

## ІНТЕНСИФІКАЦІЯ СУШІННЯ ЗЕРНА У ПРОЦЕСІ ЙОГО ПІСЛЯЗБИРАЛЬНОЇ ОБРОБКИ

*Цуркан Олег Васильович к.т.н., доцент*  
*Пришляк Віктор Миколайович к.т.н., доцент*  
*Вінницький національний аграрний університет*  
*Присяжнюк Дмитро Володимирович аспірант, викладач*  
*Ладизжинський коледж Вінницького НАУ*

**Tsurkan O.**

**Pryshliak V.**

*Vinnitsia National Agrarian University*

**Prisyazhnyuk D.**

*Ladyzhyn college of Vinnitsia NAU*

**Анотація:** в статті розглядаються особливості сушіння зернової сировини під час процесу післязбиральної обробки. Виконано аналіз існуючих зернових сушарок і подано їх класифікацію. На основі огляду традиційного обладнання встановлено його недоліки, основними з яких є нерівномірність обробки і значні енерговитрати під час виконання технологічного процесу сушіння. Дані недоліки пропонується осунути шляхом використання вібротехнологій та озоноповітряної суміші в якості сушильного агента.

**Ключові слова:** зерно, післязбиральна обробка, сушіння, зернова сушарка, сушильний агент, озон, вібраційна сушарка.

### Вступ

Сушіння зернової сировини під час післязбиральної обробки є важливим технологічним процесом, метою якого є отримання матеріалу з оптимальними властивостями.

Для цього використовують два основні способи видалення зайвої вологи з зерна: у вигляді рідини і у вигляді пари. Найбільшого розповсюдження набув другий спосіб, який називається тепловим. Енергія, необхідна для випаровування вологи, підводиться до зерна різними методами: конвекцією, кондукцією, терморадіацією, в електричному полі струмів високої частоти тощо.

Найбільшого застосування в технології зерносушіння отримало сушіння при конвективному теплопідведенні. У цьому випадку енергія, необхідна для випаровування вологи, підводиться до зерна у вигляді нагрітого газу – повітря або суміші повітря з продуктами згоряння палива [1].

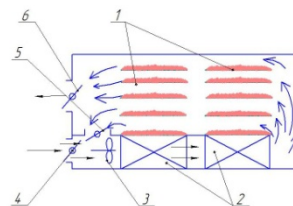
Але поряд із своїми перевагами конвективний метод має і ряд недоліків, основним з яких є значна енергоємність процесу. В зв'язку з чим відбувається інтенсивний пошук методів зниження енерговитрат і підвищення продуктивності процесу. Поставлені задачі можна вирішити шляхом використання в якості сушильного агента суміші повітря і озону певної концентрації у сушарках вібраційної дії, що дасть змогу отримати якісний зерновий матеріал з оптимальними властивостями по завершенню технологічного процесу сушіння [2].

### Викладення основного матеріалу

Технологічний процес сушіння зернової сировини виконується у зернових сушарках.

Проведемо огляд основних типів існуючих сушарок [3].

Камерні сушарки (рис. 1.) є герметичними камерами, всередині яких матеріал, що висушується, в залежності від його виду розташовується на сітках, деках, затискачах і інших пристроях.



**Рис. 1. Камерна сушарка: 1 – полиці для завантаження матеріалу, що висушується; 2 – калорифер; 3 – вентилятор; 4, 5, 6 – заслінки для регулювання втрат свіжого, рециркулюючого і відпрацьованого повітря**



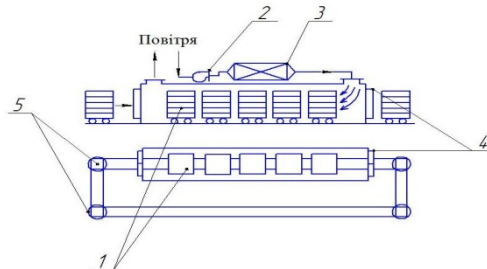
Свіже повітря за допомогою вентилятора 3 через калорифер 2 подають в простір камери, всередині якої знаходяться полиці 1 з матеріалом, що висушується.

До переваги камерних сушарок відноситься простота їх конструкції. До недоліків: періодичність дії; великі витрати ручної праці на завантаження і вивантаження матеріалу; низька продуктивність; нерівномірність висушування через нерухомий товстий шар матеріалу.

Як правило, камерні сушарки застосовують для сушіння невеликих партій матеріалу і при досить великій тривалості процесу.

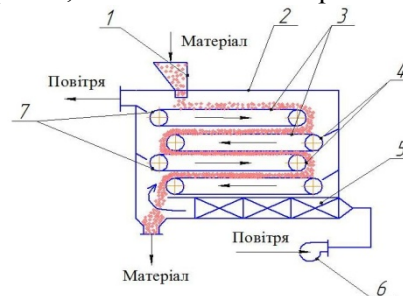
Як правило, камерні сушарки застосовують для сушіння невеликих партій матеріалу і при досить великій тривалості процесу.

Тунельні сушарки, як правило, є апаратами безперервної дії, які представляють собою довгі камери (рис. 2).



**Рис. 2. Тунельна сушарка: 1 – вагонетки з матеріалом, що висушується; 2 – вентилятор; 3 – калорифер; 4 – герметичні двері; 5 – поворотні колеса**

Стрічкові сушарки (рис. 3) призначені для сушіння сипких (зернистих, гранульованих, гребудисперсних) і волокнистих матеріалів, а також готових виробів і напівфабрикатів.

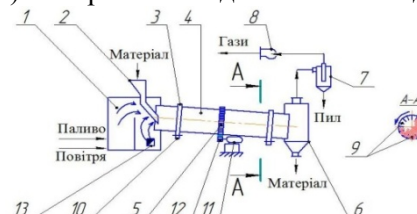


**Рис. 3. Стрічкова багатоярусна сушарка: 1 – живильник; 2 – сушильна камера; 3 – стрічкові транспортери; 4 – ведучі барабани; 5 – калорифер; 6 - вентилятор; 7 – ведені барабани**

У даних сушарках сушіння здійснюється безперервно при атмосферному тиску. У сушильній камері 2 висушуваний шар рухається на нескінченних стрічках (транспортерах), натягнутих між ведучими 4 і веденими 7 барабанами. При пересипанні матеріалу зі стрічки на стрічку збільшується поверхня його контакту з сушильним агентом, що збільшує швидкість сушіння. Стрічкові сушарки бувають прямоходові і протитечійні.

Перевагою стрічкових сушарок є безперервність дії. Основними недоліками є велика металоємність і складність обслуговування. Барабанні сушарки (рис. 4) призначені для безперервного сушіння кускових, зернистих і сипких матеріалів: зерна, насіння соняшнику і т.д.

Барабанна сушарка складається з циліндричного зварного барабана 4, встановленого з невеликим нахилом до горизонту ( $2-7^\circ$ ) і спирається за допомогою бандажів 3 на роликів 10.



**Рис. 4. Барабанна сушарка: 1 – камера згорання; 2 – живильник; 3 – бандажі; 4 – барабан; 5 – зубчастий вінець; 6 – розвантажувальна камера; 7 – циклон; 8 – вентилятор; 9 – підйомно-лопатева насадка; 10 – опорні роликів; 11 – електропривод; 12 – зубчаста передача; 13 – вікно для подачі вторинного повітря**

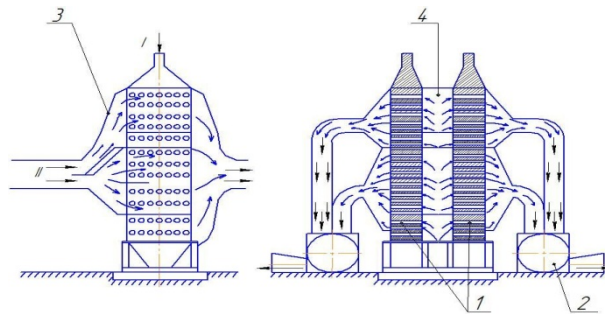


Барабан приводиться в обертання електроприводом 11 через зубчасту передачу за допомогою вінця 5. Частота обертання барабана зазвичай не перевищує 5-8 об/хв. Матеріал подається в барабан живильником 2 і надходить на внутрішню насадку 9, розташовану уздовж майже всієї довжини барабана. Насадка, тип якої визначається властивостями матеріалу, що висушується, забезпечує рівномірний розподіл і перемішування матеріалу по перерізі барабана, а також його контакт з сушильним агентом при пересипанні.

Шахтні сушарки (рис. 5) є установками безперервної дії.

При сталому режимі роботи зерно безперервно надходить у верхню частину шахти. Зерно рухається вниз за рахунок сили тяжіння і сипучості. Агент сушіння рухається впоперек потоку зерна.

Завдяки тому, що шар зерна в шахті розрихлений і зерно при русі обертається в різних напрямках, поліпшується його взаємодія з агентом сушіння і прискорюється вологообмін. Швидкість руху зерна і час знаходження його в шахті регулюють за допомогою випускного пристрою. Тривалість перебування зерна в шахті приблизно 40 хвилин, і за один прохід його вологість знижується на 4-6%.



**Рис. 5. Технологічна схема шахтної зерносушарки: 1 – шахти; 2 – вентилятор; 3 – дифузор; 4 – напірна камера агента сушіння; I – зерно; II – агент сушіння**

Перевага шахтних сушарок полягає в тому, що в них можна в широких межах регулювати тривалість перебування зерна в сушильній камері і досить надійно забезпечувати підтримку заданого температурного режиму сушіння зернової маси.

Шахтні сушарки мають серйозні технологічні недоліки. Головний з них полягає в обмеженому рівні зняття вологи за один прохід зерна через шахту, рівному 4-6%. Тому для повного висушування зерна іноді доводиться проводити обробку в кілька прийомів. Перезатримка частково просушеного зерна в очікуванні повторних проходів через сушарку є причиною зниження його якості.

Як видно, одним з основних недоліків традиційних сушарок є нерівномірність сушіння зернової сировини при виконанні технологічного процесу і значні енерговитрати. Дану проблему дозволяють вирішити вібраційні сушарки, які значно інтенсифікують процес сушіння за рахунок постійного оновлення площі взаємодії сировини, що висушується, з сушильним агентом [3].

Також значно підвищити якість зернової сировини під час сушіння при післязбиральній обробці можна шляхом використання озонופовітряної суміші в якості сушильного агента.

На IX Міжнародному конгресі з питань озону, який відбувся у 1989 році у Нью-Йорку, було відзначено, що в світі практично має місце "озоновий бум", пов'язаний з надзвичайно швидкими темпами впровадження озонових технологій і збільшенням випуску озонаторного обладнання, а на XVI Міжнародному конгресі з питань озону, який відбувся у 2003 році в Лас-Вегасі, зазначалося, що в даний час не встановлено побічних ефектів, пов'язаних з наслідками впровадження озонових технологій. Озон є проста речовина, що складається з трьох атомів кисню. Природні концентрації озону в атмосферному повітрі зазвичай складають від 0,002 до 0,02 мг/м<sup>3</sup> і розглядаються як показники його чистоти і свіжості [4].

Використання озону в аграрній галузі вважається перспективним напрямком. Зокрема, озонування зерна позитивно позначається як на зниженні енерговитрат при виконанні технологічного процесу післязбиральної обробки, так і на підвищенні тривалості його зберігання і смакових якостях [5].

Отже, переваги впровадження озону в післязбиральну обробку зернової сировини очевидні, але використання його в традиційних зернових сушарках з їхніми вагомими недоліками не забезпечує рівномірності обробки. Дану проблему дозволяють вирішити вібраційні сушарки, які значно інтенсифікують процес сушіння за рахунок постійного оновлення площі взаємодії матеріалу, що висушується, з сушильним агентом [3].

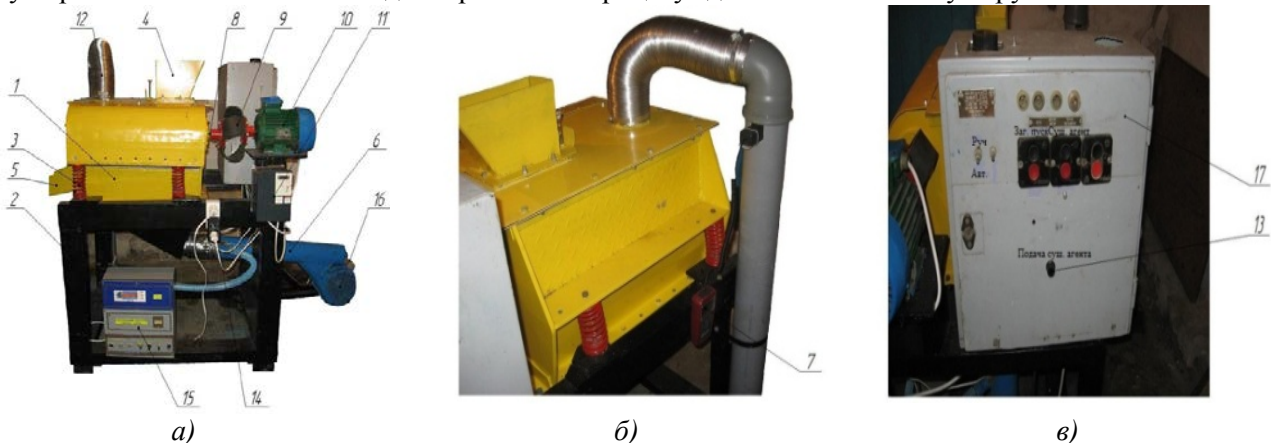


У лабораторії кафедри процесів та обладнання переробних і харчових виробництв імені професора П. С. Берника факультету механізації сільського господарства Вінницького національного аграрного університету розроблено та виготовлено віброозонуючий комплекс для післязбиральної обробки зернової сировини (рис. 6).

Він являє собою герметичну U-подібну камеру 1, встановлену на рамі 2 з допомогою пружин 3. Камера містить завантажувальний 4 і розвантажувальний 5 лотки, а також повітропровід 12 для виведення відпрацьованого сушильного агента. У повітропроводі встановлено термоанемометр 7 для вимірювання швидкості та температури повітряного потоку. Також в камері розміщений вал 8 з двома дебалансами, який через еластичну муфту 9 з допомогою трифазного електродвигуна 10 приводиться в обертовий рух.

Амплітуду коливання камери можна змінювати за рахунок встановлення необхідного кута розвороту між дебалансами, а частоту обертання вала – з допомогою частотного перетворювача 11. В нижній частині камери є повітропровід 6 з електричними нагрівальними елементами, призначений для подачі підігрітого повітря, температура якого контролюється за рахунок терморегулятора 14, і озону, який генерується озонатором 15, який змонтований на рамі сушарки.

Принцип роботи вібросушарки полягає в тому, що підігрітий сушильний агент подається за допомогою вентилятора 16, закріпленого на повітропроводі, частоту обертання якого, а разом і швидкість подачі сушильного агента, можна регулювати частотним перетворювачем 13. Запуск сушарки і встановлення необхідної тривалості процесу здійснюється з блоку керування 17.



**Рис. 6. Комплекс для післязбиральної обробки зернової сировини: а) – вигляд спереду; б) – вигляд ззаду; в) – вигляд збоку; 1 – U-подібна камера; 2 – рама; 3 – пружини; 4, 5 – завантажувальний і розвантажувальний лотки; 6, 12 – повітропроводи; 7 – термоанемометр; 8 – дебалансний вал; 9 – еластична муфта; 10 – електродвигун; 11, 13 – частотні перетворювачі; 14 – терморегулятор; 15 – озонатор; 16 – вентилятор; 17 – блок керування**

### Висновки

Використання в якості сушильного агента озоноповітряної суміші в поєднанні із механічними коливаннями під час сушіння при післязбиральній обробці зерна розширює можливості технологічного впливу на зернову сировину, оскільки озон виступає одним із рушійних факторів для видалення не тільки вільної, а й зв'язаної (клітинної) вологи, а механічні коливання інтенсифікують процес і унеможливають виникнення локального перегріву зерна та сприяють рівномірній обробці за рахунок постійного оновлення його поверхні.

Все це можливо реалізувати у розробленій вібраційній сушарці, яка представлена у матеріалах статті.

### Список літератури

1. Данилов Д. Ю., Рындин А. Ю. Повышение эффективности сушки зерна: основные технологические приемы и направления / Д. Ю. Данилов, А. Ю. Рындин // Нижегородский государственный инженерно-экономический университет, Княгинино. -2015.
2. Паламарчук І.П., Цуркан О.В., Присяжнюк Д.В., Полевода Ю.А. Обґрунтування схеми віброозонуючої сушарки для післязбиральної обробки зерна // Наукові праці Національного університету харчових технологій. – 2016. Том 22. № 6.–Київ, НУХТ.
3. Цуркан О.В., Присяжнюк Д.В., Герасимов А.А., Коломиец А.С. 2016. Особенности процесса и оборудования для сушки зернового сырья с использованием озона // MOTROL. Commission of Motorization and



*Energetics in Agriculture. Vol. 18. No.4. 37-44.*

4. Ермакова В.А. Озонирование зерна: Учебное пособие / В.А. Ермакова, П.П. Ермаков.- Днепропетровск.

5. Применение технологии сушки с использованием озона [Электронный ресурс]. - Режим доступа: URL: <http://tersus-i.ru/page/primenenie-tehnologii-sushki-s-ispolzovaniem-ozona>. - Назва з екрану.

### References

1. Danilov D. Yu., Ryindin A. Yu. Povyishenie effektivnosti sushki zerna: osnovnyie tehnologicheskie priemy i napravleniya / D. Yu. Danilov, A. Yu. Ryindin // Nizhegorodskiy gosudarstvennyiy inzhenerno-ekonomicheskii universitet, Knyaginino. -2015.

2. Palamarchuk I.P., Tsurkan O.V., Prisyazhnyuk D.V., Polevoda Yu.A. Obgruntuvannya shemi vibroozonuyuchoyi susharki dlya pislyazbiralnoyi obrobki zerna // Naukovi pratsi Natsionalnogo universitetu harchovih tehnologiy.-2016. Tom 22. № 6.-Kyiv, NUHT.

3. Tsurkan O.V., Prisyazhnyuk D.V., Gerasimov O.O., Kolomiyets O.S. 2016. Osobennosti protsessa i oborudovaniia dlia sushki zernovogo syr'ia s ispol'zovaniem ozona // MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture. Vol. 18. No.4. 37-44.

4. Ermakova V.A. Ozonirovanie zerna: Uchebnoe posobie / V.A. Ermakova, P.P. Ermakov.-Dnepropetrovsk.

5. Primenenie tekhnologii sushki s ispol'zovaniem ozona [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu: URL: <http://tersus-i.ru/page/primenenie-tehnologii-sushki-s-ispolzovaniem-ozona>. - Nazva z ekranu.

### ИНТЕНСИФИКАЦИЯ СУШКИ ЗЕРНА В ПРОЦЕССЕ ЕГО ПОСЛЕУБОРОЧНОЙ ОБРАБОТКИ

**Аннотация:** в статье рассматриваются особенности сушки зернового сырья в процессе послеуборочной обработки. Выполнен анализ существующих зерновых сушилок и представлена их классификация. На основе обзора традиционного оборудования установлено его недостатки, основными из которых являются неравномерность обработки и значительные энергозатраты при выполнении технологического процесса сушки. Данные недостатки предлагается устранить путем использования вибротехнологий и озонозвоздушной смеси в качестве сушильного агента.

**Ключевые слова:** зерно, послеуборочная обработка, сушка, зерновая сушилка, сушильный агент, озон, вибрационная сушилка.

### INTENSIFICATION DRYING GRAIN DURING ITS POST-HARVEST TREATMENT

**Summary:** in the article features of drying of grain raw materials in the process of post-harvest processing are considered. The analysis of existing grain dryers is performed and their classification is presented. Based on the review of traditional equipment, its shortcomings have been identified, the main of which are uneven processing and significant energy costs during the execution of the drying process. These disadvantages are proposed to be eliminated by using vibrotechnologies and an ozone-air mixture as a drying agent.

**Keywords:** grain, post-harvest treatment, drying, grain dryer, drying agent, ozone, vibrating dryer.