УДК 664.723.047.

РОЗРОБКА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ РЕЖИМІВ СУШІННЯ НАСІННЯ ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР DEVELOPMENT OF ENERGY EFFICIENT MODES CEREAL DRYING OF SEEDS

Снежкін Ю.Ф., д-р техн. наук, професор, Пазюк В.М., канд. техн. наук, ст. наук. співр.,
Петрова Ж.О., д-р техн. наук, наук. співр., Вишнівський В.М., мол. наук. співр.
Інститут технічної теплофізики НАН України
J. Snegkin, Z. Petrova, V. Paziuk, V. Vishnevsky
Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine

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/swonaft.v2i83.1515>

Анотація. Постійне збільшення вирощування зернових культур в Україні на протязі 15 років залежить від якості насіннєвого матеріалу, що потрібно підвищувати. Попередні дослідження насіння зернових культур різних авторів не дають повної комплексної оцінки якісних показників, зокрема насіння пшениці, ячменю та вівса. Велике значення для насіннєвого зерна має значення граничнодопустимої температури нагрівання насіння, що визначається біохімічними властивостями та термостійкістю матеріалу.

Попередні дослідження лише регламентували вибір низькотемпературних режимів сушіння і не завжди вказували якісні показники, рекомендовані режими сушіння зернових культур суттєво відрізнялись один від одного.

Тому нами були проведені дослідження кінетики процесу сушіння насіннєвого матеріалу на конвективному сушильному стенді в елементарному шарі при низькотемпературному сушінні із визначення граничнодопустимої температури нагрівання матеріалу.

Особливе значення при виборі режиму сушіння приділялось якісним характеристикам насіння. Хоча мінімально допустима схожість для зернових матеріалів визначена стандартом України на рівні 92%, нами була поставлена завдання досягнути максимального збереження насіннєвих властивостей матеріалу наближеного до схожості 100%.

Як з'ясувалось, під час проведення досліджень із низькотемпературного сушіння зернового матеріалу, все ж таки втрата якості хоч не значна, але відбувається. Втрата 4...5 % врожайності зернових культур – це досить вагомі втрати в загальнодержавному масштабі і можуть оцінюватись у мільярди гривень.

Тому в представленій роботі проводиться дослідження та перехід від оптимальних низькотемпературних режимів до ступеневих енергоефективних, що істотно зменшують тривалість сушіння і питомі витрати теплоти. Схожість насіння зернових культур при сушінні в ступеневих режимах становить 98...100 %, що підтверджують проведені дослідження із якісних характеристик матеріалу.

Енергоефективність наведених ступеневих режимів оцінюється відносними питомими витратами теплоти на кілограм випареної вологи, що нижче на 62,0 % від оптимального низькотемпературного режиму.

Abstract. The article deals with studies on grain seed drying to determine energy-efficient modes of seed drying. The steady increase in grain cultivation in Ukraine over 15 years depends on the quality of the seed to be improved. Previous studies on the seeds of cereals by different authors do not provide a complete comprehensive assessment of the qualitative indicators, including seeds of wheat, barley and oats. Of great importance for seed

grain is the value of the maximum permissible temperature of seed heating, which is determined by the biochemical properties and thermal stability of the material.

Previous studies only regulated the choice of low-temperature drying regimes and did not always indicate qualitative indicators, the recommended drying regimes of cereals were significantly different from each other.

Therefore, we carried out studies of the kinetics of the drying process of seed material on a convective drying stand in the elementary layer at low temperature drying to determine the maximum allowable temperature of heating of the material.

Particular importance in choosing the drying mode was given to the qualitative characteristics of the seeds. Although the minimum allowable germination rate for grain materials is set at the standard of Ukraine at the level of 92,0 %, we were tasked to achieve maximum preservation of the seed properties of the material close to the similarity of 100,0 %.

As it turned out, during the low-temperature drying of grain material, the quality loss is not significant, but it does occur. Loss of 4...5 % of grain yields is a significant loss on a nationwide scale and can be estimated at billions of hryvnias.

Therefore, in the presented work, the research and transition from optimal low-temperature modes to step energy-efficient ones are carried out, which significantly reduces the drying time and the specific heat consumption. The germination of seeds of cereals during drying in step modes is 98...100 %, which is confirmed by the conducted studies on the qualitative characteristics of the material.

The energy efficiency of the given step modes is estimated by the relative specific consumption of heat per kilogram of evaporated moisture, which is lower by 62,0 % of the optimum low-temperature regime.

Ключові слова: конвективний стенд, схожість насіння, кінетика, температура нагрівання насіння, ступеневі режими, енерговитрати

Key words: convective stand, seed germination, kinetics, seed heating temperature, step modes, energy consumption

Вступ. Проблемою сушіння зернових культур займаються як вітчизняні так і закордонні дослідники, але основні дослідження спрямовані на визначення режимів сушіння продовольчого та технічного зерна. Запропоновані режими сушіння продовольчого та технічного зерна, що не можна застосовувати для сушіння насіннєвого зерна.

Провівши аналіз публікацій із сушіння насіння зернових культур, таких авторів як Станкевича Г.М., Атаназевича В.І., Атаманюка В.М., Голика М.Г., Коваленко О.А., M. Soares, M. Markowsky та ін., можна зробити висновок, про необхідність проведення процесу сушіння насіння зернових культур при не високих температурах з нагрівання зерна до 45 °С [1-7]. Температура сушильного агента в залежності від конструкції зерносушарки може коливатись від 40 до 80 °С і вище. Також при аналізі насіннєвих властивостей матеріалу має значення сортові ознаки насіння, що пов'язана з термостійкістю зерна, яке впливає на якість насіннєвого матеріалу.

Постановка проблеми. У вказаних дослідженнях наведених авторів при сушінні насіннєвого зерна не вказується граничнодопустима температура нагрівання насіння виходячи із якісних характеристик матеріалу, що важливо при виборі режиму сушіння.

Для визначення режимів сушіння насіння зернових культур за об'єкт сушіння вибрано насіння пшениці, ячменю та вівса.

Експериментальні дослідження насіння зернових культур проведені на конвективному сушильному стенді. Експериментальний стенд складається із системи ізольованих повітропроводів з пристроями для нагрівання та циркуляції теплоносія, сушильних камер, вимірювальних схем та приладів для контролю параметрів процесу та вимірювання величин, які характеризують процес сушіння дослідного матеріалу[8].

Після встановлення на стенді заданого режиму дослідження, на штангу терезів в сушильній камері кладуть зразок дослідного матеріалу, та безперервно реєструють зменшення маси зразка в процесі сушіння за допомогою ваг AD-500, з'єднаних з комп'ютером. Температура повітря в сушильній камері і дослідного матеріалу реєструється за допомогою хромель-копелевих термоелектричних перетворювачів (ДСТУ 2837 – 94) діаметром 0,2 мм.

Мета роботи. З метою підвищення точності, інформативності та полегшення обробки одержуваної інформації під час проведення дослідів експериментальний стенд доукомплектований допоміжним обладнанням: аналоговим цифровим перетворювачем *i-7018*, конвертором-інтерфейсом *i-7520* та персональним комп'ютером з процесором CPU AMD ATHLON XP 2200+ (рис. 1).

Матеріали та методи досліджень. Методика проведення досліджень на конвективному сушильному стенді:

1. перед проведенням досліджень визначаємо початкову вологість насіння за ДСТУ 4138 – 2002 [8]. Зерно засипаємо в бюкси і висушуємо в сушильній шафі при температурі 105 °С на протязі 5 годин. Після закінчення сушіння бюкси виймають з сушильної шафи і ставлять в ексікатор для охолодження на 15...30 хв. Охолоджені бюкси з насінням зважують у закритому стані на аналітичних вагах;
2. після встановлення на стенді режиму сушіння на штангу терезів в сушильній камері 1 кладуть решітку з насінням і вмикається комп'ютерна програма збору та обробки інформації, яка безперервно реєструє час досліді, температуру теплоносія, температуру в середині насіннєвого матеріалу, зміну маси навіски;
3. висушене насіння виймають з сушильної камери і проводять аналіз на енергію росту, схожість, а також визначають кінцеву вологість матеріалу;
4. після визначення абсолютно сухої маси зразка комп'ютерна програма визначає поточну вологість матеріалу W під час сушіння та розраховує і будує криві сушіння та швидкості сушіння:

$$W=f(\tau), dW/d\tau = f(W) \quad (1)$$

Рис. 1. - Структурна схема автоматизованого збору та обробки інформації із конвективного сушильного стенду

Програма досліджень передбачає знімання кінетики сушіння насіння овочевих культур через реєстрацію показів зміни маси матеріалу, температур теплоносія та в середині насіннєвого матеріалу.

Для вибору режиму сушіння насіння зернових культур були вибрано насіння пшениці сорту «Подільська», ячменю сорту «Барвістий» та вівса сорту «Зоряний». Основний вплив на насіннєві властивості має температура теплоносія [9], тому в табл.1 наведені результати кінетики процесу сушіння та якість насіння зернових культур від температури теплоносія.

Результати досліджень. Найбільший вплив на кінетику процесу сушіння насіння пшениці відбувається від збільшення температури теплоносія від 50 до 80 °С в 2,85 раз. Процес сушіння проходить в період падаючої швидкості сушіння, що характерно при дослідженні всіх видів насіннєвого матеріалу при сушінні в елементарному шарі на конвективному сушильному стенді. Підвищення температури призводить до різкого збільшення швидкості сушіння з активним видаленням вологи з

матеріалу. Встановлено, що найкраща схожість насіння пшениці спостерігається при температурі теплоносія 50 °С та температурі нагрівання матеріалу 49,4 °С, що становить 95 %. Схожість насіння пшениці при температурі теплоносія 65 °С нижча за мінімальну допустиму схожість 92 % за ДСТУ 2240-93 і становить 88 %. Насіннєві властивості зернових культур повністю зникають при температурі теплоносія 80 °С.

Проведені дослідження кінетики та якості насіння ячменю та вівса від впливу температури теплоносія подібні до характеристик насіння пшениці.

Також отримані результати експериментальних досліджень впливу швидкості руху теплоносія і початкової вологості насіння пшениці, ячменю та вівса на тривалість та якість сушіння.

**Рис 2 - Кінетика сушіння та якість насіння пшениці, ячменю та вівса
від впливу температури теплоносія**

Підвищення інтенсивності сушіння за рахунок збільшення температури теплоносія не можливо із-за якісних характеристик насіннєвого матеріалу, але короточасне підвищення температури під час прогрівання матеріалу можливо і може суттєво зменшити тривалість сушіння.

На основі проведених досліджень при сушінні насіння зернових культур на конвективному сушильному стенді вказують на те, що температура теплоносія 65°C дає досить високі результати схожості, тому короткочасне нагрівання матеріалу не знизить насіннєві властивості матеріалу.

Виходячи із вище вказаного, були запропоновані ступеневі режими 65/50 °С для сушіння насіння зернових культур (табл. 2).

В результаті проведених досліджень встановлено, що інтенсивність сушіння насіння пшениці в режимі 65/50 °С при порівнянні з режимом 50 °С збільшилось в 1,8 раз, схожість насіння 100 %. Збільшення схожості насіння при введенні ступеневих режимів в технологічний процес підвищується за рахунок зменшення тривалості процесу.

Так ступеневий режим сушіння насіння пшениці 65/50 °С при порівнянні з режимом 50 °С збільшує схожість на 5 %, що в загальнодержавному масштабі в Україні може принести додатково 3 - 4 млрд. грн. прибутку (табл. 2).

Ступеневі режими дозволяють поетапно підвищити швидкість сушіння при нагріванні матеріалу, а потім перейти до оптимально необхідного режиму сушіння насіння зернових культур 50 °С.

$W_{II}=20\%$, $V=1,5\text{ м/с}$, $d=10\text{ г/кг с. н.}$, $\delta=0,002\text{ м}$:
1,4 – 50°C, 2,5 – 65°C; 3,6 – 80°C; 4,8 – 65/50 °C

$W_{II}=20\%$, $V=1,5\text{ м/с}$, $d=10\text{ г/кг с. н.}$, $\delta=0,002\text{ м}$:
1,4 – 50°C, 2,5 – 65°C, 3,6 – 80°C

Рис 3 - Кінетика сушіння та якість насіння пшениці, ячменю та вівса в ступеновому режимі сушіння 65/50 °С

Порівняння різних насінневих зернових матеріалів вказує на прискорення процесу в ступеневому режимі для всіх вказаних матеріалів при яких схожість складає 98 – 100 % (рис. 3), що підтверджено і можна оцінити на представлених фотографіях (рис. 4).

Рис. 4 - Фотографії схожості насіння зернових культур після сушіння в ступеневому режимі сушіння 65/50 °C на 7 день пророщування

Відносні питомі енергетичні витрати на процес сушіння зменшується на 62 % від введення запропонованих режимів, що вказує на економічну доцільність даних рішень (рис. 3).

$$W_n = 20 \%, V = 1,5 \text{ м/с}, d = 10 \text{ г/кг с. п.}, \delta = 0,002 \text{ м}$$

Рис. 3 - Зміна відносних питомих енерговитрат на процес сушіння насіння пшениці від температури теплоносія

Висновки. Представлені дослідження кінетики сушіння насіння зернових культур вказують на необхідність низькотемпературного сушіння при температурі 50 °C, при якому схожість становить на рівні 95...96 % і відповідає мінімально допустимій схожості за ДСТУ 2240-93.

Застосування енергоефективних ступеневих режимів значно підвищує схожість насіння та зменшує тривалість процесу.

Найбільш доцільний ступеневий режим сушіння 65/50 °C при схожості насіннєвого матеріалу 98...100 %

Відносні питомі витрати енергії на процес сушіння в ступеневому режимі 65/50 °C менші на 62 % ніж в режимі 50 °C, що дає можливість розробити нову технологію та енергоефективного обладнання.

Література

1. Станкевич Г.М., Страхова Т.В., Атаназевич В.І. Сушіння зерна: підручник // К.: Либідь. 1997. 352 с.
2. Атаманюк В. М., Матківська І. Я., Барна І. Р. Сушіння зерна пшениці фільтраційним методом. 2015. № 812. С. 302 - 307.
3. Голик М.Г., Делидович В.Н., Мелик Б.Е. Научные основы обработки зерна в потоке // М.: Колос. 1972. 263 с.
4. Matkivska I., Atamanyuk V., Symak D. Basic regularities of the filtration drying of wheat grain // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2014. №5/5(71). Р. 14 - 18. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2014.27975>
5. Коваленко О.А., Косовська Н.В. Вплив режимів сушіння зерна пшениці озимої на показники його продовольчих і насінневих якостей. [Електронний ресурс]. Режим доступу: // <http://lib.chdu.edu.ua/pdf/naukpraci/ecology/2012/179-167-16>
6. SOARES M. A. B., JORGE L. M. M., Montanuci F. D. Drying kinetics of barley grains and effects on the germination index // Food Science and Technology. 2016. Т. 36. №. 4. С. 638 - 645. <https://doi.org/10.1590/1678-457x.11916>
7. Markowski M. et al. Drying characteristics of barley grain dried in a spouted-bed and combined IR-convection dryers // Drying Technology. 2007. Т. 25. №. 10. С. 1621 - 1632. <https://doi.org/10.1080/07373930701590715>
8. ДСТУ 4138 – 2002 . Насіння сільськогосподарських культур. Методи аналізування вологості насіння. К.: Держспоживстандарт. 2003. С. 16 - 17.
9. Пазюк В.М. Дослідження тепломасобмінних процесів сушіння насіння овочевих культур // Наукові праці [Одеської національної академії харчових технологій]. 2018. №. 82, Вип. 2. С. 129 - 136. <https://doi.org/10.15673/swonaft.v82i2.1189>

References

1. Stankevych, H. M., Strakhova, T. V., & Atanazevych, V. I. (1997). *Sushinnia zerna: pidruchnyk*. K.: Lybid, 352.
2. Yastremska, A. A., & Yastremskaia, A. A. (2017). *Zberihannia ta pererobka zerna*, 812, 302 – 307.
3. Golik, M. G., Delidovich, V. N., & Melik, B. E. (1972). *Nauchnyie osnovyi obrabotki zerna v potoke*. M.: Kolos, 263.
4. Matkivska, I., Atamanyuk, V., Symak, D. (2014). Basic regularities of the filtration drying of wheat grain. *Vostochno-Europeyskiy zhurnal peredovykh tehnologiy*, (5 (5)), 14 - 18. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2014.27975>
5. Kovalenko, O. A., Kosovska, N. V. *Vplyv rezhymiv sushinnia zerna pshenytsi ozymoi na pokaznyky yoho prodovolchykh i nasinnievkykh yakostei*. [Elektronnyi resurs]. Rezhym dostupu: // <http://lib.chdu.edu.ua/pdf/naukpraci/ecology/2012/179-167-16>
6. SOARES, M. A. B., JORGE, L. M. D. M., & Montanuci, F. D. (2016). Drying kinetics of barley grains and effects on the germination index. *Food Science and Technology*, 36(4), 638 - 645. <https://doi.org/10.1590/1678-457x.11916>
7. Markowski, M., Sobieski, W., Konopka, I., Tańska, M., & Białobrzewski, I. (2007). Drying characteristics of barley grain dried in a spouted-bed and combined IR-convection dryers. *Drying Technology*, 25(10), 1621 - 1632. <https://doi.org/10.1080/07373930701590715>
8. DSTU 4138 – 2002 . *Nasinnia silskohospodarskykh kultur*. Metody analizuvannya volohosti nasinnia. (2003). K.: *Derzhspozhyvstandart*, 16 - 17.
9. Paziuk, V. M. (2018). *Doslidzhennia teplomasobminnykh protsesiv sushinnia nasinnia ovochevykh kultur*. *Naukovi pratsi [Odeskoi natsionalnoi akademii kharchovykh tekhnolohii]*, (82, Vyp. 2), 129 - 136. <https://doi.org/10.15673/swonaft.v82i2.1189>

Cite as

Снежкін Ю.Ф., Пазюк В.М., Петрова Ж.О., Вишневський В.М. Розробка енергоефективних режимів сушіння насіння зернових культур // Наук. пр. / Одес. нац. акад. харч. технологій. Одеса, 2019. Т. 83, вип. 2. С. 121 - 127.

Отримано в редакцію 18.09.2019
Прийнято до друку 19.11.2019

Received 18.09.2019
Approved 19.11.2019