphi]\}e^{j\omega t}.$$

Так як необхідно розрахувати розподіл амплітуд напруженості електричного поля, то множник $e^{j\omega t}$ приймаємо за одиницю, множники, що знаходяться в квадратних і фігурних дужках мають комплексний характер, тому амплітуда буде визначатися як модуль цих чисел, тобто:

$$|\dot{E}_c| =$$

$$= 2\cdot E_0\cdot e^{-\alpha l}\sqrt{cos^2(\beta l+\varphi) + sin^2(\beta l+\varphi)}$$

$$\cdot\sqrt{ch^2\alpha(l-z)cos^2[\beta(l-z)+\varphi] + sin^2\alpha(l-z)sh^2[\beta(l-z)+\varphi]}$$

Відомо, що $sin^2x + cos^2x = 1$, тому перший радикал дорівнює 1 і сумарна напруженість поля (амплітуда напруженості поля) залежно від l, z і φ приймає вигляд:

В М. Васьковець, КІВРА 2015

$$|E_c| =$$

$$2 \cdot E_0 e^{-\alpha l}\sqrt{ch^2\alpha(l-z)cos^2[\beta(l-z)+\varphi] + sin^2\alpha(l-z)sh^2[\beta(l-z)+\varphi]}.$$

Даний вираз використовується для розрахунку розподілу напруженості електричного поля в залежності від параметрів камери l і φ, поточної координати z і параметрів середовища α і β, де α – постійна згасання середовища, а β – фазова постійна: ($\beta = \frac{2\pi}{\lambda}$), де λ – довжина хвилі в середовищі, що визначається постійною сигналу і діелектричною проникністю середовища. При визначенні $sin\alpha(l-z)$, кутовий параметр $\alpha(l-z)$ представляється в радіанах [18].

Для трьох видів зерна, а саме для пшениці, кукурудзи та сої, при температурі 23°С при різних значеннях вологості та діелектричної проникності (табл. 3.1), а також для камер різної ширини, за допомогою програмного забезпечення Mathcad 15, було розраховано глибину проникнення в залежності від товщини шару при опроміненні зерна електромагнітним полем НВЧ частотою 6ГГц.

Таблиця 3.1. Діелектричні властивості для пшениці, кукурудзи та сої

Частота, ГГц	Пшениця Вологість 10,2%		Кукурудза Вологість 10,8%		Соя Вологість 9,8%	
	ε'	ε"	ε'	ε"	ε'	ε"
6	2,7	0,25	2,72	0,33	2,54	0,2
	Вологість 17,8%		Вологість 20,4%		Вологість 20,3%	
	ε'	ε"	ε'	ε"	ε'	ε"
6	3,26	0,6	3,7	0,96	4,0	0,97

На рисунках 3.5 — 3.8 представлено результати розрахунків для сої при різному значенні вологості та ширині робочої камери 150 см.

В. М. Васьковець, КІВРА 2015

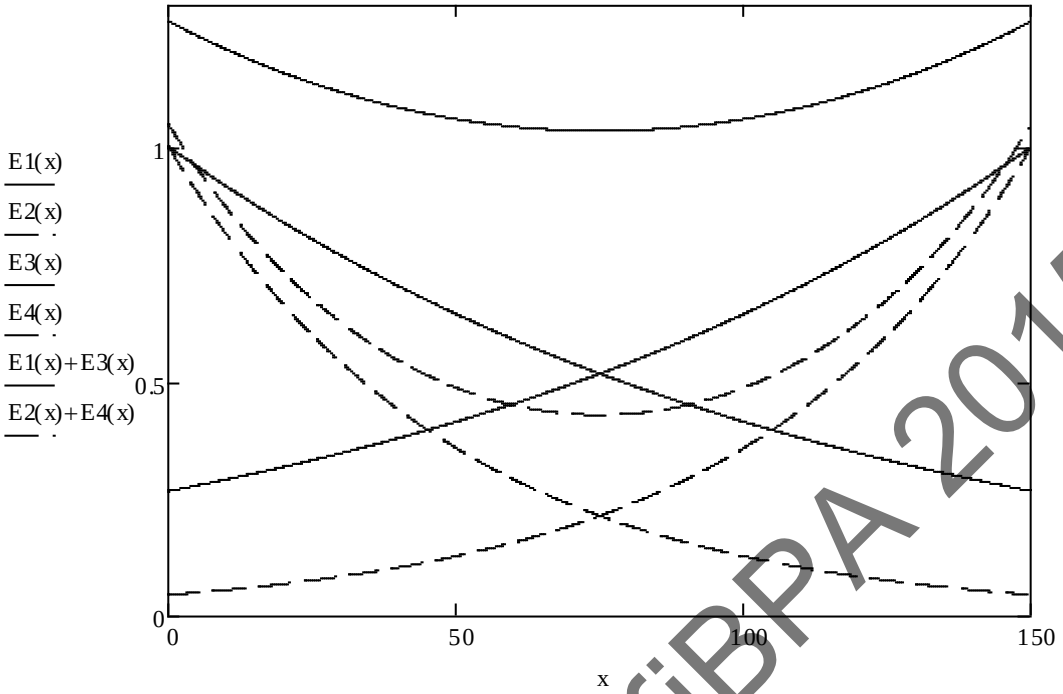

Рисунок 3.5 —Розподіл напруженості падаючих електромагнітних хвиль в робочій камері з двохстороннім опроміненням без врахування відбиття при різних значеннях діелектричної проникності (яка залежить від вологості)

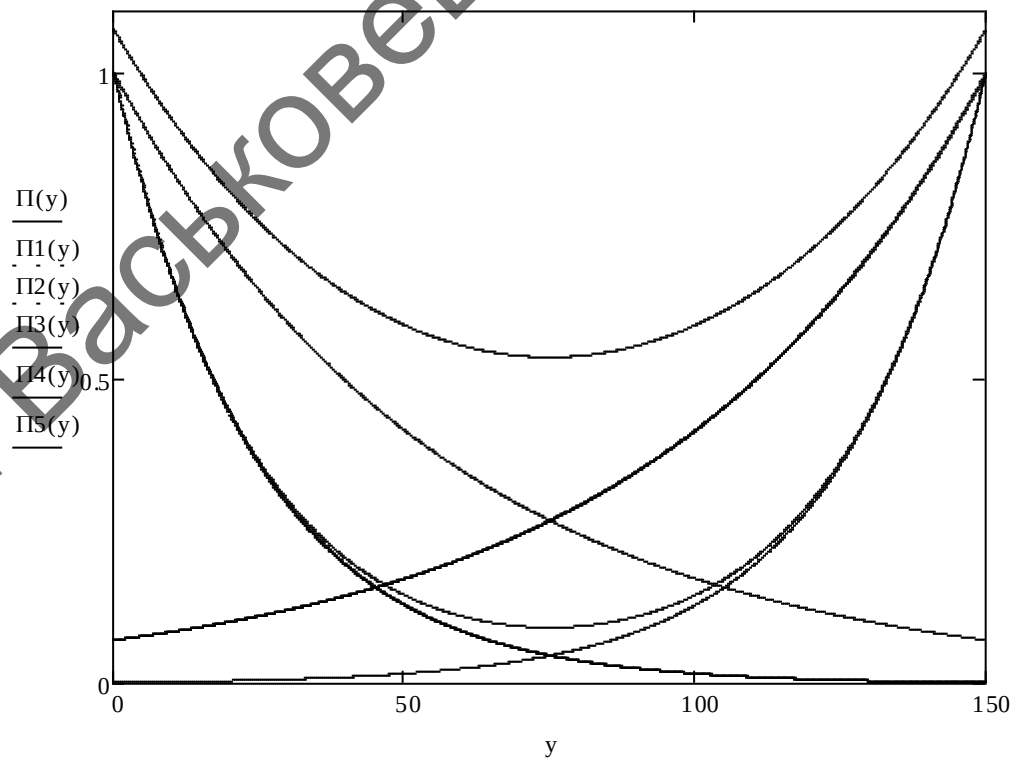

Рисунок 3.6 — Розподіл щільності потужності падаючих електромагнітних хвиль в робочій камері з двохстороннім опроміненням при різних значеннях діелектричної проникності

В. М. Васьковець, КіВРА 2015

В. М. Васьковець, КіВРА 2015

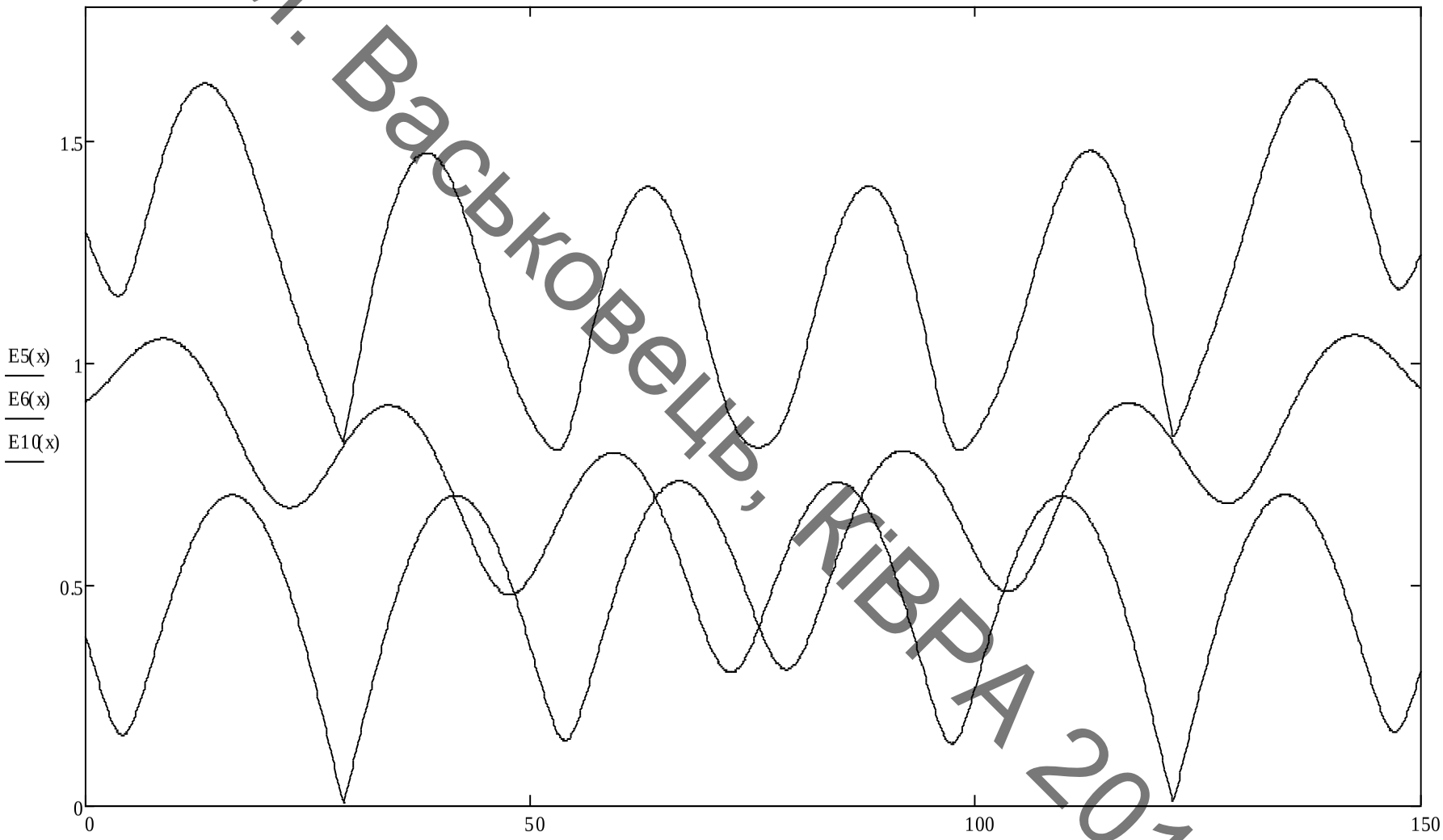

Рисунок 3.23 — Сумарне значення напруженості поля в робочій камері з врахуванням відбиття при двохсторонньому опроміненні

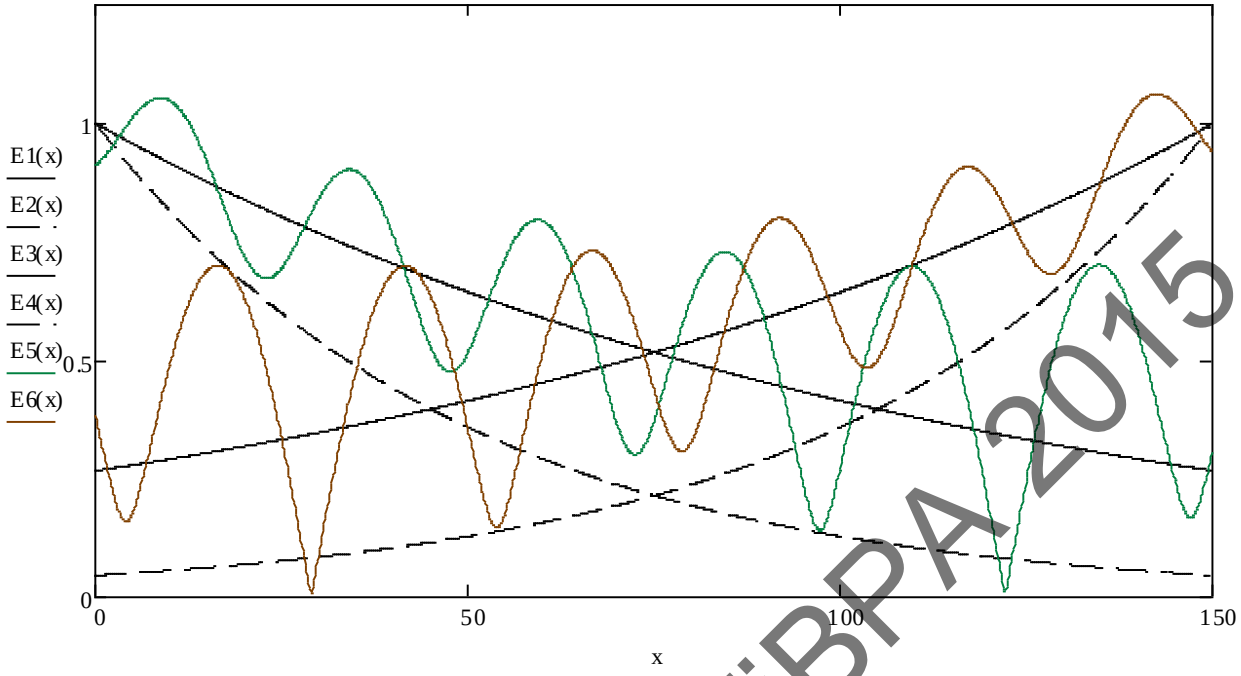

Рисунок 3.8 — Значення напруженості електромагнітного поля в робочій камері з врахуванням відбиття при двохсторонньому опроміненні

На рисунках 3.9 — 3.12 представлено результати розрахунків для сої при різному значенні вологості та ширині робочої камери 180 см.

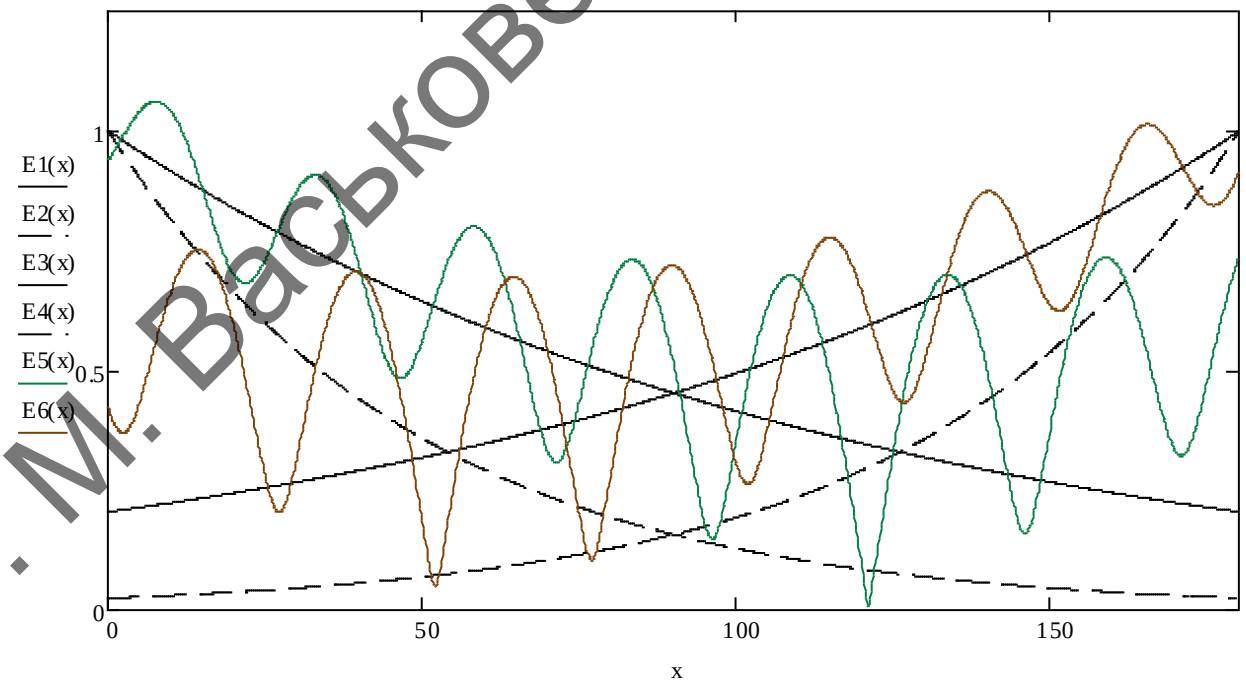

Рисунок 3.9 — Значення напруженості електромагнітного поля в робочій камері з врахуванням відбиття при двохсторонньому опроміненні (ширина камери 180 см)

В. М. Васьковець, КіВРА 2015

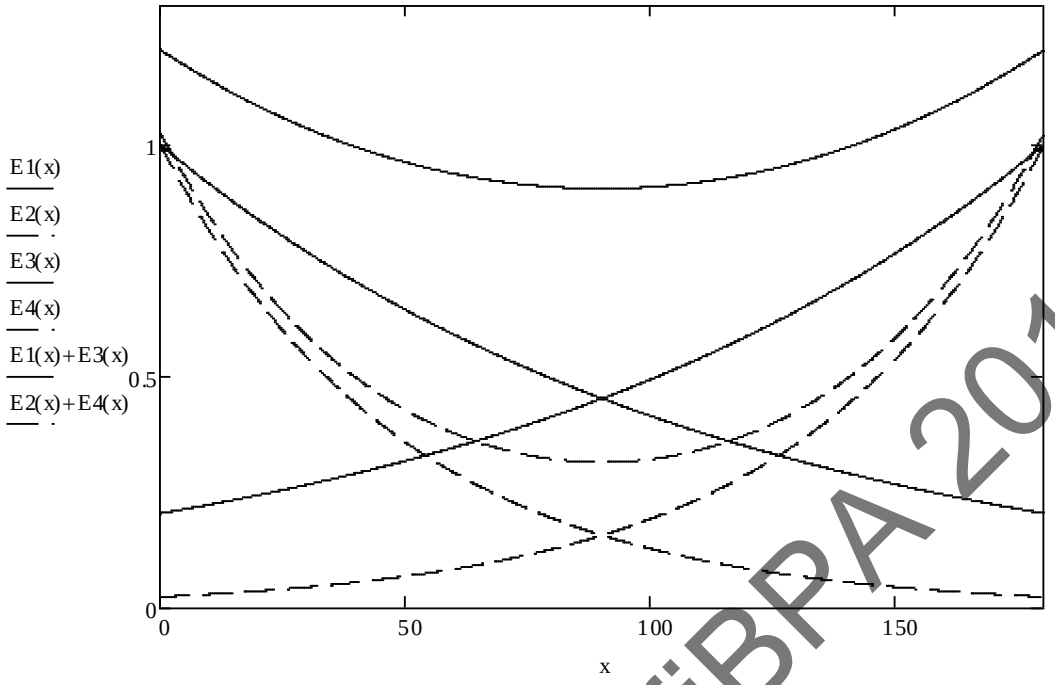

Рисунок 3.10 — Розподіл напруженості падаючих електромагнітних хвиль в робочій камері з двохстороннім опроміненням без врахування відбиття при різних значеннях діелектричної проникності

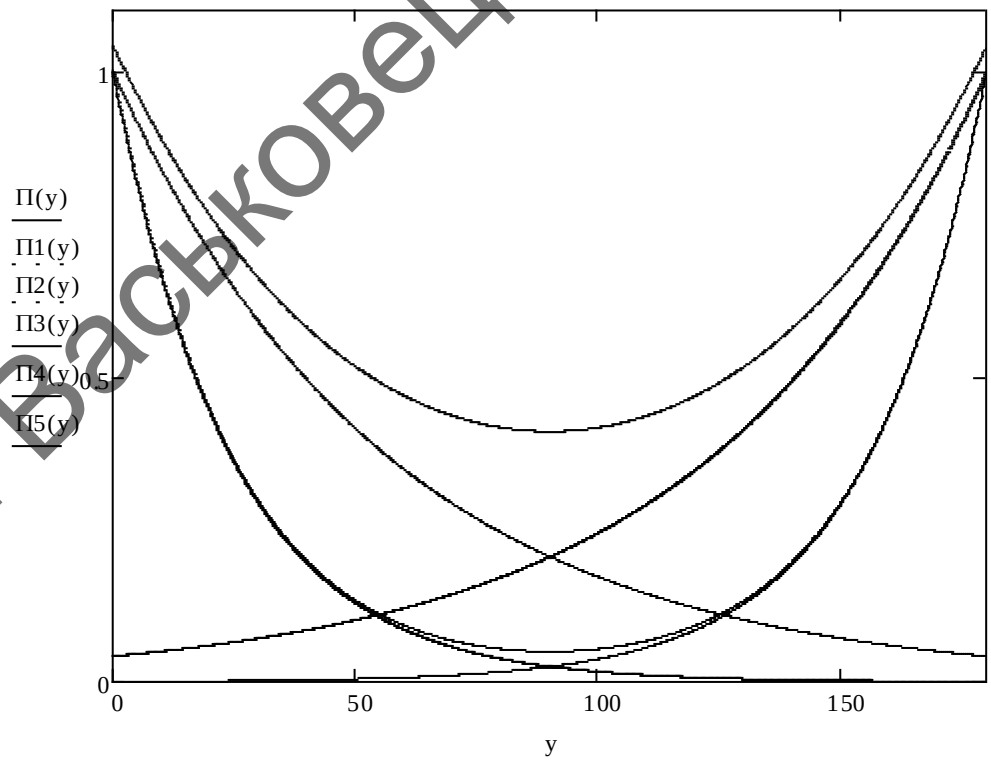

Рисунок 3.11— Розподіл щільності потужності падаючих електромагнітних хвиль в робочій камері з двохстороннім опроміненням при різних значеннях діелектричної проникності

В. М. Васьковець, КіВРА 2015

В. М. Васьковець, КІВРА 2015

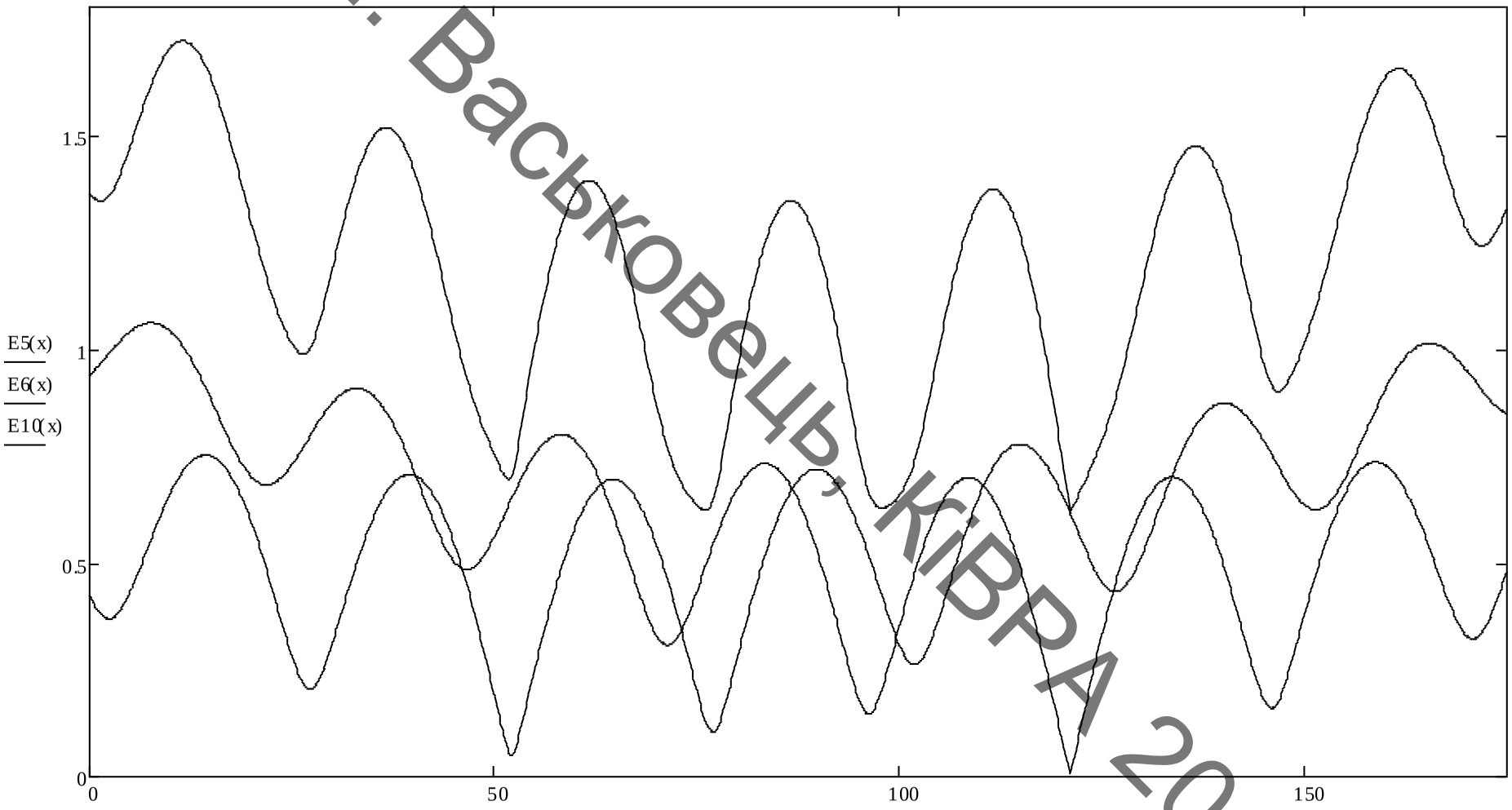

Рисунок 3.12 — Сумарне значення напруженості поля в робочій камері з врахуванням відбиття при двохсторонньому опроміненні

На рисунках 3.13 — 3.16 представлено результати розрахунків для пшениці при різному значенні вологості та ширині робочої камери 150 см.

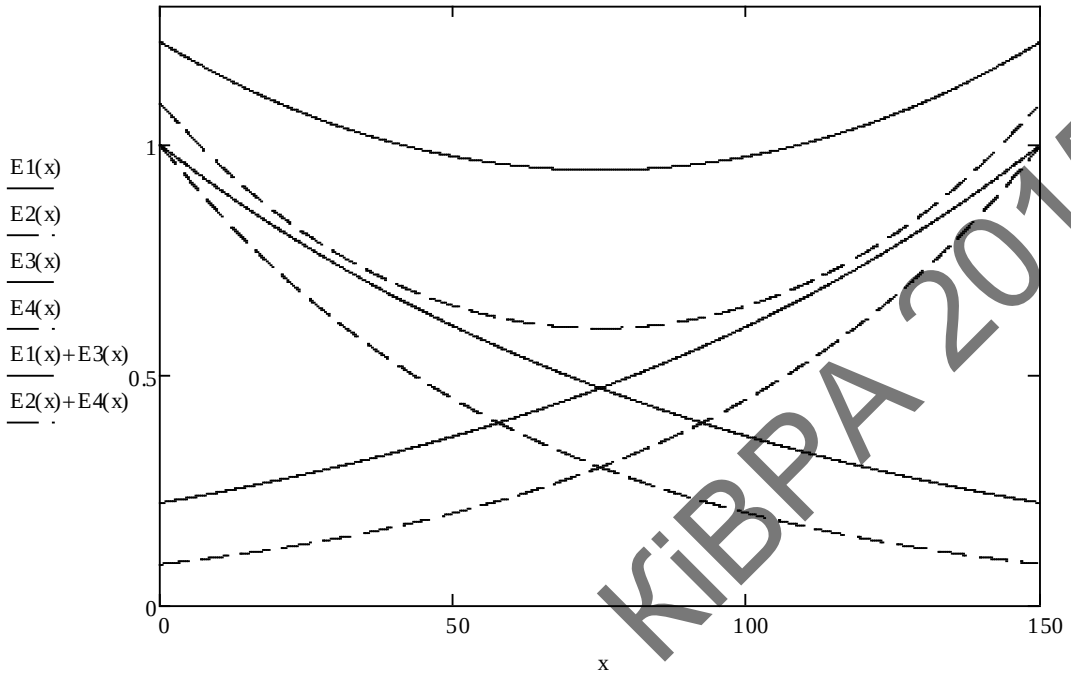

Рисунок 3.13 —Розподіл напруженості падаючих хвиль з двохстороннім опроміненням без врахування відбиття при різній діелектричній проникності

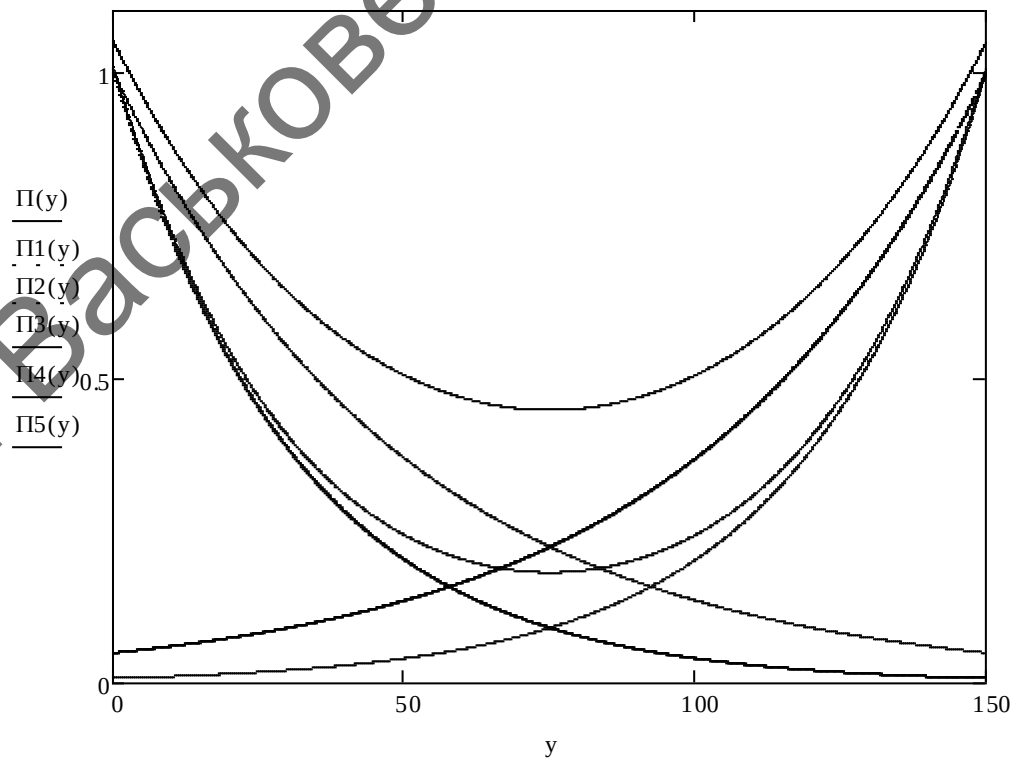

Рисунок 3.14—Розподіл щільності потужності падаючих хвиль в робочій камері з двохстороннім опроміненням при різній діелектричній проникності

В. М. Васьковець, КіВРА 2015

В. М. Васьковець, КІВРА 2015

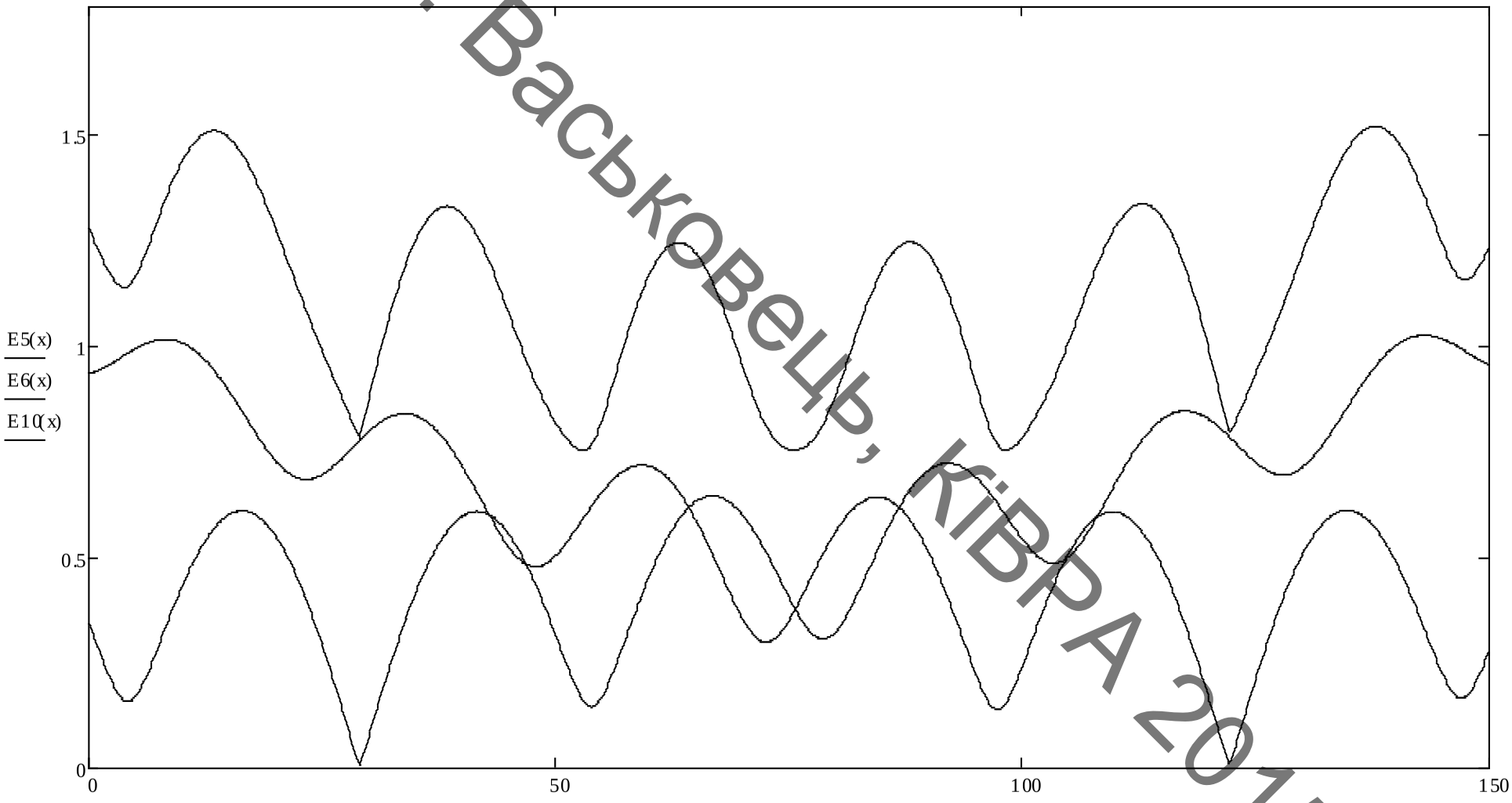

Рисунок 3.15 — Сумарне значення напруженості поля в робочій камері з врахуванням відбиття при двохсторонньому опроміненні

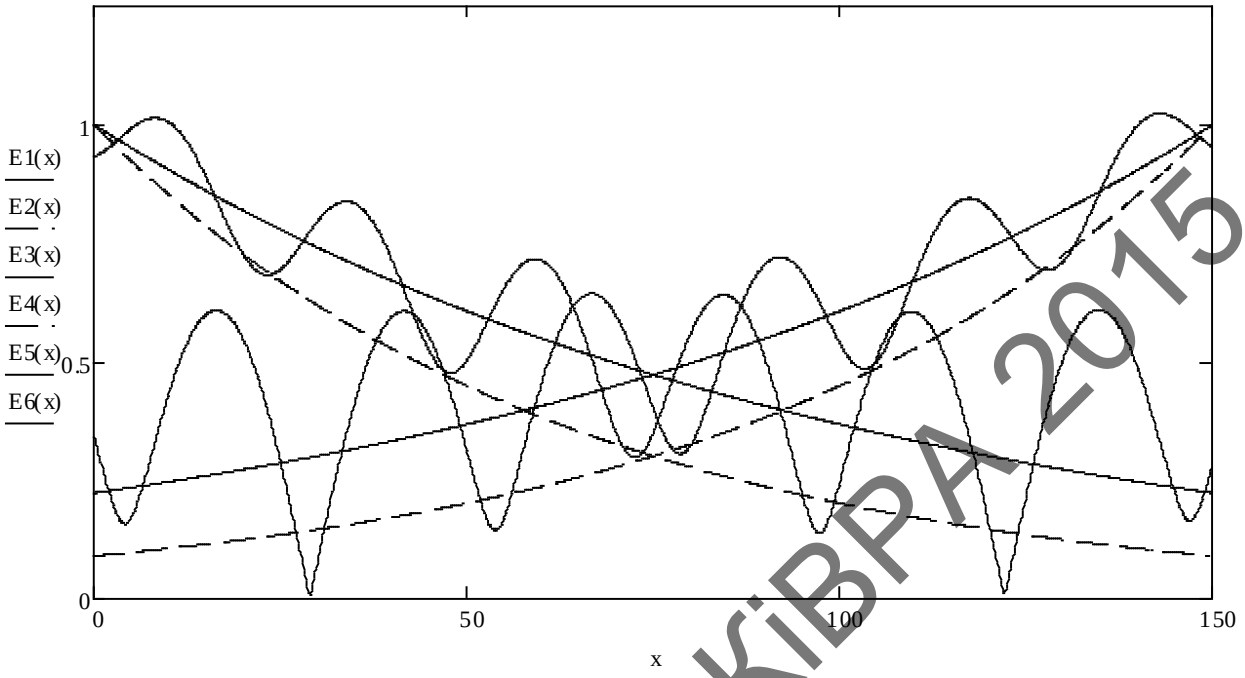

Рисунок 3.16 — Значення напруженості електромагнітного поля в робочій камері з врахуванням відбиття при двохсторонньому опроміненні

На рисунках 3.17— 3.20 представлено результати розрахунків для пшениці при різному значенні вологості та ширині робочої камери 180 см.

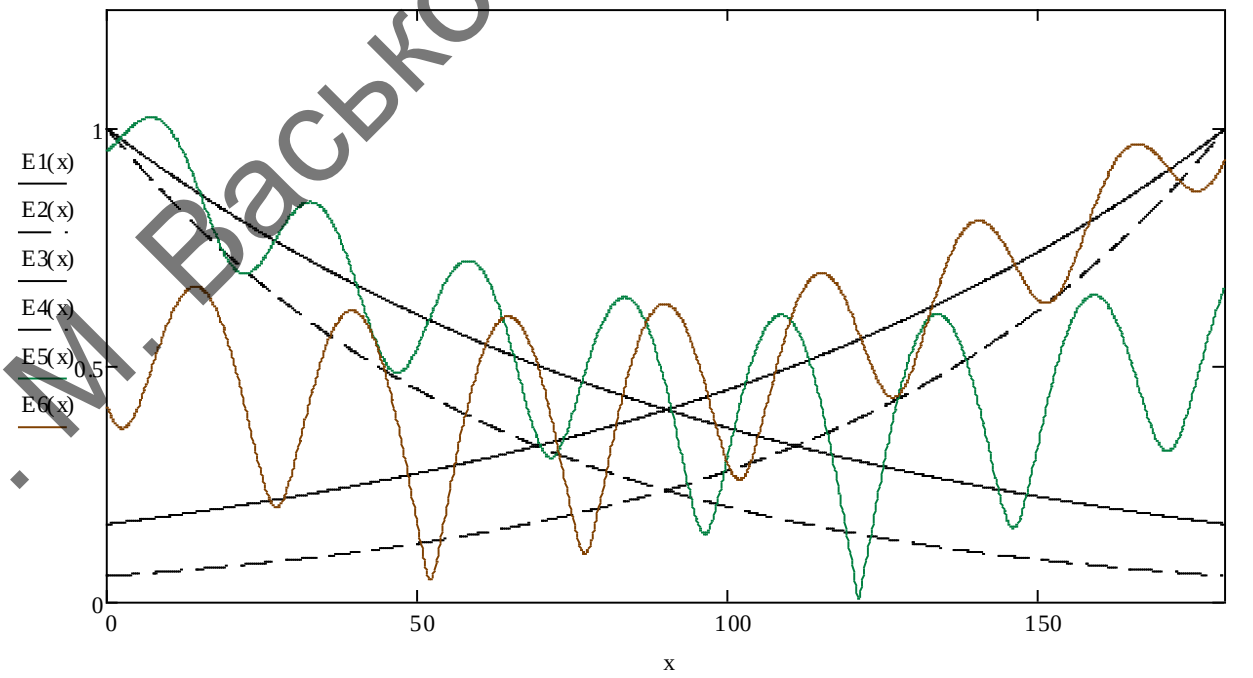

Рисунок 3.17 — Значення напруженості електромагнітного поля в робочій камері з врахуванням відбиття при двохсторонньому опроміненні

В. М. Васьковець, КІВРА 2015

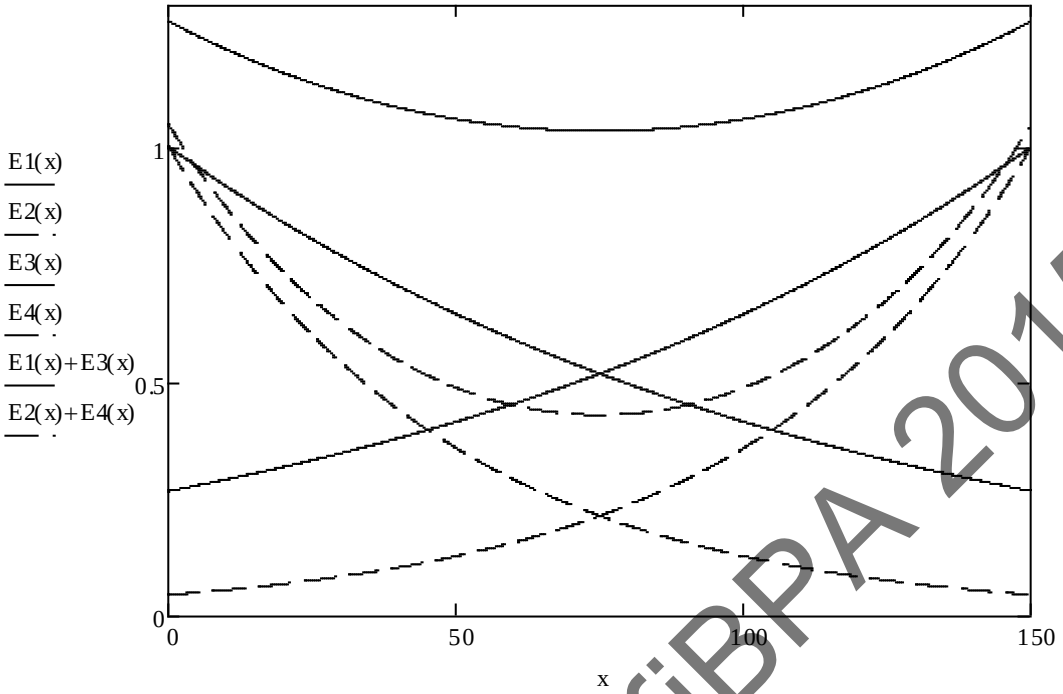

Рисунок 3.18 — Розподіл напруженості падаючих електромагнітних хвиль в робочій камері з двохстороннім опроміненням без врахування відбиття при різних значеннях діелектричної проникності

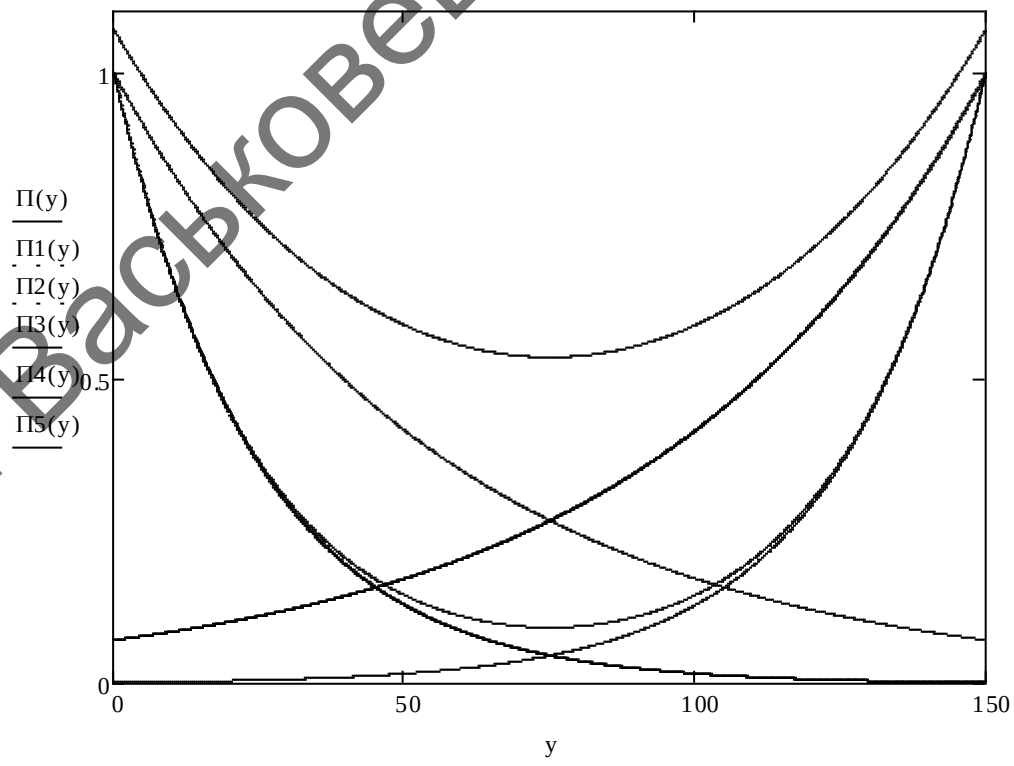

Рисунок 3.19 — Розподіл щільності потужності падаючих електромагнітних хвиль в робочій камері з двохстороннім опроміненням при різних значеннях діелектричної проникності

В. М. Васьковець, КіВРА 2015

В. М. Васьковець, КіВРА 2015

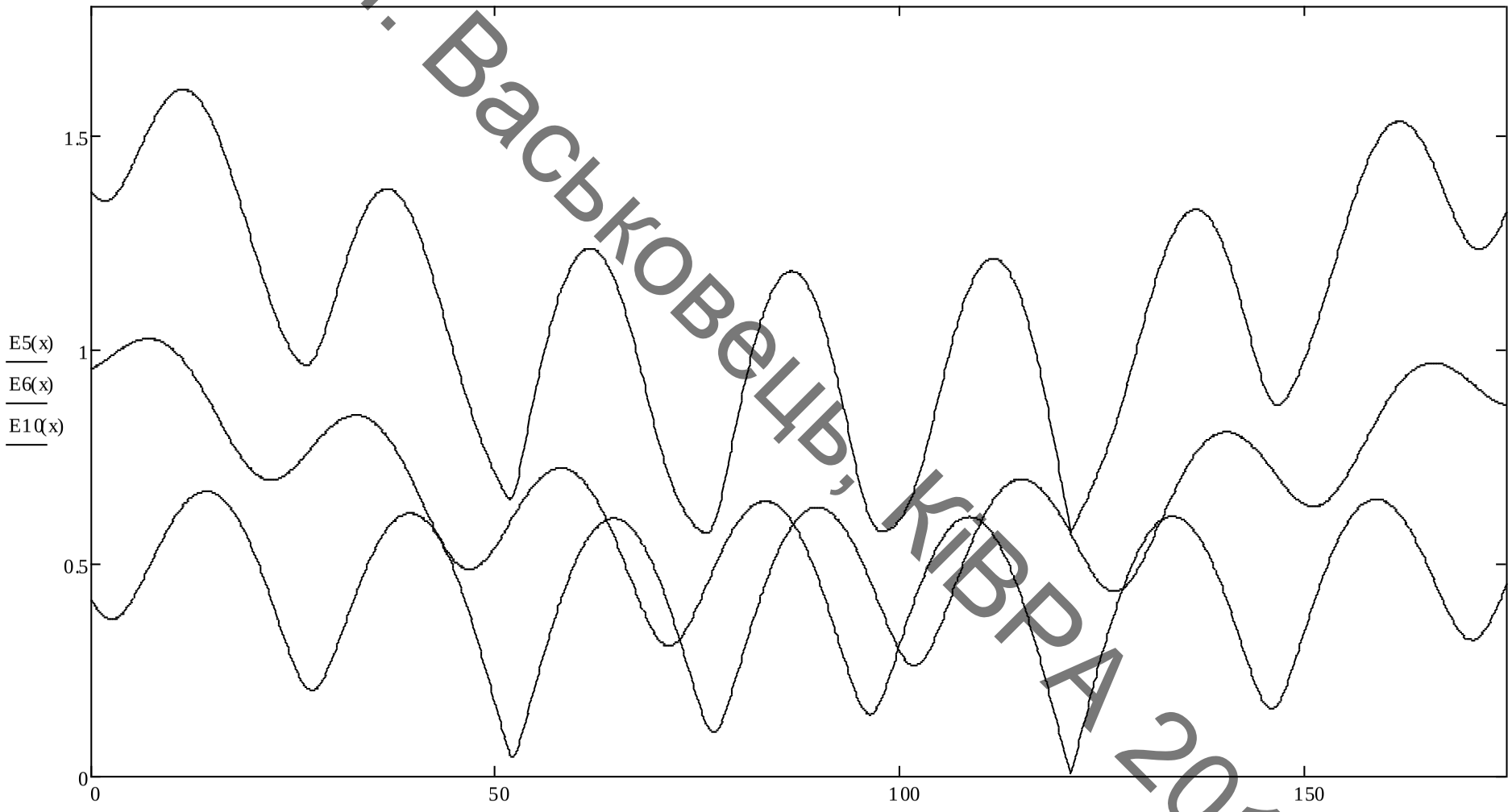

Рисунок 3.20 — Сумарне значення напруженості поля в робочій камері з врахуванням відбиття при двохсторонньому опроміненні

На рисунках 3.21 — 3.24 представлено результати розрахунків для кукурудзи при різному значенні вологості та ширині робочої камери 150 см.

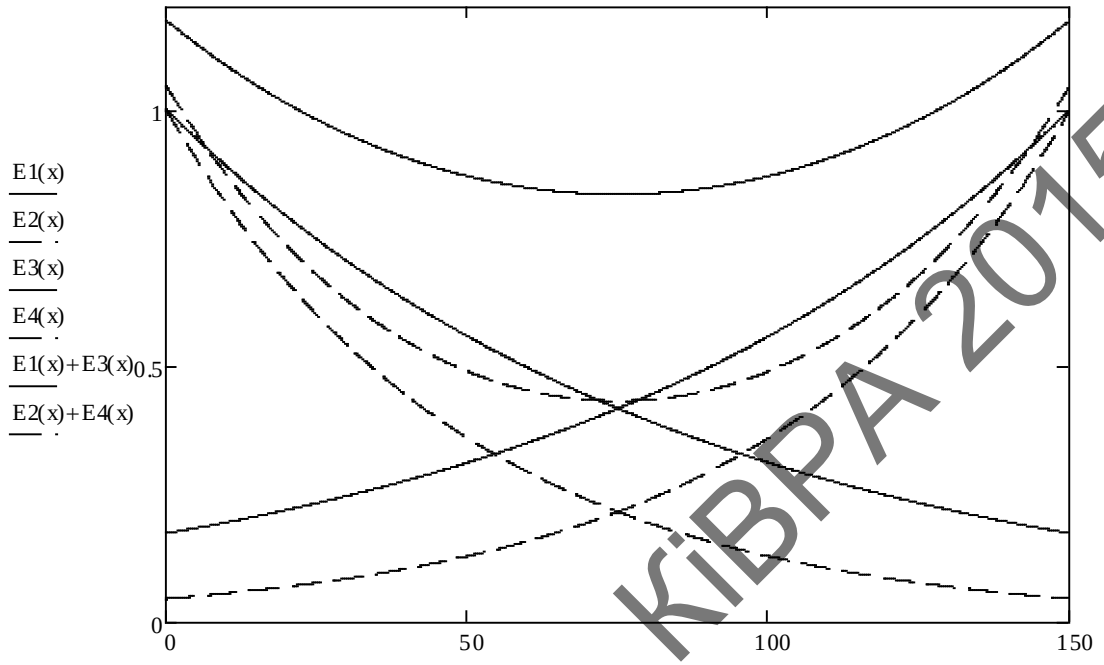

Рисунок 3.21—Розподіл напруженості падаючих хвиль з двохстороннім опроміненням без врахування відбиття при різній діелектричній проникності

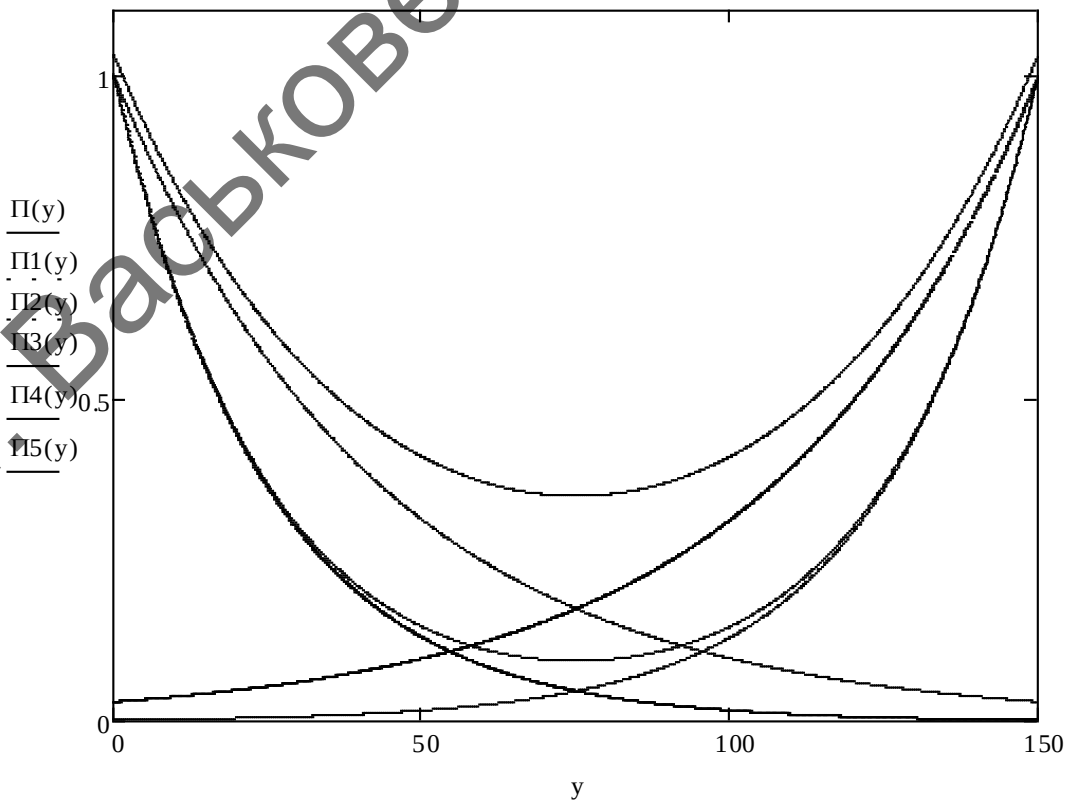

Рисунок 3.22—Розподіл щільності потужності падаючих хвиль в робочій камері з двохстороннім опроміненням при різній діелектричній проникності

В. М. Васьковець, КіВРА 2015

В. М. Васьковець, КіВРА 2015

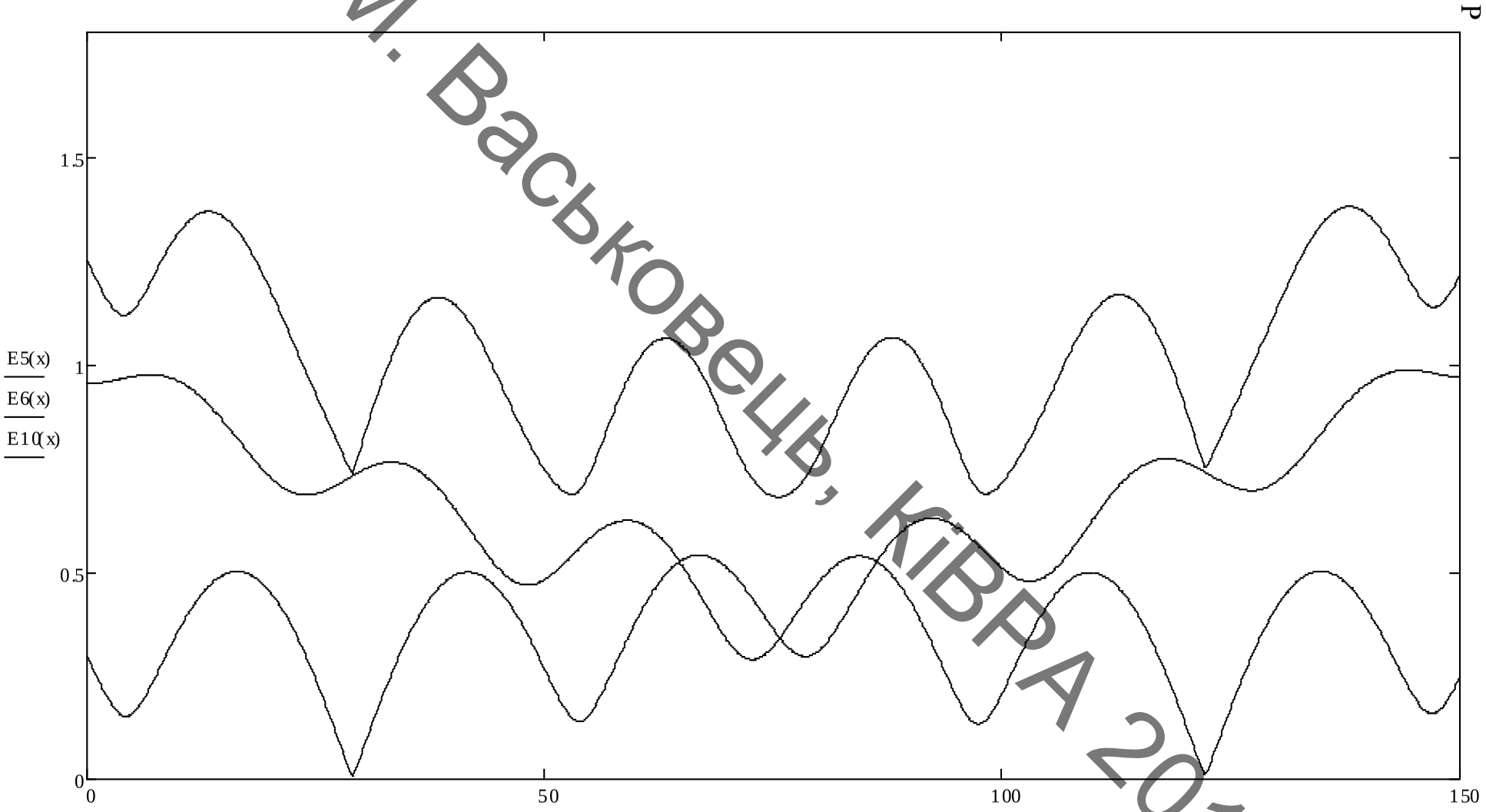

Рисунок 3.23 — Сумарне значення напруженості поля в робочій камері з врахуванням відбиття при двохсторонньому опроміненні

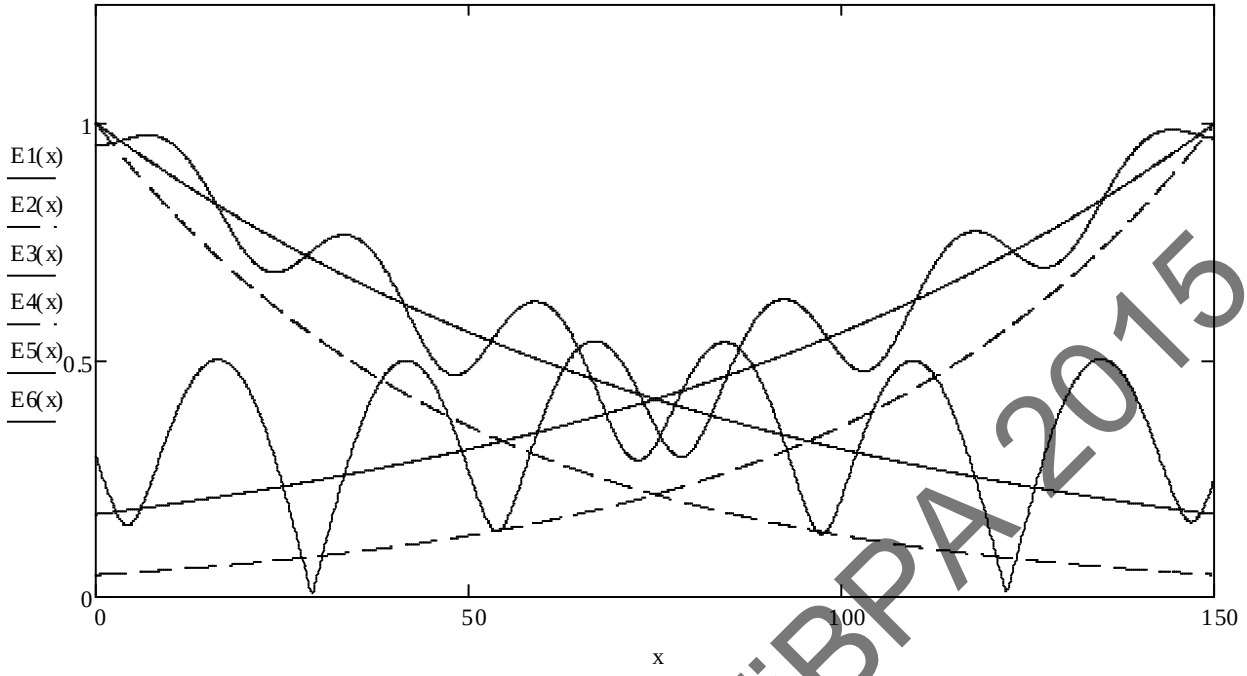

Рисунок 3.24 — Значення напруженості електромагнітного поля в робочій камері з врахуванням відбиття при двохсторонньому опроміненні

На рисунках 3.25 — 3.28 представлено результати розрахунків для кукурудзи при різному значенні вологості та ширині робочої камери 180 см.

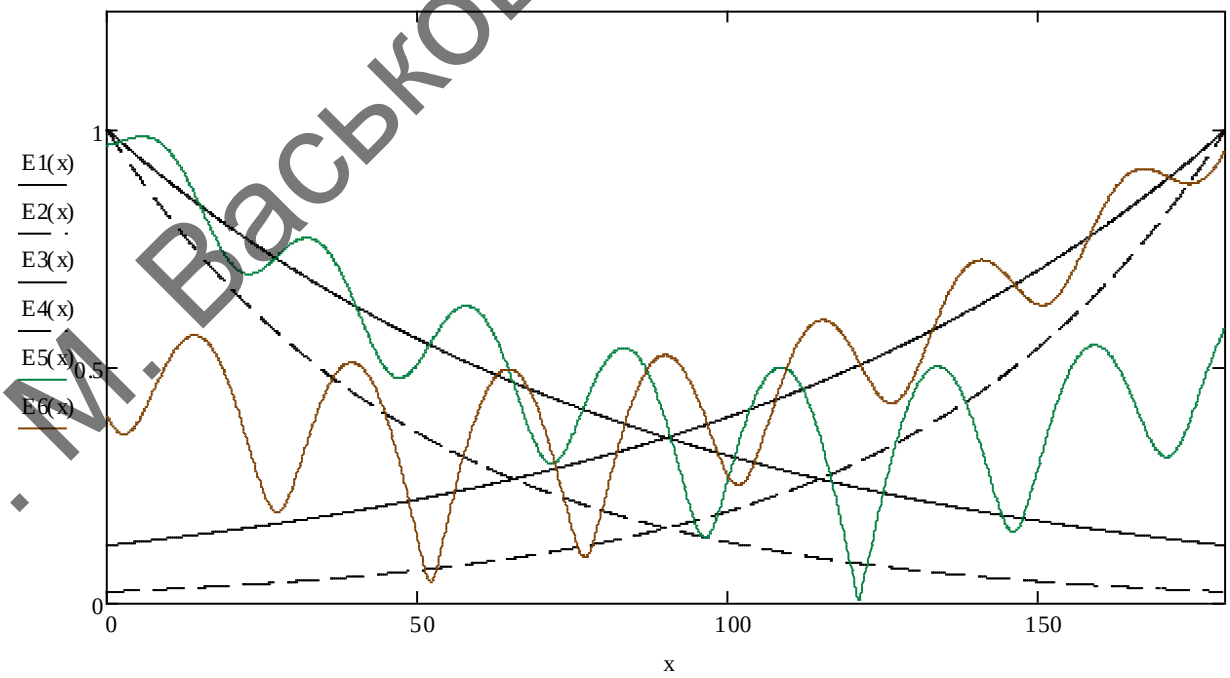

Рисунок 3.25 — Значення напруженості електромагнітного поля в робочій камері з врахуванням відбиття при двохсторонньому опроміненні

В. М. Васьковець, КіВРА 2015

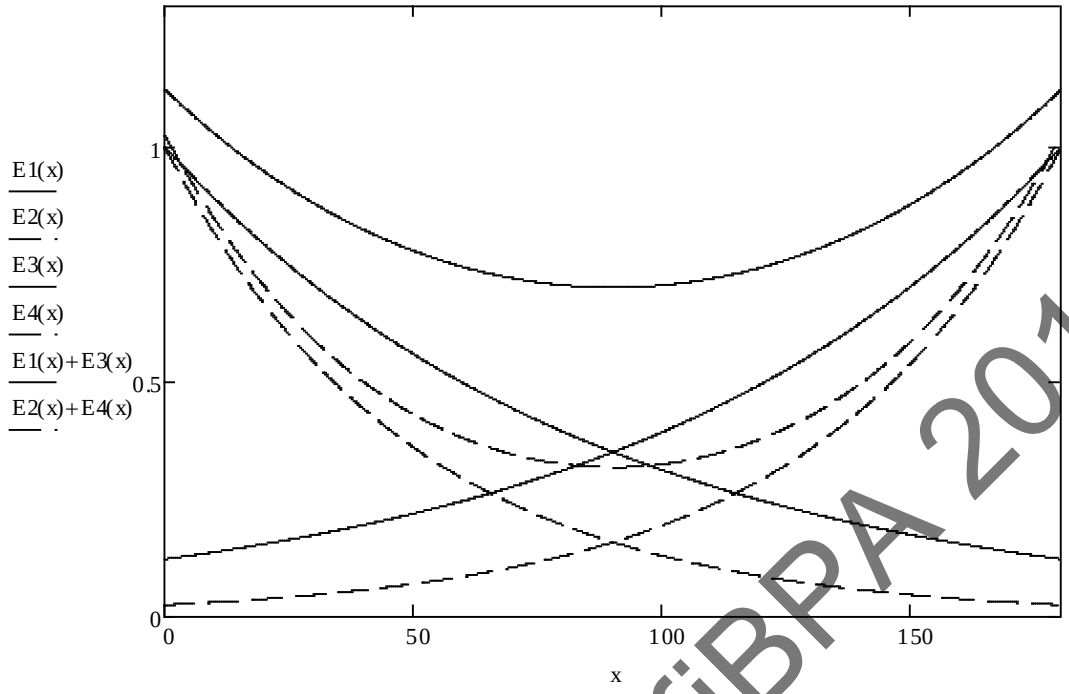

Рисунок 3.26 — Розподіл напруженості падаючих електромагнітних хвиль в робочій камері з двохстороннім опроміненням без врахування відбиття при різних значеннях діелектричної проникності

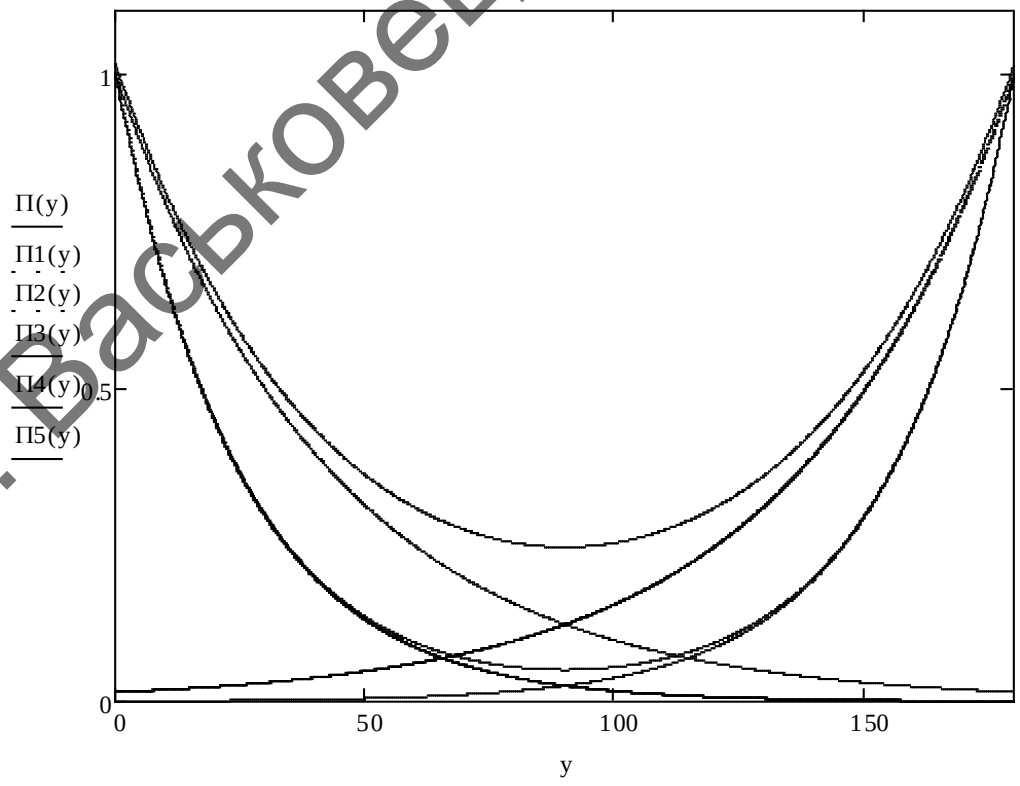

Рисунок 3.27—Розподіл щільності потужності падаючих хвиль в робочій камері з двохстороннім опроміненням при різній діелектричній проникності

В. М. Васьковець, КіВРА 2015

В. М. Васьковець, КіВРА 2015

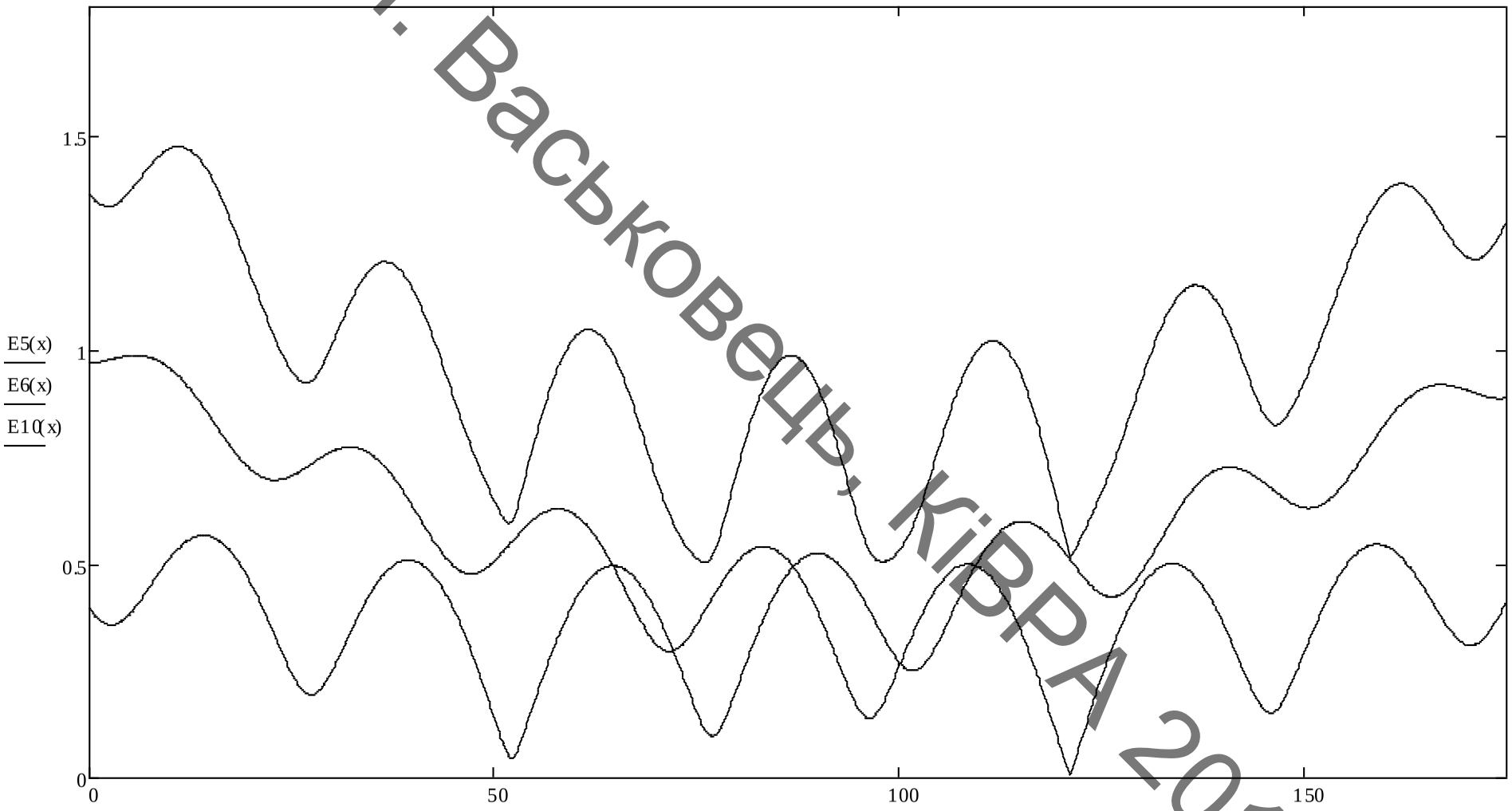

Рисунок 3.28 — Сумарне значення напруженості поля в робочій камері з врахуванням відбиття при двохсторонньому опроміненні

Висновок

1. Приведені в даному розділі варіанти сушарок мають суттєві переваги порівняно з розглянутими в першому розділі. Завдяки двохсторонньому опроміненню сипучого матеріалу, підвищується однорідність розподілу поля в поперечній площині; даний варіант має потенціал нарощування продуктивності і до необхідного значення; застосування N джерел з потужністю P замість одного з потужністю NP значно підвищує надійність роботи обладнання, в рази зменшує первинну вартість і експлуатаційні витрати обладнання.

2. Математичні вирази, що запропоновано в даному розділі, можуть бути використані для розрахунків розподілу напруженості електричного поля та щільності потужності поперечному перетині активної камери з урахуванням відбитої хвилі і фазових співвідношень падаючої і відбитої хвиль.

3. Використовуючи вище згадані математичні вирази проведено розрахунки розподілу напруженості електричного поля як функції поперечних координат для зерна різних сільськогосподарських культур, що мають різну вологість з урахуванням двостороннього опромінення і фаз відбитих хвиль, які залежать від положення відбиваючих поверхонь. Доведено, що при відповідному виборі товщини шару зерна та положення відбиваючих поверхонь, можна досягнути високої однорідності розподілу поля в об’ємі активної камери.

В. М. Васьковець, КіВРА 2015

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА ПРИ ВИНИКНЕННІ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ

В даному розділі вирішуються завдання, які пов’язані із забезпеченням сприятливих умов праці для здоров′я при конструюванні та розрахунках пристрою для сушіння та знезараження зерна електромагнітним полем НВЧ. Таким чином, потрібно визначити всі потенційно небезпечні та шкідливі виробничі фактори, що мають місце при цьому, а також ступінь їх небезпеки на робочому місці і розробити заходи для захисту робітників від негативного впливу даних факторів при перевищенні ними допустимих норм.

4.1 Визначення основних потенційно шкідливих та небезпечних факторів та їх оцінка

Розрахунки проведено за допомогою персонального комп’ютера (ПК). Під час роботи на ПК працівник піддається впливу іонізуючого, інфрачервоного й ультрафіолетового випромінювань від екрана монітора, рівень випромінення повинен відповідати вимогам ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні санітарні правила і норми роботи з ВДТ ПЕОМ».

Під час проведення всього циклу робіт пов’язаних з проектуванням, потенційно шкідливими та небезпечними факторами можуть являтися:

— можливість ураження електричним струмом;

— несприятливі мікрокліматичні умови;

— підвищений рівень шуму;

— можливість виникнення пожежі;

— невідповідність освітлення санітарним нормам;

— наявність електромагнітного випромінювання.

Розглянемо детальніше вплив представлених факторів.

В. М. Васьковець, КіВРА 2015

4.2 Організаційні заходи та технічні рішення з безпеки і гігієни праці та виробничих приміщень

4.2.1 Освітлення робочого місця

Штучне освітлення, точніше відсутність у спектрі ламп денного світла й ламп розжарювання активної ультрафіолетової складової під час тривалого впливу може призвести до ультрафіолетового голодування, коли знижується активність бактерицидного захисту шкіри та імунітету.

На збереження тривалої працездатності, покращення продуктивності роботи істотний вплив досягається завдяки дотриманню норм освітлення робочого місця. Освітленість регламентується згідно з нормами ДБН В.2.5-28-2006. Д І групи приміщень належать робочі приміщення, тобто приміщення, в яких розрізняти об'єкти зорової роботи необхідно здійснювати при фіксованому напрямі лінії зору працівника на робочу поверхню.

Освітлення штучним світлом нормують згідно ДБН В.2.5-28-2006. При загальному освітленні застосовують люмінесцентні лампи, які мають ряд переваг. Розрахунок світлового потоку при штучному освітленні проводять використовуючи метод коефіцієнта потоку:

$$Ф = \frac{E \cdot K \cdot S \cdot Z}{N \cdot C}, \qquad (4.1)$$

де $Ф$ — величина світлового потоку;

E—мінімальна освітленість (нормована);

K— коефіцієнт запасу;

S— площа освітлення;

Z— коефіцієнт нерівномірності освітлення;

C—коефіцієнт використання світлового потоку на площі;

N— кількість ламп.

Норму освітленості (згідно ДБН В.2.5-28-2006) можна визначити:

$$E = 300 \text{ лк};\ K = 1{,}5;\ S = 5 \cdot 4 = 20 \text{ м}^2;\ Z = 1{,}2.$$

Потрібна кількість люмінесцентних ламп:

В. М. Васьковець, КІВРА 2015

$$N = \frac{E \cdot K \cdot S \cdot Z}{\Phi \cdot C}. \quad (4.2)$$

Для освітлення приміщення найкраще підходять люмінесцентні лампи денного світла з номінальною потужністю 40 Ват. Значення нормального світлового потоку для даного виду ламп складає $\Phi = 2340$ лм. Також розрахувавши індекс приміщення, можна визначити залежність між площею приміщення та висотою підвісу:

$$i = \frac{A \cdot B}{h \cdot (A + B)}, \quad (4.3)$$

де $A = 5$ м — довжина приміщення; $B = 4$ м — ширина приміщення; h — висота підвісу;

$$h = H - h\text{р} - h\text{с}, \quad (4.4)$$

де $H = 3{,}5$ м — висота приміщення; $h\text{р} = 0{,}8$ м — висота робочої поверхні; $h\text{с} = 0{,}4$ м — висота від стелі до нижньої частини лампи;

$$h = 3{,}5 - 0{,}8 - 0{,}4 = 2{,}3 \text{ м};$$

$$i = \frac{4 \cdot 5}{2{,}3 \cdot (4 + 5)} = 0{,}97.$$

Значення коефіцієнта використання світлового потоку в приведеному приміщенні становитиме $C = 0{,}3$. Кількість необхідних ламп дорівнює:

$$N = \frac{300 \cdot 1{,}5 \cdot 20 \cdot 1{,}2}{2340 \cdot 0{,}3} = 1{,}5.$$

Тобто, для освітлення робочого приміщення вистачить 2 люмінесцентні лампи денного світла з потужністю 40 Вт (ЛД—40), світловий потік для яких складає $\Phi = 2340$ лм.

4.2.2 Організація робочого місця при роботі за персональним комп'ютером

Згідно з ДСанПіН 3.3.2.007-98 "Державні санітарні норми та правила роботи з візуальними дисплейними терміналами (ВДТ) електронно-обчислювальних машин", встановлено норми згідно з якими необхідно

В. М. Васьковець, КІВРА 2015

забезпечувати охорону праці працівників при використанні персонального комп’ютера (ПК). Дотримання даних правил допоможе в великій мірі зменшити наслідки негативного впливу шкідливого випромінювання на працівників при виконанні роботи з відеодисплейними приладами.

Робочі місця з ПК розміщені на відстані не менш 1,5 м відносно стіни з вікнами, а від інших стін — на відстані 1 м, відстань між робочими місцями з ПК повинна бути не менше ніж 1,5 м. ПК розміщуються так, щоб природне освітлення падало збоку, бажано зліва. Сонцезахисні жалюзі необхідно використовувати для захисту при прямому впливі сонячного випромінювання, яке створює відблиски на маніторах.

Вимоги до освітлення приміщень та робочих місць під час роботи з персональним комп’ютером:

- освітлення робочого місці повинне відповідати характеру зорової роботи, що визначають за допомогою трьох параметрів: об'єкт розрізнення (найменший розміром об'єкта, який розглядається на моніторі ПК); фоном, (характеризується коефіцієнтом відбиття); контрастом фону та об'єкта;
- забезпечення рівномірного розподілу яскравості на робочій поверхні монітора;
- на екрані монітора не повинно бути різких тіней;
- не повинно бути відблисків що викликають осліплення (підвищена яскравість поверхні монітора);
- освітленість повинна бути постійною при роботі за монітором ПК.

Для забезпечення процесу більш точного та швидшого зчитування даних з монітора він повинен бути в зоні найкращого бачення, площину екрану монітора необхідно розмістити перпендикулярно до нормальної лінії зору. При цьому можливо переміщати монітор навколо вертикальної осі в межах ±30° (справа наліво) та нахилу вперед до 85° і назад до 105° з можливістю фіксації в даному положенні. Клавіатуру слід розміщувати на поверхні столу на відстані 10-30 см від краю робочого місця. Кут нахилу клавіатури до столу в межах від 5 до 15° так, що зап'ястя на долонях рук розташовані

В. М. Васьковець. КІВРА 2015

горизонтально до площини столу. Дане положення клавіатури досить зручне для виконання роботи двома руками.

Штучне освітлення робочого місця, обладнаного ПК, слід забезпечувати завдяки системі загального рівномірного освітлення. Джерелом штучного освітлення слід застосовувати люмінесцентні лампи ЛБ.

Тривалість регламентованих перерв під час роботи з ПК складає 10 хвилин через кожну годину роботи.

Щоб зменшити нервово-емоційне навантаження, втому зорової системи, для покращення кровообігу в мозку і запобіганню втомі, доцільно використовувати перерви для виконання комплексу вправ, передбачених в ДСанПіН 3.3.2.007-98.

4.2.3 Електробезпека

Приміщення лабораторії для проведення досліджень, відповідно до ПУЕ та ОНТП24-86 належить до приміщень, де немає підвищеного ризику. Електроустаткування належить до класу 0I, I та II за параметром електрозахисту (обладнання до 1000 В), згідно з ГОСТ 12.2.007.0-75.

Під час роботи в лабораторії, робітник може доторкнутися до певних елементів електрообладнання, що знаходяться під напругою. Небезпека дотикання до небезпечних елементів електрообладнання зводиться до розрахунку сили струму, який проходить крізь тіло людини, та до зрівняння з допустимими значеннями згідно з ГОСТ 12.1.038-88. Допустимий струм, який проходить крізь тіло, буде залежати від схеми ввімкнення електрообладнання в мережу, а також від значення підведеного живлення.

Для виконання розрахунків використовується ПК, який належить до I та II класу захисту (напруга живлення 220 В). Щоб підібрати правильні заходи та засоби захисту від вражень струмом слід знати допустиме значення напруги та струму дотикання, який може пройти крізь тіло робітника.

В. М. Васьковець, КіВРА 2015

Згідно ГОСТ 12.1.038-88 (табл. 4.2 та 4.3), можна визначити допустиму напругу дотикання та силу струму при нормальному та аварійному режимах роботи електрообладнання.

Гранично допустима величина струму, який проникає в тіло людини, тривалість впливу якого складатиме більше 1 с становить нижче порогу невідпускаючого струму, через це, при дотиканні до небезпечних ділянок приладу, робітник зможе звільнитись самостійно від впливу струму.

Основні технічні засоби, які забезпечують безпечне виконання роботи (відповідно до ПУЕ-87, ГОСТ 12.1.009-76) є: покриття надійною ізоляцією, виконання захисного заземлення, занулення, захисне відключення, засоби індивідуального захисту.

Таблиця 4.1. Гранично допустимі значення напруги дотикання $U_{доп}$ та сили струму $I_л$, який проходить кріль тіло людини під час нормальної роботи електроустановки

Вид струму	$U_{доп}$, В(не більше)	$I_л$, мА (не більше)
Змінний, 50 Гц	2	0,3
Змінний, 400 Гц	3	0,4
Постійний	8	1,0

Таблиця 4.2. Гранично допустимі значення напруги дотикання $U_{доп}$ та $I_л$, який проходить крізь тіло людини під час аварійного режимі електроустановки

Вид струму	Нормоване значення	Тривалість дії струму t, с					
		0,1	0,2	0,5	0,7	1,0	>1,0
Змінний, *50 Гц*	$U_{доп}$, В	500	250	100	70	50	36
	$I_л$, мА	500	250	100	70	50	6
Постійний	$U_{доп}$, В	500	400	250	230	200	40
	$I_л$, мА	500	400	250	230	200	15

В.М.Васьковець, КіВРА 2015

В системі трьохфазних мереж з глухо-заземленою нейтраллю, яку використовують в науково-дослідних лабораторіях, найкращими засобами захисту є: хороша ізоляція струмоведучих частин електричного устаткування згідно з ГОСТ 12.1.009-76 і занулення згідно з ПУЕ (з'єднання елементів, які перебувають під напругою, із глухо заземленою нейтраллю). Для заземлення переносних частин обладнання також використовують спеціальні з'єднання.

4.2.4 Допустимі норми виробничого шуму

На робочому місці допустимий рівень шумових характеристик нормуються згідно ДСН 3.3.6.037-99. Допустиме та еквівалентне значення рівня звукових коливань регламентуються згідно з ДНАОП 0.00-1.31-99 та ДСН 3.3.6.037-99. Звукові коливання в робочих приміщеннях не повинні перевищувати 50 дБ.

Джерелом шуму в робочій частині приміщенні виступають персональні комп'ютери, принтери, телефони, кондиціонер, витяжка, розмови, якщо це виробничий цех, то робота станків, тощо.

Щоб зменшити рівень шумових навантажень на працівників, згідно ГОСТ 12.1.003-83 та ДСН 3.3.6.037-99 необхідно зменшити рівень шуму джерела, раціонально спланувати та обладнати робочу зону приміщення звукоізоляційним матеріалом.

4.2.5 Параметри мікроклімату робочої зони

До параметрів мікроклімату робочих приміщень відносять: температуру повітря, температуру робочої поверхні, відносну вологість, швидкість руху повітря та інтенсивність теплового випромінювання.

Оптимальні та допустимі значення параметрів мікроклімату залежно від періоду року й категорії робіт, забезпечуються згідно «Санітарних норм мікроклімату виробничих приміщень» ДСН 3.3.6.042-99. Допустимі та

В. М. Васьковець, КІВРА 2015

оптимальні параметри, приведено в таблиці 4.1, для мікроклімату для категорії тяжкості робіт «І а» (сидяча робота, що не потребує фізичних навантажень, а енергетичні витрати становлять близько 120 ккал/годину).

Таблиця 4.3. Допустимі та оптимальні значення параметрів мікроклімату робочої зони (при постійному робочому місці).

Параметр	Холодний період		Теплий період	
	допустимі	оптимальні	допустимі	оптимальні
Температура, ^{o}C	21-25	22-24	22-28	23-25
Швидкість руху повітря, м/с	0,1	0,1	0,1-0,2	0,1
Відносна вологість, %	80	40-60	75	40-60

Для опалення робочого приміщення в холодну пору року, використовують 8-ми секційну чавунну батарею центрального опалення, завдяки чому підтримується нормальна температура повітря. Також є кондиціонер для підтримки постійної температури в приміщенні.

В робочому приміщенні для провітрювання використовується природна вентиляція, є два вікна, які відкривають при потребі. Небезпечні матеріали в робочому приміщенні не використовують та не зберігають.

4.2.6 Забезпечення безпеки при виникненні надзвичайних ситуацій

Безпека в надзвичайних ситуаціях регламентується згідно з ПЛАС (ДНАОП 0.00 — 4.33 — 99). Однією з головних складових ПЛАС є розробка технічних та організаційних вирішень щодо оповіщення персоналу лабораторії при виникненні надзвичайних ситуацій, а також вирішення питань з протипожежної безпеки.

В. М. Васьковець, КІВРА 2015

4.2.7 Організація ефективної роботи системи оповіщення виробничого персоналу у разі виникнення надзвичайної ситуації

Для підвищення рівня безпеки в надзвичайних ситуаціях (НС) пропонується встановлення системи оповіщення (СО) виробничого персоналу.

Оповіщення виробничого персоналу у разі виникнення НС, наприклад, під час пожежі, здійснюється згідно з вимогами НАПБ А.01.003-2009.

Оповіщення про НС та керування евакуацією персоналу здійснюється одним із наведених методів або ж їх комбінацією:

- поданням звукових і (або) світлових сигналів в усі виробничі приміщення будівлі з постійним або тимчасовим перебуванням людей;
- трансляцією текстів про необхідність евакуації, шляхи евакуації, напрямок руху й інші дії, спрямовані на забезпечення безпеки людей;
- трансляцією спеціально розроблених текстів, спрямованих на запобігання паніці й іншим явищам, що ускладнюють евакуацію;
- увімкненням евакуаційних знаків "Вихід";
- увімкненням евакуаційного освітлення та світлових покажчиків напрямку евакуації;
- дистанційним відкриванням дверей евакуаційних виходів;

Як правило, СО вмикається автоматично від сигналу про виникнення пожежі, що формується системою пожежної сигналізації або ж системою пожежогасіння. Також з приміщення оперативного (чергового) персоналу СО (диспетчера пожежного поста) слід передбачати можливість запуску СО вручну, що забезпечує надійну роботу СО не лише при пожежі, а й і у разі виникнення будь-якої іншої НС.

Згідно вимог ДБН В.1.1-7-2002 необхідно забезпечити пряму трансляцію оповіщення та керівних команд через гучномовець для оперативного реагування у разі зміни обставин або порушення нормальних умов евакуації робочого персоналу.

В.М. Васьковець, КІВРА 2015

Оповіщення виробничого персоналу про НС здійснюється за допомогою світлових та звукових оповіщувачів, якими обладнані всі виробничі приміщення.

При оповіщенні СО повинна розпочати трансляцію сигналу оповіщення про НС, не пізніше трьох секунд з моменту отримання сигналу про НС.

Пульти управління СО необхідно розмістити в приміщенні пожежного поста, диспетчерської або іншого спеціального приміщення (у разі його наявності). Ці приміщення повинні відповідати вимогам пунктів 1.6.13, 1.6.14, 1.6.15 ДБН В.2.5-13 "Інженерне обладнання будинків і споруд. Пожежна автоматика будинків і споруд".

4.2.8 Технічні та організаційні вирішення питань з пожежної безпеки

В приміщенні лабораторії знаходиться багато твердих легкозаймистих речовин та матеріалів (меблі з дерева, пластикові вироби, гума, паперові вироби, що поглинає покриття на стінах). Згідно НАПБ Б.07.005-86 «Визначення категорій приміщень та споруд з вибухопожежної та пожежної безпеки», наукову та дослідницьку лабораторії відносять до пожежонебезпечних приміщень категорії В (тверді горючі й важкогорючі речовини й матеріали, речовини й матеріали, що при взаємодії з водою, киснем, повітрям або однин з іншим можуть лише горіти).

Згідно з класифікацією що до робочої зони відповідно до ДНАОП 0.00-1.32-01 науково-дослідницької лабораторії та робочих зон, що відносяться до зон класу П-IIа—пожежонебезпечне, які містять тверді легкозаймисті речовини, які не здатні до переходу у зважений стан.

Загоряння може бути через електричні іскри, коротке замикання, перевантаження електричних провідників, несправність електроапаратури, куріння в приміщенні. Тому для запобігання пожеж в приміщеннях проводять пожежно-профілактичні заходи: застосування запобіжників в електричних мережах, використання пило непроникних сполучних і

В. М. Васьковець, КІВРА 2015

розподільних коробок, а також проводиться інструктаж з техніки пожежної безпеки.

Згідно з ДСТУ 3675-98 12.4.009-75 та ISO 3941-77 в лабораторії знаходяться вогнегасники двох типів: вуглекислотний типу «ОУ-5» і порошковий «ОП-2». «ОУ-5» розташований на висоті 1,5 м від підлоги поруч з виходом.

В коридорах знаходяться ящики, в яких знаходиться пожежний кран і пожежний рукав, а також вогнегасник типу «ОХП-2».

В протилежних кінцях коридору розташовані телефонні апарати, над якими розміщено таблички з номерами телефонів для виклику внутрішньої і міської пожежної служби.

В науково-дослідних лабораторіях є план евакуації на випадок виникнення надзвичайної ситуації. Максимальна віддаль робочих місць від евакуаційних виходів і ширина евакуаційних проходів відповідають вимогам СНиП 2.02.02-85 та СНиП 2.01.02-85.

В робочому приміщенні виконано всі вимоги НАПБ А.01.001-2004 «Правил пожежної безпеки України».

Таким чином, безпеку науково-дослідницькій лабораторії забезпечують за допомогою технічних та організаційних рішень з протипожежної безпеки.

В. М. Васьковець, КіВРА 2015

ВИСНОВКИ

Стрімкий розвиток науки та техніки в сучасному світі відкриває нові можливості в розробці пристроїв для сушіння та знезараження сільськогосподарської продукції електромагнітним полем надвисоких частот, які мають ряд переваг, порівняно із звичайними тепловими сушарками. Дослідження, що проводились, як вітчизняними, так і закордонними науковцями, експериментально підтверджують ефективність застосування електромагнітного випромінювання високих та надвисоких частот в сільському господарстві. Було доведено, що обробка електромагнітним полем не лише просушує зерно, що закладається на зберігання, а й підвищує його якість та передпосівні властивості.

Взаємодія електромагнітної енергії з діелектричним матеріалом це досить складний процес, для опису якого використовують велику кількість параметрів, які мають нелінійний характер.

Було проведено ряд розрахунків розподілу напруженості електричного поля, як функції поперечних координат для різних сільськогосподарських культур, що мають різну вологість з урахуванням двостороннього опромінення і фаз відбитих хвиль, які залежать від положення відбиваючих поверхонь. Доведено, що при відповідному виборі товщини шару зерна та положення відбиваючих поверхонь, можна досягнути високої однорідності розподілу поля в об’ємі активної камери.

Спираючись на великий об’єм досліджень, пов’язаних з опромінюванням діелектричних матеріалів електромагнітним полем надвисоких частот, необхідно проводити подальші наукові дослідження та експерименти, які допоможуть визначити оптимальні режими для опромінення різноманітних зернових культур для різних практичних застосувань в сільському господарстві та розробити нові конструкції сушарок з високою однорідністю розподілу поля в камері опромінення.

В. М. Васьковець, КІВРА 2015

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Атаназевич, В.И. Сушка зерна / В.И. Атаназевич. - М.: Агропромиздат, 1989. - 240 с.

2. Анискин В.А. Повышение качества семян способами послеуборочной и предпосевной обработки / В.И. Анискин: сб.науч.тр. // ВИМ.-1987. - Т.112.- С. 3 - 20.

3. Bykov ,Y.V. Combined microwaves /Y.V. Bykov, K.I. Rybakov, E. Semenov // J. Pys D: Appl. Phys. 2001.- V 34.- P. 55.

4. Буянов В.А. Применение СВЧ энергии для сушки зерна / Буянов Е.А. // Мех. и электр. с. -х. - 1982. - № 1. - С. 55-56.

5. Васильев А.Н. Использование теории подобия для описания СВЧ сушки зерна / Васильев А.Н., Будников Д.А., Смирнов Б.Г. // Электротехнологии и электрооборудование в сельскохозяйственном производстве: сб. науч. тр. / АЧГАА. - Зерноград, 2007. - С.72-77.

6. Черепнев А., Черепнев И., Ляшенко Г. Использование імпульсного электромагнитного излучения для обеззараживания зерновойсмеси // Зб. наук. праць ХУПС. — 2008. — Вип. 2. - №17. — с. 53-55.

7. Жидко В.И. Зерносушение и зерносушилки / Жидко В.И., Резчиков В.А., Уколов В.С.. - М.: Колос , 1982. - 239 с.

8. Пат. 4746968 США, МПК A23L 3/54. Combined microwave and thermal drying apparatus [Text] / Wear F., Heil G., Howard F. - № 07/031354; заяв. 30.03.1987; опубл. 24.05.1988.

9. Grothaus, H.-P. Einsatz thermischer Verfahren zur Abtotung von Phoma betae in Zuckerrubensaatgut unter besonderer Berucksichtigung von Mikrowellenenergie: Diss. Gottingen, 1997. - 139 p.

10. Ленкова Т. М. Эффективность СВЧ-обработки зерна / Ленкова Т., Паньков П. // Комбикорма. - 2000. - № 4. - С. 31- 32.

В. М. Васьковець, КВРА 2015

11. Пат. 4430806 США, МПК A24B 1/00 . Microwave agricultural drying and curingapparatus [Text] / Hopkins H.; - 06/319900; заяв. 10.11.1981; опубл. 14.02.1984.

12. Nelson S.O.Determination of moister content and bulk density of corn/ A.W. Kraszewski, S.O.Nelson// Transactions of the ASAE. — 1994. — Vol.58. — P. 37—44.

13. Nelson S.O.Effects of natural and added water on prediction of Moisture content and density of corn from microwave dielectric properties/ S.Trabelsi, S. O. Nelson //Transactions of the«Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy». — 2010. — Vol.44. — No.2. — P. 72—80.

14. Nelson S.O. RF and microwave dielectric properties of shelled, yellow-dent field corn/ S.O.Nelson//Transactions of the ASAE.—1979. — Vol.22. — No.6. — P.1451-1457.

15. Беляев А.А. Исследование распределения СВЧ поля в пространстве рабочей камеры / А.А. Беляев, А.Л. Андержанов, С.А. Андреев, А.И. Соколов // Электропривод и электротехнология на объектах АПК: сб. науч. тр. / МИИСП имени В.П. Горячкина.- М., 1989.- С. 12-20.

16. Патент України на корисну модель № 65630 Бюл.№23, 2011р «Пристрій для сушіння зерна та інших сипучих матеріалів електромагнітним полем надвисоких частот», автор Сидорук Ю.К.

17. Shivare U.S. Drying characteristics of corn in a microwave field with a surface — wave applicator: a thesis of doctor of philosophy U.S. Shivare. — Quebec, 1991. — 182 p.

18. Бородин И.Ф. Изменение всхожести семян зерновых культур под влиянием СВЧ-обработки / Бородин И.Ф., Вендин С.В., Горин А. Д. // Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. - 1993. -№ 2. - С. 92-95.

В. М. Васьковець, КВРА 2015

ДОДАТКИ

В. М. Васьковець, КіВРА 2015

ДОДАТОК А

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

1 Підстави для виконання роботи

Наказ по факультету №____ від _____

2 Мета та призначення науково-дослідної роботи

Мета роботи полягає в розробці підходів до проектування установок для сушіння зерна з використанням електромагнітного поля надвисоких частот, а також в оптимізації основних параметрів сушарки: рівномірності розподілу щільності потужності та енергоефективності.

3 Вихідні дані для проведення науково-дослідної роботи

При проведенні роботи слід враховувати:

- Сучасні розробки та винаходи з приведеним аналізом їх переваг та недоліків;
- Наукові праці інших авторів, що вивчали взаємодію електромагнітного поля надвисоких частот з продуктами;
- Задано загальну потужність, яка забезпечується кількома магнетронами малої та середньої потужності.

4 Вимоги до виконання науково-дослідної роботи

Науково-дослідна робота повинна бути виконана якісно та у встановлений календарним планом термін.

Звіт до дипломної роботи має бути оформлено згідно з ДСТУ 3008-95.

5 Етапи виконання науково-дослідної роботи, терміни виконання

Робота виконується в 4 етапи:

Етап 1. Збір наукових матеріалів для виконання науково-дослідної роботи.

Термін виконання 22.09.14 – 30.10.14

Етап 2. Аналіз сучасних методів сушки сипучих матеріалів, а також існуючих пристроїв для сушіння.

Термін виконання 1.11.14 – 1.02.15

В. М. Васьковець, КІВРА 2015

Етап 3. Аналіз впливу електромагнітного поля на зерно. Визначення ключових параметрів: тангенса кута діелектричних втрат та діелектричної проникності при різній вологості зерна. Аналіз принципу конструкції пристрою для сушіння зерна при використанні електромагнітного поля надвисоких частот. Оптимізація основних параметрів: рівномірності розподілу щільності потужності та енергоефективності.

Термін виконання 3.02.15 – 25.03.15

Етап 4. Розрахунок розподілу напруженості електричного поля як функції поперечних координат для зерна різних сільськогосподарських культур, що мають різну вологість з урахуванням двостороннього опромінення і фаз відбитих хвиль, які залежать від положення відбиваючих поверхонь.

Термін виконання 1.04.15 – 22.04.15

6 Порядок реалізації науково-дослідної роботи

Мають бути розроблені підходи до проектування повномасштабних сушарок.

Математичні вирази, що запропоновано в даному розділі, Матеріали представленої науково-дослідної роботи можуть бути використані для подальших, більш глибоких, розрахунків розподілу напруженості електричного поля та щільності потужності поперечному перетині активної камери з урахуванням відбитої хвилі і фазових співвідношень падаючої і відбитої хвиль, а також для експериментальних дослідженнях.

7 Матеріали, що подаються після закінчення науково-дослідної роботи.

Після виконання етапів, подаються проміжні наукові звіти (окремі розділи роботи); після закінчення науково-дослідної роботи подається підсумковий науковий звіт (дипломна робота на присвоєння кваліфікації «бакалавр»).

В. М. Васьковець, КіВРА 2015

8 Порядок прийняття науково-дослідної роботи та її етапів

Готові проміжні звіти, окремі розділи дипломної роботи, виконавець захищає перед науковим керівником.

Після закінчення науково-дослідної роботи (дипломної роботи), виконавець представляє її для захисту в державну комісію захисту дипломних робіт та проектів для отримання кваліфікації «бакалавр».

9 Вимоги до технічного захисту інформації з обмеженим доступом (при необхідності)

Дана робота не містить конфіденційної інформації, що потребує захисту.

10 Особливості науково-дослідної роботи

Необхідний більший обсяг сторінок для розгляду поставленого завдання.

Завідувач кафедри КіВРА /Є. А. Нелін/

Керівник дипломної роботи /Ю. К. Сидорук/

Виконавець науково-дослідної роботи /В. М. Васьковець/

В. М. Васьковець, КіВРА 2015