

УДК 631.363

**Ю.С.Цаль-Цалко, проф., д-р екон. наук, А.В.Пшенишна, магістрант**  
*Житомирський національний агроекологічний університет*

## Пневмоустановки для кондиціювання і транспортування зерна

Робота спрямована на обґрунтування принципової схеми та основних технологічних параметрів комплексу обладнання для кондиціювання зерна в умовах сільськогосподарських підприємств з метою скорочення його втрат при зберіганні. Для цього проведений огляд конструкцій зерносушарок і зерносховищ, теоретично обґрунтовані технологічні параметри аерожолоба-сушарки, зернового силосу та пневмотранспортної системи, проведені експериментальні дослідження процесу підсушування зерна за допомогою аерожолоба.

**зберігання зерна, зерносушарка, бункер зернової, режими сушки**

**Ю.С.Цаль-Цалко, А.В.Пшенишная**

*Житомирський національний агроекологічний університет*

**Пневмоустановка для кондиціонування і транспортування зерна**

Робота направлена на обґрунтування принципової схеми та основних технологічних параметрів комплексу обладнання для кондиціонування зерна в умовах сільськогосподарських підприємств з метою скорочення його втрат при зберіганні. Для цього проведено аналіз конструкцій зерносушилок і зернохранилищ, теоретично обґрунтовані технологічні параметри аерожолоба - сушилки, зернового силосу та пневмотранспортної системи, проведені експериментальні дослідження процесу підсушування зерна за допомогою аерожолоба.

**хранення зерна, зерносушилка, бункер зернової, режими сушки**

**Постановка проблеми.** Антикризові дії з відновлення повномасштабної і ефективної діяльності АПК України повинні бути комплексними, системними і складатись не лише з урядових програм, але й з продуманих кроків самих сільськогосподарських підприємств, спрямованих на реалізацію всіх потенційних можливостей підвищення ефективності виробництва. Концентровані корми є обов'язковим компонентом у раціоні всіх сільськогосподарських тварин і птиці і від їх кількості та якості значною мірою залежить фізіологічний стан і продуктивність тварин, а також якість тваринницької продукції - жирність молока, вартість і смакові якості м'яса та сала, яйценосність курей. З іншого боку, саме вартість цих кормів у загальній структурі собівартості продукції досягає 25...45% і вище, якщо концентрати виробляються не у господарстві. Тому актуальною є розробка такого комплексу обладнання, який дозволяв би зберігати весь необхідний запас зернофуражу в умовах господарства. У системі технологічних операцій післязбиральної обробки зерна найважливіше місце належить сушінню. Якісне сушіння не тільки забезпечує зберігання зібраного урожаю, запобігає його втратам, але у деяких випадках і підвищує якість готового продукту (продовольче зерно, фуражне, насіннєвий матеріал). У цілому по господарствам необхідно висушувати до 40...45% зібраного врожаю, а в окремі роки для деяких кліматичних зон України - до 70%.

Саме на цій стадії витрачається до 80% всієї енергії після збиральної обробки зерна, а корисне використання енергії в самих зерносушарках складає до 40-45%.

Господарствами використовуються шахтні і барабанні сушарки вітчизняного виробництва та закордонні зразки колонкових, бункерних та шахтних сушарок

періодичної дії. Найбільшого розповсюдження набули такі схеми проведення процесу сушіння зерна: прямотечійний режим (одноразове перепускання зерна), періодичний (багаторазове перепускання зерна), з послідовним перепусканням зерна через сушильні камери та сушіння в нерухомому шарі. Практична реалізація цих варіантів пов'язана з високими затратами енергії, реальні витрати рідкого палива для зниження вологості зерна з 20 до 14% становлять 9-11 кг рідкого палива на 1 т зерна. Такі показники витрат палива обумовлені недосконалістю технологій і конструктивними недоліками сушарок.

Не зважаючи на значну кількість теоретичних і експериментальних досліджень, присвячених загальній теорії сушіння, тепломасообміну та інтенсифікації процесів перенесення вологи, а також широкому впровадженню технологічних енергозаощаджувальних заходів у галузі енергозберігаючого сушіння, залишається багато не використаних резервів і дослідження в цьому напрямку залишаються актуальними і своєчасними.

**Аналіз досліджень.** Питанню розробки теорії сушіння зерна, обґрунтуванню способів і режимів, а також створенню різноманітних конструкцій зерносушарок присвячені роботи О.В. Ликова, С.Д. Птіцина, А.С. Гінзбурга, Г.К. Філоненко, М.О. Грішина, В.І. Жидко, В.А. Загоруйко, Н.В. Остапчука, В.І. Алейнікова, Ю.О. Чурсінова, Г.М. Станкевича, В.І. Аниськіна, Л.Г. Чижикова, А.В. Голубковича, Б.І. Котова, О.М. Кашуріна, Ю.В. Єсакова, Г.С. Окуня, М.Я. Кірпи, А.Д. Гарькавого, А.В. Спіріна, В.Ф. Дідуха, В.І. Атаназевича, В. Мальти, О. Крішера та ін.

Аналіз способів і режимів сушіння зерна показав, що найбільше розповсюдження отримали сушарки з конвективним способом підведення теплоти шахтного і колонкового типу, також бункерні установки. Встановлено, що наявні режими сушіння в установках періодичної дії не забезпечують потрібної якості сушіння і відповідних норм витрат енергії; сушарки характеризуються низьким термічним к.к.д. та підвищеною питомою матеріалоемністю. Але можливості інтенсифікації процесів сушіння і зниження енерговитрат далеко не вичерпані. Визначено основні напрямки підвищення технологічної і енергетичної ефективності сушіння.

**Мета роботи.** Розробка малозатратного комплексу обладнання для зберігання зернофуражу безпосередньо в сільськогосподарських підприємствах і фермерських господарствах, що дозволить істотно зменшити собівартість тваринницької продукції.

#### **Основні задачі досліджень**

- 1) з'ясувати проблемні питання, пов'язані із зберіганням зерна;
- 2) проаналізувати відомі конструкції обладнання для сушіння та зберігання зерна;
- 3) обґрунтувати принципову схему та основні конструкційно-технологічні параметри малогабаритних зерносушарки та зерносховища;
- 4) провести початкові експериментальні дослідження модельного зразку запропонованого обладнання;
- 5) виконати попередню техніко-економічну оцінку проектних рішень.

#### **Результати досліджень**

Майже всі сушарки, що використовують як сушильний агент нагріте повітря і застосовуються в даний час, є сушарками конвективного типу, у яких повітря переносить тепло до зерна і видаляє вологу, що випаровується. Найбільш поширені промислові зерносушарки шахтного типу, але вони дуже дорогі і потребують спеціальної автоматики, оскільки у багатьох випадках перепалюють зерно, яке у них прогрівається до 70...75 градусів. До речі, зараз є багато комерційних структур, які пропонують сушіння зерна прямо у господарствах пересувними сушарками однак вартість таких сушарок як мінімум 150 тис. євро, а плата за їх використання ненабагато менша від послуг елеватора.

Огляд відомих конструкцій зерносушарок і вентиляційних установок для

зерноскладів дозволив виділити найкращу в аспекті зменшення енергомісткості функціональну схему комплексу обладнання – суцільнометалеві бункери для зберігання зерна, аерожолоб для його періодичного підсушування і транспортування між бункерами, а також пневмотранспорт та установка для завантаження самих бункерів.

Проведений морфологічний аналіз конструкцій зерносушарок показав, що число можливих комбінацій (тобто принципів конструктивних рішень) становить 27648 (табл.1). Серед них ряд очевидних переваг має комплект обладнання у складі:

- суцільнометалеві бункери для зберігання зерна;
- аерожолоб з тепловентилятором для сушіння зерна, його періодичного кондиціювання і транспортування між бункерами;
- пневмотранспортна установка для завантаження бункерів.

Таблиця 1 - Морфологічна скринька конструктивних рішень зерносушарок

Морфологічна ознака	Варіанти			
	1	2	3	4
А. Агент сушки	Повітря холодне	Повітря підігріте	Топкові гази	Суміш повітря і газів
Б. Джерело агента сушки	Фрамуги і шахти	Вентилятор	Котел	Електрокалорифер
В. Подача агента сушки	Природна тяга	Вентилятор нагнітальний	Вентилятор витяжний	-
Г. Переміщення зерна	Гравітація	Потік агента сушки	Механічний транспортер	Рух камери
Д. Напрямок переміщення зерна	Вертикально вниз	Вертикально вгору	Горизонтально	Комбінований рух
Е. Відносний рух зерна і агента сушки	Противотоком	Паралельно	Взаємоперпендикулярно	-
Ж. Використання додаткових джерел енергії	Підігрів припливного повітря відпрацьованим теплоносієм	Попередній підігрів зерна відпрацьованим теплоносієм	Підігрів повітря за допомогою геліоколектора	-
И. Встановлення	Окрема установка	Агрегат у складі зерночисного комплексу	Агрегат у складі транспортувальної системи	Агрегат у складі зерносховища

Проведені технологічні розрахунки показали, що для типового комплексу на 100 т подача вентиляційної установки має становити 24 тис. м<sup>3</sup>/год у режимі сушіння. При кондиціюванні маси, коли ставиться задача знизити вологість зерна з 16% до 14%, подача вентилятора має бути не менше 25 тис. м<sup>3</sup>/с при тепловій потужності нагрівального пристрою Q<sub>к</sub> = 60 кВт.

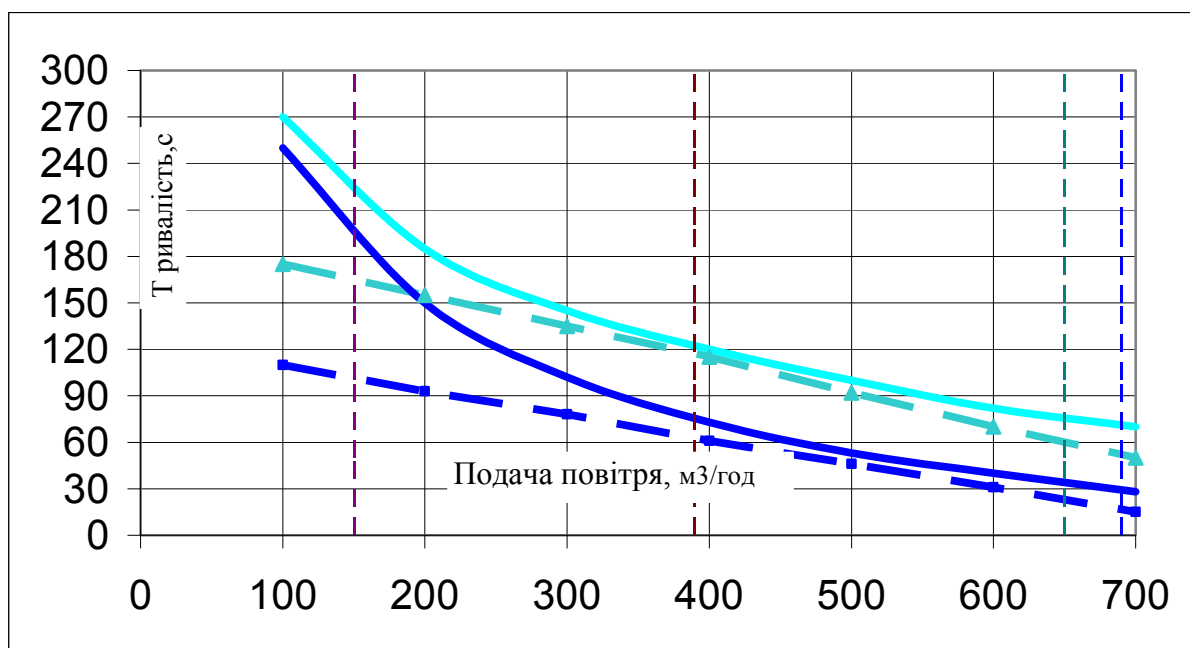
Для забезпечення продуктивності при підсушуванні зерна 5 т/год і транспортуванні з продуктивністю до 10 т/год довжина аерожолоба повинна бути L=3,6, а ширина 1,8 м. Для приведення зернової маси у псевдоскраплений стан аерожолоб слід укомплектувати вентилятором високого тиску ОТИ № 5.

Установка є досить простою у виготовленні і не потребує ні складних технологій, ні особливих матеріалів.

Важливим питанням є влаштування зернового бункера. Ми обрали бункер силосного типу, але потрібно було визначити потрібну форму: вузький і високий чи низький і широкий? Ми виходили з того, щоби металоємність його була мінімальною. Завдяки простому геометричному аналізу була встановлена залежність для розрахунку економічно доцільного типорозмірного ряду діаметра зернового бункера. Зокрема, для мінімальної витрати матеріалу при виготовленні бункера на  $50 \text{ м}^3$  найбільш доцільним є еквівалентний діаметр  $D_e = 4,08 \text{ м}$ .

Для оперативного визначення робочих параметрів пневмотранспортної системи, на підставі розрахунків, нами побудована номограма. Знаючи секундну продуктивність установки по матеріалу і задаючись коефіцієнтом масової концентрації можна швидко знайти продуктивність вентилятора по повітрю, а також необхідний підбір вентилятора.

Були проведені досліди із зерном пшениці фуражної та ячменя, які штучно доводились до початкової вологості 22...24%. Досліджувались критична швидкість зерна при зміні його вологості, визначалась тривалість проходження через аерожолоб, а також ступінь зниження відносної вологості. Проведені експериментальні дослідження аеродинамічних властивостей зерна показали, що у діапазоні відносної вологості 14...24% зерно практично не розбухає, а деяке збільшення їх маси призводить до того, що на 3...5% збільшується критична швидкість. Дослідження моделі аерожолоба показало, що подача повітря у діапазоні до  $100 \text{ м}^3/\text{год}$  загрожує „завалом” маси у камері. Натомість при подачі понад  $400 \text{ м}^3/\text{год}$  зерно проходило через лабораторну установку буквально за 1-2 хвилини. З'ясовано також, що кут нахилу аерожолоба  $8^\circ$  придатний тільки для роботи у режимі транспортера або для прискореного звільнення камери. Натомість кут нахилу  $3^\circ$  дозволяє затримати зерно в аерожолобі достатньо довго для інтенсивного сушіння. Варто зазначити, що при горизонтальному встановленні жолоба і



— при куті нахилу 8 град (— — теоретичне значення); — при куті нахилу 5 град (— — теоретичне значення)

Рисунок 1 – Залежність тривалості проходження зерна пшениці від кута нахилу аерожолоба і подачі повітря

малій подачі повітря рух зерна вздовж агрегату практично припиняється, що і необхідно у випадку великої вологості маси (рис.1 та рис.2).

З графіків видно, що розрахункові лінії „відстають” від фактичних даних. Це пояснюється тим, що в аерожолобі поперечне переміщення зернин набагато більш розвинене, ніж у трубі круглого перерізу. З одного боку, це призводить до збільшення витрат енергії і зниження продуктивності, а з іншого – дозволяє провести якісне сушіння за один пропуск.

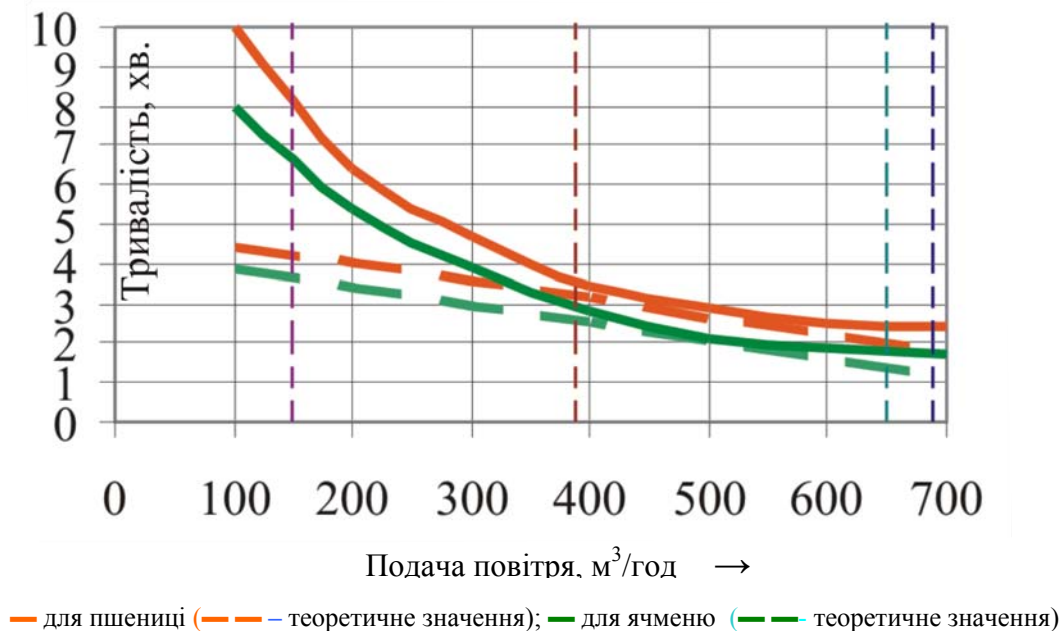


Рисунок 2 – Тривалість перебування зерна в аерожолобі (кут нахилу  $3^{\circ}$ )

За даними досліджень був побудований графік кривої сушіння. З цього графіку видно, що підігрів повітря прискорює процес сушіння в 1,5...2 рази, але тільки до рівня вологості 15%, а далі швидкість сушіння відрізняється від вентиляювання холодним повітрям несуттєво. Отже, сушіння підігрітим повітрям доцільно проводити лише на початковій стадії сушіння, а потім нагрівальні прилади відключати.

Таким чином, попередні дослідження підтверджують доцільність запропонованої розробки.

### Висновки

1. Проведений морфологічний аналіз конструкцій зерносушарок показав, що число можливих комбінацій (тобто принципів конструктивних рішень) становить 27648. Серед них ряд очевидних переваг має комплект обладнання у складі:

- суцільнометалеві бункери для зберігання зерна;
- аерожолоб з тепловентиляційною установкою для сушіння зерна, його періодичного кондиціювання і транспортування між бункерами;
- пневмотранспортна установка для завантаження бункерів.

2. Проведені технологічні розрахунки показали, що для сушіння зібраного врожаю зернофуражу типового комплексу на 100 т подача вентиляційної установки має становити  $23760 \text{ м}^3/\text{год}$ . При кондиціюванні маси, коли ставиться задача знизити вологість зерна з 16% до 14%, подача вентилятора має бути не менше  $7,54 \text{ м}^3/\text{с}$  при тепловій потужності нагрівального пристрою  $Q_K = 60,3 \text{ кДж/с}$ .

3. Проведені експериментальні дослідження аеродинамічних властивостей зерна показали, що у діапазоні відносної вологості 14...24 % розміри зернин практично не змінюються, а деяке збільшення їх маси призводить до того, що на 3...5% збільшується критична швидкість. Дослідження моделі аерожолоба показало, що подача повітря у діапазоні до  $100 \text{ м}^3/\text{год}$  загрожує „завалом” маси у камері. Натомість при подачі понад  $400 \text{ м}^3/\text{год}$  зерно проходило через лабораторну установку буквально за 1-2 хвилини.

З'ясовано також, що кут нахилу аерожолоба  $8^{\circ}$  придатний тільки для роботи у режимі транспортера або для прискореного звільнення камери. Натомість, кут нахилу  $3^{\circ}$  дозволяє затримати зерно в аерожолобі достатньо довго для інтенсивного сушіння.

4. Розрахункові лінії „відстають” від фактичних даних. Це пояснюється тим, що в аерожолобі поперечне переміщення зернин більш інтенсивне, ніж у трубі круглого перерізу. З одного боку, це призводить до збільшення витрат енергії і зниження продуктивності, а з іншого – дозволяє провести якісне сушіння за один пропуск.

## Список літератури

1. Бровенко, Василий Иванович. Хранение и вентилирование зерна пшеницы в металлических силосах закрытого типа : дисс ... кандидата технических наук : 05.18.03. Защищена 18.05.04. Утв. 16.10.04. –М.:2004. - 230 с.
2. Брюханов О.Н., Коробко В.И., Мелик-Аракелян А.Т. Основы гидравлики, теплотехники и аэродинамики: Учебник. – М.: Инфра-М, 2005. – 254 с.
3. Корчемний М., Федорейко В., Щербань В. Енергозбереження в агропромисловому комплексі. – Тернопіль: Підручники і посібники, 2001. – 976 с.
4. Спірін А., Грицун А., Флеш Р. Сушарка для зерна //Техніка АПК. – 2008. №2. – С.19.
5. Элеваторы и зерносушилки. Завод Элеваторного Оборудования, Одесса. [Электронный ресурс] / Режим доступа <http://www.esozavod.com.ua/ru/aehrozheloba.html>
6. Элеваторы и зерносушилки: украинский опыт [Электронный ресурс] / Режим доступа <http://www.porzelack.com.ua/sdh.html>
7. Элеваторы и зерносушилки // Проект аграрного маркетинга.- [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.lol.org.ua/rus/showart.php?id=15628>

**Yzef Tsai-Tsalko, Alla Pshenyshna**

*Zhytomyr NAEU*

**Pnevmoustanovky for air conditioning and handling of grain**

The work aims to study concept and basic technological parameters of a set of equipment for conditioning grain in a farm in order to reduce its losses during storage. This reviewed the structures and grain dryers , theoretically grounded technological parameters chanel -drying , grain silo and pneumatic systems, Experimental study of grain drying process using chanel .

**grain storage, grain dryer , grain silo , drying regimes**

Одержано 07.10.13