

**Станкевич Г.М.,
Страхова Т.В.,
Борта А.В.**



ОСНОВИ СУШІННЯ ЗЕРНА

**Одеса
2022**

Г. М. СТАНКЕВИЧ,
Т. В. СТРАХОВА,
А. В. БОРТА

*Присвячується
120-річчю ОНТУ*

ОСНОВИ СУШІННЯ ЗЕРНА

*Підручник для студентів
фахових коледжів, які на-
вчаються за спеціальністю
181 «Харчові технології».*

Одеса

2022

*Розповсюдження та тиражування
без офіційного дозволу видавництва заборонено*

Рецензенти: заступник генерального директора виробництва ТОВ «Укрелеваторпром» кандидат технічних наук *Шпак В.М.*, директор Співки «Борошномили України» кандидат технічних наук *Рибчинський Р.С.*, проректор з науково-педагогічної роботи та міжнародних зв'язків доктор технічних наук, професор *Мардар М.Р.*

Станкевич Г. М., Страхова Т.В., Борта А.В.

С76 Основи сушіння зерна: Підручник.

Одеса, КП ОМД, 2022 – 209 с.

ISBN 978-617-637-222-6

У підручнику розглянуто основи теорії та технології сушіння зерна, техніку його сушіння, контроль та регулювання процесу сушіння зерна. Докладно описано конструкції сушарок, шляхи їх реконструкції з метою вдосконалення. Висвітлено питання охорони праці, техніки безпеки, екології, розкрито суть протипожежних заходів.

Для студентів фахових коледжів, які навчаються за спеціальністю 181 «Харчові технології», та працівників зернової галузі.

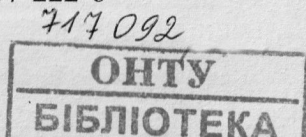
Рекомендовано Вченою радою Одеського національного технологічного університету як підручник, протокол № 2 від 04.10.2020 р.

© Г. М. Станкевич

© Т. В. Страхова

© А.В. Борта, 2022

ISBN 978-617-637-222-6



ПЕРЕДМОВА

Підручник призначений для студентів фахових коледжів, які навчаються за спеціальністю 181 «Харчові технології», чим і визначаються структура книги та виклад її матеріалу.

Створюючи підручник, автори використали свій багатолітній досвід викладання названого курсу в Одеському національному технологічному університеті (ОНТУ). При цьому вони керувалися принципом: від властивостей зерна як об'єкта сушіння – до вибору методів та режимів процесу і тільки на цій основі – до найраціональніших конструкцій сушильних установок.

Забезпечити безперебійне приймання, зберігання без утрат прийнятого зерна та поліпшення його якості – найважливіші завдання працівників підприємств після збиральної обробки зерна.

У більшості сільськогосподарських районів країни зерно збирають з підвищеною вологістю. Щоб зберегти і поліпшити якість зерна, необхідним є його сушіння – швидкий та ефективний захід у комплексі післязбирального оброблення зерна.

Як відомо, сушіння – це складний технологічний процес. Тому для створення конструкцій зерносушарок, які б забезпечували не тільки зберігання, а й поліпшення якості зерна, потрібно знати його властивості як об'єкта сушіння.

Наука про сушіння зерна набула настільки широкого розвитку, що виділяються такі самостійні його розділи, як теорія сушіння, технологія сушіння та техніка сушіння.

Працівники галузі після збиральної обробки зерна повинні володіти досить глибокими знаннями теорії сушіння зерна, важливими завданнями якої є наукове обґрунтування і пошук нових, більш ефективних методів його сушіння, а також надання можливості подальшого розвитку технології та техніки сушіння зерна, зокрема створення сучасних високопродуктивних автоматизованих сушильних установок. У книзі описано методи розрахунку та проектування зерносушарок.

Завданням технології сушіння зерна є розробка методів керування процесами, що проходять у самому матеріалі – об'єкти сушіння, з метою отримання продукту з регламентованими фізико-хімічними, структурно-механічними та органолептичними показниками. Особ-

ливу увагу в книзі приділено прогресивним технологічним схемам і режимам сушіння зерна.

У книзі описано найпоширеніші, а також нові типи зерносушарок, висвітлено основні напрями їх реконструкції.

Забезпечення високої якості зерна під час його сушіння потребує вмілого використання зерносушильної техніки. Тому знання правил експлуатації, охорони праці та техніки безпеки є обов'язковим для робітників, пов'язаних з процесом сушіння зерна.

Автори вдячні рецензентам заступнику генерального директора виробництва ТОВ «Укрелеваторпром» кандидату технічних наук Шпаку В.М., директору Спілки «Борошноmeli України» кандидату технічних наук Рибчинському Р.С., проректору з науково-педагогічної роботи та міжнародних зв'язків доктору технічних наук професору Мардар М.Р.

ВСТУП

Сушіння зерна – одна з найголовніших операцій на хлібоприймальних підприємствах та елеваторах. Особливо це стає відчутним у несприятливі дощові роки, коли треба у дуже стислі строки просушити великі партії вологого та сирого зерна, не допустивши його псування. Зробити це можна лише маючи надійну сушильну техніку. При цьому не менш важливим є питання енергозбереження та підвищення екологічності сушіння зерна на підприємствах галузі.

Для підприємств, робота яких пов'язана з заготівлею зерна, важливим є своєчасне сушіння свіжезібраного врожаю до кондицій, які забезпечать його надійне зберігання. Сушіння зерна – енергоємний процес. Особливо це відчутно для підприємств у теперішній час, в умовах дефіциту палива. Саме тому одним з найважливіших завдань є якомога повніше енергозбереження при сушінні зерна. А це можливо лише при переведенні зерносушарок, часто застарілих конструкцій, на прогресивні та енергоощадні технології сушіння зерна.

Сушіння зерна – один з найбільш ефективних заходів підготовки зерна до тривалого зберігання.

Удосконалення технології сушіння передбачає:

- підвищення техніко-економічних показників (зниження споживання енергії, збільшення продуктивності процесу, зменшення розмірів устаткування, полегшення керування процесом);
- врахування екологічних аспектів (мінімізація споживання енергії, зменшення шкідливих викидів у атмосферу, підвищення безпеки виробництва);
- поліпшення якості продукту (однорідність сушіння, мінімізація хімічних змін продукту, збереження харчової цінності).

Сушіння є одним із найбільш складних процесів післязбиральної обробки і найменш досліджених з огляду на труднощі створення математичної моделі одночасного перенесення теплових потоків та вологи.

При виборі зерносушильного обладнання необхідно враховувати безліч чинників для того, щоб обране обладнання максимально відповідало потребам господарства або елеватора, також було економічним і простим в експлуатації, перш за все варто звернути увагу на такі показники як: енергоефективність, продуктивність, металоемність.

Сушарка повинна бути відносно недорогою, але зробленою з стійких до корозії матеріалів – всі процеси сушіння повинні бути автоматизовані і контрольовані.

У зв'язку з тим, що виробництво зерна нарощується можна очікувати, що зерносушильний парк по кількості та різноманітності зерносушарок буде й надалі розвиватися.

Розділ 1

ОСНОВИ ТЕОРІЇ СУШІННЯ ЗЕРНА

ГЛАВА 1. ЗЕРНО ЯК ОБ'ЄКТ СУШІННЯ

1.1. ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ

Зернина будь-якої культури – це живий організм і їй притаманні дихання, розвиток, старіння. У структурному відношенні зернина є анізотропним колоїдним капілярнопористим тілом із складною будовою його окремих частин. Так, верхні або плодові оболонки основних злакових культур (пшениці та жита) складаються із трьох шарів щільних здерев'янілих клітинних стінок з великою кількістю капілярів і мікропор, через які пара води може легко проходити всередину зернини та цим самим видалятися під час сушіння зерна. У зернинах вівса, ячменю, рису, проса плодові оболонки покриті ще квітковою оболонкою, що значною мірою уповільнює їх сушіння. Оболонки другого шару називають насінневими. Вони також складаються із трьох шарів (верхнього – прозорого, середнього – пігментного та нижнього – прозорого набухаючого) і відрізняються від плодових оболонок відносно малою проникністю в них газів та пари.

Під насінневими оболонками є алеїроновий шар, що складається з одного ряду товстостінних клітин. За ним розташовується основна частина зернини – ендосперм, який складається з тонкостінних великих клітин, заповнених в основному крохмальними зернами. Головна частина зернини – її зародок. На відміну від оболонок та ендосперму, його тканини складаються із живих клітин, дуже чутливих до дії тепла.

Насіння зернобобових культур (гороху, вики, сої, люпину, нуту), на відміну від злакових культур, складається з двох сім'ядолей, зародкового корінця, стеблинки та пуп'янка. Зверху сім'ядолі покриті насінневою оболонкою, що складається із клітин, які погано пропускають вологу.

Насіння олійних культур своєю будовою значно відрізняється від насіння злакових і зернобобових культур. Наприклад, насіння соняшника складається з ядра, покритого насінневою оболонкою, а все це закрито лушпинням. Між насінневою оболонкою та лушпинням є досить великий повітряний простір. Численні шпарини в лушпинні,

ЗМІСТ

Передмова	3
Вступ	5
РОЗДІЛ 1	
ОСНОВИ ТЕОРІЇ СУШІННЯ ЗЕРНА	
Глава 1. Зерно як об'єкт сушіння	7
1.1. Основні поняття	7
1.2. Види та енергія зв'язку вологи у зерні	9
1.3. Фізичні властивості зернової маси	13
1.4. Гігроскопічні властивості зернової маси	17
1.5. Теплофізичні характеристики зернової маси	20
1.6. Біохімічні та технологічні властивості зернової маси	23
1.7. Термодинамічні параметри вологоперенесення	26
Контрольні запитання	27
Глава 2. Повітря та його суміш з топковими газами як агенти сушіння	27
2.1. Основні параметри вологого повітря	27
2.2. I-d діаграма вологого повітря	32
2.3. Агенти сушіння – вологе повітря та його суміш з продуктами згоряння палива	35
РОЗДІЛ 2	
ОСНОВИ ТЕХНОЛОГІЇ СУШІННЯ ЗЕРНА	
Глава 3. Методи сушіння	38
3.1. Класифікація та характеристика методів сушіння	38
3.2. Характеристика станів зернового шару	41
3.3. Прямоточне сушіння зерна	44
3.4. Рециркуляційне сушіння зерна	45
Контрольні запитання	48
Глава 4. Режимы сушіння зерна	48
4.1. Основні параметри режимів	48
4.2. Загальна характеристика ступінчастих, диференційованих, осцилюючих і комбінованих режимів сушіння зерна	50
4.3. Вибір граничних значень основних параметрів процесу нагрівання зерна	53
4.4. Режимы сушіння продовольчого та кормового зерна	54
4.5. Режимы сушіння насінневого зерна	64

4.6. Особливості сушіння дефектного зерна	68
4.7. Шляхи вдосконалення технології сушіння зерна	69
Контрольні запитання	71

РОЗДІЛ 3

ТЕХНІКА СУШІННЯ ЗЕРНА

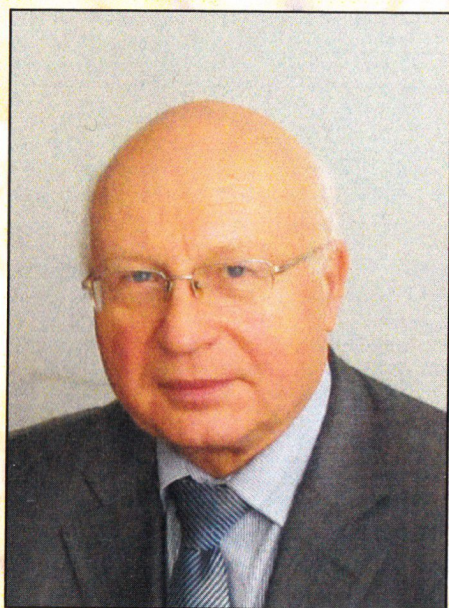
Глава 5. Конструкції зерносушарок і зерносушильних агрегатів ..	72
5.1. Основні вимоги до зерносушарок	72
5.2. Класифікація зерносушарок	72
5.3. Будова сушарок	74
5.3.1. Шахтні прямоточні зерносушарки	74
5.3.2. Шахтні рециркуляційні зерносушарки	84
5.3.3. Колонкові та баштові зерносушарки	87
5.4. Шахтні прямоточні та рециркуляційні зерносушарки	90
5.4.1. Зерносушарки типу ДСП	90
5.4.2. Зерносушарки типу СЗШ	94
5.4.3. Пересувні зерносушарки	96
5.4.4. Зерносушарки типу РД	102
5.4.5. Зерносушарка АІ-ДСП-50	112
5.5. Парові зерносушарки	114
5.6. Бункери, що вентилуються	118
5.7. Сучасні зерносушарки українського виробництва	120
5.7.1. Шахтні прямоточні зерносушарки	120
5.7.2. Колонкові зерносушарки	125
5.7.3. Баштові зерносушарки	135
5.8. Іноземні зерносушарки	140
5.8.1. Шахтні сушарки	141
5.8.2. Модульні колонкові зерносушарки	154
5.8.3. Баштові зерносушарки	160
5.8.4. Зерносушарка конвеєрного типу	165
5.9. Прив'язка зерносушарок	170
Контрольні запитання	172

РОЗДІЛ 4

КОНТРОЛЬ І РЕГУЛЮВАННЯ РОЦЕСУ СУШІННЯ ЗЕРНА

Глава 6. Контроль та регулювання процесу сушіння зерна	174
6.1. Методи та прилади контролю і регулювання основних параметрів процесу	174
6.2. Дистанційний контроль основних параметрів процесу	177
6.3. Напрями автоматизації процесу сушіння зерна	183
Контрольні запитання	187

Глава 7. Охорона праці, техніка безпеки, протипожежні заходи	188
7.1. Охорона праці та техніка безпеки	188
7.2. Протипожежні заходи	192
7.3. Підвищення екологічності зерносушарок	194
<i>Контрольні запитання</i>	<i>198</i>
Список використаної та рекомендованої літератури	199
Додатки	200



Станкевич Георгій Миколайович, професор кафедри технології зерна і комбікормів Одеського національного технологічного університету, доктор технічних наук, професор, лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки.

Основні напрямки наукової діяльності – технологія післязбиральної обробки і зберігання зерна; тепло- і масообмін та енергозбереження у процесах сушіння і охолодження зерна; математичне моделювання, алгоритмізація розрахунків та оптимізація процесів зерно-переробної та харчової галузей.

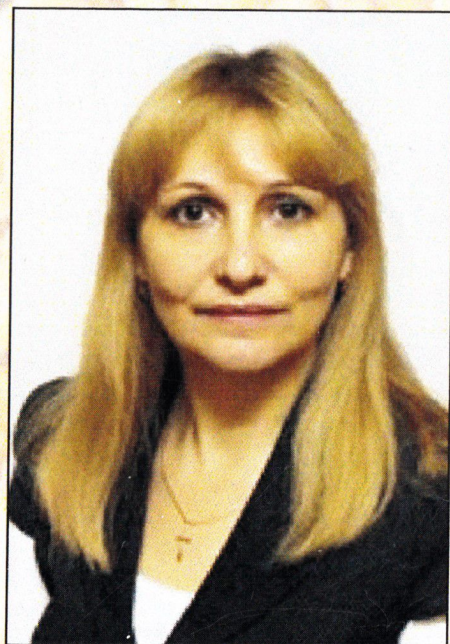
Автор та співавтор понад 430 наукових праць (у т.ч. 15 авторських свідоцтв і патентів України на винаходи, 7 монографій, галузева «Інструкція по сушінню...») та 150 науково-методичних розробок (в т.ч. 2 підручника та 4 навчальних посібника).



Страхова Тетяна Василівна, доцент кафедри технології зерна і комбікормів Одеського національного технологічного університету, кандидат технічних наук, доцент, заслужений доцент ОНАХТ.

Основні напрямки наукової діяльності – технологія післязбиральної обробки і зберігання зерна та олійних культур; удосконалення способів та режимів сушіння зерна різних культур»; аналіз систем термометрії зерна у зерносховищах різних типів.

Автор та співавтор понад 140 наукових праць (у т.ч. авторське свідоцтво, монографія, 2 галузеві інструкції – «Інструкція по сушінню...» та «Інструкція про порядок ведення обліку й оформлення операцій з зерном...») та 68 науково-методичних розробок (у т.ч. 2 підручника та 2 навчальних посібника).



Борта Алла Василівна, доцент кафедри технології зерна і комбікормів Одеського національного технологічного університету, кандидат технічних наук, науковий керівник науково-дослідної лабораторії «Оцінки якості зерна та хлібопродуктів». Основні напрямки наукової діяльності – теоретичні і практичні питання сушіння та зберігання зерна різних культур; дослідження технологічних, біохімічних і фізіологічних властивостей зерна, оцінка якості зерна різних культур, формування партій пшениці різного призначення; стандартизація, метрологія, сертифікація і кількісно-якісний облік зерна на всіх етапах його післязбиральної обробки і зберігання.

Автор та співавтор понад 100 наукових праць (у т.ч. монографія) та 35 науково-методичних розробок (у т.ч. підручник та 4 навчальних посібника).