



ОСОБЛИВОСТІ ТЕХНОЛОГІЇ ПІСЛЯЗБИРАЛЬНОЇ ОБРОБКИ ДРІБНОНАСІННЄВИХ КУЛЬТУР

Анотація

Виробники зернопереробної галузі все частіше стали звертати увагу на дрібнонасіненні культури такі як сорго, амарант, ріпак, гірчиця, льон, мак та ін. Оскільки виробництво дрібнонасіненні культур зростає, то для визначення ефективних режимів їх післязбиральної обробки та зберігання необхідне проведення широкомасштабних досліджень.

В статті наведено результати теоретичних та експериментальних досліджень тепломасообмінних процесів. Отримані значення теплофізичних характеристик в залежності від вологості зерна та запропоновані формули для їх розрахунку, які можуть бути використані при виборі раціональних режимів сушіння, активного вентилявання та зберігання зернових і олійних дрібнонасіненні культур. Визначено питомі витрати повітря для активного вентилявання дрібнонасіненні культур.

Важливою стадією процесу післязбиральної обробки насіння є сушіння – складна і енергозатратна операція. Своєчасне і правильно проведене сушіння не тільки підвищує його стійкість під час зберігання, а й поліпшує якість насіння, тому проведено дослідження кінетики конвективного сушіння дрібнонасіненні культур в залежності від параметрів зерна і режимів сушіння. Ними був обґрунтований і рекомендований для використання на підприємствах двостадійний спосіб сушіння зерна. При запропонованому способі сушіння на 20...30 % підвищується продуктивність зерносушарок, на 15...25 % знижуються витрати палива, істотно поліпшується якість зерна (за рахунок зниження на 3...5 % кількості битих і розтріснутих зерен).

У зв'язку з тим, що дрібнонасіненні культури через їх розміри мають більший аеродинамічний опір в порівнянні з іншими культурами, товщину шару насіння при активному вентиляванні необхідно зменшувати. Дрібнонасіненні культури, особливо олійні, можна вентилувати підігрітим повітрям (до 55 °С). Підвищення температури повітря прискорює процес сушіння, проте супроводжується зростанням нерівномірності знімання вологи по товщині шару з пересушуванням нижніх шарів і зволоженням верхніх шарів.

Для надійного зберігання культур потрібно забезпечити ряд умов: на сито-повітряних або аеродинамічних сепараторах довести вміст домішок до рівня не більше 2 %, шляхом сушіння або активного вентилявання знизити вологість насіння до 6...8 %, засобами активного вентилявання знизити температуру насіння до 5...10 °С. Ці умови забезпечать довгострокове збереження якості дрібнонасіненні культур до їх відвантаження або переробки. Крім того, досліджено інтенсивність дихання зерна в залежності від його вологості і температури. Показано, що при збільшенні вологості з 7 до 11 % інтенсивність дихання дрібнонасіненні культур підвищується в 4,9...16,5 рази, а при збільшенні температури від 5 до 25 °С – в 1,1...1,6 рази. Наслідком такого зростання інтенсивності дихання є підвищене тепловиділення, яке може приводити до самозігрівання насіння і їх псування. При інтенсивному диханні збільшуються також природні втрати насіння при зберіганні через витрачання на дихання власних сухих речовин. Для тривалого зберігання дрібнонасіненні культури необхідно розміщувати в складах підлогового типу, які забезпечують хороший доступ повітря при порівняно невеликій висоті насипу дрібнонасіненні культур. Для короткочасного зберігання можна використовувати склади силосного типу.

На підставі результатів проведених досліджень була удосконалена схема технологічного процесу зернозаготівельного підприємства, яка дозволяє підвищити ефективність використання основного обладнання підприємства, розширити їх функції і дозволяє формувати партії зерна різного цільового призначення.

Ключові слова: дрібнонасіненні культури, очищення, теплофізичні характеристики, сушіння, активне вентилявання, післязбиральна обробка.

Вступ

Якісне зберігання зерна можливо забезпечити лише при глибокому вивченні технологічних процесів на всіх етапах його післязбиральної обробки з урахуванням фізіологічних властивостей, що відбуваються в зернових масах. Особливо багато проблем виникає з такими культурами, як сорго, просо, ріпак, гірчиця та інші, що відносяться до так званих дрібнонасіненні культур через свої геометричні розміри і малої маси 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.

Дрібнонасіненні культури (ДК), мають в порівнянні з зерновими, свої характерні особливості, від яких залежать режими їх обробки і зберігання. В першу чергу це пізні строки збирання більшості олійних дрібнонасіненні культур, що призводять до підвищеної вологості прибраних насіння. До того ж

дозрівають насіння нерівномірно і характеризуються істотною нерівномірністю по вологості. Другою відмітною рисою цих культур, як і всіх олійних, є велика кількість жиру, який не здатний зв'язувати і утримувати вологу. При диханні насіння за рахунок окислення жиру виділяється більше теплоти, ніж в зернових культурах, що підвищує небезпеку їх самозігрівання. Наявність олійної домішки і недотримання термінів післязбиральної обробки насіння може швидко привести до прогіркання жиру, виникнення цвілі і псування насіння [1, 2].

Велика розмаїтість ДК, поява нових районуваних сортів, зміна клімату та умов їх вирощування привели до необхідності уточнення і вивчення їх фізичних, технологічних і фізіологічних властивостей, що впливають режими їх післязбиральної обробки і зберігання. В першу чергу це стосується фізичних, технологічних властивостей, геометричних та аеродинамічних характеристик, які детально були розглянуті в першій частині досліджень і відображені в [3-5].



Одним з основних етапів післязбиральної обробки свіжозібраного зерна є процес очищення. Результати проведених досліджень дозволили рекомендувати для очищення дрібнонасінних культур від домішок сита з круглими отворами діаметром 8...10 мм для відділення грубих домішок, діаметром 2,4...2,6 мм для відділення крупних домішок і діаметром 1,0...1,4 мм для відділення дрібних домішок. Для очищення олійних дрібнонасінних культур від важкодокремлювальної домішки можна використовувати різниці в аеродинамічних властивостях основного насіння і домішок [6, 7].

При проведенні післязбиральної обробки зерна на окремих його стадіях дрібнонасінні культури піддаються певному термічному впливу. Це стосується, перш за все, процесів сушіння та охолодження [8, 9]. Тим часом, термічна обробка це складний технологічний процес, при якому в ДК відбуваються численні фізико-механічні та біохімічні зміни, часом незворотні. Крім того, термічні процеси є найбільш енергозатратними. Тому питання з вивчення теплофізичних характеристик, фізіологічних властивостей ДК з обґрунтуванням режимів тепломасообмінних процесів та удосконалення схеми технологічного процесу зернозаготівельного підприємства є актуальним.

Метою роботи є наукове обґрунтування і практичне втілення на підприємствах з післязбиральної обробки ефективних режимів термічної обробки дрібнонасінних культур, які дозволяють забезпечити найменші енерговитрати та довготривале гарантоване зберігання.

Результати досліджень

Для обґрунтування раціональних режимів тепломасообмінних процесів, що протікають при нагріванні, сушінні та охолодженні методом остигаючої пластини нами визначено теплопровідні та теплоємнісні властивості, що характеризуються питомою теплоємністю c , коефіцієнтами температуропровідності a та теплопровідності λ , а також закономірностями їх зміни для зернових ДК в залежності від температури $\theta = 4,2...35,4$ °C та вологості в межах $w = 11,4...26,2$ %; для олійних в залежності від температури $\theta = 5...25$ °C та вологості в межах $w = 5,8...16,2$ %, а також проведено дослідження впливу вологості на теплофізичні характеристики зернових і олійних дрібнонасінних культур.

Для скорочення числа дослідів і підвищення їхньої вірогідності було застосовано багатфакторне планування експерименту [10]. Аналіз отриманих результатів показує, що при дослідженні параметрів зернових ДК (наприклад сорго та сориз), менше значення теплофізичних характеристик спостерігається при $\theta = 5$ °C. З підвищенням вологості та температури зерна значення цих характеристик зростає, отже збільшується інтенсивність зміни температури при нагріванні зерна та швидкість вирівнювання температури. Підвищення вологовмісту зерна приводить до збільшення коефіцієнтів температуропровідності, хоча характер росту а в залежності від температури залишається попереднім.

Для олійних ДК встановлено, що коефіцієнт теплопровідності і питома теплоємність збільшується при значенні значення вологості, а коефіцієнт температуропровідності зменшується при підвищенні вологості. Встановлено, що з ростом вмісту жиру теплофізичні характеристики знижуються.

Для узагальнення залежностей теплофізичних характеристик (ТФХ) ДК від їх вологості і температури був проведений множинний регресійний аналіз, статистична оцінка та отримані наступні емпіричні рівняння в натуральних змінних

для сорго:

$$c = 548,2 + 66,9 \theta + 17,70 \cdot w - 0,251 w \cdot \theta, \text{ Дж/(кг} \cdot \text{K)}; (1)$$

$$a = 158,3 + 1,15 \theta + 0,27 w + 0,006 \theta \cdot w, 10^{-9} \text{ м}^2/\text{с}; (2)$$

$$\lambda = 0,14 + 0,0015 \theta + 0,001 w, \text{ Вт/(м} \cdot \text{K)}; (3)$$

для насіння гірчиці:

$$c = 329,78 + 64,78 \theta + 53,50 w - 1,00 \theta \cdot w, \text{ Дж/(кг} \cdot \text{K)}; (4)$$

$$a = 127,48 - 1,36 \theta + 4,11 w - 0,07 \theta \cdot w, 10^{-9} \text{ м}^2/\text{с}; (5)$$

$$\lambda = 0,16 + 0,016 \theta + 0,0043 w, \text{ Вт/(м} \cdot \text{K)}; (6)$$

насіння ріпаку:

$$c = -32,76 + 95,12 \theta + 96,46 w - 3,46 \theta \cdot w, \text{ Дж/(кг} \cdot \text{K)}; (7)$$

$$a = 141,69 - 1,69 \theta + 2,66 w - 0,07 \theta \cdot w, 10^{-9} \text{ м}^2/\text{с}; (8)$$

$$\lambda = 0,12 + 0,0023 \theta + 0,0025 w, \text{ Вт/(м} \cdot \text{K)}; (9)$$

насіння льону олійного:

$$c = 442,8 + 63,07 \theta + 30,54 w - 0,08 \theta \cdot w, \text{ Дж/(кг} \cdot \text{K)}; (10)$$

$$a = 145,32 - 0,35 \theta + 3,03 w + 0,01 \theta \cdot w, 10^{-9} \text{ м}^2/\text{с}; (11)$$

$$\lambda = 0,16 + 0,014 \theta + 0,002 w, \text{ Вт/(м} \cdot \text{K)}; (12)$$

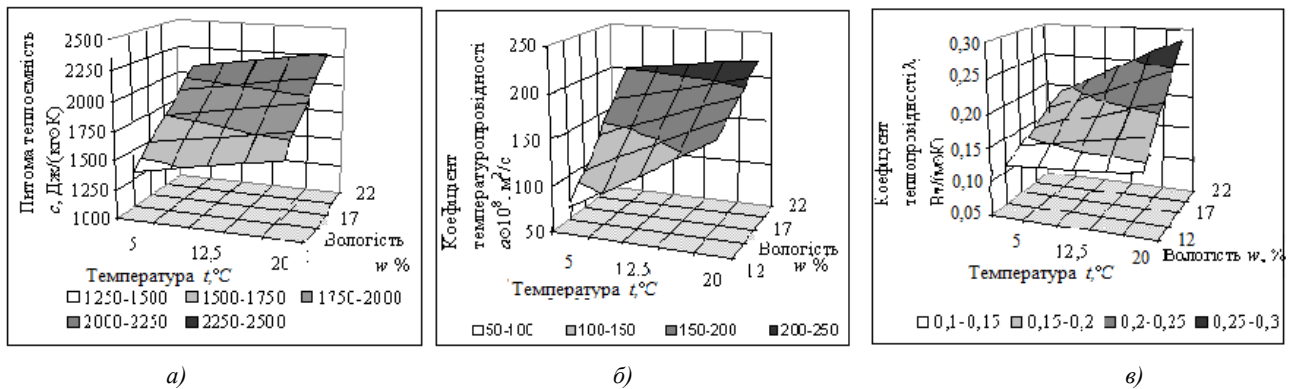
де w – вологість насіння гірчиці, %;

t – температури насіння гірчиці, °C.

Рівняння (1) – (12) адекватно описують експериментальні дані в означеному діапазоні зміни вологості зерна ДК.

Аналіз отриманих даних та побудованих поверхонь (рис. 1 – 2) показує нелінійний характер залежностей ТФХ від досліджуваних факторів, що свідчить про наявність істотного взаємовпливу розглянутих факторів та дозволяє також зробити висновок про однотипність залежностей коефіцієнтів теплопровідності від вологості і температури насіння, оскільки значення цих коефіцієнтів зменшуються при збільшенні значень факторів. Коефіцієнт теплопровідності (λ) для досліджуваних культур з підвищенням вологості зерна зростає. Значення температуропровідності (a) із зростанням вологості зерна зменшується, а тому зменшується швидкість вирівнювання температури. Вплив вологості та температури насіння гірчиці (на коефіцієнт температуропровідності має суперечливий характер – його поверхня відгуку являє собою гіперболічний параболоїд (типу «сідло»). Наприклад, коефіцієнт температуропровідності досягає свого максимального значення при найбільшому значенні вологості і мінімальній температури, а мінімального – при найменшій вологості та температурі.

Для зберігання насіння зернових та олійних ДК потрібно чітко дотримуватись технології післязбиральної обробки і зберігання. В умовах зростаючого споживання енергії, з одного боку, і дефіциту ене-



а) – питома теплоємність; б) – коефіцієнт температуропровідності; в) – коефіцієнт теплопровідності

Рис. 1 – Залежність теплофізичних характеристик сорго від вологості та температури зерна

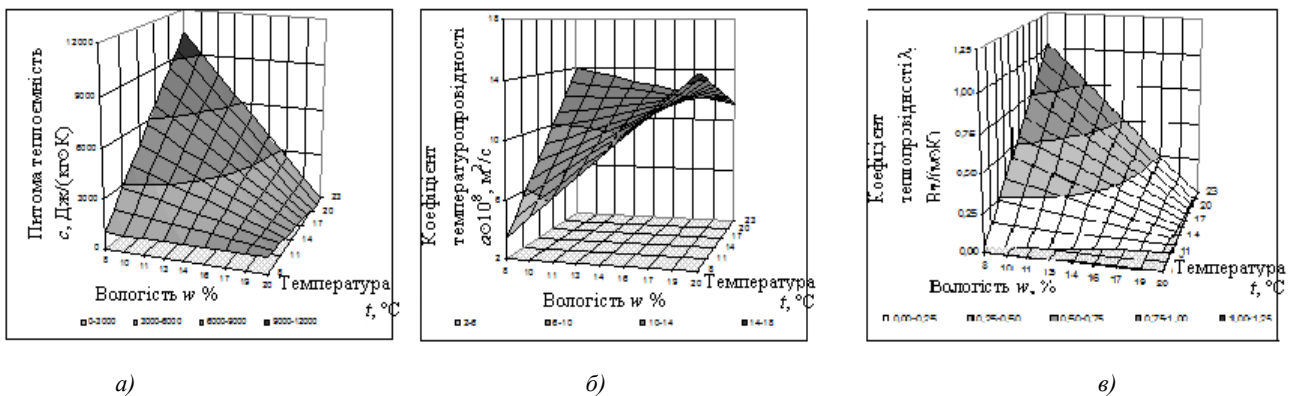

 а) питома теплоємність c ; б) коефіцієнт температуропровідності a ; в) коефіцієнт теплопровідності λ

Рис. 2 – Залежність ТФХ насіння гірчиці від її вологості та температури

ргетичних ресурсів, з іншого, усе більш гостро ставляться питання раціонального використання енергії у всіх процесах.

За останні роки запропоновані нові варіанти сушарних установок з використанням комбінованих методів енергопідводу, наприклад, мікрохвильової енергії. В даний час інтенсифікація технологічних процесів під дією мікрохвильового випромінювання застосовується в багатьох промислових процесах. Мікрохвильове обладнання стає необхідним технологічним компонентом великих рентабельних виробництв. Аналіз літературних джерел показав, що мікрохвильове сушіння ще залишається досить енерговитратний [11-16]. Однак її основна перевага – підведення енергії до всього обсягу матеріалу – можна використовувати на заключному етапі досушування продукту, коли волога і зона її випаровування знаходяться глибоко всередині продукту і конвективна

сушка не ефективні.

Для конвективного сушіння, режими і технологія мікрохвильового сушіння ДК практично відсутні. Тому у рамках вивчення теплообмінних процесів нами були визначені теплопровідні і теплоінерційні властивості насіння з попередньої обробкою в мікрохвильовому полі (МХ-полі) і без неї. При вивченні теплофізичних характеристик такого матеріалу важко врахувати усі його специфічні властивості. Умови дослідів і розрахунки теплофізичних характеристик ДК з обробкою в МХ-полі на прикладі насіння гірчиці наведені в табл. 1.

Після проведення математичної обробки результатів теплофізичних характеристик їх узагальнення множенням регресійним аналізом, статистичної оцінки отримані рівняння, які адекватно описують експериментальні дані в зазначеному діапазоні зміни вологості для гірчиці (з обробкою в МХ-полі):

Таблиця 1 – Вплив температури на теплофізичні характеристики гірчиці з обробкою в МХ-полі

Умови дослідів		Теплофізичні характеристики		
вологість насіння $w, \%$	температура насіння $\theta, ^\circ\text{C}$	питома теплоємність $c, \text{Дж}/(\text{кг}\cdot\text{K})$	коефіцієнт температуропровідності $a \cdot 10^{-9}, \text{м}^2/\text{с}$	коефіцієнт теплопровідності $\lambda, \text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{K})$
6,4	6,5	861	86,1	0,074
6,4	15,5	1003	76,9	0,077
6,6	30,0	1973	97,6	0,193
19,6	6,0	626	85,6	0,054
20,1	18,0	1707	80,3	0,137
20,0	29,0	1547	93,0	0,144



питома теплоємність

$$c = -2120,9 + 152,3 w + 606,54\theta - 27,46 w \cdot \theta, \text{Дж}/(\text{кг} \cdot \text{K}); \quad (13)$$

коефіцієнт температуропровідності

$$a \cdot 10^{-9} = 8,304 + 0,006 w + 0,068\theta, \text{ м}^2/\text{с}; \quad (14)$$

коефіцієнт теплопровідності

$$\lambda = -0,006 - 0,001 w + 0,0126\theta, \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{K}), \quad (15)$$

де w – вологість насіння, %; θ – температура насіння, °С.

Рівняння справедливі для інтервалу вологості гірчиці $w = 6,4 \dots 20,2$ % та їхньої температури $t = 6,0 \dots 30$ °С. Ці залежності при 5-процентному рівні значимості адекватно описують експериментальні дані.

Аналіз отриманих результатів в МХ-полі показує, що в досліджуваній області визначення досліджуваних факторів, найменше значення питомої теплоємності c спостерігається при $w = 9,6$ % і $\theta = 6,2$ °С. З підвищенням температури і вологості насіння значення питомої теплоємності планомірно зростає. Аналогічну залежність від вологості і температури гірчиці має і коефіцієнт теплопровідності λ . При обробки насіння гірчиці в МХ-полі її теплофізичні показники зменшуються.

Встановлені значення теплофізичних характеристик та їх залежність від вологості можуть бути використані при виборі раціональних режимів і розрахунках таких процесів як сушіння, активне вентилування та зберігання зернових і олійних дрібнонасінних культур, а також рівняння регресії можна використати при подальших дослідженнях, наприклад при прогнозуванні процесу самозігрівання.

В організації технології обробки зерна, прийнятого на зберігання, важливу роль відіграє активне вентилування зерна [1, 8]. Визначення режимів вентилування дрібнонасінних культур стає актуальним завданням післязбиральної обробки та подовження терміну їх зберігання.

Проведений аналіз патентних для літератури джерел, дозволив також визначити доцільність застосування штучного холоду при зберіганні зерна [17-19].

Необхідні для охолодження зерна витрати повітря визначають з урахуванням питомої теплоємності насіння та повітря, оскільки вона показує, скільки необхідно теплоти для зниження температури одиниці маси зерна на один градус [8].

Кількість теплоти Q_0 (кДж), яка повинна бути відведена у процесі активного вентилування зерна, можна визначити за формулою

$$Q_0 = m_z \cdot c_z \cdot (\theta_n - \theta_k), \quad (16)$$

де m_z – маса зерна, кг; c_z – питома теплоємність зерна, кДж/(кг К);

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

Ця відведена від зернової маси кількість теплоти повинна дорівнювати тій її кількості, яка буде поглинута повітрям, а саме

$$Q_n = m_n \cdot c_n (t_n - t_k), \quad (17)$$

де Q_n – теплота, поглинута повітрям, кДж;

m_n – маса повітря, кг, яку можна визначити за формулою

$$m_n = \rho V; \quad (18)$$

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

 V – об'єм повітря, м³/(год т); c_n – питома теплоємність повітря, кДж/(кг К);

t_n, t_k – температура повітря до і після вентилування, °С.

Різниця температур зерна ($\theta_n - \theta_k$) та повітря ($t_n - t_k$) можна прийняти однаковими. Оскільки $Q_0 = Q_n$, то прирівнявши праві частини рівнянь та провівши деякі перетворення, отримаємо вираз для визначення необхідної кількості (подачі) повітря, яке необхідне для охолодження зерна при заданій різниці його температур:

$$V = \frac{c_z m_z (\theta_n - \theta_k)}{c_n \rho (t_n - t_k)} = \frac{c_z}{c_n \rho} m_z. \quad (19)$$

Підставивши значення питомої теплоємності зерна при відомій початковій його вологості w_0 та повітря з відомими параметрами t , ϕ та ρ , визначимо необхідну кількість повітря, яку необхідно подати для охолодження 1 кг насіння до заданої температури θ_k . А знаючи масу насипу m_z , що вентилується, легко розрахувати загальну кількість повітря на охолодження всієї партії.

Зважаючи на нерівномірність розподілу повітря в шарах зерна прийнято, що для охолодження 1 т насіння до температури охолоджуючого повітря необхідно забезпечити подачу повітря 2000 м³/т [15], тоді тривалість вентилування можна визначити за формулою

$$\tau = \frac{2000}{V} \text{ год}. \quad (20)$$

Питомі витрати повітря для активного вентилування дрібнонасінних культур, які забезпечують їх охолодження до температур зовнішнього повітря, визначали з вологістю 8, 12 і 16 % - для олійних та 10, 16, 22 % для зернових при температурі повітря плюс 5, 15, 25 °С. Результати розрахунків наведено в табл. 2.

Виходячи з цього, тривалість вентилування для охолодження 1 т дрібнонасінних культур до температури охолоджуючого повітря або близької до температури зовнішнього повітря при вологості насіння 10...22 % буде становити 0,81...2,49 годин.

Для обґрунтування режимів активного вентилування, сушіння та зберігання дрібнонасінних культур важливе значення мають гігроскопічні властивості. Рівноважну вологість w_p визначали динамічним методом. Дослідження проводилися при температурі повітря 0, 20, 30 °С, відносної вологості зовнішнього повітря 20...90 %. Вологість для зернових ДК знаходилася в межах від 11,8 до 21,8 %; для олійних ДК 6,7...16,6 %.

Встановлено, що при для всіх культур рівноважна вологість при температурі повітря 0 °С має найбільше значення, найменше значення при температурі 30 °С. Дані свідчать, що з підвищенням вологості зерна рівноважна вологість зростає, також вона



Таблиця 2 – Питомі витрати повітря для активного вентиляції дрібнонасіньових культур
($n = 3, P \geq 0,95$)

Вологість, %	Температура повітря, °C		
	5	15	25
Гірчиця			
8	938	1002	1146
12	1409	1795	1961
16	2176	2331	2440
Ріпак			
8	913	1628	1726
12	1768	2243	2359
16	2233	2483	2527
Мак			
8	938	1002	1369
12	1188	1795	1961
16	2176	2331	2440
Сорго			
10	801	1611	1608
16	1109	1860	1982
22	2052	2060	2292

зростає зі збільшенням відносної вологості. При збільшенні відносної вологості зовнішнього середовища й підвищеній температурі, рівноважна вологість також збільшується.

Аналіз отриманих результатів показує, що досліджувані культури можуть зберігатися в діапазоні відносної вологості (50...85) % до досягнення рівноважної вологості. При відносній вологості 50...55 % в залежності від температури зберігання рівноважна вологість для олійних культур настає на 7...8-у добу, а при 75...80 % встановлюється незалежно від температури на 8...9-у добу. Найбільш активне поглинання вологи відбувається при температурі 25 °C і відносній вологості повітря 75...80 %.

При сушінні витрати палива і електроенергії досягають 50...55 % від повних затрат, при цьому на паливо доводиться до 90 % загальних енерговитрат. Незважаючи на те, що процеси сушіння і конструкції зерносушарок постійно вдосконалюються, можливості зниження витрат палива і електроенергії далеко не вичерпані.

Для вибору раціональних температурних режимів сушіння ДК, визначення продуктивності зерносушарок при їх сушінні, а також витрат теплоти і, відповідно, палива на сушіння, необхідно знати, крім основних властивостей зерна, і закономірності кінетики їх сушіння [20].

Нами було проведено дослідження кінетики сушіння в щільному шарі ДК в залежності від параметрів зерна і режимів сушіння. Конвективне сушіння насіння проводили на експериментальній стендовій установці, що моделює процес сушіння зерна в шахтних прямооточних сушарках. Для математичного опису процесу сушіння проведено двофакторний експеримент з центральною точкою.

За основні фактори, що впливають на кінетику процесу сушіння і якість дрібнонасіньових культур,

прийнято початкову вологість для олійних ДК $w_0 = 12,1...18,2$ % і температуру сушильного агента $t = (50...80)$ °C; для зернових ДК – початкову вологість $w_0 = 18,3...24,2$ % і температуру сушильного агента $t = 90...110$ °C.

Швидкість сушильного агента в усіх дослідках складала 0,6 м/с, товщина шару зерна 0,1 м, що відповідає умовам роботи шахтних зерносушарок, кінцева вологість для олійних культур $w = 7,0$ %, для зернових (сорго) $w_k = 14,0$ %.

Отримані експериментальні криві сушіння і нагрівання зерна ДК були апроксимовані рівняннями відповідно

$$w = \frac{w_0 + a\tau + b\tau^2}{1 + c\tau + d\tau^2}, \quad \theta = \theta_0 + \frac{\tau}{e + f\tau}, \quad (21)$$

де w, w_0 – поточний і початковий вологовміст зерна, %;

τ – тривалість сушіння, хв;

θ, θ_0 – поточна і початкова температура зерна, °C;

a, b, c, d, e, f – коефіцієнти, значення яких залежать від режимів обробки зерна ДК і визначаються методом найменших квадратів.

У проведених дослідженнях по досягненню кондиційної вологості ДК їх нагрівання не перевищувало 50 °C.

З метою зниження витрат палива і підвищення якості зерна при сушінні застосовують різні комбіновані способи. Тому для ДК (зерна сорго та насіння гірчиці, ріпаку, тощо) були встановлені кінетичні закономірності не лише при конвективному сушінні в щільному шарі, але й при комбінованому конвективно-мікрохвильовому осцилюючому сушінні. Мікрохвильова складова цього способу дозволяє підводити енергію до всього об'єму зерна, що можна доцільно використовувати на завершальному етапі його досу-

шування, коли волога і зона її випаровування знаходяться глибоко всередині зерна і конвективне сушіння мало ефективне. Крім того, одночасно з сушінням відбувається дезінфекція та знезараження зерна від шкідливих мікроорганізмів – бактерій, грибків та плісняви. Для мікрохвильового сушіння вже пропонують відповідні промислові зерносушарки (поки що невеликої продуктивності).

На підставі проведених досліджень отримані рівняння, що дозволяють прогнозувати процес сушіння ДК за різними значеннями вологості, товщини шару зерна і тривалості імпульсів підведення мікрохвильової енергії і продування зовнішнім повітрям. Показано, що збільшення тривалості подачі мікрохвильової енергії зменшує швидкість нагрівання зерна, що можна пояснити скороченням тривалості сушіння. Збільшення ж тривалості відлежування зерна з одночасним його продуванням повітрям також зменшує швидкість нагрівання зерна, що забезпечує збереження його якості [1, 21].

Одним із способів зниження витрат палива і підвищення якості просушеного зерна є також застосування двохетапного сушіння. При експериментальних дослідженнях було встановлено, обґрунтовано і рекомендовано для використання на підприємствах двостадійний спосіб сушіння зерна, схема якого наведена на рис. 3. Сутність цього способу сушіння полягає в тому, що зерно сушать на першому етапі до вологості, яка на 1,5...2,0 % перевищує кондиційну для конкретної культури. На другому етапі зерно після відлежування у бункері чи силосі з активним вентиляванням, його вологість і температуру поступово доводять зовнішнім повітрям до кондиційних значень. Комп'ютерне моделювання двостадійного сушіння дрібно насінневих зернових культур показало, що продуктивність сушарки зростає на 31,2 %, витрати палива зменшуються на 20,3 %, а тепловий к.к.д. сушарки підвищується на 19,9 %, істотно поліпшується якість зерна (за рахунок зниження на 3...5 % кількості битих і розтріснутих зерен).

При сушінні ДК слід враховувати особливості їх фізико-механічних властивостей, які різко відрізняються від інших зернових і олійних культур. Необхідно звернути увагу на те, що при їх сушінні в шахтних зерносушарках подачу сушильного агента і повітря слід зменшити приблизно на 30...35 %, щоб уникнути винесення насіння з шахти сушарки через

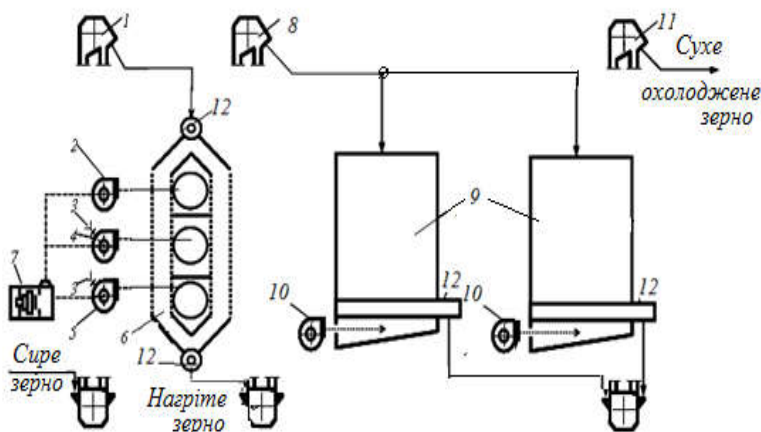
їх знижених швидкості витання.

У зв'язку з тим, що дрібнонасіненні культури через їх розміри мають більший аеродинамічний опір в порівнянні з іншими культурами, товщину шару насіння при активному вентиляванні необхідно зменшувати. Олійні культури можна вентилявати підігрітим повітрям (до 55 °С). Підвищення температури повітря прискорює процес сушіння, проте супроводжується зростанням нерівномірності знімання вологи по товщині шару з пересушування нижніх шарів і зволоженням верхніх шарів.

Відомо, що в насінні олійних культур міститься значна кількість рослинного жиру, в результаті чого насіння витримує вищий нагрів без погіршення якості, ніж білок або крохмаль. Однак є перешкоди для виходу назовні вологи, що випаровується, за рахунок наявності навколо ядра лушпиння і прошарку. При високій температурі сушильного агента і швидкому нагріванні ядра під лушпинням накопичується водяна пара, що може привести до її розтріскування. Чим вище вологість насіння олійних культур, тим нижче повинна бути температура сушильного агента.

Також труднощі в організації зберігання дрібнонасіневих культур обумовлені їх фізіологічними і біохімічними властивостями, зокрема процесами дихання. Відомо, що з підвищенням вологості і температури зерна інтенсивність дихання зростає [22]. У проведених нами дослідженнях показано, що при збільшенні вологості з 7 до 11 % інтенсивність дихання дрібнонасіневих культур підвищується в 4,9...16,5 рази, а при збільшенні температури від 5 до 25 °С в 1,1...1,6 рази. Наслідком такого зростання інтенсивності дихання є підвищений тепловиділення, яке може приводити до самозігрівання насіння і їх псування. При інтенсивному диханні збільшуються також природні втрати насіння через витрачання на дихання власних сухих речовин.

В умовах знижених температур інтенсивність дихання значно падає. Навіть в насінні з підвищеною вологістю при наявності вільної води не спостерігається різкої інтенсивності дихання, характерною для їх критичної вологості. Потрібно врахувати, що дія низьких температур на життєдіяльність зерна і інтенсивність його дихання істотно відрізняється від впливу підвищених температур. Знижені температури тільки тимчасово затримують життєдіяльні функції насіння. Дія підвищених температур на інтенсив-



- 1 – норія для сирого і вологого зерна;
2, 4, 5 – вентилятор; 3 – патрубков для підсмоктування зовнішнього повітря;
6 – сушильна зона; 7 – топка; 8 – норія для нагрітого зерна з вологістю, яка на 1,5...2,0 % перевищує кондиційну для конкретної культури;
9 – бункер для охолодження зерна; 10 – вентилятор для охолодження; 11 – норія для сухого та охолодженого зерна; 12 – конвеєр

Рис. 3 Технологічна схема двостадійного способу сушіння зерна ДК



ність дихання зерна і його життєві функції залежать від тривалості, протягом якої насіння піддаються цим температурам.

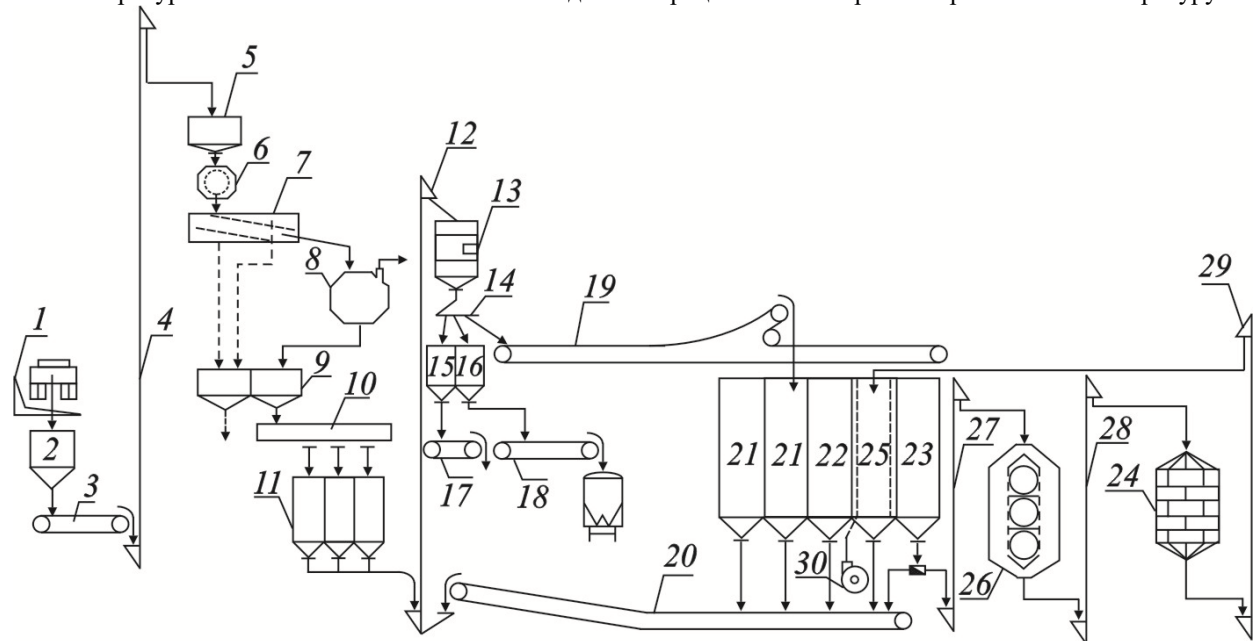
Завершальним етапом післязбиральної обробки на підприємствах є зберігання зерна в сховищах різних типів. Для тривалого зберігання дрібнонасіневої культури необхідно розміщувати в складах підлогового типу, що забезпечують хороший доступ повітря при порівняно невеликій висоті їх насипу. Для короткочасного зберігання можна використовувати склади силосного типу. Щоб уникнути псування насіння при зберіганні, сховища повинні бути обладнані системами активного вентилявання і термометрії.

В останній час для зберігання зерна отримали велике поширення металеві зерносховища, що мають ряд переваг перед традиційними залізобетонними [1, 23]. Однак, на відміну від залізобетонних силосів і типових складів, в них складно забезпечити якість насіння ДК при їх тривалому зберіганні. Причиною цього є ряд певних тепловологообмінних процесів, що відбуваються всередині металевих силосів. Через високу теплопровідність металевих стінок і даху силосів, коливання температури зерна в периферійних шарах викликають явища термовологопровідності, конвекційних потоків, міграції та подальшої конденсації вологи навіть в тому випадку, коли насіння, що закладене в силос, має безпечну і однорідну вологість.

Залежно від пори року та коливання атмосферних температур визначають в металевих силосах два

різних напрямки циркуляції повітря і переміщення вологи в насінневих масах. У міру поступового зниження температури навколишнього середовища прилеглі до стінок зовнішні і верхні шари насіння теж охолоджуються, а насіння в центрі зернової маси, через її погану теплопровідність, залишаються ще теплими. Повітря, що оточує прохолодні зовнішні шари зерна, спускається уздовж стінок силосу вниз і доходить до теплового зерна в центрі, потім знову піднімається вгору. Коли тепле повітря доходить до прохолодного насіння нагорі силосу, вологи конденсується і на поверхні утворюється кірка. Насіння в ній стають вологими, слизькими або липкими через розвиток цвілі. У морозну погоду насіння можуть і змерзатися. Ці явища відбуваються наприкінці осені або на початку зими. Навесні холодне повітря переміщається в протилежному напрямку від центральної частини до днища силосу і далі до поверхні металевих стін і до даху. Так виникають ділянки вологих ДК, які починають швидко самозігріватися і псуватися. Тому необхідний чіткий контроль за зерновою масою, що зберігається, так як біологічна фаза самозігрівання перейде в хімічну, а це може привести до самозаймання і до вибуху, що нерідко і відбувається. Зрозуміло, що контролювати переміщення вологи в силосах прямими методами неможливо. Тому контроль стану зерна проводять побічно по його температурі за допомогою автоматизованої термометрії.

Для запобігання вказаних негативних явищ міграції вологи потрібно вирівнювати температуру



1 – автомобілерозвантажувач; 2 – приймальний бункер; 3 – приймальний стрічковий конвеєр; 4 – норія приймального пристрою; 5 – надсепараторний бункер; 6 – сепаратор попереднього очищення; 7 – сепаратор основного очищення; 8 – пневмосепаратор; 9 – підсепараторний бункер; 10 – приймальний ланцюговий конвеєр; 11 – приймальні накопичувальні бункери; 12 – основна норія елеватора; 13 – бункерні ваги; 14 – розподільчий пристрій; 15, 16 – відпускні накопичувальні бункери; 17, 18 – відпускні конвеєри; 19 – надсилосний конвеєр; 20 – підсилосний конвеєр; 21 – силоси; 22 – післясушильний бункер (силос); 23 – досушильний бункер (силос) з системою активного вентилявання; 24 – бункер (силос) для відлежування зерна після сушіння до охолодження (тепломасообмінник); 25 – силос з системою активного вентилявання; 26 – зерносушарка; 27 – норія для сирого зерна; 28 – норія для частково просушеного зерна; 29 – норія для просушеного зерна; 30 – вентилятор

Рис. 4 Удосконалена схема післязбиральної обробки дрібнонасіневої культури на зернозаготівельних підприємствах



по всій масі насіння за допомогою систем активного вентилявання.

За результатами проведених досліджень була удосконалена схема технологічного процесу заготівельного елеватора (рис. 4), яка передбачає установку сепараторів попереднього очищення. В технологічному процесі післязбиральної обробки бажано проводити фракціонування та зберігання окремо насіння з різним вмістом дрібної фракції.

Встановлення приймальних накопичувальних бункерів в лініях прийому зерна дає можливість відокремити внутрішню роботу елеватора від зовнішньої і підвищити ефективність використання обладнання, а також ефективність формування партії зерна різного цільового призначення. Наявність силосів, оснащених системою активного вентилявання, дозволить реалізувати енергетично ефективну схему двостадійного способу сушіння зерна та покращити його якість.

Для конвективного сушіння рекомендується використовувати вітчизняні шахтні зерносушарки з клиноподібними жалюзійними коробами (наприклад, К4-УС-2А, А1-ДСП-50), а також колонкові зерносушарки. Охолодження можна проводити у вентиляваних металевих силосах з плоским або конусоподібним дном, або у складах підлогового зберігання, обладнаних системою активного вентилявання.

Дана технологічна схема післязбиральної обробки дрібнонасінневих культур на заготівельних підприємствах дозволить зменшити поточні витрати за рахунок економії енергоресурсів і збільшити прибуток підприємства.

Висновки

Встановлено закономірності зміни теплофізичних характеристик насіння від вологості і температури, запропоновані формули для їх розрахунку.

Підтверджено, що збереження насінневих та продовольчих властивостей ДК при їх сушінні залежить від температури нагріву, швидкості нагріву, часу обробки при максимальній температурі. Температура нагріву насіння залежить від способу обробки. У щільному малорухливому шарі зерносушарок спостерігається значна нерівномірність нагрівання насіння, в зв'язку з цим середнє значення максимальної допустимої температури не повинно перевищувати 50 °С.

Встановлено, що для суттєвого підвищення ефективності роботи ліній сушіння зерна необхідно застосувати двостадійний спосіб сушіння, для реалізації якого необхідно встановлювати 2 післясушильні бункери (силоси) з системою активного вентилявання. Це дозволить на 20...30 % підвищити продуктивність ліній сушіння, знизити на 15...25 % витрати теплової енергії та істотно поліпшити охолодження зерна.

Удосконалено технологічну схему післязбиральної обробки насіння дрібнонасінневих і зерна на заготівельних підприємствах, яка дозволяє підвищити ефективність використання основного обладнання підприємств, розширити їх функції і дозволяє формувати партії зерна різного цільового призначення.

ЛІТЕРАТУРА

1. Станкевич, Г.М. Обробка та зберігання дрібнонасінневих олійних культур: монографія / Г.М. Станкевич, Л.К. Овсянникова, О.Г. Соколовська. – Одеса: Вид-во КП «Одеська міська друкарня», 2016. – 128 с.
2. Щербаков, В.Г. Биохимия и товароведение масличного сырья / В.Г. Щербаков, В.Г. Лобанов. – М.: Колос, 2003. – 360 с.
3. Зверев, С.В. Физические свойства зерна и продуктов его переработки: підруч. / С.В. Зверев, Н.С. Зверева. – М.: ДеЛи прінт, 2007. – 176 с.
4. Овсянникова, Л.К. Фізико-технологічні властивості сучасних сортів дрібнонасінневих культур / Л.К. Овсянникова // «Зернові продукти і комбікорми», Volume 17, Issue 1 |2017. №65/Березень/March/ С. 9-15.
5. Овсянникова, Л.К. Зростання виробництва дрібнонасінневих культур потребує вивчення фізико-механічних і технологічних властивостей для удосконалення їх післязбиральної обробки / Л.К. Овсянникова, С.С. Орлова, Л.О. Валевська // *Sciences of Europe (Praha, Czech Republic) Vol. 1, №17 (17) (2017)*, С. 89-94.
6. Technology cleaning the millet / L.K. Ovsyannikova, L.A. Valevskaya, J.V. Grischuk and oth. // *Proceedings of the International Scientific Conference «Topical Issues of Science and Education» July 17, 2017, Warsaw, Poland. Vol. 1. S. 16-18.*
7. Станкевич, Г.М. Дослідження аеродинамічних властивостей та активного вентилявання дрібнонасінневих культур / Г.М. Станкевич, Л.К. Овсянникова, О.Г. Соколовська // *Вісник ХНТУСГ ім. Петра Василенка «Механізація с/г виробництва та переробки с/г продукції»*. – Харків, 2010. – Вип. 103. – С. 409.
8. Активне вентилявання та сушіння зерна / Гапонюк О.І., Остапчук М.В., Станкевич Г.М. та ін. – Одеса: ВМВ, 2014. – 326 с.
9. Дослідження процесу сушіння зернових дрібнонасінневих культур / Г.М. Станкевич, Л.К. Овсянникова, Н.О. Валентюк та ін. // «Проблеми енергоефективності та якості в процесах сушіння харчової сировини»: Всеукр. наук.-практ. конф., присвячена 50-річчю заснування Харківського державного університету харчування та торгівлі, 01-02 червня 2017 р.: [тези] / редкол.: О.І. Черевко [та ін.]. Х.: ХДУХТ, 2017. С. 71-72.
10. Остапчук, М.В. Математичне моделювання на ЕОМ: підруч. / М.В. Остапчук, Г.М. Станкевич. – Одеса: Друк, 2006. – 313 с.
11. Микроволновые технологии в АПК [Текст] / В.П. Тучный, Л.Г. Калинин, Е.А. Левченко, Н.Д. Киндрук // *Хранение и переработка зерна*. – 2002. – № 12. – С. 24.
12. Альтернативні енергоресурси та енергозберігаючі технології // *Пропозиція*. – 2006. – № 6. – С. 20-21.13.
13. Тучный, В.П. Настоящее и будущее микроволновых технологий / В.П. Тучный, В.М. Иванов, Е.А. Левченко и др. // *Хранение и переработки зерна*. – 2006. – №6(84). – С. 20.
14. Зерносушильна установка «АСТ-3» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <<http://www.actagro.ru/index.php?page=ruproductgcrain>>.



15. Калінін, Л.Г. Експлуатаційні показники мікрохвильового пристрою "Мікростім-2" для передпосівної обробки насіння / Л.Г. Калінін, В.В. Малиновський, С.С. Орлова // *Наук. пр. / ОДАХТ.* – Одеса, 2004. – Вип. 27. – С. 265-268.
16. Рогов, И.А. Сверхвысокочастотный нагрев пищевых продуктов / И.А. Рогов, С.В. Некрутман – М.: Агропримиздат, 1986. – 351 с.
17. Дмитрук, Е.А. Использование искусственного холода при хранении зерна / Е.А. Дмитрук, Б.Н. Петруня // *Хранение и переработка зерна.* – 2000. – № 10. – С. 27-28.
18. Перспективы применения холода для хранения зерна / С.Н. Кудашев, Г.Н. Станкевич, Л.К. Овсянникова, А.С. Титлов // *Наук. пр. / ОНАХТ.* – Одеса, 2007. – Вип. 30. – Т. 2. – С. 128-133.
19. Тітлов, О.С. Розробка схем холодильної обробки зерна / О.С. Тітлов, Г.М. Станкевич, Л.К. Овсянникова // *Інноваційні енерго- й ресурсозберігаючі технології та обладнання в хлібопекарській, кондитерській, макаронній, харчоконцентратній і зернопереробній галузях харчової промисловості: тези Міжнар. наук. практ. конф.* – К.: НУХТ, 2008. – С. 34-35.
20. Станкевич, Г.Н. Анализ энергосберегающих технологий сушки зерна с использованием моделей статистики процесса сушки / Г.Н. Станкевич // *Промышленная теплотехника.* Т. 25. №4. 2003. С. 202-204.
21. Трисвятский, Л.А. Хранение зерна / Л.А. Трисвятский. – М.: Агропромиздат, 1986. – 400 с.
22. Исследование кинетики конвективно-микроволновой сушки зерновых культур в неподвижном слое / Т.Ю. Дементьева, Г.Н. Станкевич, Л.К. Овсянникова, Е.Г. Соколовская // *Международ. научно-техн. семинар «Актуальные проблемы сушки и термовлажностной обработки материалов» [Текст]: материалы семинара; Фед. агентство по образованию, ГОУ ВПО «ВГЛТА».* – Воронеж, 2010. – С. 286-295.
23. Станкевич, Г. Туні сховищ // *The Ukrainian Farmer.* – 2010. – № 5. – С. 11-15.

L.K. OVSYANNIKOVA, candidate of techn. science, associate professor
Odessa National Academy of Food Technologies, Odessa
**FEATURES OF TECHNOLOGY POSTHARVEST TREATMENT
OF OF SMALL-SEED CROPS**

Abstract

Manufacturers of the grain-processing industry began to pay more attention to small-seed crops such as sorghum, amaranth, rape, mustard, linseed, poppy and others. Since the production of small-seed crops is increasing, large-scale studies are needed to determine the effective regimes for post-harvest treatment and storage.

The article presents the results of theoretical and experimental studies of heat and mass transfer processes. The obtained values of the thermophysical characteristics, depending on the grain moisture content, and the proposed formulas for their calculation, which can be used in the choice of rational drying, active ventilation and storage of grain and oil seed crops. Specific air flow rates for active ventilation of small-flowered crops are determined. An important stage in the process of post-harvesting of seeds is drying - a complex and energy-consuming operation. Timely and properly dried drying not only increases its stability during storage, but also improves the quality of the seeds, therefore the study of the kinetics of convective drying of small-seeded cultures, depending on the grain parameters and drying regimes. We have been substantiated and recommended for use in enterprises a two-stage method of drying grain. With the proposed drying method, the productivity of grain dryers is increased by 20...30 %, fuel consumption decreases by 15...25 %, and the quality of the grain is significantly improved (due to a decrease of 3...5 % of the number of beaten and cracked grains).

Due to the fact that small-flowered crops due to their size have a greater aerodynamic resistance compared to other crops, the thickness of the layer of seed in active ventilation should be reduced. Fine-grain crops, especially oilseeds, can be ventilated with warmed air (up to 55 °C). The increase in the air temperature accelerates the drying process, but is accompanied by an increase in the unevenness of removing moisture over the thickness of the layer with the overdrying of the lower layers and the moisture of the upper layers.

For safe storage of crops, it is necessary to provide a number of conditions: to produce air-to-air or aerodynamic separators to keep the content of impurities to a level not more than 2 %; by drying or active ventilation, reduce the moisture content of the seeds to 6...8 %, by means of active ventilation, reduce the temperature of the seeds to 5...10 °C. These conditions will ensure the long-term preservation of the quality of small-seeded crops before shipment or processing. In addition, the intensity of respiration of grain, depending on its humidity and temperature, is investigated. It was shown that with an increase in humidity from 7 to 11 %, the intensity of respiration of small-seed cultures increases by 4.9...16.5 times, and with an increase in temperature from 5 to 25 °C - in 1.1...1.6 times. The consequence of such an increase in the intensity of breathing is the increased heat dissipation, which can lead to self-heating seeds and their deterioration. Intensive breathing also increases the natural loss of seeds when stored due to spending on the breathing of its own dry substances. For long-term storage of small-flowered crops must be placed in the warehouses of the floor type, which provide good access to air at a relatively small height of the embankment of small-flowered crops. For short-term storage, silos can be used. Based on the results of the conducted research, the scheme of the technological process of the grain-harvesting enterprise was improved, which allows to increase the efficiency of the use of the main equipment of the enterprise, expand their functions and allows the formation of batches of grain of various intended purposes.

Key words: small-seed cultures, purification, thermophysical characteristics, drying, active ventilation, post-harvest treatment.



REFERENCES

1. Stankevych, H.M. *Obrobka ta zberihannya dribnonasinnyevykh oliynykh kul tur: monohrafiya* / H.M. Stankevych, L.K. Ovsyannikova, O.H. Sokolovska. – Odesa: Vid-vo KP «Odeska miska drukarnya», 2016. – 128 s.
2. Shcherbakov, V.H. *Byokhymyya y tovarovedenye maslychnoho syr ya* / V.H. Shcherbakov, V.H. Lobanov. – M.: Kolos, 2003. – 360 s.
3. Zverev, S.V. *Fyzicheskye svoystva zerna y produktov eho pererabotky: pidruch.* / S.V. Zverev, N.S. Zvereva – M.: DeLy pr3nt, 2007. – 176 s.
4. Ovsyannikova, L.K. *Fizyko-tekhnologichni vlastyvoli suchasnykh sortiv dribnonasinnyevykh kul tur* / L.K. Ovsyannikova // «Zernovi produkty i kombikormy», Volume 17, Issue 1 | 2017. №65/Berezen /March/ C. 9-15.
5. Ovsyannikova, L.K. *Zrostannya vyrobnytstva dribnonasinnyevykh kul tur potrebuye vyvchennya fizyko-mekhanichnykh i tekhnologichnykh vlastyvolostey dlya udoskonallynnya yikh pislyazbyral noyi obrobky* / L.K. Ovsyannikova, S.S. Orlova, L.O. Valevska // *Sciences of Europe (Praha, Czech Republic) Vol. 1, №17 (17) (2017)*, S. 89-94.
6. *Technology cleaning the millet* / L.K. Ovsyannikova, L.A. Valevskaya, J.V. Grischuk and oth. // *Proceedings of the International Scientific Conference «Topical Issues of Science and Education» July 17, 2017, Warsaw, Poland.* Vol. 1. S. 16-18.
7. Stankevych, H.M. *Doslidzhennya aerodynamichnykh vlastyvolostey ta aktyvnoho ventilyuvannya dribnonasinnyevykh kul tur* / H.M. Stankevych, L.K. Ovsyannikova, O.H. Sokolovska // *Visnyk KHNTUS-H im. Petra Vasylenka «Mekhanizatsiya s/h vyrobnytstva ta pererobky s/h produktsiyi».* – Kharkiv, 2010. – Vyp. 103. – S. 409.
8. *Aktyvne ventilyuvannya ta sushynnya zerna* / Haponyuk O.I., Ostapchuk M.V., Stankevych H.M. ta in. – Odesa: VMV, 2014. – 326 s.
9. *Doslidzhennya protsesu sushynnya zernovykh dribnonasinnyevykh kul tur* / H.M. Stankevych, L.K. Ovsyannikova, N.O. Valentyuk ta in. // «Problemy enerhoefektyvnosti ta yakosti v protsesakh sushynnya kharchovoyi syrovyny»: *Vseukr. nauk.-prakt. konf., prysvyachena 50-richchyu zasnuvannya Kharkivskoho derzhavnoho universytetu kharchuvannya ta torhivli, 01-02 chervnya 2017 r.: [tezy] / redkol.: O.I. Cherevko [ta in.].* KH.: KHDUKHT, 2017. S. 71-72.
10. Ostapchuk, M.V. *Matematychni modelyuvannya na EOM: pidruch.* / M.V. Ostapchuk, H.M. Stankevych. – Odesa: Druk, 2006. – 313 s.
11. *Mykrovolnovye tekhnolohyy v APK* / V.P. Tuchnyy, L.H. Kalynyn, E.A. Levchenko, N.D. Kyndruk // *Khrenenye y pererabotka zerna.* – 2002. – № 12. – S. 24.
12. *Al ternatyvni enerhoesursy ta enerhozberihayuchi tekhnolohiyi* // *Propozytsiya.* – 2006. – № 6. – S. 20-21.
13. Tuchnyy, V.P. *Nastoyashchee y budushche mykrovolnovykh tekhnolohyy* / V.P. Tuchnyy, V.M. Yvanov, E.A. Levchenko y dr. // *Khrenenye y pererabotka zerna.* – 2006. – №6(84). – C. 20.
14. *Zernosushyl na ustanovka «AST-3» [Elektronnyy resurs].* – Rezhym dostupu: <<http://www.actagro.ru/index.php?page=ruproductgcraïn>>.
15. Kalinin, L.H. *Ekspluatatsiyi pokaznyky mikrokhyvl ovoho prystroyu «Mikrostim-2» dlya peredposivnoyi obrobky nasynnya* / L.H. Kalinin, V.V. Malynovskyy, S.S. Orlova // *Nauk. pr. / ODAKHT.* – Odesa, 2004. – Vip. 27. – S. 265-268.
16. Rohov, Y.A. *Sverkhvysokochastotnyy nahrev pyshchevykh produktov* / Y.A. Rohov, S.V. Nekrutman – M.: Ahropromyzdat, 1986. – 351 s.
17. Dmytruk, E.A. *Yspolzovanye yskusstvennoho kholoda pry khrenenyy zerna* / E.A. Dmytruk, B.N. Petrunya // *Khrenenye y pererabotka zerna.* – 2000. – № 10. – S. 27-28.
18. *Perspektyvy pryimenenyya kholoda dlya khrenenyya zerna* / S.N. Kudashev, H.N. Stankevych, L.K. Ovsyannikova, A.S. Tytlov // *Nauk. pr. / ONAKHT.* – Odesa, 2007. – Vip. 30. – Vol. 2. – S. 128-133.
19. Titlov, O.S. *Rozrobka skhem kholodyl noyi obrobky zerna* / O.S. Titlov, H.M. Stankevych, L.K. Ovsyannikova // *Innovatsiyi enerho- y resursozberihayuchi tekhnolohiyi ta obladnannya v khlibopekarskiy, kondyterskiy, makaronniy, kharchokontsentratniy i zernopererobniy haluzyakh kharchovoyi promyslovosti: tezy Mizhnar. nauk. prakt. konf.* – K.: NUKHT, 2008. – S. 34-35.
20. Stankevych, H.N. *Analiz énerhosberehayushchykh tekhnolohyy sushky zerna s yspolzovanyem modeley statyky protsesa sushky* / H.N. Stankevych // *Promyshlennaya teplotekhnika.* Vol. 25. №4. 2003. S. 202-204.
21. Trysyyat-sky, L.A. *Khrenenye zerna* / L.A. Trysyyat-sky. – M.: Ahropromyzdat, 1986. – 400 s.
22. *Yssledovanye kynytyky konvektyvno-mykrovolnovoy sushky zernovykh kul tur v nepodvyznom sloe* / T.YU. Dementeva, H.N. Stankevych, L.K. Ovsyannikova, E.H. Sokolovskaya // *Mezhdunar. nauchno-tekhn. semynar «Aktual nye problemy sushky y termovlazhnostnoy obrabotky materyalov»: materyaly semynara; Fed. ahentstvo po obrazovanyu, HOU VPO «VHLTA».* – Voronezh, 2010. – S. 286-295.
23. Stankevych, H. *Typy skhovysch* // *The Ukrainian Farmer.* – 2010. – № 5. – S. 11-15.

Надійшла 19.08.2017. До друку 28.08.2017

Адреса для переписки:

вул. Канатна, 112, м. Одеса, 65039

