УДК [633.1 + 633.85] : 631.365

ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК АКТИВНОГО ВЕНТИЛЮВАННЯ ДРІБНОНАСІННЄВИХ КУЛЬТУР RESEARCH OF THE CHARACTERISTICS OF ACTIVE VENTILATION OF SMALL-SCALE CROPS

Овсянникова Л.К., канд. техн. наук, доцент, Орлова С.С., канд. техн. наук, доцент
Одеська національна академія харчових технологій
L. Ovsianykova, S. Orlova S
Odessa National Academy of Food Technologies

Copyring © 2019 by author and the journal «Scientific Works»
This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).
<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>

DOI <https://doi.org/10.15673/swonaf.v2i83.1517>

Анотація. Традиційні методи зберігання пов'язані з втратами зерна на кожному з етапів післязбиральної обробки. Особливо багато проблем виникає з такими культурами, як сорго, просо, амарант, ріпак, гірчиця, льон, мак та іншими, що відносяться до дрібнонасіненних культур, через свої геометричні розміри і малу масу 1000 зерен (до 6 г олійні, до 25 г – зернові). Для багатьох з них недостатньо рекомендацій, регламентів та іншої нормативно-технологічної документації, що змушує суттєво коригувати технологічні режими їх післязбиральної обробки і зберігання.

Зберігання зернових та олійних дрібнонасіненних культур в охолодженному стані є екологічно чистою технологією, що дозволяє значно краще зберегти їх продовольчі і насінні якості. Так, зниження температури свіжозібраної зернової маси значно уповільнює фізіологічні, біохімічні, мікробіологічні процеси зерна і активну життєдіяльність шкідників, що тим самим забезпечує збереження її якості та кількості навіть при підвищеній вологості.

В роботі наведено результати дослідження характеристик активного вентилування дрібнонасіненних культур, що необхідні для встановлення безпечного їх тривалого зберігання. Дослідження проводили на дослідному лабораторному обладнанні для активного вентилування. Початкову і поточну вологість зерна вимірювали стандартним методом та контролювали за допомогою електронних ваг типу ПВ-6 (ТУ 4274-005-27450820-95). За результатами експериментальних досліджень будували графічні залежності кінетики зневоднення при різних режимних параметрах (швидкості потоку, його температури, виду культури і його початкової вологості).

В усіх дослідженнях товщина шару засипання ДК була однаковою. Аналіз експериментальних даних показав, що мінімальним гідравлічним опором володіє зерновий шар амаранту – швидкість повітряного потоку вище, ніж в інших випадках у 1,2...2,2 рази. Для гірчиці і ріпаку параметри потоку практично ідентичні.

Аналіз залежності вологовмісту різних ДК від їх початкової вологості показав, що активне вентилування найбільш сприятливо для всіх типів зерна з максимальним початковим вологовмістом. Так, у цьому випадку за 45 хвилин вологість зерна зменшилася на 26...45 %, тоді як для зразків з меншою початковою вологістю зниження складало від 12 до 30 %.

Таким чином, при правильному вентилуванні завжди зберігається і поліпшується якість дрібнонасіненних культур, що приводить до збільшення виходу кінцевої продукції.

У деяких випадках активне вентилування атмосферним повітрям є практично єдиним найбільш ефективним способом приведення дрібнонасіненних культур у стійкий стан для подальшого тривалого зберігання і підвищення його якості.

Abstract. Traditional storage methods involve the loss of grain at each stage of post-harvest processing. Particularly many problems arise with crops such as sorghum, millet, amaranth, rapeseed, mustard, flax, poppy and other pertaining to small-seed cultures due to their geometric dimensions and small mass of 1000 grains (up to 6 g of oil, up to 25 g - grain). For many of them there are not enough recommendations, regulations and other

normative and technological documentation, forcing to substantially correct the technological regimes of their post-harvest processing and storage.

Storage of cereals and oilseeds in a cooled state is an environmentally friendly technology that allows them to be much better preserved for their food and seed quality. Thus, lowering the temperature of the freshly harvested grain mass significantly slows down the physiological, biochemical, microbiological processes of the grain and the active vital activity of the pests, thereby ensuring its quality and quantity retention, even with high humidity.

The results of the study of the characteristics of active ventilation of small-seed cultures necessary for safe long-term storage are presented. The studies were performed on experimental laboratory equipment for active ventilation. The initial and current grain moisture was measured by the standard method and monitored using electronic scales type ПБ-6 (ТУ 4274-005-27450820-95). According to the results of experimental studies, graphical dependences of the kinetics of dehydration at different regime parameters (flow velocity, its temperature, type of culture and its initial humidity) were constructed.

In all studies, the thickness of the backfill layer was the same. Analysis of experimental data with the minimum hydraulic resistance of the amaranth grain layer - the air flow rate is 1.2 ... 2.2 times higher than in other cases. For mustard and rapeseed, the flow parameters are almost identical.

Analysis of the dependence of the moisture content of different small-seed cultures on their initial humidity stated that active ventilation is the most favorable for all types of grain with maximum initial moisture content. So, in this case grain moisture decreased by 26 ... 45 % in 45 minutes, while for samples with lower initial humidity the decrease was from 12 to 30 %.

Thus, when properly ventilated, the quality of small-seed cultures is always maintained and improved, leading to an increase in the output of the final product.

In some cases, active ventilation with atmospheric air is practically the single most effective way of bringing small-seed crops to a stable state for further long-term storage and improving its quality.

Ключові слова: дрібнонасінневі культури, активне вентилявання, зберігання, якість.

Keywords: the small-seeded crops, the active ventilation, storage, quality.

Постанова проблеми. Зниження температури свіжозібраної зернової маси значно уповільнює фізіологічні, біохімічні, мікробіологічні процеси зерна і активну життєдіяльність шкідників, що тим самим забезпечує збереження її якості та кількості навіть при підвищеній вологості.

Зберігання насіння в охолодженому стані спочатку використовувалося для вологого насіння (до сушіння). Проте на даний час в цілях захисту від розповсюдження комах і уражень, викликаних ними, частіше охолоджують сухе зерно, ніж вологе до температури нижче 13 °С, що дає можливість уникнути втрат збіжжя [1, 2]. Отже, можна відмовитись від дорогої і екологічно небезпечної фумігації, особливо, що хімічна обробка зерна в даний час строго регламентується. При фумігації виникають значні витрати на хімічні матеріали і дорогу технологію. Слід також враховувати, що часто вживані препарати для фумігації в багатьох країнах заборонені з 2005 року [3].

Особливо багато проблем виникає з такими культурами, як сорго, просо, амарант, ріпак, гірчиця, льон, мак та інші, що відносяться до дрібнонасінневих культур через свої геометричні розміри і малу масу 1000 зерен (до 6 г олійні, до 25 г – зернові). Для багатьох з них недостатньо рекомендацій, регламентів та іншої нормативно-технологічної документації, що змушує суттєво коригувати технологічні режими їх післязбиральної обробки і зберігання. Слід зазначити, що технологічні властивості зазначених дрібнонасінневих культур (ДК) істотно відрізняються від зерна традиційних зернобобових та олійних культур, що вимагає їх детального дослідження, необхідно уточнення режимів активного вентилявання при первинній обробці, як нових так і традиційних культур.

Відомо, що при підвищеній температурі і вологості дрібнонасінневих олійних культур при зберіганні відбувається розщеплення жирів з утворенням вільних жирних кислот, тому необхідно постійно контролювати процес зберігання олійних культур і вживати заходи для їх охолодження [4]. При виборі параметрів охолоджувального пристрою необхідно враховувати зниження тиску повітря, що продуває насип ДК, так як воно значно вище, ніж для інших культур [5, 6].

Використання останнім часом високопродуктивних зернозбиральних машин і спеціалізованих транспортних засобів значно скоротило час заготовок, та створило проблеми, пов'язані із зберіганням значних об'ємів вологого зерна. Часто наявної сушильної техніки недостатньо для обробки всього зерна, що надходить, в стислі терміни, проте, нарощування теплових потужностей в більшості випадків економічно невиправдано.

Традиційні методи зберігання пов'язані з втратами зерна на кожному з етапів післязбиральної обробки. Разом з тим, як показує практика, використання активного вентилявання, зрештою, на 25...30 %

економічніше за теплову обробку зерна – втрати сухої речовини під час дихання зерна при температурі 20 °С втричі більше, ніж при 10 °С [6].

У порівнянні з традиційним (конвективним) сушінням зерна, що призводить зерно в стійкий для зберігання стан, зберігання зерна в охолодженому стані в 2...3 рази менш енергоємне. При цьому повністю виключається денатурація білка, забруднення зерна продуктами згоряння палива (канцерогенними речовинами, оксидами сірки та азоту, важкими металами, нітритом і нітратами) [1, 3].

Економія при використанні охолодження обумовлена наступним:

– кожне разове охолодження додатково просушує зерно, знижує вологість насіння ще на 0,5...1,5 % при охолодженні його на 20 °С. При високій вологості насіння (більше 18 %) ефект додаткового просушування сильніший, ніж для сухого зерна;

– час знаходження зерна в сушильній установці може бути скорочено за рахунок оптимізації процесів сушіння і охолодження; при цьому економиться електроенергія і підвищується продуктивність сушарки;

– зменшення часу і інтенсивності сушіння дозволяє покращити якість зерна (виникає менше тріщин і пошкодження насіння).

Витрата електроенергії на охолодження залежить від температури навколишнього середовища, відносної вологості повітря, вологості насіння і температури насіння [7].

Необхідну тривалість охолодження ДК до заданої температури розраховуємо за формулою

$$\tau = \frac{1000 \cdot c_z \cdot m_z \cdot (\theta_n - \theta_k)}{q \cdot m_n \cdot \rho \cdot (I_k - I_n)}, \quad (1)$$

де τ – тривалість охолодження, год;

1000 – коефіцієнт переводу кілограмів в тонни;

c_z – питома теплоємність зерна, кДж/(кг·К);

m_z – маса зерна, кг;

m_n – маса повітря, кг;

ρ – густина повітря при його температурі, кг/м³;

q – питома подача повітря, м³/(год·т);

I_n, I_k – ентальпія повітря відповідно на вході в зернову масу та на виході з неї, кДж/кг;

θ_n, θ_k – початкова та кінцева температура зерна, °С.

Отже, зберігання ДК в охолодженому стані сприяє кращому збереженню їх початкової якості, суттєво знижує інтенсивність дихання зерна і тим самим зменшує його тепловиділення, скорочує втрати сухої речовини зерна, гальмує і за певних температур зупиняє розвиток мікрофлори і шкідників зерна. Тимчасова консервація холодом вологого і сирого зерна збільшує період сезонного використання зерносушарок, зменшує потребу в них для найбільш напруженого періоду заготівель.

Впровадження оптимальних режимів і способів збереження зернових мас із застосуванням вентилявання, пов'язано з визначенням характеристик зерна і аеродинамічного опору зернового шару, необхідних для визначення витрат повітря, а також енергетичних витрат.

Дрібнонасінніві культури (гірчиця, льон, ріпак) містять до 40 % жиру. Навіть при вологості 16...17 % і температурі 24...25°С пліснявіння гірчиці спостерігається вже через 5...10 днів, при вологості 20 % і тій же температурі – через 1...2 доби. Тому вологе і сире насіння цих культур, що поступає необхідно негайно вентилявати на тих же установках, які застосовують для продування зерна інших культур. У зв'язку з великим опором насипу висоту її необхідно зменшувати.

Мета даної роботи — дослідити характеристики активного вентилявання дрібнонасіннівих культур для безпечного їх тривалого зберігання.

Об'єкт дослідження – процес тепломасопереносу при активному вентиляванні дрібнонасінних культур.

Предмети досліджень – дрібнонасінніві культури продовольчого призначення (сорго, амарант, гірчиця, ріпак).

Методи дослідження – загальноприйняті та спеціальні фізико-механічні, технологічні, математико-статистичні з використанням сучасного обладнання та комп'ютерних технологій.

Завдання дослідження пов'язані з вивченням основних закономірностей процесів тепломасопереносу при активному вентиляванні дрібнонасінних культур при різних температурах і режимах руху повітря, у тому числі й у режимі “псевдорозрідженого” шару у круглому каналі і визначення:

– у випадку рівності температур зерна і вентиляційного повітря – залежності швидкості сушіння зерна від швидкості і вологості повітря при різних режимах руху, висоти шару засипання зерна, початкової вологості зерна, сорту зерна;

– у випадку нерівності температур зерна і вентиляваного повітря (обробка охолодженим повітрям) – залежності швидкості сушіння і швидкості охолодження зерна від швидкості, температури і вологості повітря при різних режимах руху, висоти шару засипання зерна, початкової вологості, сорту зерна.

Дослідження проводили на дослідному лабораторному обладнанні для активного вентилявання. Початкову і поточну вологість зерна виміряли стандартним методом та контролювали за допомогою електронних ваг типу ПВ-6 (ТУ 4274-005-27450820-95).

Схема експериментальної установки, яка розроблена для реалізації дійсної методики, наведена на рис. 1.

- 1 – каналний вентилятор; 2 – сито капронове;
3 – бункер для вентилявання;
4 – електрокомутатор; 5 – регулятор швидкості;
6 – гратчастий короб;
7 – сипкий матеріал (зерно); 8 – дифманометр;
9 – електронні терези;
10 – гігрометр психрометричний;
11 – анемометр пелюстковий ручний

Рис. 1 – Експериментальна установка для активного вентилявання зерна

Тепловологістні параметри повітряного потоку (температури сухого і мокрого термометрів) вимірюються за допомогою стандартного гігрометра психометричного типу ВИТ 1 (серія Д 228 зі швидкістю аспірації від 0,5 до 1,0 м/с).

У режимі холодильної обробки передбачені можливості або приєднувати усмоктувальну сторону вентилятора 1 до повітроохолоджувача холодильної машини (на рис. 1 не показана) або виконувати дослідження в холодний час року, використовуючи природні умови.

Експериментальна установка укомплектована приладом для виміру гідравлічного опору – мікроманометром типу ММН з похилою вимірювальною трубкою 8. Мікроманометр ММН дозволяє вимірювати гідравлічні опори до 3 кПа.

Результати дослідження. Експериментальні дослідження проводили в наступному порядку.

За допомогою регулятора швидкості 5 встановлювали необхідну швидкість повітряного потоку і проводили вимірювання його тепловологістних параметрів за допомогою гігрометра психрометричного 10.

Після стабілізації швидкості повітряного потоку засипають необхідну кількість зерна і фіксують час початку досліджу.

Через деякі проміжки часу (через 10...15 хвилин) проводили відбір зерна та визначали його поточну вологість стандартним методом. Після 3...4 відборів дослідження припиняли.

Дослідна ділянка являє собою циліндричний бункер 3, у нижній частині якого закріплене стандартне капронове сито 2, а верхня частина відкрита. Діаметр бункера 3 відповідає діаметру сита № 23 (позиція 2) і складає 0,22 м. Висота бункера – 0,60 м.

Для візуалізації процесів взаємодії зерна і повітря стінки бункера 3 виконані з прозорого матеріалу.

На виході повітряного потоку з бункера 3 встановлений анемометр пелюстковий ручний 11, що дозволяє проводити вимірювання швидкості повітря.

Нижня частина бункера 3 закріплена на нагнітальній стороні каналного вентилятора типу VENT-315L-350W, модель яка виробляється фірмою Soler@Palau (Іспанія) і являє собою відцентровий каналний вентилятор, призначений для прямого приєднання.

Вентилятор обладнано однофазним (230 В, 50 Гц) зовнішнім роторним електродвигуном, незнімні відцентрові лопаті з увігнутими назад лопатками встановлюються на заводі-виготовлювачі. Максимальна об'ємна продуктивність вентилятора (при напорі $\Delta p = 0$ Па) складає 0,52 м³/с, максимальний напір (при відсутності циркуляції) складає 820 Па.

Для варіювання швидкості потоку повітря вентилятор 1 через електрокомутатор 4 зв'язаний з автотрансформаторним однофазним регулятором швидкості типу REB-2.5 NE (позиція 5).

Для мінімізації гідравлічного опору на усмоктувальній стороні вентилятора 1 забірна його частина встановлюється на гратчастому коробі 6.

Для вирівнювання швидкості повітряного потоку закріплюється капронова сітка по перетину сита і бункера на нагнітальній стороні вентилятора 1.

Наступна серія дослідів проводиться при іншому значенні швидкості повітряного потоку при новому засипанні зерна.

За результатами експериментальних досліджень побудовані графічні залежності кінетики зневоднення при різних режимних параметрах (швидкості потоку, його температури, виду культури і його початкової вологості). Для цього, на першому етапі були проведені тарувальні дослідження газодинамічних характеристик робочої ділянки – бункера. Визначено швидкісні параметри повітряного потоку і вплив на них положення регулятора швидкості для стандартних сит: № 38; № 23; № 0,63. Дослідження показали практично повну ідентичність швидкісних характеристик у досліджуваному діапазоні (швидкість повітряного потоку від 2 до 9 м/с). Надалі для проведення досліджень було використане сито № 23, яке було випробувано окремо на гідравлічний опір потоку повітря.

Результати дослідження залежності швидкості руху повітря від положення регулятора швидкості для різних ДК (сорго, амарант, гірчиця, ріпак) наведені на рис. 2.

Рис. 2 – Залежність швидкості руху повітря при різних положеннях регулятора швидкості для ДК

В усіх дослідженнях товщина шару засипання ДК була однаковою. Аналіз експериментальних даних показав, що мінімальним гідравлічним опором володіє зерновий шар амаранту – швидкість повітряного потоку вище, ніж в інших випадках у 1,2...2,2 рази. Для гірчиці і ріпаку параметри потоку практично ідентичні. На рис. 3 представлені криві сушіння – зміна початкового вологовмісту різних ДК в залежності від вологості зразків та терміну вентильовання.

Рис. 3 – Залежність вологовмісту різних ДК від початкової вологості та терміну вентильовання

Усі дослідження проводилися протягом 45 хвилин, при цьому підтримувалася максимально висока швидкість повітряного потоку, яка не приводить до виникнення режимів псевдокипіння зернового шару.

Аналіз залежності вологовмісту різних ДК від їх початкової вологості, представлених на рис. 3 показав, що активне вентилявання найбільш сприятливо для всіх типів зерна з максимальним початковим вологовмістом. Так, у цьому випадку за 45 хвилин вологість зерна зменшилася на 26...45 %, тоді як для зразків з меншою початковою вологістю зниження склало – 12...30 %.

Висновки. Таким чином, при правильному вентиляванні завжди зберігається і поліпшується якість дрібнонасінневих культур, що приводить до збільшення виходу кінцевої продукції.

У деяких випадках активне вентилявання атмосферним повітрям є практично єдиним найбільш ефективним способом приведення дрібнонасінневих культур у стійкий стан для подальшого тривалого зберігання і підвищення його якості.

Література

1. Станкевич Г.Н., Петруня Б.Н., Бичинюк И.И., Лищенко Ю.В. Консервация зерновой массы с использованием искусственно охлажденного воздуха / // Научные работы Одесской государственной академии пищевых технологий. Одесса: 2001. Вып. 21. С. 39-41.
2. Дмитрук Е.А., Петруня Б.Н. Использование искусственного холода при хранении зерна // Хранение и переработка зерна, 2000. № 10. С. 27-28.
3. Теория хранения зерна [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://zernolab.com.ua/ru/view-news/id-teoriya-khraneniya-zerna-11.htm>.
4. Станкевич Г.М., Овсянникова Л.К., Соколовська О.Г. Обробка та зберігання дрібнонасінневих олійних культур: монографія. Одесса: КП ОМД, 2016. 128 с.
5. Технология экологически чистого хранения зерна в охлажденном состоянии [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.zeo.ua/ru/tehnologija-ehkologichieski-chistogo-khraneniya-zerna-v-okhlazhdennom-sostojanii.html>.
6. Гапонюк О.І., Остапчук М.В., Станкевич Г.М., Гапонюк І.І. Активне вентилявання та сушіння зерна. Одесса: «ВМВ», 2014. 326 с.
7. Овсянникова Л.К. Особливості технології післязбиральної обробки дрібнонасінневих культур // Зернові продукти і комбікорми, 2017. Vol. 17, I. 3. С. 11-20. <https://doi.org/10.15673/gpmf.v17i3.656>

References

1. Stankevych, H. N., Petrunia, B. N., Bychyniuk, Y. Y., & Lyshchenko, Yu. V. (2001). Konservatsiya zernovoi massy s yspolzovanyem yskusstvenno okhlazhdennoho vozdukh. Naukovi pratsi Odeskoi derzhavnoi akademii kharchovykh tekhnolohii. - Odessa, (21), 39-41.
2. Dmytruk, E. A., & Petrunia, B. N. (2000). Yspolzovanye yskusstvennoho kholoda pry khranenyi zerna. Khraneniye y pererabotka zerna, (10), 27-28.
3. Teoryya khraneniya zerna [Elektronnyy resurs] – Rezhym dostupu: <http://zernolab.com.ua/ru/view-news/id-teoriya-khraneniya-zerna-11.htm>.
4. Stankevych, H. M., Ovsianynkova, L. K., & Sokolovska, O. H. (2016). Obrobka ta zberihannia dribnonasinnievkykh oliinykh kultur: monohrafiya. Odessa: KP OMD, 128.
5. Tekhnolohyya ékologichiesky chystoho khraneniya zerna v okhlazhdennom sostoyany [Elektronnyy resurs]. – Rezhym dostupu: <http://www.zeo.ua/ru/tehnologija-ehkologichieski-chistogo-khraneniya-zerna-v-okhlazhdennom-sostojanii.html>.
6. Haponyuk O. I., Ostapchuk M. V., Stankevych H. M., Haponyuk I. I. (2014). Aktyvne ventilyuvannya ta sushynnya zerna. Odessa: «VMV», 326.
7. Ovsianynkova, L. K. (2017). Osoblyvosti tekhnolohii pisliazbyralnoi obrobky dribnonasinnievkykh kultur. Zernovi produkty i kombikormy, (17, № 3), 11-20. <https://doi.org/10.15673/gpmf.v17i3.656>

Cite as

Овсянникова Л.К., Орлова С.С. Дослідження характеристик активного вентилявання дрібнонасінневих культур // Наук. пр. / Одес. нац. акад. харч. технологій. Одесса, 2019. Т. 83, вип. 2. С. 33 – 38.

Отримано в редакцію 20.08.2019

Прийнято до друку 30.10.2019

Received 29.08.2019

Approved 30.10.2019