

ОДЕСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

**Друзьєва Анфіса Карпівна**

УДК 664.723:664.788

**ТЕХНОЛОГІЯ ПЕРВИННОЇ ОБРОБКИ ЗЕРНА СОРИЗУ**

Спеціальність: 05.18.03 — первинна обробка і зберігання продуктів  
рослинництва

**Автореферат дисертації**  
на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Одеса — 1999

Дисертацію є рукопис.

Робота виконана в Одеській державній академії харчових технологій, Міністерства освіти України.

- Науковий керівник — доктор технічних наук, професор  
**Станкевич Георгій Миколайович**, Одеська державна академія харчових технологій, завідуючий кафедрою технології елеваторної промисловості.
- Офіційні опоненти: — доктор технічних наук, доцент  
**Моргун Валентина Олексіївна**, Одеська державна академія харчових технологій, завідувача кафедрою технології переробки зерна;
- кандидат технічних наук, доцент  
**Шерстобитов Валерій Валентинович**, Акціонерне товариство закритого типу науково-виробниче об'єднання “Одеський біотехнологічний інститут”, заступник генерального директора з наукової роботи.
- Провідна установа — Український державний університет харчових технологій, кафедра технології хліба, кондитерських, макаронних виробів, харчоконцентратів і зерна, Міністерство освіти України, м. Київ.

Захист відбудеться “17” лютого 2000 р. о 10-30 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 41.088.02 при Одеській державній академії харчових технологій за адресою: 65039, м. Одеса, вул. Канатна, 112.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Одеської державної академії харчових технологій за адресою: 65039, м. Одеса, вул. Канатна, 112.

Автореферат розісланий “14” січня 2000 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради

Віннікова Л.Г.

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми:** Аграрна політика України на сучасному етапі спрямована на створення необхідних сировинних ресурсів та продовольчого фонду і для задоволення потреб населення в продуктах харчування. Ефективним шляхом для цього і збільшення виробництва зерна та створення нових культур, які в конкретних ґрунтово-кліматичних умовах здатні давати стабільно високі врожаї продовольчого зерна, придатного для використання за цільовим призначенням.

Саме такою культурою може стати сориз (сорго рисозерне) — однолітня рослина гібридного походження зі скловидним або напівскловидним зерном. Він характеризується цінними властивостями зернового сорго, стабільною високою продуктивністю, посухостійкістю, солевитривалістю, невибагливістю до ґрунтів та дозволяє отримувати зерно з високими споживчими якостями, спроможного задовольнити потреби круп'яної галузі України. Результати досліджень, що проводяться у Селекційно-генетичному інституті УААН (СГі), ОДАХТ та інших установах свідчать про великі перспективи цієї культури.

Перш ніж надійти на переробку зерно соризу повинно пройти при первинній обробці ряд важливих технологічних операцій, головними із яких і очищення та сушіння. Організація високоефективного процесу первинної обробки та зберігання соризу передбачає знання його анатомо-морфологічних, структурно-механічних і біохімічних властивостей з метою обґрунтування і розробки режимів очищення та сушіння, які впливають на технологічні і споживчі якості. На теперішній час відсутні комплексні дослідження властивостей зерна соризу як об'єкту первинної обробки. У фундаментальних роботах з теплофізичних властивостей зернових культур зерно соризу не представлено. Немає узагальнених результатів з технологічних, гігроскопічних та деяких інших його характеристик, багато з яких мають частинний характер.

Таким чином, і актуальною розробка технології первинної обробки зерна нової культури — соризу.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Робота відповідає основному напрямку наукової роботи кафедри технології елеваторної промисловості ОДАХТ — “Підвищення ефективності технологічних процесів в елеваторній промисловості”.

**Мета і задачі дослідження.** Метою дослідження є розробка технології первинної обробки зерна соризу, що забезпечує його надійне зберігання, подальше використання на насіння і переробку в харчові та кормові продукти.

В зв'язку з цим до задач роботи входило:

- дослідження фізико-технологічних властивостей (ФТВ) та теплофізичних характеристик (ТФХ) зерна соризу;
- вивчення гігроскопічних властивостей в залежності від умов зберігання;
- вивчення впливу різноманітних умов зберігання на біохімічні та мікробіологічні зміни в процесі зберігання зерна соризу;
- дослідження закономірностей процесу сушіння зерна соризу в щільному шарі;
- розробка математичної моделі процесу сушіння зерна соризу;
- обґрунтування технології та схеми технологічного процесу первинної обробки зерна соризу;
- розробка рекомендацій промисловості з режимів очищення, сушіння та зберігання.

**Наукова новизна одержаних результатів** полягає в тому, що:

- отримано нові дані з фізико-технологічних властивостей зерна соризу різноманітних сортів; вперше досліджено гігроскопічні властивості;
- вперше встановлено закономірності зміни теплофізичних характеристик зерна соризу в залежності від їхньої вологості і температури;
- вперше встановлено закономірності кінетики нагрівання та сушіння зерна соризу у щільному шарі при різноманітних умовах сушіння;
- вперше досліджено зміни показників якості продовольчого і насіннєвого зерна сориза в залежності від режимів сушіння;
- вперше розроблено режими сушіння зерна соризу в зерносушарках шахтного типу;
- вперше визначено закономірності зміни мікрофлори і біохімічного складу в залежності від умов (відносної вологості і температури середовища) та тривалості безпечного зберігання.

**Практичне значення одержаних результатів.** Дані з фізико-технологічних та гранулометричних властивостей необхідні для вибору найбільш ефективного способу очищення; отримані залежності між основними ТФХ зерна соризу, їхньою вологістю та температурою можуть бути використані для визначення раціональних режимів сушіння та зберігання, а також для інженерних розрахунків при проектуванні тепломасообмінних апаратів. Розроблена математична модель процесу сушіння зерна соризу дозволяє обґрунтувати раціональні режими його сушіння в різноманітних сушарках. Розроблено рекомендації з режимів зберігання соризу в залежності від відносної вологості та температури навколишнього середовища.

Обґрунтовано технологічну схему первинної обробки зерна соризу продовольчого і насіннєвого призначення.

Результати роботи було впроваджено на експериментальній базі “Дачна” Селекційно-генетичного інституту та на хлібній базі № 73 Дніпропетровської обл., де були очищені та просушені дослідні партії соризу.

**Особистий внесок здобувача.** Автор дисертації особисто приймав участь в проведенні досліджень і отриманні всіх наукових результатів, вказаних в роботі. Внесок здобувача полягає в постановці, проведенні та обробці експериментів, а також моделюванні та узагальненні отриманих результатів.

**Апробація результатів дисертації.** Основні результати досліджень доповідалися на 56-58-ій наукових конференціях ОДАХТ (м. Одеса, 1996-1998), Другій національній науково-практичній конференції “Хлібопродукти-97” (м. Одеса, 1997), обласній науково-практичній конференції “Пути повышения эффективности хранения и переработки сельскохозяйственной продукции” (м. Одеса, 1999).

**Публікації.** За результатами досліджень опубліковано 5 статей в збірниках наукових праць.

**Структура та обсяг роботи.** Дисертаційна робота включає вступ, огляд літератури, методику та програму досліджень, опис результатів експериментів, результати впровадження розроблених режимів очищення та сушіння, основні висновки та рекомендації, список використаної літератури та додатки. Зміст роботи викладено на 197 сторінках, включаючи 34 таблиць (18 сторінок), 26 рисунків (19 сторінок), 3 додатки (17 сторінок). Список використаних літературних джерел включає 188 найменувань, в тому числі 22 іноземних. В додатку наведено додаткові матеріали до розділів (3, 5), в тому числі акти впровадження.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність роботи, її народногосподарське значення, сфор-

мульовано мету роботи. Показано, що в нинішній час для підвищення ефективності виробництва зерна вимагається як впровадження нових високопродуктивних культур, так і правильна та вчасна первинна обробка зерна, в результаті виконання якої підвищується якість до такого рівня, при якому воно може бути використано на харчові, фуражні, насінні цілі, або бути придатним для тривалого зберігання.

У першому розділі проведено аналіз наукових публікацій і патентних матеріалів, на підставі якого визначено конкретні задачі даної роботи, рішення яких необхідно для досягнення її мети.

Наведено дані біохімічного складу, що дозволяють говорити про високу харчову цінність зерна соризу. Описано напрямки використання соризу в харчових цілях.

Розглянуто можливі біохімічні та мікробіологічні зміни в зерні різних культур при зберіганні.

Показано зростаючий інтерес до зерна соризу, як до продуктивної круп'яної культури, що має безсумнівну перспективу і нові можливості серед традиційних — ячменю, гречки, кукурудзи, рису, проса та сорго.

У другому розділі наведено характеристику соризу як об'єкта первинної обробки, описано програму, план, методику експериментальних досліджень, лабораторне обладнання для визначення кінетичних закономірностей процесу сушіння та теплофізичних характеристик зерна соризу. Послідовність проведення основних етапів досліджень відображено на рис. 1.

Як об'єкт досліджень використали зерно соризу, вирощене на дослідних полях селекційно-генетичного інституту: сорт Янтарний (врожаю 1995 р.), сорт Одеський 350 (врожаю 1996 р.) і сорт Олімп (врожаю 1997 та 1998 років).

Наведено методику дослідження з використанням математичної теорії планування експерименту, а також методику математичної обробки експериментальних даних та визначення похибок вимірів.

Статистичну обробку отриманих результатів та регресійний аналіз проводили на ПЕОМ з використанням загальноприйнятих методик та розроблених на кафедрі програм.

У третьому розділі наведено результати експериментальних досліджень фізико-технологічних, гігроскопічних та теплофізичних характеристик зерна соризу.

Для трьох сортів соризу (Янтарний, Одеський 350, Олімп) визначено об'ємну масу  $\gamma$ , масу 1000 зерен, густину  $\rho$ , гранулометричний склад, кут природнього відкосу  $\alpha$ , коефіцієнти внутрішнього і зовнішнього тертя спокою та руху, ряд інших показників (табл. 1).

Таблиця 1

Фізико-технологічні показники зерна соризу і сорго зернового

	Сориз						Сорго
	Янтарний		Одеський 350		Олімп		Сатурн
Вологість, %	12,1	24,8	12,0	25,2	12,2	25,8	12,4
Маса 1000 зерен, г	24,84	28,5	24,4	33,6	29,6	37,2	21,2
Об'ємна маса, кг/м <sup>3</sup>	820	735	836,5	730,8	726,7	710,8	738
Густина, т/м <sup>3</sup>	1,25	1,14	1,25	1,21	1,24	1,19	1,25
Кут природнього відкосу, град.	25	32	25	30	31	35	23
Щільність, %	44,4	37,0	44,7	43,3	45,0	42,8	41
Коефіцієнти:							
– зовнішнього тертя спокою:							

– по сталі	0,344	0,445	0,268	0,364	0,367	0,388	0,268
– по гумі	0,315	0,445	0,235	0,364	0,336	0,410	0,306
– по пластику	0,180	0,394	0,176	0,330	0,310	0,368	0,185
– зовнішнього тертя руху	0,345	0,441	0,285	0,381	0,360	0,379	0,323

З наведених даних видно, що за масою 1000 зерен і їх густиною сориз наближається до сорго. Однак, досліджені зразки соризу мають більшу об'ємну масу у порівнянні з зерновим сорго. З підвищенням вологості густина та об'ємна маса вологого зерна зменшуються.

З метою вибору найбільш ефективного способу очищення визначено розмірні характеристики (лінійні розміри), подільність зернової маси, а також її фракційний склад.

Розміри зерна соризу складають в довжину 3,8...5,2 мм, ширину — 3,6...4,3 мм та товщину — 2,1...3,1 мм. За результатами вимірів побудовано гістограми розподілу зерна за довжиною, шириною та товщиною.

Аналіз фракційного складу зерна соризу представлено в вигляді диференційних гістограм, дозволив встановити, що для виділення домішок з основної маси зерна соризу слід вибирати сита в сепараторах з круглими отворами в діапазоні від 2 мм до 6 мм, а також сита з прямокутними отворами — розмірами 1,7×20, 2,0×20, 2,2×20 та 3,0×20 мм.

Рівноважну вологість  $\omega_p$  визначали тензометричним методом при відносній вологості повітря  $\phi = 55$  і 75 % та температурі повітря  $t = 5; 15$  та 25 °С. Досягнення зерном соризу рівноважної вологості наведено на рис. 2. Експериментальні дані по зволоженню зерна соризу апроксимували виразом виду  $\omega = \tau / (a + b\tau)$ . Якість апроксимації залежності  $\omega = f(\tau)$  оцінювали за середньоквадратичним відхиленням S. За означеними апроксимаційними виразами можна прогнозувати вологість зерна соризу, а також визначати тривалість його безпечного зберігання. Узагальнені результати досліджень наведено у табл. 2.

Рис. 2. Швидкість сорбції води зерном соризу при зберіганні в різних умовах

Для обґрунтування раціональних режимів тепломасообмінних процесів, що протікають при нагріванні, сушінні та охолодженні зерна соризу нами визначено теплопровідні та теплоінерційні властивості, що характеризуються питомою теплоємністю  $c$ , коефіцієнтами температуропровідності  $a$ , теплопровідності  $\lambda$  та теплової активності  $\epsilon$ , а також закономірностями їх зміни в залежності від температури  $\theta = 4,2...35,4$  °С та вологості  $\omega = 12,0...26,2$  % зерна соризу.

Таблиця 2

Гігроскопічні властивості зерна соризу

Умови дослідів		$\omega_p$ , %	$\tau_p$ , діб.	Коефіцієнти		S, %
$\phi$ , %	$\theta$ , °С			a	b	
55	25	12,74	12	0,4188	0,1134	0,0870
	15	12,91	14	0,3870	0,1786	0,0963
	5	13,08	19	0,3386	0,2384	0,0704
75	25	13,77	15	0,5775	0,3835	0,1070
	15	13,94	19	0,6204	0,4210	0,1086
	5	14,10	23	0,5278	0,4854	0,1089

Всі розрахунки по обробці результатів досліджень, зв'язаних з апроксимацією експе-

риментальних даних, обчисленнями значень ТФХ ( $c$ ,  $a$ ,  $\lambda$ ,  $\varepsilon$ ) соризу, регресійний аналіз та статистичну оцінку отриманих результатів проводили на персональній ЕОМ.

Так, було отримано узагальнені емпіричні залежності ТФХ від означених змін вологості та температури зерна соризу виду:

$$c=1152,3+47,45 \omega+5,76\theta, \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К}); \quad (1)$$

$$a \cdot 10^9=88,7+0,65 \omega, \text{ м}^2/\text{с}; \quad (2)$$

$$\lambda=0,103+0,003\omega+0,0004\theta, \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К}); \quad (3)$$

$$\varepsilon=257,4+19,54\omega+1,08\theta - 0,31\omega^2, \text{ Дж}/(\text{м}^2 \cdot \text{К} \cdot \text{с}^{0,5}). \quad (4)$$

Рівняння (1 – 4) адекватно описують експериментальні дані в означеному діапазоні зміни вологості зерна соризу. Характер впливу вологості та температури соризу на його ТФХ наочно видно з ізоліній (рис. 3), побудованих на основі отриманих рівнянь.

Аналіз отриманих результатів показав, що питома теплоємність  $c$  і коефіцієнт теплопровідності  $\lambda$  мають лінійну залежність від вологості та температури соризу, а коефіцієнт теплової активності  $\varepsilon$  навпаки — нелінійну. Коефіцієнт же температуропровідності  $a$  лінійно залежить лише від вологості соризу. Це свідчить про справедливість принципу адитивності в розрахунку ТФХ лише для коефіцієнту температуропровідності  $a$ . інші ТФХ треба розраховувати за двопараметричними рівняннями (1 – 4).

Для визначення терміну безпечного зберігання проведено дослідження змін мікробіологічного та біохімічного складу зерна соризу в залежності від відносної вологості ( $\varphi=55$  і  $75$  %) і температури ( $t=5, 15$  та  $25$  °С) навколишнього середовища.

Результати мікробіологічного аналізу показали, що всі прийняті умови зберігання сприяли поліпшенню санітарного стану зерна соризу. Однак, вони по-різному впливали на його бактеріальну та грибну мікрофлору. Розвиток бактерій ефективно стримувався при всіх варіантах відносної вологості та температури середовища, а мікроміцетів — тільки при  $5$  °С при обох значеннях відносної вологості середовища. Тому при виборі режиму зберігання слід враховувати склад і кількість мікрофлори початкового зерна з тим, щоб не допускати розвиток плісень зберігання, серед яких можуть бути токсиноутворюючі види.

Харчова і біологічна цінність зернових продуктів в значній мірі залежить від первинної обробки зерна перед зберіганням, а також його умов (вологості та температури). Тому, окрім мікробіологічних досліджень, нами було проведено дослідження змін біохімічного складу зерна, що зберігалось при різних відносній вологості середовища ( $\varphi=55$  і  $75$  %) та температурі ( $t=5; 15$  і  $25$  °С). Як контроль використали зерно, що зберігалось при кімнатній температурі.

В зв'язку з тим, що вологість зразків зерна соризу була різною, для виявлення необхідних залежностей масову частку складових компонентів, що визначали, перераховували на суху речовину.

Встановлено, що підвищення температури і відносної вологості середовища призводить до збільшення активності біохімічних процесів та часткової деструкції основних компонентів зерна (крохмалю та протеїну), підвищення масової частки редуцируючих сахарів та амінного азоту за рахунок гідролітичних процесів.

У **четвертому розділі** викладено результати розробки режимів сушіння зерна соризу в шахтних зерносушарках різних типів.

На основі аналізу способів математичного опису кінетики сушіння зерна встановлено, що для цього найчастіше застосовуються рівняння Ликова А.В. та Філоненко Г.К. На першому етапі досліджень процесу сушіння зерна соризу було встановлено залежність коефіцієнта сушіння  $K$  та тріщинуватості зерна соризу від його початкової вологості  $\omega_0$  і температури сушильного агента  $t$ . Отримані результати дозволяють прогнозувати три-

валість сушіння зерна та його якість як круп'яної культури в залежності від вказаних вище факторів  $\omega_0$  та  $t$ .

На другому етапі згідно плану та методики дослідження була вивчена кінетика сушіння соризу при різноманітних параметрах процесу в умовах, близьких до промислових зерносушарок. Експериментальні дослідження проводили в щільному шарі, на експериментальному стенді, що забезпечує зміну швидкості сушильного агенту в межах 0,1...5 м/с та його температури  $t = 40...100$  °С.

Як фактори, що визначають кінетику сушіння і нагрівання були вибрані початкова вологість  $\omega_0$  і температура  $\theta$  зерна соризу та температура сушильного агенту  $t$ . Значення товщини зернового шару було прийняте  $h=0,1$  м, а швидкість сушильного агенту  $v=0,3$  м/с, що відповідає умовам сушіння у шахтних зерносушарках (наприклад, типу ДСП) з діагональним розташуванням коробів. Діапазони зміни факторів  $\omega_0$ ,  $\theta$  та  $t$  вибрані з реальних умов.

З метою скорочення кількості дослідів та підвищення вірогідності результатів, їх проводили за планом повного факторного експерименту ПФЕ-2<sup>2</sup>. Для оцінки значимості впливу квадратичних ефектів в кожній серії було намічено додатковий дослід в центрі експерименту, трикратне дублювання якого забезпечило також оцінку дисперсії похибки досліду  $S^2_y$ . Опис кінетики сушіння проводили методом приведеної швидкості сушіння з використанням рівняння Г.К.Філоненко, що вимагає на підставі експериментальних досліджень визначення наступних величин — швидкості сушіння у першому періоді  $N$ , критичної  $\omega_{кр}$  та рівноважної  $\omega_p$  вологості соризу, коефіцієнтів  $A$  та  $\beta$ , а також показника ступеня  $m$ .

На першому етапі обробки дослідних даних було проведено узагальнення отриманих результатів способом регресійного аналізу та отримано рівняння регресії для всіх кінетичних коефіцієнтів в кодованих змінних:

$$N = 0,81909 + 0,29571x_1 + 0,15896x_2 + 0,26379x_3 + 0,121460756x_1x_3 + 0,08871x_2x_3; \quad (5)$$

$$A = 26,3414 + 11,613578x_1 + 2,1260x_3; \quad (6)$$

$$\beta = 0,003560 - 0,0001296x_2 + 0,0003779x_3 + 0,0004926x_1x_3; \quad (7)$$

$$\omega_{кр} = 23,74 + 5,89x_1 + 0,97x_3; \quad (8)$$

де  $x_1$ ,  $x_2$  та  $x_3$  — кодовані значення факторів  $\omega_0$ ,  $\theta$  та  $t$ .

Перехід від натуральних до кодованих значень факторів здійснюється за співвідношеннями:

$$x_1 = (\omega_0 - 27)/8; \quad x_2 = (\theta - 15)/10; \quad x_3 = (t - 80)/15. \quad (9)$$

Для зручності в практичному використанні було отримано також аналогічні рівняння в натуральних змінних. Статистична оцінка показала, що отримані рівняння з надійністю 95 % адекватно описують експериментальні дані та можуть бути використані для розрахунку тривалості сушіння соризу при різноманітних режимах сушіння.

Окрім кінетики сушіння в цих же серіях дослідів вивчали закономірності нагрівання зерна соризу в процесі його сушіння у щільному шарі, характерному для шахтних зерносушарок. Для зглажування отриманих експериментальних даних по нагріванню зерна та узагальнення закономірностей кінетики була проведена апроксимація кривих нагрівання рівнянням

$$\theta = \theta_0 + \tau / (A + B\tau) \quad (10)$$

Розрахунок коефіцієнтів  $A$  і  $B$  в означеному рівнянні було проведено методом найменших квадратів з попереднім вирівнюванням (лінеаризацією) кривих нагрівання, що

забезпечило необхідну точність обчислень.

Далі було узагальнено дані з кінетики нагрівання і отримано рівняння регресії для залежностей коефіцієнтів А і В від факторів  $\omega_0$ ,  $\theta$  та  $t$  наступного виду

$$A, B = b_0 + b_1 \omega_0 + b_2 \theta + b_3 t + b_{12} \omega_0 \theta + b_{13} \omega_0 t + b_{23} \theta t \quad (11)$$

При цьому отримано також наступні рівняння в кодованих змінних:

$$A = 0,15461 + 0,076894x_1 + 0,010447x_2 - 0,038091x_3 - 0,035216x_1x_3; \quad (12)$$

$$B = 0,02683 - 0,0021937x_1 + 0,0060205x_2 - 0,0080015x_3 - 0,0032985x_2x_3. \quad (13)$$

де  $x_1$ ,  $x_2$  та  $x_3$  — кодовані значення факторів  $\omega_0$ ,  $\theta$  та  $t$ .

Спільний аналіз кривих нагрівання досліджуваного зерна соризу та показників його якості (тріщинуватості) дозволив визначити гранично-допустиму температуру нагрівання. Для збереження якості продовольчого зерна температура нагрівання зерна не повинна перевищувати 45 °С. Це може бути забезпечено при температурі сушильного агенту до 100 °С. При сушінні насіннєвого зерна соризу температура сушильного агенту не повинна перевищувати 80 °С, а нагрівання зерна в залежності від початкової вологості — не вище 35...40 °С.

Згідно загальним принципам розрахунку зерносушарок для визначення режимів сушіння зерна сориза було складено статичну математичну модель сушильної зони зерносушарки, яка дозволяє для заданої продуктивності сушарки визначити кількість випареної вологи, необхідну для цього кількість теплоти, сушильного агенту або повітря, палива тощо. Надалі було розроблено математичні моделі діючих шахтних зерносушарок (К4-УС2А, СЗШ-16) для визначення їх техніко-економічних показників при сушінні зерна соризу.

Результати розрахунку прямого процесу сушіння зерна сориза в умовах сушарки К4-УС2А при різних параметрах зовнішнього повітря показали, що при підвищенні температури з 5 до 20 °С питомі витрати палива знижуються з 15 до 12,3 кг/пл.т, тобто на 18 %. При цьому термічний к.к.д. зерносушарки підвищується з 42,2 до 51,3 %, тобто на 17,7 %. Зниження витрат умовного палива та к.к.д. практично не залежать від відносної вологості зовнішнього повітря, а визначаються тільки зміною його температури.

З метою розробки енергоощадної технології сушіння зерна соризу склали математичну модель рециркуляційного способу сушіння соризу в зерносушарці К4-УС2А. Для розрахунку параметрів рециркулюючого зерна та його суміші з сирим математичний опис теплової моделі зони сушарки доповнили рівняннями змішування сирого та рециркулюючого зерна, а також балансними рівняннями зв'язку параметрів зерна і сушильного агенту та повітря на вході та виході із зони сушарки. Реалізацію математичної моделі шахтної зерносушарки К4-УС2А проводили за розробленими нами програмами.

Як і для прямої зерносушарки, при частковому поверненні відпрацьованих сушильного агенту і зовнішнього повітря в топку для повторного використання їх теплоти, питомі витрати палива та к.к.д. при рециркуляційному сушінні практично не залежать від відносної вологості повітря. Зниження витрат умовного палива складає при різних варіантах повернення:

- 1) з зони охолодження — з 14,2 до 12,2 кг/пл.т або 14,1 %;
- 2) з другої зони сушіння — з 11,4 до 10,0 або 12,3;
- 3) з другої зони сушіння та зони охолодження — з 10,8 до 9,9 кг/пл.т або 8,3 %.

При цьому частка повернених на повторне використання відпрацьованих сушильного агенту або повітря складає близько 50 %, а термічний к.к.д. зерносушарки К4-УС2А підвищується до 51,6; 63,2 та 63,7 % відповідно для кожного варіанту.

У п'ятому розділі проведено аналіз структурної, універсальної та принципальної

схеми первинної обробки зерна соризу продовольчого та насіннівого призначення. На основі цього було обгрунтовано технологію первинної обробки зерна соризу різного призначення та рекомендовано технологічну схему для її реалізації.

Згідно запропонованої технології та технологічної схеми для отримання зерна соризу, яке відповідає базисним кондиціям, його необхідно піддавати попередній та первинній очистці на повітряно-ситових зерноочисних машинах. Попередні очищення проводять на ворохоочишувачах для вилучення крупних часток листків, стеблів і гілочок. Первинну очистку проводять на вібровідцентрових сепараторах. Проходом з верхнього і середнього підсівних сит (  $2,2 \times 20$  і  $2,2 \dots 3,0 \times 20$  мм) вилучають дрібні домішки та щуплі зерна соризу, проходом сортувального ( $\varnothing 5,5 \dots 6,0$  мм) — очищене зерно, а сходом з цього сита — крупні домішки. В аспіраційних каналах вилучають легкі домішки. В разі наявності важковилучуваних смітних домішок в зерні соризу, його направляють на повторне очищення на сепараторах з такими ситами: сортувальне — діаметром  $4,5 \dots 5,5$  мм; підсівне — з продовгуватими отворами розмірами  $1,7 \times 20$  мм та  $2,0 \dots 2,2 \times 20$  мм. При необхідності операції сушіння зерна соризу її проводять на зерносушарках К4-УС2А, СЗШ-16, типу ДСП або подібних до них при вказаних вище режимах відповідно до цільового призначення соризу.

На підставі даних про зміну бактерійної і грибною мікрофлори, а також біохімічного складу зерна соризу було рекомендовано раціональні умови його зберігання, які забезпечують хорошу продовольчу та насінніву якість зерна — це температура навколишнього середовища  $5 \dots 15$  °С при відносній вологості не вище 55 %.

Наведено результати впровадження розроблених режимів очистки і сушіння продовольчого та насіннівого зерна. У виробничих умовах було очищено та просушено дослідні партії зерна соризу та визначено ряд показників якості, що характеризують його продовольчі та насінніві властивості. Очищене та просушене зерно соризу відповідало нормативним вимогам — ДСТ 11229-89 (Технічні умови).

На заключному етапі роботи на підставі результатів виробничих впроваджень було розраховано економічний ефект від впровадження розроблених режимів, який підтвердив ефективність та доцільність рекомендованої технології первинної обробки зерна соризу.

## ВИСНОВКИ

1. Аналіз літературних даних і нормативної документації показує, що для нової культури — соризу відсутня технологія первинної обробки, що не дозволяє провести його очищення, сушіння, які забезпечують надійне зберігання і послідовну переробку за цільовим призначенням, а також використання на насіння.

2. Встановлено, що за окремими фізико-технологічними показниками зерно соризу подібне до зерна рису (маса 1000 зерен, густина, товщина), до сорго (швидкість зваження та кут природного відкосу), до сорго та гречки (довжина і ширина).

3. В літніх умовах зберігання (при відносній вологості повітря навколишнього середовища в середньому 75 %) і зимніх (при відносній вологості повітря в середньому 55 %) стан рівноваги зерна соризу за вологістю досягається відповідно на  $15 \dots 23$  і на  $12 \dots 19$  доби.

4. Для розрахунку теплофізичних характеристик зерна соризу в діапазоні вологості  $12,2 \dots 26,1$  % та температури  $5 \dots 35$  °С рекомендовано залежності (1–4).

5. За результатами мікробіологічного і біохімічного аналізу встановлено, що всі прийняті умови збереження не призводять до погіршення санітарного стану та втрат цінних компонентів зерна соризу.

6. Сумісний аналіз результатів математичного моделювання процесу сушіння в шахтних зерносушарках та даних по зміні при цьому якості зерна соризу дозволили встановити, що сушіння доцільно проводити незалежно від початкової вологості при темпера-

турі сушильного агенту не вище 100 °С, не допускаючи при цьому нагрівання зерна понад 45 °С. При сушінні насіннєвого зерна соризу температура сушильного агенту не повинна перевищувати 80 °С, а нагрівання зерна в залежності від початкової вологості — не вище 35...40 °С. Витрати сушильного агенту та зовнішнього повітря в зонах зерносушарок повинні бути знижені у порівнянні з паспортними до значень, які забезпечують швидкість відпрацьованих сушильного агенту та повітря не більше 5,0 м/с.

7. Для поліпшення техніко-економічних показників роботи шахтних зерносушарок (типу К4-УС2А та ін.) сушіння зерна соризу доцільно проводити з поверненням близько 50 % відпрацьованих сушильного агенту або повітря. При цьому зниження витрат умовного палива складає 8,3...14,1 %, підвищується термічний к.к.д. зерносушарок до 51,6...63,7 %, а також зростає екологічність сушіння.

8. На основі аналізу фракційного складу зерна встановлено, що для забезпечення базисних кондицій соризу його необхідно піддавати очищенню в кілька етапов при таких режимах: попередні очищення на ворохоочишувачах для відокремлення вороху і частково крупних домішок; первинні очищення на вібровідцентрових сепараторах. Проходом з верхнього і середнього підсівних сит ( 2,2×20 і 2,2...3,0×20 мм) вилучають дрібні домішки та щуплі зерна соризу, проходом сортувального (Ø5,5...6,0 мм) — очищене зерно, а сходом з цього сита — крупні домішки. При важковилучуваних смітних домішках в зерні соризу, його направляють на повторне очищення на сепараторах з такими ситами: сортувальне — діаметром 4,5...5,5 мм; підсівні — з продовгуватими отворами розмірами 1,7 ×20 мм та 2,0...2,2×20 мм.

9. Дослідження кількісно-якісного складу мікрофлори і біохімічних змін зерна соризу показали, що кращими для зберігання протягом 12 місяців виявилися умови — температура зберігання 5...15 °С, відносна вологість середовища не повинна перевищувати 55 %.

10. Розроблена технологія первинної обробки зерна соризу продовольчого та насіннєвого призначення. Проведена промислова апробація розроблених режимів очищення показала відповідність очищеного соризу існуючій нормативно-технічній документації. Перевірка рекомендованих режимів сушіння підтвердила зниження витрат на сушіння на 8,5 %, що складає 1,17 грн. на 1 пл.т. просушеного зерна соризу продовольчого призначення.

#### ***За темою дисертації опубліковані наступні роботи:***

1. Исследование технологических свойств сориза сортов “Янтарный” и “Одесский-350” / А.К. Друзьева, В.И. Науменко, Л.К. Овсянникова, В.Е. Гаро // Проблемы та перспективи розвитку та споживання хлібопродуктів. – Одеса: ОДАХТ. – 1997. – С. 63-65.

2. Сориз — перспективна круп'яна культура / Г.К. Дремлюк, Г.М. Станкевич, Л.К. Овсянникова, В.П. Дутко, А.К. Друзьова // Удосконалення існуючих і розробка нових технологій для харчової та зернопереробної промисловості. – Одеса: ОДАХТ. – 1997. – Вип. 17. – С. 9–15.

3. Фізико-технологічні та теплофізичні характеристики сориза / А.К. Друзьова, Г.М. Станкевич, В.І. Науменко, Л.К. Овсянникова // Удосконалення існуючих і розробка нових технологій для харчової та зернопереробної промисловості. – Одеса: ОДАХТ. – 1998. – Вип. 18. – С. 48–49.

4. Друзьова А.К. Удосконалення технології первинної обробки нової круп'яної культури — сориза // Удосконалення існуючих і розробка нових технологій для харчової та зернопереробної промисловості. – Одеса: ОДАХТ. – 1999. – Вип. 19. – С. 27–30.

5. Сориз — новая крупяная культура для Украины / Г.К. Дремлюк, Г.Н. Станкевич, Л.К. Овсянникова, А.К. Друзьева // Пути повышения эффективности хранения и переработки сельскохозяйственной продукции. – Одесса: ОЦНТЭИ. – 1999. – С. 40–44.

## АНОТАЦІЯ

Друзьіва А. К. Технологія первинної обробки зерна соризу. — Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.18.03 — первинна обробка і зберігання продуктів рослинництва. — Одеська державна академія харчових технологій, Одеса, 1999.

Дисертація присвячена питанням дослідження фізико-технологічних, гігроскопічних, біохімічних і мікробіологічних властивостей, а також теплофізичних характеристик зерна соризу як об'єкта сушіння та зберігання. Розроблено режими сушіння зерна соризу для різноманітних приладів і умов сушіння. Отримано математичний опис закономірностей сушіння зерна соризу для змінних режимних параметрів. Рекомендовано режими по очищенню і зберіганню зерна соризу. Промислова апробація підтвердила економічну ефективність результатів роботи.

Ключові слова: сориз, очищення, сушіння, зберігання, моделювання, режими.

## THE SUMMARY

Druzheva A.K. Technology of primary processing of Soriz grain. — Manuscript.

Thesis on competition of a scientific degree of the candidate of engineering science on a speciality 05.18.03 — primary processing and storage of plant products. — The Odessa State Academy of Food Technologies, Odessa, 1999.

The thesis is devoted to research problems of physical, technological, hygroscopic, biochemical and microbiological properties and also heat engineering performances of soriz grain. The drying modes of soriz grain for various devices and conditions have been developed. The mathematical description of regularity drying of soriz grain for variable regime parameters have been obtained. The modes on clearing and storage of soriz grain have been offered. The industrial approvement has confirmed economical effectiveness of the results of the work.

Key word: soriz, clearing, drying, storage, simulation, modes.

## АННОТАЦИЯ

Друзьева А.К. Технология первичной обработки зерна сориза. — Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.18.03 — первичная обработка и хранение продуктов растениеводства. — Одесская государственная академия пищевых технологий, Одесса, 1999.

Диссертация посвящена вопросам исследования физико-технологических, гигроскопических, биохимических и микробиологических свойств, а также теплофизических характеристик зерна сориза как объекта сушки и хранения. Разработаны режимы сушки зерна сориза для различных устройств и условий сушки. Получено математическое описание закономерности сушки зерна сориза для переменных режимных параметров. Рекомендованы режимы по очистке и хранению зерна сориза.

По отдельным физико-технологическим показателям зерно сориза близко к зерну риса (масса 1000 зерен и их плотность, толщина); к сорго (скорость витания и угол естественного откоса); к сорго и гречихе (длина и ширина).

В летних условиях хранения (при относительной влажности окружающего воздуха в среднем 75 %) и зимних (при относительной влажности воздуха в среднем 55 %) состояние равновесия зерном сориза достигается соответственно на 15...23 и 12...19 сутки.

Для расчета теплофизических характеристик в диапазоне изменения влажности 12,2...26,1 % и температуры 5...35 °С рекомендуются зависимости (1...4).

На основании анализа фракционного состава зерна установлено, что для получения зерна сориза, соответствующего базисным кондициям, его необходимо подвергать предварительной и первичной очистке на воздушно-ситовых зерноочистительных машинах.

Предварительную очистку можно проводить на ворохоочистителях с отделением крупных листьев, стеблей и веточек. Первичную очистку целесообразно проводить на виброцентробежных сепараторах. Проходом с верхнего и среднего подсева сит (  $2,2 \times 20$  и  $2,2...3,0 \times 20$  мм) извлекают мелкие примеси и щуплые зерна сориза, проходом сортировочного ( $\varnothing 5,5...6,0$  мм) — очищенное зерно, а сходом с этого сита — крупные примеси. При наличии трудноотделимой сорной примеси в зерне сориза, его направляют на повторную очистку в сепараторах со следующими ситами: сортировочным — с круглыми отверстиями сит диаметром  $4,5...5,5$  мм; подсева — с продолговатыми отверстиями сит размерами  $1,7 \times 20$  мм и  $2,0...2,2 \times 20$  мм.

Комплексное и экспериментальное моделирование кинетики сушки определило, что сушку влажного и сырого зерна сориза продовольственного назначения необходимо проводить при температуре сушильного агента не выше  $100$  °С, не допуская при этом нагрева зерна свыше  $45$  °С. При сушке семенного зерна температура сушильного агента не должна превышать  $80$  °С, а нагрев зерна в зависимости от начальной влажности — не выше  $35...40$  °С.

Для улучшения технико-экономических показателей работы зерносушилок типа К4-УС2А (снижения удельных затрат топлива, повышения термического к.п.д. и т.д.) сушку зерна сориза целесообразно проводить с частичной рециркуляцией отработанных сушильного агента и воздуха. Расходы сушильного агента и наружного воздуха в зонах зерносушилок должны быть снижены по сравнению с паспортными до значений, обеспечивающих скорость отработанных сушильного агента и воздуха не более  $5,0$  м/с.

Исследования количественно-качественного состава микрофлоры и биохимических изменений зерна сориза показали, что лучшими для хранения являются такие условия: температура хранения  $5...15$  °С при относительной влажности среды не выше  $55$  %.

На заключительном этапе работы был подсчитан экономический эффект от внедрения разработанных режимов, подтверждающий эффективность и целесообразность рекомендованной технологии первичной обработки зерна сориза.

Ключевые слова: сориз, очистка, сушка, хранение, моделирование, режимы.

---

Підписано до друку 12.01.2000 р. Формат 60х90/16. Обл.-вид. арк. 1,0.  
Тираж 100 прим. Зам. № 4. Одеська державна академія харчових технологій.  
65039, м. Одеса, вул. Канатна, 112.