



Активне вентилявання та сушіння зерна
[Текст] : навч. посіб. / О. І. Гапонюк,
М. В. Остапчук, Г. М. Станкевич, І. І. Гапонюк.
- Одеса : ВМВ, 2014. - 326 с. : табл., рис. -
Бібліогр.: с. 302-305. – ISBN 978-966-
413-483-2.

Викладено загальні принципи і технологічні схеми зберігання зерна, характеристики зерна як сипкого матеріалу та об'єкта зберігання, будова зерносховищ як об'єктів зберігання зерна та сучасних систем активного вентилявання і сушіння зерна, принципи контролю і керування процесом зберігання, математичний опис процесів тепло-вологообміну та гідравлічного опору зернового середовища аналітичними та експериментальними методами. Наведено принципи визначення характеристик систем активного вентилявання та сушіння зерна і співвідношення між різними методами зневоднення.

Рекомендовано для працівників хлібозаготівельних підприємств, аспірантів та студентів вищих навчальних закладів, які займаються питаннями післязбиральної обробки та зберігання зерна.

ВСТУП

Будь-яка технологічна схема зберігання зерна здійснюється в різних типах зерносховищ, оснащених машинами для транспортування і очищення зерна. Але основне забезпечення якості зберігання зерна процесами тепловологообміну зерна з навколишнім середовищем здійснюються завдяки активному вентиляванню та сушінню.

Активне вентилявання та сушіння — це найпоширеніші методи належного зберігання зернових мас, описане в багатьох монографіях, навчальних посібниках і підручниках. Розділи “Властивості зерна як об'єкта зберігання”, “Наукові основи процесів зберігання зерна”, “Загальні характеристики процесів зберігання зерна” та “Активне вентилявання зерна” є невід’ємними складовими дисциплін “Зберігання зерна”, “Технологія елеваторної промисловості” та інших. Розділи “Сушіння зерна” і “Напрямки удосконалення зневоднення зерна” пов’язані з окремою дисципліною “Сушіння зерна” для технологічних та механічних спеціальностей і спеціалізацій.

Основи активного вентилявання і сушіння при зберіганні зерна викладе-

но відомими науковцями Л.А. Трисвятським, А.В. Ликовим, А.С. Гінзбургом, М.Г. Голіком, А.Р. Демидовим, Г.О. Сгоровим, М.А. Клеєвим, Б.С. Мельником, М.І. Маліним, І.Я. Бакировим, К.В. Дрогаліним, Р.І. Андрєєвою, А.І. Стародубцевою та ін. Останнім часом в Росії вийшли в світ нові підручники Е.М. Воблікова, М.І. Маліна та інших авторів.

Сьогодні з'явилися нові конструкції і навіть принципи конструювання і спорудження зерносховищ із зовсім іншими установками для активного вентилявання і сушіння зерна, новими принципами визначення режимів вентилявання (застосування решітчастих днищ трубопроводів, тощо) з новими підходами до контролю і керування процесом зберігання зерна. У всіх згаданих вище виданнях ці нові тенденції не відображені.

Недостатньо викладено також теоретичні основи зневоднення зерна, основою яких є відомі рівняння Нав'є - Стокса, Фур'є - Кірхгофа та інші. Не показано умови та методи переходу від теоретичного опису процесів зберігання зерна до практичних інженерних методів визначення конкретних режимів і кінетики зневоднення, затрат робочих агентів і палива та здійснення основних операцій зберігання зерна, визначення основних характеристик апаратів і пристроїв для зберігання зерна та порівняльні економічні затрати на процеси зберігання.

У процесах активного вентилявання, сушіння та інших процесах відбуваються однакові за природою явища тепловологообміну між зерновим середовищем і повітрям (робочим агентом). Процеси тепловологообміну протікають при нагріванні і охолодженні зерна у звичайному стані, насипом, при транспортуванні, очищенні, сушінні, активному вентиляванні, знезараженні, заморожуванні, тощо.

Тобто більшість процесів, що забезпечують належне зберігання зерна, засновані на тепломасообміні між зерновим середовищем і довкіллям.

У той же час процеси обміну теплоти і вологи здійснюються при певному визначеному стані зернового шару — щільному нерухомому, щільному рухомому, киплячому, віброкиплячому, завислому, падаючому, тощо. Кожний стан шару зерна визначає у більшості випадків інтенсивність обміну теплоти і вологи, а також затрати на здійснення цих процесів.

Очевидно, повинні бути встановлені певні співвідношення між станом шару зерна у просторі і часі на різних етапах його зберігання з метою визначення мінімальних затрат на здійснення процесів. На жаль, визначенню цих співвідношень в літературі теж не приділено належної уваги.

Крім того, у всіх перелічених виданнях не викладено повною мірою характеристики зерна як сипкого середовища, а також аналіз методів визначення аеродинамічного опору шару зерна на основі відомих положень аеродинаміки, які мають суперечливий характер.

У зв'язку з цим пропонуємо це видання, в якому будуть певною мірою усунені перелічені недоліки попередніх видань.

Рукопис складається із 6-ти розділів, у яких викладено загальні принципи і технологічні схеми зберігання зерна, характеристики зерна як сипкого матеріалу та об'єкта зберігання, будову зерносховищ як об'єктів зберігання зерна

та сучасних систем активного вентилявання і сушіння зерна, принципи контролю і керування процесом зберігання, математичний опис процесів тепловолого-обміну та гідравлічного опору зернового середовища аналітичними та експериментальними методами. Викладено принципи визначення характеристик систем активного вентилявання та сушіння зерна і співвідношення між різними методами зневоднення. Автори намагались викласти теоретичні основи процесів зберігання зерна, керуючись загальними принципами термодинаміки.

Таким чином, запропоноване видання відрізняється від раніше опублікованих монографій, підручників, навчальних посібників викладенням наступних положень.

Розглянуто конструкції нових споруд зерносховищ та пристрої для сушіння і активного вентилявання.

Вперше ретельно викладено такі властивості зернового середовища, яким було недостатньо приділено увагу раніше та які впливають на перебіг всіх процесів тепловологоперенесення і використовуються для визначення режимів зберігання і обробки зерна і конструктивних параметрів пристроїв. Вперше викладено теоретичні засади зберігання зерна на основі відомих принципів термодинаміки. Показано спільність математичного опису закономірностей перебігу різних за природою процесів зберігання зерна, та можливості їх використання для визначення параметрів і режимів зневоднення та пристроїв для їх здійснення.

Ретельно, мабуть вперше, розглянуто теоретичні аспекти та практичні рекомендації щодо визначення втрат опору в зерновому середовищі при пронизуванні його повітрям. В цьому розділі укладачі тісно пов'язали властивості зерна як сипкого середовища із течією повітря в шпарах різних за станом шарів зерна.

Експериментальні дані щодо втрат аеродинамічного опору наведено за даними наших та закордонних джерел. Показано зв'язок між рівнянням Нав'є-Стокса і рівнянням Бернуллі як різних форм опису закону зберігання енергії та можливості їх використання для практичних задач.

Викладено призначення активного вентилявання зерна, залежність режимів вентилявання від стану повітря, та деякі намагання оцінити економічну ефективність різних режимів і способів зберігання зерна. Наведено критичну оцінку існуючих способів та напрямків зменшення втрат при зберіганні зерна. Мабуть, вперше, на основі відомих закономірностей тепловологоперенесення, показано рівень доцільності застосування того чи іншого способу зневоднення зерна. Наведено математичний опис та аналіз кондуктивних пристроїв зневоднення зерна, показано причини їх низького ККД та практичного застосування. Вказано на низькі потенційні можливості газових (повітряних) теплообмінників через природно низькі коефіцієнти теплообміну ($\alpha=10\ldots50$ Вт/(м²К)) та шляхи підвищення ККД таких підігрівачів. Вказано хибність методів оцінки якості експлуатації окремих пропозицій щодо удосконалення процесу зневоднення зерна.

Окремої уваги заслуговують останні розділи книги з позиції навчального й

практичного розуміння фізичної суті процесу зневоднення, математичного моделювання та інженерних розрахунків режимів і параметрів пристроїв сушіння зерна, кількісно-якісної характеристики та їх економічних показників. Детально та послідовно викладено класифікацію способів та режимів сушіння зерна, конструктивні особливості реалізації цих способів та подано класифікацію й аналіз сушарок провідних іноземних компаній. Дано оцінку нових пропозицій удосконалення процесів зневоднення з ретельним урахуванням капітальних та експлуатаційних затрат. Ці розділи було укладено на основі наданих матеріалів к.т.н. Гапонюка І.І. з ґрунтовних досліджень ним технології сушіння зерна на вітчизняних та зарубіжних сушарках, аналітичних матеріалів виробничих впроваджень енергоощадних та екологічно безпечних рішень удосконалення технології сушіння.

Видання призначене для студентів вищих навчальних закладів, а також науковців і працівників галузі післязбиральної обробки та зберігання зерна.

ЗМІСТ

Вступ.....	3
Розділ 1. Властивості зерна як об'єкта зберігання.....	6
1.1 Сипкі матеріали, їхній стан та властивості	6
1.2 Характеристика зерна як сипкого середовища	10
1.3. Характеристики зерна як об'єкта зберігання.....	17
1.4. Фізіологічні процеси в зерновій масі при зберіганні	26
1.5. Контроль та керування процесом зберігання зерна	31
Контрольні питання до розділу	36
Розділ 2. Наукові основи процесів зберігання зерна	37
2.1 Теоретичні засади технологій зберігання.....	37
2.2 Принципи формалізації процесів зберігання зерна	45
2.3 Математичний опис процесів перенесення газів та рідин у зерновому середовищі	49
2.4 Втрати опору при пронизуванні шару зерна повітряною течією.....	58
2.4.1 Теоретичні уявлення про втрати тиску при пронизуванні газами сипкого середовища	58
2.4.2 Експериментальне визначення втрат тиску.....	68
2.5 Математичний опис тепловологоперенесення в процесах зберігання зерна.....	73
2.6 Можливості математичного опису процесів зберігання зерна методами теорії подібності	82
Контрольні питання до розділу 2	95

Розділ 3. Загальна характеристика процесів

зберігання зерна.....	97
3.1 Принципова технологічна схема зберігання зерна.....	97
3.2 Будова зерносховищ як об'єктів активного вентилявання і сушіння зерна.....	100
3.3 Показники довершеності технологічних ліній зберігання зерна.....	209
3.4 Напрямки удосконалення технології зберігання зерна.....	112
Контрольні питання до розділу 3	119
 Розділ 4. Активне вентилявання зерна.....	121
4.1 Призначення активного вентилявання зерна	121
4.2 Методи активного вентилявання зерна.....	123
4.3 Стан повітря і можливість вентилявання зерна	127
4.4 Рівноважна вологість зерна	132
4.5 Витрати повітря та часу на активне вентилявання	135
4.6 Вентилювання зерна.....	139
4.6.1 Принципові схеми вентилявання	139
4.6.2 Режим осилюючого вентилявання.....	140
4.6.3 Режими охолодження зерна.....	143
4.6.4 Режими підсушування зерна	148
4.7 Установки для активного вентилявання зерна.....	154
4.7.1 Установки підлогового зберігання зерна	154
4.7.2 Вентильовані засіки та аерожолоби	160
4.7.3 Установки вентилявання зерна в силосах елеваторів.....	168
4.8 Проектування установок активного вентилявання зерна	177
4.9 Економічна ефективність устаткування для активного вентилявання зерна	180
Контрольні питання до розділу 4	184
 Розділ 5. Сушіння зерна	186
5.1. Класифікація методів сушіння.....	186
5.2. Методи та режими сушіння зерна	189
5.2.1. Характеристика методів сушіння зерна	189
5.2.2. Технологічні прийоми сушіння зерна.....	195
5.2.3. Режими сушіння зерна.....	197
5.2.4. Особливості зневоднення та зберігання зерна солодового призначення	205
5.3. Комбіновані способи сушіння.....	208
5.4. Променеві способи нагрівання і сушіння зерна.....	214
5.4.1. Обробка зерна опромінюванням	214
5.4.2. Акустична обробка зерна	216
5.4.3. Теоретичні аспекти взаємодії змінного електромагнітного поля із зерном	217
5.4.4. Будова магнетронів.....	224

5.4.5. Сушарки для зерна з мікрохвильовим генератором.....	226
5.4.6. Плазмові теплогенератори	228
5.5 Конструкції зерносушарок провідних іноземних компаній.....	229
5.5.1. Класифікація сушарок провідних іноземних компаній	229
5.5.2. Колонкові одномодульні зерносушарки.....	230
5.5.3. Двомодульні зерносушарки.....	237
5.5.4 Тримодульні зерносушарки.....	240
5.5.5 Колонкові прямотечіні баштові зерносушарки	242
5.5.6. Зерносушарки шахтного типу	244
5.5.7. Камерні та бункерні зерносушарки.....	253
Контрольні питання до розділу 5	259

Розділ 6. Напрямки удосконалення зневоднення зерна	260
6.1 Загальні принципи удосконалення процесів зневоднення.....	260
6.2 Організаційно-технічні напрямки удосконалення сушіння.....	268
6.2.1 Технічний стан зерносушильного агрегату.....	268
6.2.2 Організаційні заходи	272
6.3 Техніко-технологічні напрямки удосконалення зневоднення зерна..	275
6.3.1 Удосконалення технології зневоднення	275
6.3.2 Повторне використання відпрацьованого сушильного агенту	277
6.3.3 Зменшення витрат теплоти на нагрівання зерна	283
6.3.4. Метод заданих режимів тепловобміну	285
6.3.5. Метод заданих параметрів водопоглинаючої здатності газів	288
6.4.6. Техніко-економічне обґрунтування повторного використання теплоти відпрацьованих газів	291
6.4. Теплоутилізатори теплоти відпрацьованих газів.....	295
Контрольні питання до розділу 6	300

Список літератури	302
--------------------------------	------------

Додатки.....	306
Додаток А Одиниці фізичних величин	306
Додаток Б Фізичні властивості води на лінії насичення.....	311
Додаток В Властивості насиченої водяної пари в залежності від абсолютного тиску	
Додаток Г Фізичні властивості сухого повітря при $P_v = 0,1$ МПа	313
Додаток Д Фізичні характеристики зернових і олійних культур	314
Додаток Е Основні числа подібності	317
Додаток Ж Характеристика деяких видів палива.....	318
Додаток И Фізична характеристика окремих теплоізолюючих та будівельних матеріалів	319
Додаток К Температура плавлення (затвердіння) та прихована теплота плавлення деяких тіл	320

Додаток Л Частоти та довжини хвиль, що використовують в технологіях та побуті	320
Додаток М Рівноважний склад рідини і пари та температури кипіння суміші “спирт-вода”	321
Додаток Н J-D діаграма вологого повітря	322