

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

ВАЛЕНТЮК НАТАЛІЯ ОЛЕКСАНДРІВНА



УДК 631.562/.563 - 048.78 : 582.661.21(043.3)

**УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ПІСЛЯЗБИРАЛЬНОЇ
ОБРОБКИ ТА ЗБЕРІГАННЯ ЗЕРНА АМАРАНТУ**

05.18.02 – технологія зернових, бобових, круп'яних
продуктів і комбікормів, олійних і луб'яних культур (технічні науки)

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Одеса – 2019

Дисертацією є кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису
Робота виконана в Одеській національній академії харчових технологій
Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник: – доктор технічних наук, професор
Станкевич Георгій Миколайович,
Одеська національна академія харчових технологій,
кафедра технології зберігання зерна, завідувач кафедри.

Офіційні опоненти: – доктор технічних наук, професор
Погожих Микола Іванович,
Харківський державний університет харчування та торгівлі,
кафедра фізико-математичних та інженерно-технічних
дисциплін, завідувач кафедри;

– кандидат технічних наук, доцент
Миколенко Світлана Юріївна,
Дніпровський державний аграрно-економічний університет,
кафедра технології зберігання і переробки сільськогосподарської продукції, доцент кафедри.

Захист відбудеться *28 листопада 2019 р. о 13³⁰* годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 41.088.01 Одеської національної академії харчових технологій за адресою: 65039, м. Одеса, вул. Канатна, 112, ауд. А-234.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Одеської національної академії харчових технологій за адресою: 65039, м. Одеса, вул. Канатна, 112, ауд. А-234.

Автореферат розіслано *28 жовтня 2019 року*.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради
канд. техн. наук, доцент



Т. І. Нікітчина

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Амарант є однією з перспективних видів сировини, яку можливо використовувати в багатьох напрямках, основними з яких є харчова технологія, медицина, тваринництво. Амарант – одна з перших найдавніших рослин, що використовується в харчуванні людини.

Амарант широко вирощується, переробляється та використовується в харчовій промисловості багатьох країн світу. Сьогодні нараховується більш ніж 50 сортів, які відрізняються хімічними складом.

Вивчення амаранту в наші дні підтверджує унікальність його властивостей.

Незважаючи на підвищення споживчого попиту, викликаного інтересом до використання в переробці цієї зернової культури, виробники стикаються з низкою проблем, викликаних відсутністю сучасних ефективних технологічних рішень в галузі первинної обробки та зберігання такої сировини. Однак, існують рекомендації до ряду фізико-хімічних показників та вимог до безпеки вихідної сировини при переробці. У зв'язку з цим стає актуальним пошук оптимальних шляхів післязбиральної обробки та підготовки до зберігання свіжозібраного зерна амаранту, які б враховували біохімічні та технологічні особливості цієї культури, і дозволяли зберегти його споживчі властивості до подальшої цільової переробки.

Таким чином, розробка та обґрунтування ефективних режимів післязбиральної обробки і зберігання зерна амаранту є актуальним завданням.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Дисертаційна робота виконувалась відповідно до держбюджетної науково-дослідної роботи кафедри технології зберігання зерна та Проблемної науково-дослідної лабораторії Одеської національної академії харчових технологій за темою 2006-2008 рр. № 8/06-П «Розробка науково-технічних основ енергоощадних і екологічно безпечних технологічних процесів первинної обробки та зберігання зерна дрібнонасіненних культур» (номер держреєстрації 0106U001446).

Мета і завдання дослідження. Метою даної роботи є удосконалення технології післязбиральної обробки та зберігання зерна амаранту, яка буде гарантувати належну його якість, безпечне та довготривале зберігання.

Для досягнення поставленої мети сформульовано такі основні завдання:

– визначити фізико-механічні властивості зерна різних сортів амаранту як об'єктів післязбиральної обробки та зберігання та встановити їх залежність від вологості зерна;

– визначити аеродинамічні характеристики зерна амаранту в залежності від вологості зерна, параметрів зернового шару та умов його продування повітрям;

– дослідити гігроскопічні властивості амаранту та визначити рівноважну вологість зерна амаранту в залежності від температури та відносної вологості зовнішнього середовища;

– визначити теплофізичні характеристики зерна амаранту в залежності від його вологості і температури та запропонувати емпіричні рівняння для їх прогнозування;

- визначити раціональні ознаки подільності зерна амаранту та його засмічувачів та обґрунтувати режими його очищення від домішок;
- встановити закономірності кінетики нагрівання та зневоднення зерна амаранту продовольчого і насінневого призначення за різних способів сушіння;
- дослідити залежність інтенсивності дихання зерна амаранту від його вологості та температури;
- дослідити зміни хімічного складу та мікробіологічних показників амаранту при зберіганні за різних температур і відносної вологості повітря та обґрунтувати терміни його безпечного зберігання;
- розробити рекомендації з післязбиральної обробки та безпечного зберігання зерна амаранту у виробничих умовах та визначити економічну ефективність від впровадження рекомендацій роботи.

Об'єкт дослідження – технологія післязбиральної обробки та зберігання зерна амаранту.

Предмет досліджень – властивості зернової маси амаранту, процеси його сушіння, нагрівання, охолодження та зберігання.

Методи дослідження – експериментальні, аналітичні, хімічні, математико-статистичні.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в тому, що:

- отримано нові дані з фізико-технологічних властивостей зерна амаранту; вперше досліджено гігроскопічні властивості;
- встановлено закономірності залежності теплофізичних та аеродинамічних властивостей зерна амаранту від його вологості та температури;
- встановлено закономірності кінетики сушіння амаранту за різних способів та режимів підведення енергії;
- встановлено вплив різних способів сушіння на показники якості зерна амаранту;
- встановлено залежність зміни хімічного складу та стану мікрофлори амаранту від умов та тривалості його зберігання;
- науково-обґрунтована технологія післязбиральної обробки та зберігання зерна амаранту, що дозволяє зменшити енерговитрати на його доробку, покращити якість та гарантувати надійне зберігання.

Практичне значення отриманих результатів. На підставі експериментальних та теоретичних досліджень удосконалено технологію післязбиральної обробки і зберігання зерна амаранту, яка дозволяє підвищити ефективність технологічних процесів післязбиральної обробки та гарантувати надійне зберігання зерна. Удосконалена технологія післязбиральної обробки та зберігання зерна амаранту перевірені у лабораторних умовах Південної філії відділу промислової радіоелектроніки, а також у виробничих умовах ВАТ «Березівський елеватор», ФГ «Туманове», ФГ «Олена». Отримані результати у виробничих умовах підтвердили ефективність запропонованих режимів сушіння та зберігання зерна амаранту.

На підставі отриманих результатів розроблено проект рекомендацій по очищенню, сушінню та зберіганню зерна амаранту.

Запропонована технологія післязбиральної обробки та зберігання зерна амаранту може бути рекомендована до впровадження на хлібоприймальних підприємствах, міні-елеваторах та невеликих фермерських господарствах. Результати роботи можуть бути використані в навчальному процесі при вивченні дисциплін «Зернознавство», «Технологія зберігання та сушіння зерна», «Науково-дослідна робота студентів» для студентів за напрямом підготовки 181 – харчові технології, які навчаються за навчальними планами бакалаврів та магістрів.

Особистий внесок здобувача. Автор дисертації особисто організував і здійснив аналітичні та експериментальні дослідження в лабораторних умовах, провів аналіз та обробку одержаних результатів, сформулював висновки і рекомендації, підготував матеріали досліджень до публікації, брав участь в апробації результатів та рекомендацій роботи у промислових умовах. Особистий внесок здобувача підтверджено наданими документами та науковими публікаціями.

Апробація результатів дисертації. Основні результати досліджень оприлюднено на 9 наукових та науково-практичних конференціях і спеціалізованих виставках, а саме: Наукова студентська конференція 16-20.04.2007 р.; 72, 74 Наукова конференція науково-викладацького складу ОНАХТ (20-27.04.2012 р., 22-25.04.2014 р.); Міжнародна науково-практична конференція «Хлібопродукти - 2014» 17-18.09.2014 р. Одеса; X International scientific and practical conference, "Prospects of world science". 30.07-07.08.2014, Sheffield, S Yorkshire, England; «Первые Международные Лыковские научные чтения» 22-23.09.2015 г., Курск; Міжнародна науково-практична конференція «Актуальні проблеми розвитку аграрної освіти і науки та підвищення ефективності агропромислового виробництва» 20-21.09.2018 р.; спеціалізованій виставці «Агросфера. Зерносфера» (Одеса, 2014, 2017 рр.).

Публікації. Основні положення дисертаційної роботи викладено в 14 наукових працях, з яких 9 статей у фахових виданнях України та 2 – у закордонних виданнях, 1 – монографія, тези 2 доповідей на науково-практичних конференціях.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, основного змісту, що включає 4 розділи, загальних висновків, списку використаних літературних джерел з 170 найменувань (17 стор.) та 10 додатків (34 стор.). Основний зміст роботи викладено на 130 стор., включаючи 33 рисунки та 37 таблиць.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність вибраної теми, наведено зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, визначено мету роботи та завдання досліджень, показано наукову новизну і практичне значення отриманих результатів, наведено дані щодо їх апробації, визначено особистий внесок здобувача в проведених дослідженнях та публікаціях за темою дисертаційної роботи.

Перший розділ «Сучасний стан та проблеми первинної обробки зерна амаранту» містить огляд наукової літератури та патентних джерел. Наведено аналіз наукових публікацій, що стосуються характеристики зерна амаранту як об'єкту дослідження, а також безпосередньо технологічних процесів його післязбиральної

обробки та зберігання.

Найскладнішою задачею післязбиральної обробки зерна залишається зберігання його до переробки. Вирішити її можна тільки завдяки глибокому вивченню процесів, що відбуваються в зерні, цілеспрямованому використуванню його фізіологічних властивостей при обробці та зберіганні. На сьогодні залишаються не достатньо вивченими та визначеними фізико-механічні, аеродинамічні і гігроскопічні властивості, не встановлено їх залежність від вологості зерна. Відсутні дані про методи та режими післязбиральної обробки зерна амаранту.

У другому розділі «Об'єкти та методи досліджень» сформульовано наукову проблему, обґрунтовано вибір об'єктів та напрямку досліджень, наведено методики експериментальних і теоретичних досліджень. У відповідності до задач дослідження було розроблено програму роботи, яка передбачає проведення як загальноприйнятих досліджень фізико-технологічних, гігроскопічних, теплофізичних та аеродинамічних властивостей зерна амаранту, так і досліджень способів його післязбиральної обробки для визначення ефективних режимів очищення, сушіння, тимчасового зберігання і виявлення найбільш раціонального способу обробки (рис. 1). Для реалізації поставлених завдань обґрунтовано методи та методики досліджень. Наведено опис основних експериментальних установок. Дослідження проводили на кафедрах Одеської національної академії харчових технологій.

З метою зменшення кількості дослідів та підвищення достовірності результатів було використано метод планування багатофакторних експериментів.

Обробку результатів проведено на ЕОМ за допомогою пакетів стандартних, а також розроблених на кафедрі технології зберігання зерна ОНАХТ алгоритмів і програм. Після перевірки значущості коефіцієнтів регресії і оцінки адекватності отриманих моделей було побудовано необхідні графічні залежності.

На першому етапі були визначені:

- фізико-механічні властивості (ФМВ) зерна амаранту за такими показниками: натурна маса, маса 1000 зерен, щільність, шпаруватість, кут природного укусу, коефіцієнти внутрішнього та зовнішнього тертя по різних поверхнях (сталі, пластмасі, гумі), гранулометричні характеристики;
- аеродинамічні властивості: швидкість витання, коефіцієнт парусності та аеродинамічний опір;
- гігроскопічні властивості (рівноважна вологість та термін її встановлення за різних умов зберігання);
- теплофізичні характеристики (ТФХ) зерна амаранту (питома теплоємність, коефіцієнти теплопровідності, температуропровідності і теплової активності).

На другому етапі визначали можливість розділення зернової суміші свіжо-зібраного амаранту і домішок. Були проведені дослідження закономірностей процесу сушіння зерна амаранту, вивчали вплив температури повітря, що подається в зерновий шар, на швидкість зневоднення за різних вихідних параметрах зерна, а також вплив різних методів сушіння на показники якості амаранту.

На третьому етапі за загальноприйнятими методиками вивчали зміни інтенсивності дихання зерна амаранту, хімічних показників його якості та мікробіологічного стану при зберіганні у різних умовах.

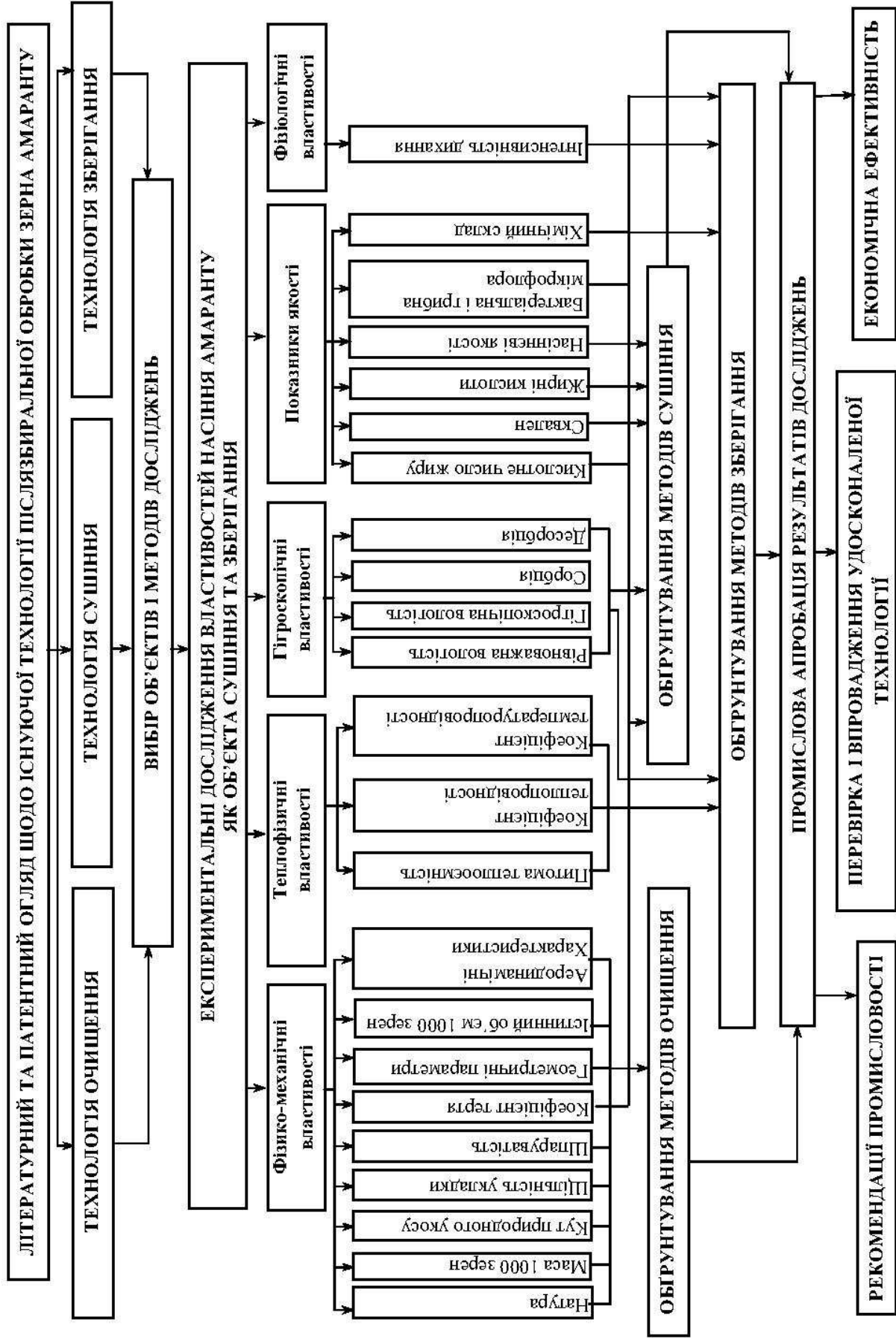


Рис. 1. Програма досліджень.

На заключному етапі запропоновано удосконалити технологію та технологічні схеми післязбиральної обробки зерна амаранту з використанням конвективного і комбінованого конвективно-мікрохвильового способів сушіння. Розроблено рекомендації з технології післязбиральної обробки амаранту та визначено економічну ефективність від їх впровадження у виробництво.

У третьому розділі «Дослідження фізико-технологічних властивостей зерна амаранту» досліджено основні фізико-механічні, аеродинамічні та гігроскопічні властивості, теплофізичні характеристики зерна амаранту, які можуть бути використані на практиці при організації технологічного процесу його післязбиральної обробки та зберігання. Знання фізико-технологічних властивостей зерна дозволить вирішувати ряд прикладних задач, зокрема, підвищити ефективність технологічних процесів очищення зерна, знизити енерговитрати при його сушінні, поліпшити якість та забезпечити надійне зберігання зерна амаранту..

Таблиця 1.

Порівняльна характеристика фізико-механічних властивостей зерна амаранту

(n = 3, p ≥ 0,95)

Найменування показника	Дослідний зразок			
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4
Масова частка вологи w , %	8,21	9,88	14,47	18,94
Натура γ , г/дм ³	812	762	740	715
Маса 1000 зерен M , г	0,656	0,687	0,699	0,701
Істинний об'єм 1000 зерен V , см ³	0,51	0,54	0,57	0,58
Шпаруватість S , %	36,87	40,10	39,66	40,84
Швидкість витання, м/с	3,15	3,27	3,41	3,49
Кут природного укусу α , град.	21	25	27	29
Коефіцієнти зовнішнього тертя спокою:				
– по пластмасі	0,251	0,314	0,327	0,349
– по сталі	0,244	0,309	0,318	0,335
– по гумі	0,271	0,363	0,382	0,389
Коефіцієнт зовнішнього тертя в русі	0,247	0,287	0,308	0,311

Із наведених даних видно, що зі збільшенням вологості зерна амаранту збільшуються всі характеристики зерна, окрім натури, яка зменшується з ростом вологості зерна. Визначено також основні статистичні характеристики геометричних розмірів зерна амаранту. У діапазоні вологості зерна амаранту 9,2...19,3 %, середні геометричні розміри зернівок складають (мм): довжина 1,019...1,232, ширина 0,862...1,076, товщина 0,861...0,960.

Аеродинамічні властивості зерна характеризуються таким показником як швидкість витання, який необхідно враховувати при обґрунтуванні режимів сушіння та активного вентилявання зернових мас. Величина швидкості руху зерна у повітряному потоці залежить від його парусності. Парусність зерна характеризується коефіцієнтом парусності, який являє собою відношення площі проекції найбільшого перетину зерна на площину, перпендикулярну повітряному потоку, до маси насіння. Між швидкістю витання $v_{\text{вит}}$ і коефіцієнтом парусності ($K_{\text{п}}$) існує відома нелінійна залежність $K_{\text{п}} = g/v_{\text{вит}}^2$.

Проведена математична обробка результатів досліджень аеродинамічних властивостей зерна амаранту показує, що залежність швидкості витання $v_{\text{вит}}$ та ко-

ефіцієнту парусності від вологості зерна має лінійний характер. Отримано рівняння залежностей швидкості витання ($v_{\text{вит}}$, м/с) та коефіцієнта парусності ($K_{\text{п}}$, 1/м) від початкової вологості зерна амаранту (w , %):

$$v_{\text{вит}} = 3,043 + 0,024 w; \quad K_{\text{п}} = 1,035 - 0,013 w. \quad (1)$$

Встановлено, що зі збільшенням вологості швидкість витання збільшується, а коефіцієнт парусності зменшується.

Була встановлена також залежність аеродинамічного опору $H_{\text{ш}}$ шару зерна амаранту від висоти шару h та вологості зерна w . Показано, що для зерна амаранту вона носить лінійний характер і може бути описана рівнянням:

$$H_{\text{ш}} = 45,444 + 0,198w + 0,300h + 0,004wh. \quad (2)$$

Знання гігроскопічних властивостей зернової маси має важливе значення при організації обробки та зберігання, оскільки вологість продукту визначається масою сорбованої води.

Досліджено гігроскопічні властивості зерна амаранту з початковою вологістю 9,4 % і 18,3 % та за ізотермами сорбції і десорбції визначено його рівноважну вологість в залежності від температури та відносної вологості зовнішнього середовища в діапазонах 5...25 °С та 50...80 % (табл. 2). Встановлено, що рівноважна вологість амаранту в досліджених умовах знаходить в межах 9,49...17,75 %. З підвищенням відносної вологості повітря та зниженням його температури рівноважна вологість амаранту зростає.

Таблиця 2

Рівноважна вологість зерна амаранту

 $(n = 3, p \geq 0,95)$

№ досліду	Умови досліду		Результати досліду		Коефіцієнти		S, %
	φ , %	t , °С	ω_p , %	T_p , діб	a	b	
<i>Початкова вологість зерна 9,4 %</i>							
1	50	25	9,49	13	78,245	7,049	0,014
2		15	9,51	20	72,662	6,564	0,008
3		5	9,55	21	59,126	4,483	0,010
4	80	25	9,74	18	19,378	2,258	0,015
5		15	9,76	21	18,920	1,996	0,012
6		5	9,79	22	7,505	2,278	0,010
<i>Початкова вологість зерна 18,3 %</i>							
1	50	25	17,31	14	1,266	0,957	0,049
2		15	17,53	16	2,913	1,174	0,018
3		5	17,64	19	5,052	1,302	0,015
4	80	25	17,45	16	1,779	1,112	0,020
5		15	17,57	18	4,529	1,172	0,017
6		5	17,75	20	7,169	1,492	0,021

Знання теплофізичних характеристик зерна, а саме значення питомої теплоємності зерна та коефіцієнтів його температуропровідності, теплопровідності і теплової активності, а також їх залежність від температури і вологості зерна, є необхідною умовою для розрахунків, що стосуються процесів нагрівання, сушіння та охолодження зерна.

Запропоновано рівняння залежності теплофізичних властивостей зерна амаранту від його початкової вологості w та температури θ :

– питома теплоємність:

$$c = 1727,85 - 19,68w - 2,25\theta - 0,01w\theta, \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К}); \quad (3)$$

– коефіцієнт температуропровідності:

$$a \cdot 10^{-9} = 45,39 + 6,59w + 1,50\theta - 0,04w\theta, \text{ м}^2/\text{с}; \quad (4)$$

– коефіцієнт теплопровідності

$$\lambda = 0,077 + 0,006w + 0,002\theta - 0,001w\theta, \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К}); \quad (5)$$

– коефіцієнт теплової активності

$$\varepsilon = 353,79 + 5,46w + 2,46\theta - 0,12w\theta, \text{ Дж}/(\text{м}^2 \cdot \text{К} \cdot \text{с}^{-0,5}). \quad (6)$$

З отриманих результатів видно, що зі збільшенням температури та вологості зерна амаранту у зазначеному діапазоні значення коефіцієнтів температуропровідності, теплопровідності та теплової активності збільшуються на противагу від значень питомої теплоємності.

У **четвертому розділі** «Дослідження технологічних процесів післязбиральної обробки та зберігання» проведено дослідження технологічних процесів очищення зерна амаранту від домішок, його сушіння за різними методами та зберігання.

Свіжозібране зерно містить багато домішок (зерно бур'янів і сторонніх культурних рослин, рештки стеблин, листів, а також биті, щуплі і дефектні насінини). Домішки негативно впливають на процес зберігання зерна, оскільки більшість з них домішок мають значно вищу гігроскопічність, життєздатність і інтенсивність дихання, ніж основна культура. Тому ефективне очищення є необхідною умовою для забезпечення надійного зберігання зерна амаранту.

Як відомо одним з основних показників для організації і ведення процесу очищення є форма і розміри основної культури та домішок.

Основними засмічувачами амаранту є такі рослини як щириця, щетинник сизий, суріпка, чорноголовка. Суміш щириці і амаранту розділити дуже важко, оскільки їх геометричні характеристики мало розрізняються.

Для встановлення можливості розділення суміші амаранту і щириці було проведено на основі статистичного аналізу їх геометричних характеристик. Було встановлено межі зміни розмірів окремих зерен кожної з культур, які необхідно розділити, та побудовано кореляційні таблиці з варіаційними кривими ширини і довжини, товщини і довжини, а також ширини і товщини амаранту та щириці.

На рис. 2 наведено кореляційну таблицю з варіаційними кривими побудовану для ширини та довжини зерен амаранту і щириці. Аналогічні варіаційні криві були побудовані і для інших ознак подільності. Їх аналіз показав, що для розділення даної суміші доцільніше буде використати в якості ознак розділення товщину та ширину.

Проведеними розрахунками показано також, що використовуючи визначені за певними ознаками подільності (довжина, ширина, товщина зернин) значення коефіцієнтів трансгресії, можна прогнозувати можливість розділення суміші свіжозібраного зерна амаранту та його домішок, зокрема від важко відокремлюваної щириці. Коефіцієнт трансгресії являє собою відношення площі взаємного перек-

тей кінетики сушіння зерна амаранту будували криві сушіння та температурні криві.

Математичний опис кінетики процесу сушіння проводили на підставі експериментальних кривих сушіння і температурних кривих нагрівання зерна, які апроксимували рівняннями, відповідно

$$w = w_0 + \frac{a + c\tau + e\tau^2}{1 + b\tau + d\tau^2}, \quad \theta = \theta_0 + \frac{\tau}{m + n\tau}, \quad (7)$$

де w , w_0 – поточний і початковий вологовміст амаранту, %;

τ – тривалість сушіння, хв.;

θ , θ_0 – поточна і початкова температура зерна амаранту, °С;

a – коефіцієнт, що дорівнює початковому вологовмісту зерна w_0 , %;

b , c , d , e , m , n – коефіцієнти, значення яких залежать від режимів обробки зерна амаранту і визначаються методом найменших квадратів.

При проведенні досліджень конвективного сушіння зерно амаранту сушили при температурі сушильного агента 50 °С і 60 °С. Товщина шару зерна амаранту була прийнята 0,1 м, швидкість сушильного агента 0,6 м/с, що відповідає умовам роботи шахтних сушарок.

Результати апроксимації експериментальних даних (табл. 3), виконані на ЕОМ за розробленими на кафедрі технології зерна ОНАХТ програмами, показали хорошу збіжність розрахованих по запропонованим рівнянням кінетики (7) значень з експериментальними даними сушіння зерна амаранту.

Таблиця 3

Значення кінетичних коефіцієнтів для опису кривих сушіння та нагрівання при конвективному сушінні зерна амаранту

($n = 3, p \geq 0,95$)

Коефіцієнти	Вихідна вологість зерна			
	14,6%		19,5%	
	$t = 50^\circ\text{C}$	$t = 60^\circ\text{C}$	$t = 50^\circ\text{C}$	$t = 60^\circ\text{C}$
Криві сушіння				
a	17,096	17,096	24,224	24,224
b	-0,051	-0,070	-0,033	-0,045
c	-0,861	-1,200	-0,784	-1,067
d	0,002	0,003	0,001	0,002
e	0,029	0,041	0,013	0,024
Криві нагрівання				
m	0,299	0,302	0,454	0,255
n	0,023	0,025	0,029	0,024

Результати досліджень показали, що застосування сушильного агента з температурою $t = 50 \dots 60$ °С дозволить при конвективному сушінні знизити вологість зерна амаранту і забезпечити при цьому збереження його споживчих властивостей, оскільки температура нагрівання зерна при використанні зазначених вище температурних режимів не перевищувала 50 °С, а тривалість сушіння складала 25...43 хв.

Дослідження комбінованого конвективно-мікрохвильового сушіння амаранту проводили за осцилюючих (імпульсних) режимів, при яких чергували подачу МХ енергії τ_e та зовнішнього повітря τ_n . Тривалість імпульсів була такою:

- 1) $\tau_e = 4$ с, $\tau_n = 20$ с; 2) $\tau_e = 8$ с, $\tau_n = 20$ с;
3) $\tau_e = 4$ с, $\tau_n = 40$ с; 4) $\tau_e = 8$ с, $\tau_n = 40$ с.

Висота шару зерна у всіх дослідах дорівнювала 60 мм, температура зовнішнього повітря знаходилась у діапазоні 18...20 °С, швидкість продування повітрям становила 0,5 м/с.

Результати розрахунку за експериментальними даними емпіричних коефіцієнтів у рівняннях (7) зведено у табл. 4, а побудовані за ними криві сушіння та температурні криві наведено на рис. 4.

Таблиця 4

Значення кінетичних коефіцієнтів для опису кривих сушіння та нагрівання при конвективно-мікрохвильовому сушінні зерна амаранту

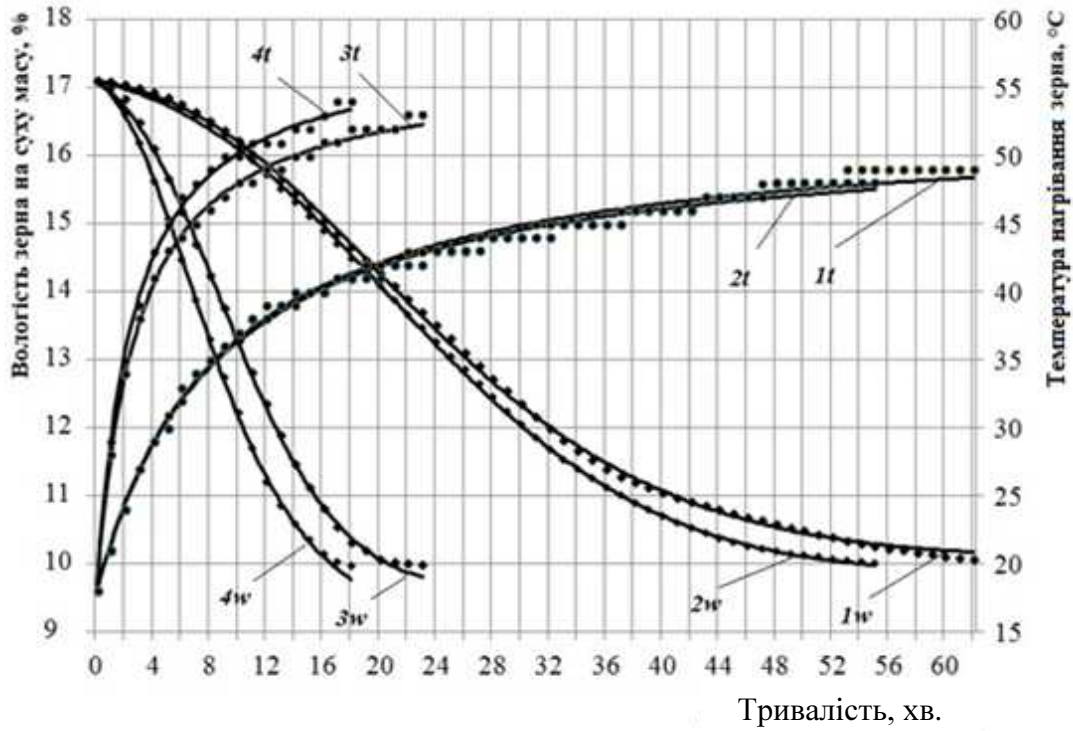
($n = 3, p \geq 0,95$)

Коефіцієнти	Вихідна вологість зерна							
	14,6 %				19,5 %			
	$\tau_e = 4$ с, $\tau_n = 20$ с	$\tau_e = 4$ с, $\tau_n = 40$ с	$\tau_e = 8$ с, $\tau_n = 20$ с	$\tau_e = 8$ с, $\tau_n = 40$ с	$\tau_e = 4$ с, $\tau_n = 20$ с	$\tau_e = 4$ с, $\tau_n = 40$ с	$\tau_e = 8$ с, $\tau_n = 20$ с	$\tau_e = 8$ с, $\tau_n = 40$ с
Криві сушіння								
<i>a</i>	17,096	17,096	17,096	17,096	24,224	24,224	24,224	24,224
<i>b</i>	-0,024	-0,025	-0,055	-0,046	-0,013	-0,009	-0,032	-0,041
<i>c</i>	-0,434	-0,480	-1,079	-0,939	-0,485	-0,239	-1,075	-1,345
<i>d</i>	0,001	0,001	0,004	0,007	0,0001	0,002	0,002	0,001
<i>e</i>	0,010	0,009	0,047	0,070	0,003	0,013	0,025	0,029
Криві нагрівання								
<i>m</i>	0,251	0,252	0,074	0,064	0,359	0,270	0,108	0,129
<i>n</i>	0,029	0,029	0,026	0,025	0,028	0,027	0,025	0,023

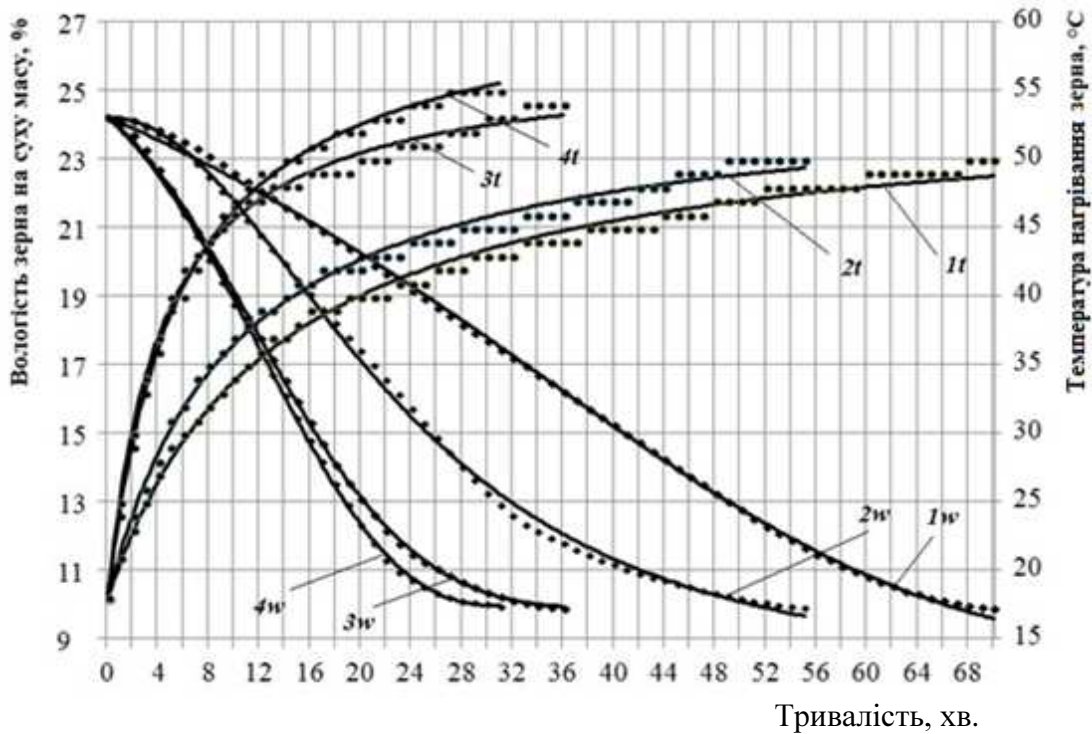
Виходячи з теоретичного аналізу механізму руйнування зв'язків вологи з матеріалом (зерном) можна зробити висновок, що конвективно-мікрохвильове сушіння з використанням імпульсних режимів МХ обробки для нагрівання зерна, і одночасно з цим, конвективній подачі повітря – забезпечить видалення зайвої вологи із збереженням харчової цінності амаранту і його життєздатності.

Як свідчать результати проведеного дослідження, застосування імпульсних (осцилюючих) режимів сушіння при тривалості імпульсу подачі енергії 4 с і тривалості продування зовнішнім повітрям 20 ... 40 с, дозволяє не перегріваючи амарант просушити його до кондиційної вологості.

При тривалості імпульсу подачі енергії 8 с і тривалості продувки зовнішнім повітрям 20 ... 40 з зерно амаранту при досягненні кінцевої вологості перегрівається понад 50 °С, що негативно позначається на його якості. З огляду на високу інтенсивність МХ сушіння, його можна використовувати для попереднього нагрівання і часткового підсушування зерна амаранту. Криві сушіння і нагрівання свідчать, що за 1,7 ... 4,0 хв. амарант можна нагріти до 50 ° С. При цьому вологість амаранту знижується з 17 % до 11,5..12,3 %.



а) вологість амаранту 14,6 %



б) вологість амаранту 19,4 %

Рис. 4. Криві сушіння (w) та криві нагріву (t) зерна амаранту при конвективно-мікрохвильовому сушінні: $1t, 1w - \tau_e = 4 \text{ с}, \tau_n = 20 \text{ с}$; $2t, 2w - \tau_e = 4 \text{ с}, \tau_n = 40 \text{ с}$; $3t, 3w - \tau_e = 8 \text{ с}, \tau_n = 20 \text{ с}$; $3t, 3w - \tau_e = 8 \text{ с}, \tau_n = 40 \text{ с}$
 — розрахункові значення; експериментальні значення

Дослідження процесу сушіння із застосуванням ІЧ випромінювача проводили при трьох режимах потужності: 50, 100 та 150 Вт.

Проведений після розрахунку кінетичних коефіцієнтів (рівняння 7) і побудови кривих сушіння і нагрівання аналіз показав, що при ІЧ сушінні отримати сухе і не перегріте зерно амаранту можна лише за потужності випромінювача не вище 100 Вт. Для практичного застосування сушіння амаранту доцільно проводити за потужності 100 Вт, оскільки при меншій потужності подовжується тривалість сушіння, а, отже, і продуктивність сушарки знижується.

Після проведеного за різними способами сушіння досліджували хімічний склад зерна амаранту. В просушеному зерні амаранту визначали загальну кількість омиленних речовин, вміст сквалену та вміст ліноленої, лінолевої, олеїнової, пальмітинової і стеаринової кислот в неомиленій фракції (табл. 5).

Таблиця 5

Вміст сквалену та жирних кислот в зерні амаранту сорту «Ультра» до та після сушіння

(n = 3, p ≥ 0,95)

Зразки зерна, способи сушіння	Вміст омиленних речовин, %	Вміст сквалену, %	Кількість вільних кислот в неомиленій фракції, %				
			лінолева	ліноленова	олеїнова	пальмітинова	стеаринова
Вихідний зразок	5,60	0,95	1,6	49,2	14,6	6,2	2,0
Конвективне сушіння	5,09	0,83	1,6	49,2	14,6	6,2	2,0
Конвект.-МХ сушіння	5,14	0,74	1,5	49,1	14,4	6,1	1,9
ІЧ сушіння	4,04	0,49	1,4	49,1	14,3	6,0	1,9

Встановлено, що загальний вміст омиленних речовин в зерні амаранту знижується в залежності від способу сушіння з 5,60 % до 4,04 %. Вміст вільних кислот в неомиленій фракції змінюється незначно і можна сказати, що не залежить від способу сушіння. Найбільше зниження загального вмісту сквалену, майже в 2 рази, спостерігається при використанні ІЧ сушіння, що може негативно позначитися на показниках якості амарантової олії. Однак подібний спосіб сушіння може бути використаний, якщо цільовим призначенням амаранту є отримання інших харчових продуктів, наприклад борошна або підірваних зерен, які в подальшому будуть використані при виробництві харчових продуктів функціонального призначення. Аналогічним чином проводили дослідження хімічного складу зерна амаранту сорту «Харківський».

Дослідження впливу різних способів сушіння на зміну посівних якостей зерна амаранту (табл. 6) показало зниження схожості зерна нижче рівня зазначеного у ДСТУ 2240-93 при використанні конвективного сушіння із температурою агента сушіння 60 °С, ІЧ сушіння з потужністю випромінювача 150 Вт та конвективно-мікрохвильового сушіння при експозиції МХ імпульсу 8 с. Отже для отримання сухого насінневого матеріалу, який відповідатиме необхідним вимогам якості, доцільно використовувати щадні режими сушіння: при конвективному сушінні температура сушильного агента має не перевищувати 50 °С; при ІЧ сушінні потужність ІЧ випромінювача може складати 50...100 Вт; при використанні МХ сушіння

ня тривалість МХ імпульсу повинен дорівнювати 4 с. Аналогічні результати були отримані при сушінні амаранту сорту «Харківський».

Таблиця 6

Вплив умов сушіння на посівні якості зерна амаранту сорту «Ультра» (2014 р. урожаю)

($n = 3, p \geq 0,95$)

Спосіб сушіння	Режими сушіння	Схожість, %	Енергія проростання, %	Здатність проростання, %
Контрольний зразок	–	97	93	97
Конвективне сушіння	$t = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$	97	92	95
	$t = 60\text{ }^{\circ}\text{C}$	89	80	84
НВЧ сушіння	$\tau_e = 4\text{ с}, \tau_n = 20\text{ с}$	97	94	96
	$\tau_e = 4\text{ с}, \tau_n = 40\text{ с}$	96	92	95
	$\tau_e = 8\text{ с}, \tau_n = 20\text{ с}$	89	88	88
	$\tau_e = 8\text{ с}, \tau_n = 40\text{ с}$	89	86	87
ІЧ сушіння	50 Вт	93	90	92
	100 Вт	91	89	90
	150 Вт	79	69	75

Для обґрунтування тривалості зберігання зерна амаранту були досліджені його фізіологічні властивості, зокрема, інтенсивність його дихання у різних умовах зберігання. Для узагальнення залежності інтенсивності дихання (X , мг $\text{CO}_2/\text{кг}$ за добу) зерна амаранту від його вологості w та температури θ було отримано рівняння регресії, справедливе в діапазоні вологості $w = 8,3 \dots 10,4\%$ та температури зерна $\theta = 5 \dots 25\text{ }^{\circ}\text{C}$

$$X = -245,80 + 12,75 \theta + 34,29w + 0,02 \theta w. \quad (8)$$

При вивченні спільного впливу температури і вологості на дихання зерна показано, що збільшення і вологості і температури зерна призводить до підвищення інтенсивності дихання. Однак, на інтенсивність дихання більшою мірою впливає температура зерна — при її збільшенні з $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ інтенсивність дихання зростає за вологості $8,30\%$ і $10,4\%$ відповідно в $3,77$ та $2,60$ рази. При збільшенні ж вологості зерна за температур $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ і $25\text{ }^{\circ}\text{C}$, вона збільшується відповідно у $1,74$ та $1,20$ рази. Таким чином, за рахунок спільної взаємодії вологості та температури зерна інтенсивність дихання може зрости в $1,20 \dots 3,77$ рази, що підкреслює необхідність зберігання зерна амаранту з вологістю 8% за температури $5\text{ }^{\circ}\text{C}$, коли інтенсивність дихання буде мінімальною.

Для обґрунтування тривалості безпечного зберігання зерна амаранту без зміни основних показників якості було проведено дослідження змін хімічного складу амаранту при його зберіганні впродовж 12 місяців у різних умовах навколишнього середовища. Для цього зразки зерна амаранту зберігали в полотняних мішечках у ексикаторах, у яких створювали необхідні параметри відносної вологості повітря ($\phi = 55\%$ і $\phi = 75\%$). Закладене в ексикатори зерно зберігали в холодильній камері за температури $+4 \dots +6\text{ }^{\circ}\text{C}$, у лабораторії за температури $+12 \dots +15\text{ }^{\circ}\text{C}$ та у термостаті за температури $+25\text{ }^{\circ}\text{C}$. Перед закладкою зерна на зберігання, а також через кожні три місяці в зразках зерна загальноприйнятими методиками визначали вологість, вміст крохмалю, клітковини, зольність, «сирий» жир і його якість, загальний азот (за К'ельдалем) та небілковий азот (за Барнштейном).

Зважаючи на невеликі зміни хімічного складу амаранту при зберіганні у різних умовах у табл. 7 наведено лише дані контролю та за 6 і 12 місяців зберігання, що достатньо для встановлення загальних тенденцій змін окремих складових зерна амаранту. З даних таблиці видно, що переважна більшість показників хімічного складу при зберіганні у різних умовах змінились дуже незначно.

Таблиця 7.

Зміни хімічного складу зерна амаранту у процесі зберігання за різних умов*(n = 3, p ≥ 0,95)*

Температура, °С	Термін зберігання, місяці.	Масова частка, %									Кислотне число жиру, мг КОН	Кислотність, град. кислотності в спиртовій витяжці
		загальний азот	«сирогий протеїн	небілковий азот	білковий азот	білок	крохмаль	клітковина	зола	жир		
Контроль												
	0	2,55	15,93	0,96	1,59	9,93	61,42	4,41	3,85	6,45	5,56	2,45
φ = 55 %												
+5	6	2,54	15,87	1,01	1,53	9,56	61,20	4,42	3,88	6,37	8,24	2,98
	12	2,53	15,81	1,06	1,47	9,19	59,70	4,40	3,89	6,19	15,96	3,35
+15	6	2,52	15,75	1,01	1,51	9,44	61,00	4,45	3,89	6,21	10,54	3,41
	12	2,51	15,68	1,05	1,46	9,12	59,00	4,46	3,84	6,10	20,40	4,34
+25	6	2,54	15,87	1,06	1,48	9,25	60,10	4,46	3,88	6,15	12,62	3,72
	12	2,54	15,87	1,10	1,44	9,00	58,80	4,45	3,89	6,03	22,60	4,52
φ = 75 %												
+5	6	2,53	15,81	1,02	1,51	9,44	61,00	4,40	3,85	6,10	10,52	3,60
	12	2,53	15,81	1,07	1,46	9,12	59,00	4,43	3,87	5,92	18,60	3,80
+15	6	2,52	15,75	1,04	1,48	9,25	59,10	4,47	3,87	5,90	14,95	4,20
	12	2,50	15,62	1,08	1,42	8,87	57,80	4,45	3,85	5,25	26,30	4,54
+25	6	2,53	15,81	1,08	1,45	9,06	58,40	4,44	3,89	5,72	30,56	5,84
	12	2,50	15,62	1,10	1,40	8,75	56,50	4,45	3,86	5,00	38,20	7,15

При зберіганні зерна амаранту за відносної вологості повітря φ = 75 % і температури 25 °С найбільше змінюється кислотне число жиру (з 5,56 до 38,20 мг КОН) і кислотність в спиртовій витяжці (з 2,45 до 7,15 град. кислотності). Тому зниження температури зберігання насіння до +4...+6 °С в умовах відносної вологості повітря φ = 55...75 % гарантує достатню якість зерна впродовж 12 місяців зберігання.

Накопичення вільних жирних кислот у зерні амаранту не призводить до погіршення його смакових якостей, оскільки жир амаранту складається з високомолекулярних жирних кислот, які не мають стороннього неприємного смаку. Слід зазначити також, що зерно амаранту, незважаючи на високий вміст жиру, порівняно стійке в зберіганні протягом 12 місяців, оскільки в ньому міститься велика кількість вітаміну Е, що є природним антиоксидантом. Крім того, вітамін Е амарантової олії має токотрієнольну форму, що в декілька разів за активністю перевищує токоферольну.

Мікробіологічна характеристика будь-якого зерна є дуже важливим показником його якості. Тому, для дослідження її змін при зберіганні, у зразках амаранту, що зберігались протягом 12 місяців у тих же умовах, що були описані при вивченні хімічного складу, через кожні три місяці визначали кількість мезофільних аеробних та факультативно анаеробних мікроорганізмів (МАФА н М). Аналіз мікрофлори зерна амаранту проводили традиційними методами. Родову належність установлювали за культуральними та морфологічними ознаками.

Аналіз отриманих результатів показав, що переважною складовою бактеріальної мікрофлори зерна амаранту, як і більшості зернових культур є, неспороносна паличка *Ervinia herbicola* – нормальний супутник зерна при зберіганні в стандартних умовах (представник епіфітної мікрофлори).

Частка бактерій *Ervinia herbicola* від загальної кількості всіх бактерій склала 81,6 %, частка *Pseudomonas fluorescens* на зерні амаранту 16,1 %, а БГкП 0,3 %. Із спороутворюючих бактерій виявлені бактерії груп *B.subtilis*, *B.licheniformis*, відносна кількість яких склала 1,6 % від загальної кількості бактерій. Із мікроміцетів перед закладкою на зберігання були виявлені *Penicillium*, польові гриби, як *Mucor*, *Alternaria*, *Cladosporium* та інші неідентифіковані гриби.

Дані, які характеризують динаміку змін стану мікрофлори зерна під час зберігання, показали, що в процесі зберігання кількість бактерій і плісневих грибів змінювалась в залежності від режимів зберігання. Як показали дослідження, на зерні амаранту під час зберігання за температури +5...+25 °С і відносної вологості повітря $\phi = 55$ % практично не було виявлено приросту мікроорганізмів.

Навпаки, початкова кількість бактерій і мікроміцетів в процесі зберігання зменшилась після 12 місяців на 74,4...88,1 % та 78,0...85,0 % відповідно. Саме велике їх скорочення спостерігалось за температури зберігання +5 °С, а найменше – за температури +25 °С. Зменшення кількості бактерій відбувалося за рахунок відмирання, головним чином бактерій виду *Ervinia herbicola*. Мікроміцети при такій відносній вологості не розвивались, але спостерігалась зміна їх видового складу. Слід відмітити, що за температури зберігання +5°С та +15 °С спостерігався розвиток майже виключно грибів роду *Penicillium*, а за температури +25°С розвивались також гриби роду *Aspergillus*.

На зерні амаранту під час зберігання при відносній вологості повітря $\phi = 75$ % помічено збільшення кількості бактерій *B.subtilis*, *B.licheniformis* і мікроміцетів *Penicillium* при всіх варіантах зберігання. Кількості бактерій *B.subtilis*, *B.licheniformis* зросло майже в 5–8 разів, а кількість грибів роду *Penicillium* збільшилася в 3,5–4,2 рази.

У процесі зберігання змінювався і склад грибної флори зерна амаранту. Так, кількість грибів *Mucor*, *Alternaria*, *Cladosporium* та інших неідентифікованих польових грибів знизилась у порівнянні з початком зберігання. В той же час кількісно збільшились і стали постійними компонентами плісневі гриби родів *Penicillium* і *Aspergillus*.

Таким чином, результати мікробіологічних досліджень показали, що консервуюча дія понижених температур, за яких помітно знижується життєдіяльність мікроорганізмів проявляється за температур +5...15 °С та відносній вологості по-

вітря $\phi = 55 \%$. За цих умов у зерні амаранту з вологістю до 12 % затримується розвиток бактерій і навіть плісневих грибів, що захищає зерно від активного впливу мікроорганізмів та зберігає їх якість.

У **п'ятому розділі** «Удосконалення технології післязбиральної обробки та зберігання зерна» надано рекомендації з очищення, сушіння та зберігання зерна амаранту, а також наведено і описано ряд удосконалених схем і технологій. На рис. 5 наведено схему технологічної лінії комбінованого конвективно-мікрохвильового способу сушіння зерна амаранту.

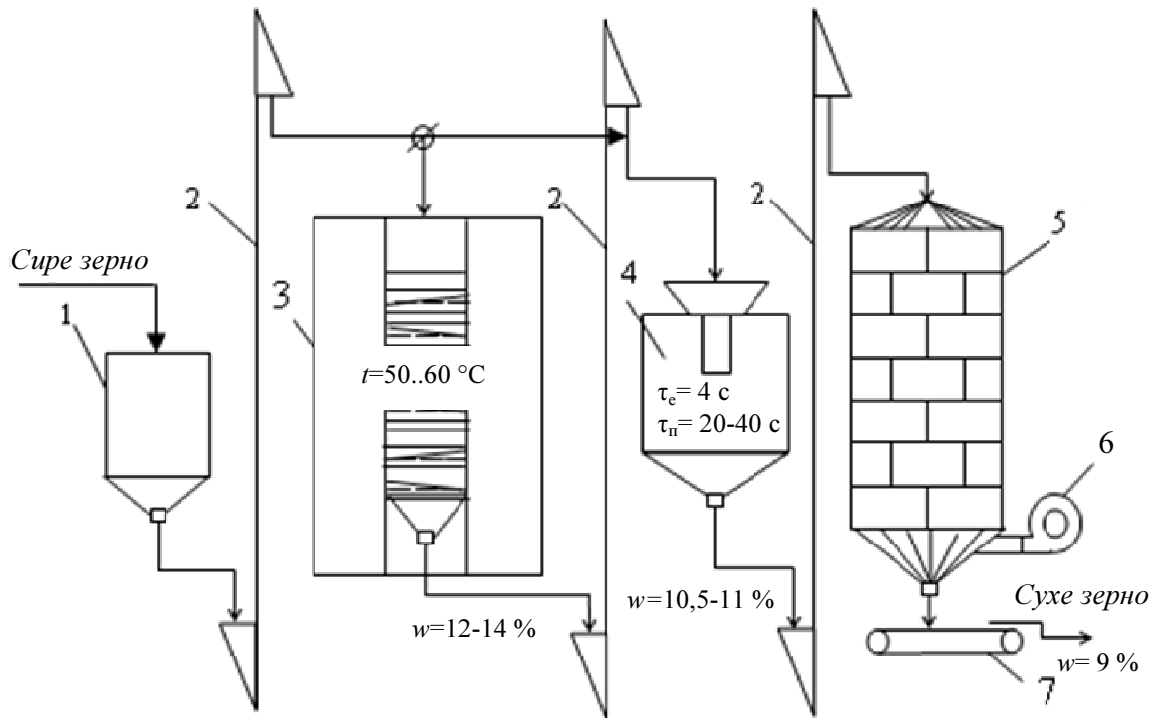


Рис. 5. Схема технологічної лінії комбінованого конвективно-мікрохвильового способу сушіння зерна амаранту:

1 – бункер для сирого зерна амаранту; 2 – норія; 3 – шахтна прямотечійна зерносушарка з клиноподібними жалюзійними коробами; 4 – мікрохвильова сушарка; 5 – бункер для сухого зерна з активними вентиляванням; 6 – вентилятор; 7 – конвеєр для подачі просушеного і охолодженого зерна амаранту на зберігання

Запропоновано також проект будівництва міні-елеватора місткістю 2000 т для доробки і зберігання зерна амаранту та інших «нішевих» культур. Техніко-економічні розрахунки показали його технічну доцільність та економічну ефективність. На кожну витрачену на техніку гривню планується отримувати 1 грн. 51 коп. чистого прибутку. Розрахунковий термін окупності проекту складає 3 роки і 2 місяці.

ВИСНОВКИ

Науково обґрунтовано та практично реалізовано удосконалену технологію післязбиральної обробки та зберігання зерна амаранту, яка гарантує належну його якість та безпечно довготривале зберігання.

1. Визначено фізико-механічні властивості зерна амаранту сортів «Ультра» та «Харківський» як об'єктів післязбиральної обробки і зберігання та встановлено закономірності їх зміни в залежності від вологості зерна в діапазоні 8,21...18,94 %. Показано, що зі збільшенням вологості зерна зростають маса 1000 зерен, шпаруватість, швидкість витання, кут природного укусу і коефіцієнти зовнішнього тертя в стані спокою та руху, а натура (об'ємна маса) при цьому знижується. У діапазоні вологості зерна амаранту 9,2...19,3 % середні геометричні розміри зернівок складають (мм): довжина 1,019...1,232, ширина 0,862...1,076, товщина 0,861...0,960. Зростання вологості зерна збільшує його геометричні розміри.

2. Встановлено, що швидкість витання зерна амаранту в залежності від вологості зерна складає 3,28...3,51 м/с, а коефіцієнт парусності відповідно 0,91...0,79. Показано, що зі збільшенням вологості швидкість витання збільшується, а коефіцієнт парусності відповідно зменшується, що необхідно враховувати при активному вентиляванні та сушінні зерна в шахтних зерносушарках. Запропоновано емпіричну залежність, що описує закономірності зміни аеродинамічного опору шару зерна від параметрів зернового шару та умов його продування повітрям.

3. Досліджено гігроскопічні властивості амаранту та визначено його рівноважну вологість в межах температури 5...25 °С та відносної вологості зовнішнього середовища 50...80 %. Встановлено, що рівноважна вологість амаранту знаходиться в межах 9,49...17,75 %. Показано, що з підвищенням відносної вологості повітря і зниженням його температури рівноважна вологість амаранту зростає

4. Визначено теплофізичні характеристики зерна амаранту (питома теплоємність, коефіцієнти температуропровідності, теплопровідності і теплової активності) в залежності від його вологості і температури, отримані емпіричні рівняння, що дозволяють розраховувати теплофізичні характеристики при вологості зерна 9,4...19,6 % та температурі 5...25 °С.

5. Встановлено, що незважаючи на майже однакові розміри та форму зерна, для виділення основних його засмічувачів можна застосовувати набір решіт з круглими отворами таких розмірів (мм): Б1 – 1,0...1,1; Б2 – 1,0...1,1; В – 0,6...0,8; Г – 0,6...0,8; та продовгуватими отворами з розмірами (мм): Б1 – (0,8...1,0)×20, Б2 – (0,5...0,7)×20, В1 – (0,4...0,6)×20. Показано також можливість прогнозування розділення суміші свіжозібраного зерна амаранту та його домішок, зокрема, важко відокремлюваної щиріці, на основі розрахунку коефіцієнтів трансгресії,

6. Встановлено закономірності кінетики конвективного, інфрачервоного (ІЧ) та конвективно-мікрохвильового сушіння. Показано, що досягти кондиційної вологості зерна в межах допустимої температури його нагрівання можна за таких режимів сушіння:

– при конвективному сушінні амаранту продовольчого призначення в шахтних зерносушарках за температур сушильного агента 50...60° С; для насінневого призначення за температури не вище 50 °С;

– при ІЧ сушінні за потужності випромінювача не вище 100 Вт;

– при конвективно-мікрохвильовому сушінні за імпульсних (осцилюючих) режимів – тривалість імпульсів подачі МХ енергії 4 с та тривалості продування зовнішнім повітрям 20...40 с.

Встановлено також, що загальний час енергетичного впливу на зерно при конвективно-мікрохвильовому сушінні значно коротший (5...10 хв.), ніж при конвективному та ІЧ сушінні (44...56 хв.), що дозволяє краще зберегти якість зерна.

7. Встановлено залежність інтенсивності дихання зерна від його вологості та температури та запропоновано емпіричне рівняння для опису цієї залежності. Зниження вологості зерна та його температури суттєво знижує інтенсивність дихання, знижує втрати сухої речовини зерна при зберіганні амаранту.

8. Встановлено, що з досліджених хімічних показників, при зберіганні зерна амаранту найбільше змінюється кислотне число жиру (з 5,56 до 38,20 мг КОН) і кислотність (з 2,45 до 7,15 град. кислотності) в спиртовій витяжці при зберіганні за відносної вологості повітря $\phi = 75\%$ та температури 25 °С. Встановлено також, що за температур +5...15 °С та відносній вологості повітря $\phi = 55\%$ помітно знижується життєдіяльність мікроорганізмів. За цих умов у зерні амаранту з вологістю до 12 % затримується розвиток бактерій і навіть плісневих грибів, що захищає зерно від активного впливу мікроорганізмів та зберігає їх якість.

9. Показано, що використання удосконаленої технології та рекомендацій промисловості на міні-елеваторі місткістю 2000 т при післязбиральній обробці і зберіганні зерна амаранту та інших «нішевих» культур дасть на кожну витрачену гривню 1 грн. 51 коп. чистого прибутку, який забезпечить розрахунковий термін окупності за 3 роки і 2 місяці.

СПИСОК ПРАЦЬ, ОПУБЛІКОВАНИХ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у наукових фахових виданнях України:

1. Овсянникова Л., Валентюк Н. Уперше отримані дані оптимального очищення, вентилявання і зберігання зерна амаранту // Зерно і хліб. 2007. №4. С.35-36. *Внесок здобувача: проведено дослідження фізико-механічних характеристик та гігроскопічних властивостей зерна амаранту залежно від його вологості, проведено математичну обробку результатів досліджень, сформульовано висновки, підготовлено статтю до друку.*

2. Єгорова А.В., Євдокимова Г.Й., Овсянникова Л.К., Валентюк Н.О. Вплив режимів зберігання на зміну мікрофлори зерна амаранту // Зернові продукти і комбікорми. 2007. №4. С.17-19. *Внесок здобувача: проведено дослідження впливу різних умов зберігання зерна амаранту на мікробіологічні показники, підготовлено статтю до друку.*

3. Єгорова А., Євдокимова Г., Овсянникова Л., Валентюк Н. Зерно амаранту можна уберегти від згубної дії мікрофлори // Зерно і хліб. 2008. №1. С. 34-35. *Внесок здобувача: проведено дослідження мікробіологічних показників та обтрунтовано режими надійного зберігання зерна амаранту, сформульовано висновки, підготовлено статтю до друку.*

4. Єгорова А.В., Євдокимова Г.Й., Овсянникова Л.К., Валентюк Н.О. Зміна мікрофлори зерна амаранту в залежності від умов зберігання // Наукові праці ОНАХТ. Вип. 30. Том 2. С.121-125. *Внесок здобувача: проведено дослідження кількісного та якісного складу мікрофлори зразків зерна амаранту та їх зміни в залежності від режимів зберігання. Сформульовано висновки, підготовлено статтю до друку.*

5. Євдокимова Г.Й., Овсянникова Л.К., Валентюк Н.О. Вплив режимів зберігання на зміну біохімічних властивостей зерна амаранту // Хранение и переработка зерна. 2008. №1. С.33-35 *Внесок здобувача: Проведено дослідження біохімічних властивостей*

зерна амаранту та їх зміни під впливом різних умов зберігання. Сформульовано висновки, підготовлено статтю до друку.

6. Яковенко А.І., **Валентюк Н.О.**, Дмитренко Л.Д. Визначення режимів очищення зерна амаранту на основі статистичного аналізу геометричних характеристик // Наукові праці ОНАХТ. Вип. 34. Том 1. С. 76-79. *Внесок здобувача: проведено дослідження геометричних характеристик зернівок амаранту та зроблено їх статистичний аналіз. Сформульовано висновки, підготовлено статтю до друку.*

7. Овсянникова Л., Євдокимова Л., Черній В., **Валентюк Н.**, Лукіна Г. При -5°C ферментативні процеси в дрібнонасіненних олійних культурах сповільнюються // Зерно і хліб. 2009. №3. С.33-34. *Внесок здобувача: проведено дослідження змін біохімічних властивостей амаранту під час зберігання в різних умовах.*

8. Яковенко А., **Валентюк Н.**, Дмитренко Л. Зерно амаранту можна успішно очистити від щирини на основі статистичного аналізу геометричних характеристик // Зерно і хліб. 2009. №4. С.38-40. *Внесок здобувача: проведено статистичний аналіз геометричних характеристик зернівок амаранту. Побудовано кореляційні таблиці з варіаційними кривими розподілу зернівок за розмірами. Визначено можливість розділення зернової суміші свіжозібраного зерна амаранту. Сформульовано висновки та підготовлено статтю до друку.*

9. Станкевич Г.М., **Валентюк Н.О.** Вплив умов сушіння на посівні якості зерна амаранту // Аграрний вісник Причорномор'я. Зб. наук. праць, 2018. Вип. 87. С.43-50. *Внесок здобувача: проведено дослідження впливу умов сушіння на посівні якості амаранту. Сформульовано висновки, підготовлено статтю до друку.*

Статті у наукових виданнях інших держав:

10. **Valentyuk N. A.**, Zadorozhnyj V. G., Chulak Yu. L., Chulak O. L. The Influence Of Drying Method On The Chemical Amaranth Seed Structure // Nauka i studia. 2015. NR 10 (141) 2015. P.24-33 *Внесок здобувача: проведено дослідження впливу різних методів сушіння на зміну вмісту сквалену в зерні амаранту. Проведено математичну обробку результатів досліджень. Сформульовано висновки, підготовлено статтю до друку.*

11. Станкевич Г.Н., **Валентюк Н.А.** Исследование кинетики сушки зерна амаранта // Актуальные проблемы сушки и термовлажностной обработки материалов в различных отраслях промышленности и агропромышленном комплексе: сборник научных статей Первых Международных Лыковских научных чтений (22-23 сентября 2015 года)/ РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, ЗАО «Университетская книга», Курск, 2015. С.244-246. *Внесок здобувача: проведено дослідження кінетики сушіння зерна амаранту за різних способів його термічної обробки, проведено математичну обробку результатів досліджень, виведено рівняння кривих сушіння та температурних кривих нагріву зерна амаранту.*

Монографії:

12. Станкевич Г.М., **Валентюк Н.О.** Проблеми та перспективи післязбиральної обробки зерна амаранту // Реконструктивний тип адаптування реального сектору економіки та галузевої науки України до умов постіндустріального суспільства: Монографія. / За ред. Савенка І.І., Станкевича Г.М., Седікової І.О. Одеса: КП «Одеська міська друкарня», 2017. С. 373-390. *Внесок здобувача: проведено аналіз стану проблеми післязбиральної обробки зерна амаранту, проведено дослідження кінетики сушки за умов застосування конвективного, конвективно-мікрохвильового та інфрачервоного сушіння зерна амаранту з різними режимами обробки. Проведено математичну обробку результатів досліджень, виведено відповідні рівняння, зроблено висновки.*

Тези доповідей:

13. Станкевич Г.Н., **Валентюк Н.А.** Теоретическая проработка способов сушки зерна амаранта // Materials of X International scientific and practical conference, “Prospects of world science”. 2014. V.8. P. 21-27. *Внесок здобувача: проведено аналіз існуючих способів сушіння зерна та обґрунтовано вибір методів сушіння для зерна амаранту. Сформульовано висновки. Підготовлено матеріали до друку.*

14. Станкевич Г.М., **Валентюк Н.О.** Визначення посівних якостей зерна амаранту в залежності від способу та умов сушіння // Актуальні проблеми розвитку аграрної освіти і науки та підвищення ефективності агропромислового виробництва: Зб. матеріалів міжнарод. науково-практич. Конференції, 20-21 вересня 2018 р. Одеса, 2018. С.55-56. *Внесок здобувача: проведено сушіння насінневого матеріалу амаранту різними способами. Визначено вплив способів та режимів сушіння на схожість та енергію проростання амаранту. Підготовлено матеріали до друку.*

АНОТАЦІЯ

Валентюк Н.О. Удосконалення технології післязбиральної обробки та зберігання зерна амаранту. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук (доктора філософії) за спеціальністю 05.18.02 «Технологія зернових, бобових, круп'яних продуктів і комбікормів, олійних і луб'яних культур». – Одеська національна академія харчових технологій, Одеса, 2019.

Дисертація присвячена удосконаленню технології післязбиральної обробки та зберігання зерна амаранту, яка буде гарантувати належну його якість та безпечне зберігання.

В роботі досліджено та визначено фізико-технологічні, аеродинамічні та гігроскопічні властивості зерна амаранту, його гранулометричний склад, теплофізичні характеристики, встановлено закономірності їх зміни та отримано емпіричні рівняння для їх розрахунку.

Досліджено кінетичні закономірності конвективного, комбінованого конвективно-мікрохвильового та ІЧ сушіння амаранту та запропоновано їх математичний опис. Науково-обґрунтовані технологія та оптимальні режими сушіння зерна амаранту дозволяють отримати кондиційне за вологістю та якістю зерно, зменшити енерговитрати на його післязбиральну обробку.

За результатами мікробіологічних досліджень і зміни хімічних показників якості зерна амаранту встановлено термін та умови його гарантованого зберігання. Запропоновано удосконалені технологічні схеми, розроблено рекомендації з післязбиральної обробки амаранту та визначено економічну ефективність від впровадження рекомендацій роботи.

Ключові слова: амарант, післязбиральна обробка зерна, сушіння амаранту, очищення амаранту, зберігання амаранту.

ANNOTATION

Valentyuk N.O. Improvement of the technology of post-harvest processing and storage of amaranth grain. – On the rights of the article.

Thesis for a Candidate Degree in Engineering (Doctor of Philosophy), specialty 05.18.02 “Technology of cereals, legumes, cereals and compound feeds, oilseeds and bast crops”. – Odessa National Academy of Food Technologies, Odessa, 2019.

The thesis is focused on the improvement of the technology of post – harvest processing and storage of amaranth grain, which will guarantee its proper quality and safe long – term storage. The object of research has been the technology of post-harvest processing and storage of amaranth grain, the subject of research was the amaranth grain of the Ultra and Kharkovsky varieties of 2006-2014 crops grown in Kherson region.

Physical-mechanical properties of amaranth grain are investigated in the work and regularities of their change depending on grain moisture in the range 9.2...19.3 % are established. It has been shown that with increasing grain moisture the geometric dimensions of grain, the mass of 1000 grains increases, the porosity, the rate of natural sloping, and the coefficients of external friction at rest and motion. Nature (volume mass) decreases.

On the basis of the study of the particle size distribution of freshly harvested amaranth grain, it has been established that a set of sieves with circular openings of the following sizes (mm) can be used to isolate its main contaminants in grain separators: Б1 – 1,0...1,1; Б2 – 1,0...1,1; В – 0,6...0,8; Г – 0,6...0,8; and oblong holes with dimensions (mm): Б1 – (0,8...1,0) × 20, Б2 – (0,5...0,7) × 20, В1 – (0,4...0,6) × 20. It has also been shown that using the values of the transgression coefficients calculated on the basis of certain separability, it is possible to predict the possibility of separating a mixture of freshly harvested amaranth grain and its impurities, in particular from the hard separating flint.

The results of studies of the aerodynamic properties of amaranth grain have made it possible to establish that the amaranth grain grain velocity is 3.28...3.51 m/s, and the coefficient of sail respectively 0.91...0.79 depending on the initial moisture content of the grain. It is shown that with increasing moisture content of amaranth grain, its rate of flywheel increases, and the coefficient of soaring decreases, which allows you to set the air flow rate at which it can be actively ventilated and to select the necessary costs of air and drying agent in the drying plants. The empirical dependence of the aerodynamic resistance of the layer of amaranth grain on its humidity and the height of the blown layer has been established.

Hygroscopic properties of amaranth have been investigated and the equilibrium moisture content of amaranth grain have been determined depending on the temperature and relative humidity of the environment. It has been found that the equilibrium humidity increases with increasing relative humidity and decreasing its temperature.

The thermophysical characteristics of amaranth grain (specific heat, coefficients of thermal conductivity, thermal conductivity and thermal activity) are determined, depending on its humidity and temperature. The empirical equations were obtained, which allow to calculate thermophysical characteristics at grain moisture content of 9.4...19.6 % and temperature 5...25 °C.

The kinetics of convective, combined convective microwave and IR amaranth drying were investigated, regularities were established and empirical equations were proposed to describe the kinetics of amaranth grain drying under different modes, modes and conditions of energy supply.

It is shown that it is possible to achieve the conditioning moisture content of grain within the permissible temperature of its heating without deteriorating the quality of dried amaranth in the following drying modes: for convective drying of amaranth for food purposes in mine grain dryers at a drying agent temperature of 50...60 °C, and for drying - at a temperature of the drying agent is not higher than 50 °C; for IR drying at radiator power not exceeding 100 W; at MV drying under pulsed (oscillating) modes with duration of pulses of energy supply of 4 s and duration of pulses of purging with outside air 20...40 s.

The effect of drying on the quality of dried amaranth grain has been established. It is shown that the largest reduction of squalene occurs when using IR drying. However, this method can be used if it is not intended to produce oil, but flour, blown grains, etc. products.

Science-based technology and optimal modes of different ways of drying amaranth grain allow you to obtain grain moisture and quality conditionally, as well as reduce energy costs for its post-harvest processing.

The joint effect of temperature and humidity of amaranth grain on the intensity of its respiration was investigated, an empirical equation describing this dependence was obtained. It has been shown that reducing humidity and storing it at low temperatures leads to a decrease in the intensity of respiration, a decrease in the loss of dry matter of the grain and contributes to its long-term storage.

The study of chemical indicators of quality of amaranth grain showed that when stored under relative humidity those of air $\varphi = 75\%$ and temperatures of 25 °C the acidic number of fat (from 5.56 to 38.20 mg KOH) and acidity (from 2.45 to 7.15 deg. of acidity) in the alcohol hood change the most. Therefore, reducing the storage temperature of the seed to +4...+6 °C under conditions of relative humidity $\varphi = 55...75\%$ guarantees the extension of the life.

The results of microbiological studies have shown that the conservative effect of low temperatures, which significantly reduces the life of microorganisms occurs at temperatures of +5...15 °C and relative humidity $\varphi = 55\%$. Under these conditions, amaranth grains with humidity up to 12 % delay the development of bacteria and even molds, which protects the grain from the active influence of microorganisms and maintains its quality.

It is shown that storage of amaranth grain at a temperature of 15 °C and relative humidity $\varphi = 75\%$ contributes to the development of microorganisms. However, storage at the same relative humidity, but at a temperature of +5 °C, stops the reproduction of microorganisms.

It has been established that it is possible to guarantee safe storage of amaranth grain for 12 months without deteriorating its quality at an air temperature of not more than 15 °C and relative humidity of no more than 55 %.

Advanced technological schemes of postharvest amaranth grain processing using convective and combined convective microwave drying methods are proposed. Recommendations for post-harvest amaranth processing have been developed and cost-effectiveness of implementation of work recommendations have been determined.

Keywords: *amaranth, post-harvest grain treatment, amaranth drying, amaranth cleaning, amaranth storage.*

Підписано до друку 22.10.2019 р. Формат 60×90/16.
Ум.-друк. арк. 0,9. Тираж 100 прим.

ОНАХТ, вул. Канатна, 112, м. Одеса, 65039