



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

СУШИЛНЯ ЗЕРНА

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

СУШІННЯ ЗЕРНА

Підручник для студентів закладів
вищої освіти, які навчаються
за спеціальністю «Технологія
зберігання і переробки зерна» та
працівників зернової галузі.

Одеса
2021

*Розповсюдження та тиражування
без офіційного дозволу видавництва заборонено*

Рецензенти: Буценко І.М. генеральний директор ТОВ «Укрелеваторпром»,
Мардар М.Р. проректор ОНТУ, д-р техн. наук, проф., Черній В.О. заступни-
ця завідувача корпусом елеватора ТОВ «Іллічівський зерновий термінал»,
кандидат технічних наук.

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

С76 Сушіння зерна: Підручник. Видання друге.

Перероблення і доповнення – Одеса, КП ОМД, 2021 – 248 с.

ISBN 978-617-637-209-7

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

Для студентів закладів вищої освіти, які навчаються за спеціальністю 181 «Харчові технології», освітня програма «Технологія зберігання і переробки зерна» та працівників зернової галузі.

Рекомендовано Вченою радою Одеської національної академії харчових технологій як підручник, протокол № 15 від 08.06.2021 р.

ISBN 978-617-637-209-7

© Г. М. Станкевич

© Т. В. Страхова

© А.В. Борта, 2021

Підручник призначений для студентів закладів вищої освіти, які вивчають дисципліну «Технологія зберігання та сушіння зерна», 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 післязбиральної 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 післязбиральної 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. Особливу 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 генеральному директору ТОВ «Укрелеваторпром» Буценко І.М., проректору з науково-педагогічної роботи та міжнародних зв'язків доктору технічних наук професору Мардар М.Р., заступниці завідувача корпусом елеватора ТОВ «Іллічівський зерновий термінал», кандидату технічних наук Черній В.О.

ВСТУП

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, металосмість.

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.

Сушіння – складний технологічний тепломасообмінний процес, який повинен забезпечити зберігання усіх властивостей зерна, що можливо за умови дотримання оптимальних параметрів цього процесу. Так, під час сушіння постійно змінюються термодинамічні й теплофізичні властивості зерна, зокрема теплоємність і теплопровідність. Тому необхідно суворо дотримуватися рекомендованих режимів сушіння кожної культури залежно від її вологості та цільового призначення.

ЗМІСТ

Передмова	3
Вступ	5
Історія розвитку теорії, технології та техніки сушіння зерна	6
РОЗДІЛ 1	
ОСНОВИ ТЕОРІЇ СУШІННЯ ЗЕРНА	
Глава 1. Зерно як об'єкт сушіння	10
1.1. Основні поняття	10
1.2. Види та енергія зв'язку вологи у зерні	12
1.3. Фізичні властивості зернової маси	16
1.4. Теплофізичні характеристики зернової маси	23
1.5. Біохімічні та технологічні властивості зернової маси	26
1.6. Термодинамічні параметри вологоперенесення	29
Контрольні запитання	30
Глава 2. Повітря та його суміш з топковими газами як агенти сушіння	30
2.1. Основні параметри вологого повітря	30
2.2. I-d діаграма вологого повітря	35
2.3. Агенти сушіння – вологе повітря та його суміш з продуктами згоряння палива	38
2.4. Розрахунок параметрів сушильного агента із балансу топки при згорянні у топці рідкого або твердого палива	40
2.5. Розрахунок параметрів сушильного агента при спалюванні у топковому пристрої газоподібного палива	43
2.6. Зображення процесу змішування потоків повітря на i-d-діаграмі при повторному використанні відпрацьованого агента сушіння та повітря зони охолодження	48
2.7. Характеристики палива для сушіння зерна	50
2.8. Паливне господарство	52
Контрольні запитання	54
Глава 3. Основи статистики, кінетики та динаміки процесу сушіння зерна	55
3.1. Основні поняття	55
3.2. Випаровування вологи з вільної поверхні води	56
3.3. Експериментальні закономірності процесу сушіння зерна	57
3.4. Зовнішній тепло-та вологообмін	62

3.5. Внутрішнє тепловологоперенесення в зернині	65
3.6. Основні рівняння тривалості сушіння зерна	67
Контрольні запитання	69
Глава 4. Основи розрахунків процесу сушіння зерна та сушарок	69
4.1. Методи та загальні схеми розрахунків	69
4.2. розрахунок кількості випареної вологи в зоні сушіння	73
4.3. визначення витрати агента сушіння	74
4.4. Визначення витрати теплоти на сушіння	75
4.6. Методика графоаналітичного розрахунку витрат повітря та теплоти	81
4.7. Визначення витрат палива на сушіння	84
4.8. Основні завдання конструктивного розрахунку зерносушарок	86
4.9. Визначення тривалості сушіння	92
4.10. Особливості розрахунку рециркуляційного сушіння зерна	94
Контрольні запитання	100
РОЗДІЛ 2	
ОСНОВИ ТЕХНОЛОГІЇ СУШІННЯ ЗЕРНА	
Глава 5. Методи сушіння	101
5.1. Класифікація та характеристика методів сушіння	101
5.2. Характеристика станів зернового шару	104
5.3. Прямоточне сушіння зерна	107
5.4. Рециркуляційне сушіння зерна	108
Контрольні запитання	111
Глава 6. Режимы сушіння зерна	111
6.1. Основні параметри режимів	111
6.2. Загальна характеристика ступінчастих, диференційованих, осцилюючих і комбінованих режимів сушіння зерна	113
6.3. Вибір граничних значень основних параметрів процесу нагрівання зерна	116
6.4. Режимы сушіння продовольчого та кормового зерна	117
6.5. Режимы сушіння насінневого зерна	127
6.6. Особливості сушіння дефектного зерна	131
6.7. Шляхи вдосконалення технології сушіння зерна	132
Контрольні запитання	134
РОЗДІЛ 3	
ТЕХНІКА СУШІННЯ ЗЕРНА	
Глава 7. Конструкції зерносушарок і зерносушильних агрегатів	135
7.1. Основні вимоги до зерносушарок	135
7.2. Класифікація зерносушарок	135

7.3. Будова сушарок	137
7.3.1. Шахтні прямоточні зерносушарки	137
7.3.2. Шахтні рециркуляційні зерносушарки	147
7.3.3. Колонкові та баштові зерносушарки	150
7.4. Шахтні прямоточні та рециркуляційні зерносушарки	153
7.4.1. Зерносушарки типу дсп	153
7.4.2. Зерносушарки типу сзш	157
7.4.3. Пересувні зерносушарки	159
7.4.4. Зерносушарки типу рд	165
7.4.5. Зерносушарка аі-дсп-50	175
7.5. Парові зерносушарки	177
7.6. Бункери, що вентиліюються	181
7.7. Сучасні зерносушарки українського виробництва	183
7.7.1. Шахтні прямоточні зерносушарки	183
7.7.2. Колонкові зерносушарки	188
7.5.3. Баштові зерносушарки	198
7.8. Іноземні зерносушарки	203
7.8.1. Шахтні сушарки	204
7.8.2. Модульні колонкові зерносушарки	217
7.8.3. Баштові зерносушарки	223
7.8.4. Зерносушарка конвеєрного типу	228
7.9. Прив'язка зерносушарок	233
Контрольні запитання	235
Глава 8. Реконструкція зерносушарок	236
8.1. Загальні напрями вдосконалення зерносушарок	236
8.2. Заходи, що сприяють поліпшенню роботи шахтних прямоточних зерносушарок	240
8.3. Реконструйовані сушарки з попереднім нагріванням зерна та повторним використанням агента сушіння	244
8.4. Заходи щодо зниження витрат палива та електроенергії на сушіння зерна	249
Контрольні запитання	252
Глава 9. Тепловентиляційна та паливна системи зерносушарок	253
9.1. Конструктивні особливості топок і тепловентиляційних агрегатів	253
9.2. Вентилятори зерносушарок	267
Контрольні запитання	274

РОЗДІЛ 4

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗЕРНОСУШАРОК КОНТРОЛЬ І РЕГУЛЮВАННЯ РОЦЕСУ СУШІННЯ ЗЕРНА

Глава 10. Експлуатація та ремонт зерносушарок	275
10.1. Технологічні норми, що визначають роботу сушарок	275
10.2. підготовка до роботи, пуск у хід, експлуатація та призупинення зерносушарок	280
10.3. Вимоги до зерносушарок, що працюють в механізованих технологічних лініях	291
10.4. Ремонт зерносушарок	292
Контрольні запитання	295
Глава 11. Контроль та регулювання процесу сушіння зерна	295
11.1. методи та прилади контролю і регулювання основних параметрів процесу	295
11.2. Дистанційний контроль основних параметрів процесу	299
11.3. напрями автоматизації процесу сушіння зерна	305
Контрольні запитання	309
Глава 12. Охорона праці, техніка безпеки, протипожежні заходи	309
12.1. Методи та прилади контролю і регулювання основних параметрів процесу	309
12.2. Протипожежні заходи	313
12.3. Підвищення екологічності зерносушарок	316
Контрольні запитання	319
Список використаної та рекомендованої літератури	320
Додатки	321