



УДК: 664.723.047

DOI: 10.37128/2520-6168-2020-2-15

**ЕНЕРГОЕФЕКТИВНА ТЕХНОЛОГІЯ СУШІННЯ ТА ЗБЕРІГАННЯ НАСІННЯ
ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ТЕПЛОВИХ НАСОСІВ**

Пазюк Вадим Михайлович, д.т.н., доцент, провідний науковий співробітник
Інститут технічної теплофізики НАН України

Paziuk Vadym Michaylovich, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Leading Research
Institute of Technical Thermophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine

Енергоефективність процесу сушіння на сьогоднішній день є основним параметром, що впливає на вибір режиму сушіння. Насіннєвий матеріал вимагає більш ретельного підбору технології та обладнання, що пов'язано з якісними характеристиками. Насіннєвий матеріал для збереження високої схожості сушать при низькотемпературних режимах, робота зерносушарки на високих температурах істотно знижує якість та вимагає розробки особливої технології виробництва та збереження насіння зернових культур.

В статті проведено огляд підвищення енергоефективності обладнання для сушіння насіння зернових культур. Традиційні технології сушіння насіння надто витратні і значно збільшують собівартість. Розроблені енергоефективні технології більш направлені на сушіння продовольчого зерна із проведенням процесу на високій температурі, що дозволяє використовувати високий температурний потенціал відпрацьованого теплоносія на виході з сушарки, яку можна утилізувати і направляти повторно для нагрівання сушильного агента на вхід в сушарку.

При сушінні насіння зернових культур необхідно проводити процес при низьких температурах, що знижує ефективність застосування температурного потенціалу відпрацьованого теплоносія. Тому для підвищення енергоефективності процесу сушіння і технології запропоновано використовувати теплові насоси, що забезпечують якість насіннєвого матеріалу.

Також в статті проведений аналіз втрат теплоти та рекомендовані заходи із зниження втрат в процесі сушіння, в яких передбачено використання теплонасосних установок.

Енергоефективна технологія сушіння та зберігання насіння зернових культур передбачає операції просіювання, сушіння, зберігання, розділення на фракції, протравлювання, пакування в мішки. Для насіннєвого зерна розроблена 5-ти зонна зерносушарка із ступеневими режимами сушіння з використанням теплового насоса та двигуна-генератора.

Порівняння енергоефективності різних сушильних установок показало, що запропоновані технічні рішення перевірені розрахунками і витрати теплоти значно нижчі за аналоги і становлять 3024 кДж/кг вип.. вологи.

Ключові слова: насіння, сушіння, обладнання, технологія, енергоефективність.

Ф. 2. Таб. 2. Рис. 2. Літ. 7

1. Постановка проблеми

Необхідність вдосконалення технології та технологічного обладнання напряму пов'язано з енергетичними витратами на процес. Особливо це відноситься до сушіння термолабільних матеріалів, таких як зерно, що потрібно швидко висушити.

Великі енергетичні витрати на процес сушіння пов'язано з конструкцією сушильного обладнання, яке потрібно вдосконалювати. Разом з тим потрібно, визначити необхідні технологічні режими, які дозволяють прискорити процес без погіршення якості матеріалу і збільшити продуктивність установки.

Тому є необхідність проведення аналізу питомих витрат теплоти в існуючих зерносушарках і заходи, що можуть суттєво вплинути на зменшення витрат в створенні нової конструкції.

Особливість даної розробленої технологічної схеми полягає у застосуванні теплонасосних технологій, що автономно працює від двигуна-генератора і не вимагає підведення комунікацій: електромережи та газопроводу і може додатково виробляти електричну та теплову енергію.

Актуальність роботи пов'язано з тим, що дані технології, при сушінні в шахтній зерносушарці із тепловим насосом, можуть забезпечувати зміну технологічних режимів від діапазоні температур від



50 до 80°C при сушінні насіннєвого зерна, і можливість підвищення температури до 120°C при сушінні продовольчого зерна [1].

2. Мета дослідження

Метою роботи є створення сучасних енергоефективних технологій сушіння зернових культур із застосуванням теплонасосних технологій.

Для досягнення мети були поставлені завдання:

- провести аналіз питомих витрат теплоти на процес сушіння зернових культур;
- визначити перспективні, енергоощадні технології сушіння;
- розробити схему приймання та зберігання зернових культур із застосування теплових насосів.

3. Аналіз останніх досліджень та публікацій

На основі проведених літературних досліджень та результатів експерименту проводимо порівняння ефективності технологій сушіння насіння зернових культур із визначення витрат теплоти на кг випареної вологи, переваги і недоліки зазначених технологій (табл. 1) [2 -5].

В табл. 1 виділені основні технології, що розділені на 4 групи за енергоефективністю: сушіння на традиційних видах палива, активне вентильовання, енергозберігаючі технології сушіння і власні дослідження із тепловими насосами.

Таблиця 1.

Ефективність технологій сушіння насіння зернових культур [2 - 7]

№	Технологія	Питомі витрати теплоти, кДж/кг	Переваги	Недоліки
1	Сушіння на традиційних видах палива	5000 - 11000	Високе знімання вологи, не потребує додаткового обладнання	Великі енергетичні витрати, зниження якості при порушенні технології
2	Активне вентильовання	2500 - 3000	Енергозбереження, висока якість насіння	Тривалість процесу, невелике знімання вологи
3	Енергозберігаючі технології сушіння	3244 - 4800	Енергозбереження, висока якість продукції	Потрібні додаткові капітальні вкладення та введення нового обладнання
4	Сушіння із застосування теплових насосів (власні дослідження) [6]	3000 - 3800	Низькі енергетичні витрати, висока якість насіння, зниження собівартості	Необхідно розігрів на початку процесу та додаткові капітальні вкладення

Сушіння на традиційних видах палива мають високі показники за витратами теплоти та зниження якості зернових культур, що не допустимо.

Активне вентильовання за низьких витрат енергії значно збільшує тривалість сушіння за рахунок тривалого знімання вологи, що також негативно впливає на якісні характеристики матеріалу.

Енергоефективні технології досить ефективні і витрати теплоти значно нижчі за сушіння на традиційних видах палива за рахунок рекуперації теплоти відпрацьованих газів із зерносушарки і направлення їх повторно на нагрів теплоносія. Дана технологія передбачає встановлення додаткового обладнання.

Витрати теплоти при сушінні зернових культур із застосування теплових насосів, показали витрати теплоти, нижчі за енергоефективні технології на 5-13%, що підтверджена власними дослідженнями. Відмінність від 3 групи полягає у використанні низькотемпературних джерел енергії доквілля або енергію відпрацьованого теплоносія через цикл теплового насосу.

Питомі втрати теплоти $\sum Q$ (кДж/кг) в зерносушарках для сушіння насіння зернових культур можна визначити за формулою (1) теплового балансу [2]:

$$\sum Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6 \quad (1)$$

де Q_1 – втрати теплоти на випаровування вологи, кДж/кг;

Q_2 – втрати теплоти на нагрівання насіння, кДж/кг;

Q_3 – втрати теплоти на нагрівання транспортних засобів, кДж/кг;

Q_4 – втрати теплоти з відпрацьованим теплоносієм, кДж/кг;



Q_5 – втрати теплоти від корпусу зерносушарки, кДж/кг;

Q_6 – втрати теплоти внаслідок неповного згоряння палива, кДж/кг.

Втрати теплоти на сушіння зернових культур у відсотках представлена у таблиці 2, найбільші втрати теплоти відбувається від випаровування вологи з матеріалу і складають 53,2%.

Таблиця 2

Втрати теплоти на сушіння зернових культур в зерносушарці ДСП -32от [2]

№ п/п	Втрати теплоти	Формула	Втрати теплоти в зерносушарках ДСП -32от	
			кДж/кг	%
1	На випаровування вологи	$Q_1 = \omega(r + \Delta r)$	2782,5	53,2
2	На нагрівання насіння	$Q_2 = G_3 c_3 (\theta_3 - \theta_0)$	787,5	15,0
3	На нагрівання транспортних засобів	$Q_3 = G_T c_3 (\theta_2' - \theta_2'')$		
4	З відпрацьованим теплоносієм	$Q_4 = L (H_2 - H_0)$	1265,3	23,9
5	Від корпусу зерносушарки	$Q_5 = \Sigma F k 3,6 (t_{cp} - t_0)$	362,2	6,9
6	Від неповного згоряння палива	$Q_6 = B Q_H^p (1 - \eta_T) - Q_{вт}$	52,5	1,0
7	Загальні втрати теплоти	$\Sigma Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6$	5240	100

де: r – скрита теплота пароутворення води при температурі зерна θ , кДж/кг

Δr – питома теплота пароутворення, що затрачується на опір масопереносу при сушінні зерна;

G_3 – продуктивність сушарки, кг/год;

c_3, θ_3 – відповідно питома теплоємність (кДж/кг К) і температура зерна (°C) на виході після зерносушарки;

G_T – продуктивність транспортеру, кг/год;

θ_2', θ_2'' – температура зерна відповідно до і після транспортування, °C;

L – витрата сушильного агента, кг/год;

H_2, H_0 – ентальпія відпрацьованого сушильного агента та зовнішнього повітря, кДж/кг;

ΣF – сума площ нагрітих поверхонь, через які відбуваються втрати теплоти в навколишнє середовище, м²;

k – коефіцієнт теплопередачі крізь стінки зерносушарки, Вт/(м² К);

t_{cp} – середня температура в зерносушарці, °C;

t_0 – температура навколишнього середовища, °C;

B – витрата палива, кг/год;

Q_H^p – нижча теплота спалювання палива, кДж/кг;

η_T – коефіцієнт корисної дії топки;

$Q_{вт}$ – величина втрат теплоти в навколишнє середовище через підігріті поверхні топки, кДж/год.

Для підвищення енергоефективності процесу сушіння зернових культур, розроблені заходи із зниження витрат теплоти в зерносушарці за представленими даними про втрати теплоти представлені в табл. 2:

1. Заходи із зниження втрат теплоти на випаровування вологи:**1.1. Вдосконалення технології сушіння зерна:**

- вибір і застосування найбільш оптимального поєднання технологічних режимів сушіння;
- змішування насіння різної вологості і температури;
- короткочасне нагрівання насіння рециркуляційним зерном;
- подачу в зону сушіння попередньо нагрітого зерна від сушильного агента;
- відлежування багатокомпонентної за вологістю та температури зерна;
- проведення процесу сушіння при постійній температурі зерна;
- використання сушильного агента з максимально можливими значеннями температури та швидкості;
- ефективне охолодження насіння до рівноважної вологості.

1.2. Автоматизація процесу сушіння: організація контролю температури, вологості, швидкості сушильного агента та насіння для збереження якісних характеристик зерна.

**1.3. Вдосконалення конструкцій зерносушарок:**

- рівномірне розподілення сушильного агенту по перерізу шахти і по довжині коробів;
- безперервний завантаження та випуск висушеного зерна;
- застосування пристроїв для перемішування в щільному нерухомому шарі;
- впровадження теплонасосних технологій для зневоднення повітря та сушильного агенту.

2. Заходи із зниження втрат теплоти на нагрівання зерна:**2.1. Вдосконалення процесу на нагрівання та охолодження зерна:**

- застосування проміжного нагрівання та охолодження зерна;
- охолодження до температури навколишнього середовища;
- охолодження зерна за допомогою теплонасосних установок.

2.2. Створення конструкцій нагрівача та охолоджувача на основі теплового насосу:

- створення конструкції безперервної дії, що дозволить регулювати швидкість нагрівання та охолодження повітряного потоку в широкому діапазоні;
- зведення до мінімуму нерівномірності нагрівання та охолодження шарів зерна.

3. Заходи із зниження втрат теплоти з відпрацьованим теплоносієм:**3.1. Повторне використання теплоти відпрацьованого теплоносія:**

- використання теплонасосного циклу для зниження вологи високотемпературного відпрацьованого теплоносія і направлення їх для попереднього нагрівання зерна;

- змішування частини відпрацьованого теплоносія і повітря з топковими газами;
- утилізація (рекуперація) теплоти відпрацьованого теплоносія.

3.2. Вдосконалення конструкцій зерносушарок:

- використання раціональної схеми підведення теплоносія до зерна;
- усунення нерівномірності нагрівання та сушіння зерна;
- застосування теплових насосів.

3.3. Автоматизація процесу підтримання оптимальної витрати теплоносія і повітря.**4. Заходи із зниження втрат теплоти в навколишнє середовище через нагріті поверхні, в тому числі на нагрів транспортних засобів:**

- встановлення теплоізоляції зерносушарок та топкових пристроїв, вдосконалення їх конструкцій та найближче конструктивне розташування;
- правильна організація роботи та технічна експлуатація зерносушарок, зменшення простоїв обладнання.

5. Заходи із зниження втрат теплоти від неповного згорання палива:

- автоматизація процесу спалювання палива;
- правильна експлуатація топків (особливо в періоди запуску і виходу на задані режими);
- використання теплоти димових газів топкових пристроїв та направлення теплоти на сушіння зерна в зерносушарку за допомогою теплових насосів.

Заходи направлені на зниження втрат на процес сушіння частково реалізується в сучасних зерносушарках, що відповідно знижує витрати теплоти на сушіння та підвищує коефіцієнт корисної дії зерносушарок до 77,5% [7].

Як видно із зазначених 5 заходів із зниження втрат теплоти, 4 використовують в якості підвищення енергоефективності теплові насоси.

4. Розробка енергоефективної технології сушіння та зберігання зернових культур із використанням теплових насосів

Розробка нових енергоефективних технологій отримання високоякісного насіннєвого матеріалу вирішує проблему раціонального використання енергетичних та сировинних ресурсів, що дає можливість знизити собівартість та підвищити якість насіння.

Розроблена технологічна схема виробництва насіння зернових, олійних та технічних культур представлена на рис. 1.

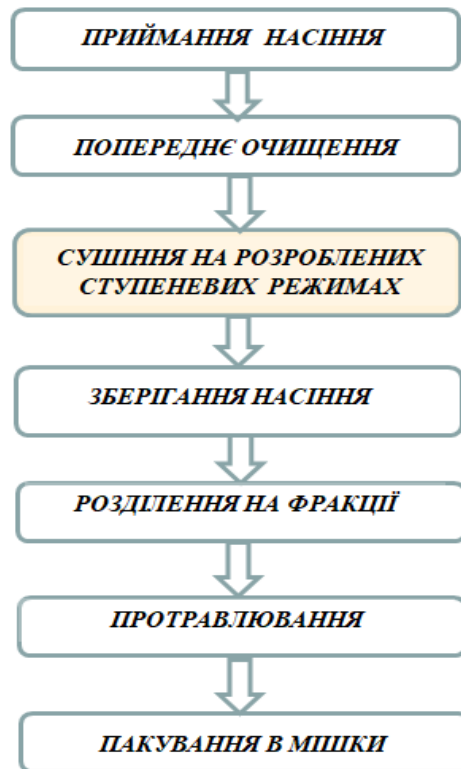
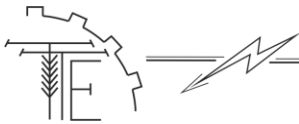


Рис. 1. Розробка енергоефективної технології виробництва насіння зернових культур

Технологічна схема виробництва насіння зернових, олійних та технічних культур передбачає наступні операції: приймання насіння, зважування, попереднє очищення в повітряно-ситовому сепараторі, сушіння на розроблених ступінчатих режимах, роздільне зберігання насіння різних культур в силосах, повторне очищення на повітряно-ситовому сепараторі, розділення на фракції на пневмосортувальному столі, протравлення і направлення на пакування в мішки.

Для реалізації енергоефективної теплотехнології виробництва насіння зернових, олійних та технічних культур представлено на рис. 1, розроблена технологічно-апаратурна схема, яка представлена на рис. 2.

Особливості даної технологічно-апаратурної схеми полягає у розробці технологічного процесу отримання насіння із встановлення в лінію шахтної зерносушарки із тепловим насосом, для реалізації розроблених ступеневих режимів сушіння з низьким вологовмістом теплоносія.

Насіння надходить автомобільним транспортом на пункт прийому, зважують на вагах (1), після цього насіння з машини вивантажують в приймальний бункер (2). Бункер аспірується через фільтр (3). Насіння з під нього ланцюговим конвеєром (4) і норією (5) подається на повітряно-ситовий сепаратор (6) для попереднього очищення. Відходи, видалені в процесі очищення насіння норією (7) та гвинтовим конвеєром (8) направляють в бункер відходів.

Очищене насіння норією (9) подають на ланцюговий конвеєр (10) і далі на сушіння та охолодження в шахтну зерносушарку із тепловим насосом (11). Після сушіння насіння направляється ланцюговим конвеєром (12), норією (13) на тимчасове роздільне зберігання різних культур в силоси для вентиляції (15). Рециркуляція насіння в шахтній зерносушарці із тепловим насосом (11) відбувається за допомогою ланцюгового конвеєра (15) та норії (16) при необхідності додаткового видалення вологи з матеріалу. Потім насіння направляється ланцюговим конвеєром (17) в бункери для зберігання (18).

З бункерів для зберігання (18) насіння направляють стрічковим транспортером (19) та норією (20) в накопичувальний бункер (21), а потім на повторне очищення в повітряно-ситовий сепаратор (22) або на відвантаження. Відходи після сепаратора збирають в мішки та вручну вивантажують в бункери для відходів.

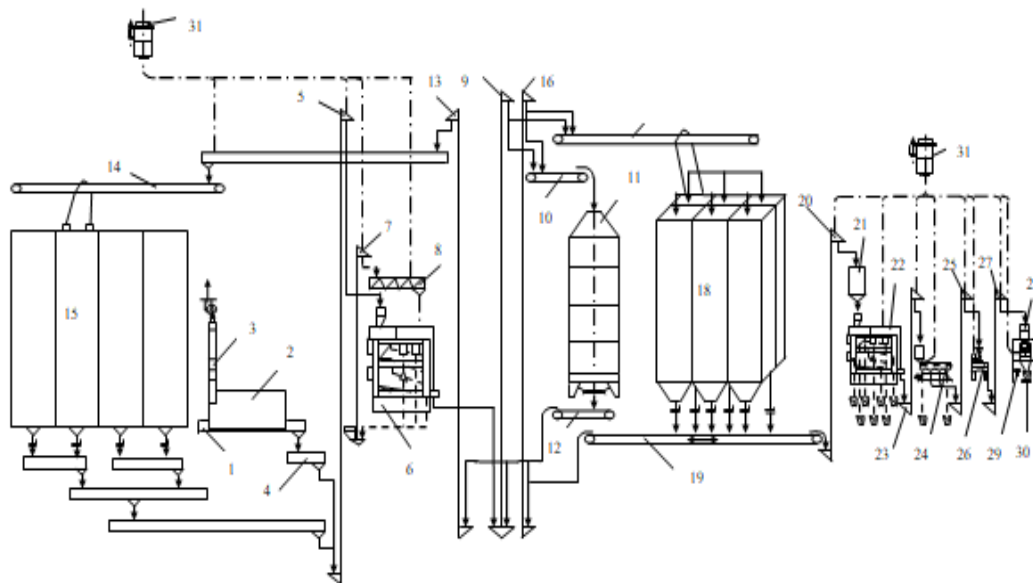


Рис. 2. Технологічно-апаратурна схема виробництва насіння зернових культур

1 – автомобільні ваги; 2 – приймальний бункер; 3 – фільтр; 4 – ланцюговий конвеєр; 5, 7, 9, 13, 16, 20, 23, 25, 27 – норія; 6, 22 – повітряно-ситовий сепаратор; 8 – гвинтовий конвеєр; 10, 12, 14, 17 – ланцюговий конвеєр; 11 – шахтна зерносушарка із тепловим насосом; 15 – силоси для зберігання насіння; 18 – бункери для зберігання насіння; 19 – стрічковий конвеєр; 21 – накопичувальний бункер; 24 – пневмосортувальний стіл; 26 – протравлювач; 28 – фасувально-пакувальний автомат; 29 – мішкозашивачна машина; 30 – стрічковий конвеєр для мішків з насінням; 31 – вентилятор.

Насіння норією (23) подається на пневмосортувальний стіл (24), де відбувається розділення за фракціями насіння. Видалене насіння норією (25) подають в протравлювач (26), направляють на норію (27) та фасують і упаковують в мішки в фасувально-пакувальному автоматі (28). Мішки зашивають в мішкозашивачній машині (29) і стрічковим транспортером (30) направляється на склад. Відбраковане насіння відбирають в мішки, а потім вручну вивантажують в бункер для відходів.

Запуск та зупинка обладнання заводу, контроль за технологічними процесами і за температурою зберігання насіння відбувається з центрального пульта керування.

Для підвищення енергоефективності технологічних процесів в шахтній зерносушарці (11) та якості сушіння насіння зернових культур, а також зменшення питомих витрат пального при виробництві теплової та електричної енергії застосовуємо тепловий насос з коефіцієнтом перетворення 3,2 на базі двигуна генератора ДвГА – 315 виробництва «Первомайскдизельмаш».

Зерносушарка безперервної дії складається з шахти, яка має п'ять відокремлених по ходу теплоносія зони: перша – нагрівання, друга – тепломасобмінна, третя та четверта – зневоднення і п'ята – охолодження.

Зерносушарка працює наступним чином: вологе зерно надходить в I зону, де відбувається нагрівання та зневоднення насіння при температурі теплоносія 60 – 65°C від системи утилізації теплоти димових газів з двигуна генератора. Підігріте і частково зневоднене зерно надходить в II зону, де відбувається перерозподіл теплоти та вологи в матеріалі без продування та нагрівання матеріалу. В III зоні продовжується його тепловологістна обробка при температурі теплоносія 50 – 55°C, нагрітим від відібраної теплоти з системи охолодження мастила газового двигуна генератора. В IV зоні відбувається сушіння насіння при температурі теплоносія 50°C від конденсатора теплового насосу зі зниженими параметрами вологовмісту теплоносія. В V зоні насіння відбувається інтенсивне охолодження на випарнику теплового насоса при температурі 5°C. Зневоднене та підігріте від зерна теплоносії до температури, додатково підігрівається до температури 50°C на конденсаторі теплового насосу і направляється в IV зону для досушування зерна. Зневоднене та охолоджене зерно після V зони зерносушарки направляється на зберігання.

Таким чином, проводячи сушіння насіння зернових культур із тепловим насосом можна досягти поставленої задачі – інтенсифікації процесу сушіння зі збереженням якості насіння та використання 92% первинної енергії газового двигуна генератора в схемі теплового насоса.



За проведеними розрахунками питомі витрати теплоти теплогенератора $\sum Q_T$ (кДж/кг) в шахтній зерносушарці з тепловим насосом для сушіння насіння зернових культур складаються з теплоти від утилізації відпрацьованих газів та системи охолодження мастила двигуна генератора, а також від конденсатора теплового насоса, що подається в I, III, IV зони: сушіння за допомогою вентиляційних систем:

$$Q_T = Q_{BG} + Q_{OD} + Q_{KD} = 215 + 170 + 1008 = 1393 \text{ кВт} \quad (2)$$

В II зоні сушіння теплота не підводиться, відбувається внутрішній тепломасообмін між насінням, а в V зоні навпаки відбирається теплота від насіння до сушильного агента із додатковим підігріванням та направленням на конденсатор теплового насосу. Тому в формулі (2) відсутні складові вироблення теплоти в II та V зонах.

Розроблена шахтна зерносушарка з тепловим насосом та газовим двигуном генератором ДвГА – 315 дає можливість проводити процес сушіння зернових культур при цьому забезпечує себе повністю електричною та тепловою енергією.

Очікувані питомі витрати теплоти на 1 кг видаленої вологи складає 3024 кДж/кг, що в порівнянні з іншими зерносушарками дозволяє отримати економію в 1,8 – 2,2 рази (рис. 3).

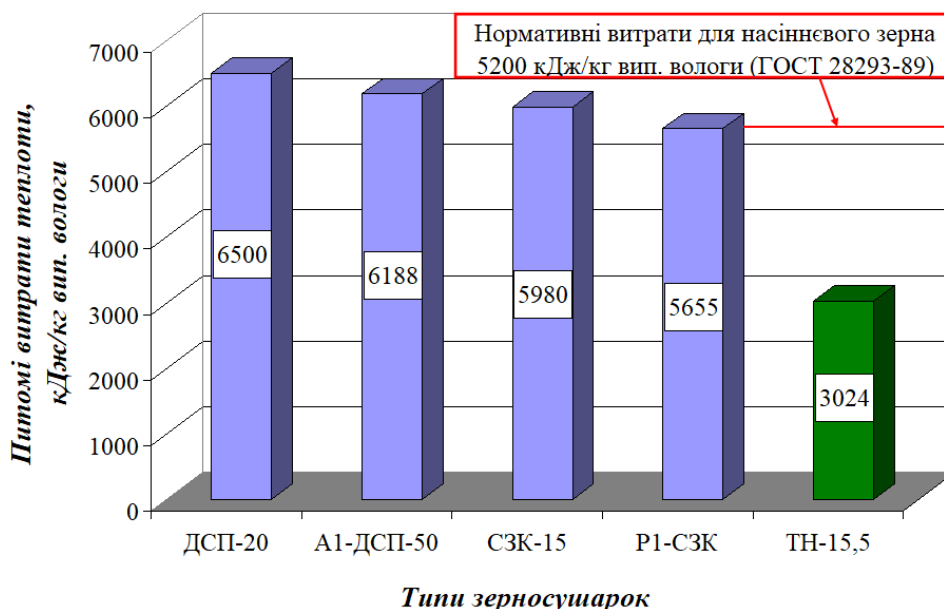


Рис. 3. Порівняння питомих витрат теплоти в існуючих зерносушарках та розробленій шахтній зерносушарці ТН-15,5 із тепловим насосом та дизель генератором ДвГА - 315

5. Висновки

В результаті аналізу і узагальнення літературних досліджень з енергоефективності сушіння зерна, розроблені заходи із зниження втрат з використання теплових насосів в системі підігрівання теплоносія.

Розроблена енергоефективна технологічно-апаратурна схема сушіння та зберігання насіння зернових культур дозволяє реалізувати процес сушіння в ступеневому режимі сушіння в 5-ти зонній зерносушарці із використання систем утилізації та теплового насоса

Розраховані питомі витрати теплоти в зерносушарці для сушіння насіння зернових культур з тепловим насосом ТН-15,5 становлять 3024 кДж/кг вип. вологи, що вище в 1,8 – 2,2 рази від аналогів.

Список використаних джерел

1. Станкевич Г. М., Страхова Т. В., Атаназевич В. І. Сушіння зерна: Підручник. К.: «Либідь», 1997. 352с.
2. Малин Н. И. Энергосберегающая сушка зерна. М.: «КолосС», 2004. 240 с.
3. Гапонюк О. І., Гапонюк І. І., Станкевич Г. М., Гапонюк І. І. Активне вентилявання та сушіння зерна: навчальний посібник. К.: 2009. 324с.



4. Остапчук Н. В., Шашкин А. Б., Каминский В. Д. Повышение эффективности сушки зерна. К.: Урожай, 1988. 136с.
5. Окунь Г. К., Чижигов А. Г. Тенденции развития технологии и технических средств сушки зерна. М.: ВНИИТЭиАгропром, 1987. 52с.
6. Пазюк В. М. Теплові насоси як засіб підвищення енергоефективності процесу сушіння зерна. Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету в сфері технічної науки. Вінниця, ВНАУ, 2012. № 11. С. 375 – 378.
7. Сорочинський В. Ф. Эффективный способ двухстадийной сушки зерна. Комбикормовая промышленность. 1996. № 4. С. 17–18.

References

- [1] Stankevich, G. M., Strakhova, T. V., Atanazevich, V. I. (1997). Grain drying: Textbook. K.: "Lybid" [in Ukrainian].
- [2] Malin, N. I. (2004). Energy-saving grain drying. M.: "KolosS" [in Russian].
- [3] Gaponyuk, O. I., Gaponyuk, I. I., Stankevich, G. M. (2009). Active ventilation and drying of grain: a textbook. K.: [in Russian].
- [4] Ostapchuk, N. V., Shashkin, A. B., Kaminsky, V. D. (1988). Improving the efficiency of grain drying. K.: Urozhay. [in Russian].
- [5] Okun, G. K., Chizhikov, A. G. (1987). Trends in the development of technology and technical means of grain drying. M.: VNShTEiAgroprom. [in Russian].
- [6] Paziuk, V. M. (2012). Heat pumps as a means of increasing the energy efficiency of the grain drying process. *Collection of scientific works of Vinnytsia National Agrarian University in the field of technical sciences. Vinnytsia, VNAU. № 11. P. 375–378.* [in Ukrainian].
- [7] Sorochinsky, V. F. (1996). Effective method of two-stage drying of grain. *Compound feed industry, 4.* 17–18. [in Russian].

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ СУШКИ И ХРАНЕНИЯ СЕМЯН ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР С ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ

Энергоэффективность процесса сушки является основным параметром, влияющим на выбор режима сушки. Семенной материал требует более тщательного подбора технологии и оборудования, что связано с их качественными характеристиками. Семенной материал для сохранения высокой всхожести сушат при низкотемпературных режимах, работа зерносушилки на высоких температурах существенно снижает качество и требует разработки особой технологии производства и хранения семян зерновых культур.

В статье проведен обзор повышение энергоэффективности оборудования для сушки семян зерновых культур. Традиционные технологии сушки семян слишком затратные и значительно увеличивают себестоимость. Разработанные энергоэффективные технологии больше направлены на сушку продовольственного зерна с проведением процесса на высокой температуре, что позволяет использовать высокий температурный потенциал отработанного теплоносителя на выходе из сушилки, которую можно утилизировать и направлять повторно для нагрева сушильного агента на вход в сушилку.

При сушке семян зерновых культур необходимо проводить процесс при низких температурах, что снижает эффективность применения температурного потенциала отработанного теплоносителя. Поэтому для повышения энергоэффективности процесса сушки и технологии предложено использовать тепловые насосы, обеспечивающие качество семенного материала.

Также в статье проведен анализ потерь теплоты и рекомендуемые меры по снижению потерь в процессе сушки, в которых предусмотрено использование теплонасосных установок.

Энергоэффективная технология сушки и хранения семян зерновых культур предусматривает операции просеивания, сушки, хранения, разделение на фракции, протравливания, упаковки в мешки. Для семенного зерна разработана 5-ти зонная зерносушилка с ступенчатыми режимами сушки с использованием теплового насоса и двигателя-генератора.

Сравнение энергоэффективности различных сушильных установок показало, что предложенные технические решения проверены расчетами и расход теплоты значительно ниже за аналоги и составляют 3024 кДж / кг вып. .. влаги.

Ключевые слова: семена, сушки, оборудование, технология, энергоэффективность.

Ф. 2. Таб. 2. Рис. 2. Лит. 7



ENERGY EFFICIENT TECHNOLOGY OF DRYING AND STORAGE OF SEEDS OF GRAIN CROPS WITH THE USE OF HEAT PUMPS

Energy efficiency of the drying process today is the main parameter that affects the choice of drying mode. Seed requires more careful selection of technology and equipment, which is associated with quality characteristics. Seed material to maintain high germination is dried at low temperatures, the operation of the grain dryer at high temperatures significantly reduces the quality and requires the development of special technology for the production and storage of seeds of cereals.

The article reviews the increase in energy efficiency of equipment for drying grain seeds. Traditional seed drying technologies are too expensive and significantly increase the cost. The developed energy-efficient technologies are more aimed at drying food grain with a process at high temperature, which allows to use the high temperature potential of spent coolant at the outlet of the dryer, which can be recycled and re-directed to heat the drying agent at the dryer.

When drying the seeds of cereals, it is necessary to carry out the process at low temperatures, which reduces the efficiency of the temperature potential of the spent coolant. Therefore, to increase the energy efficiency of the drying process and technology, it is proposed to use heat pumps that ensure the quality of seed material.

The article also analyzes heat losses and recommends measures to reduce losses during drying, which provide for the use of heat pump units.

Energy-efficient technology of drying and storage of seeds of grain crops provides operations of sifting, drying, storage, division into fractions, pickling, packing in bags. A 5-zone grain dryer with step drying modes using a heat pump and a generator motor has been developed for seed grain.

Comparison of energy efficiency of different drying units showed that the proposed technical solutions are verified by calculations and heat consumption is much lower and is 3024 kJ / kg vip . moisture.

Key words: seeds, drying, equipment, technology, energy efficiency .

F. 2. Fig. 2. Table. 2. Ref. 7.

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРА

Пазюк Вадим Михайлович – доктор технічних наук, доцент, провідний науковий співробітник Інституту технічної теплофізики Національної академії наук України (вул. Булаховського, 2, корп. 2, м. Київ., 03164, Україна, e-mail: vadim_pazuk@ukr.net)

Пазюк Вадим Михайлович – доктор технических наук, доцент, ведущий научный сотрудник Института технической теплофизики Национальной академии наук Украины (ул. Булаховского, 2, корп. 2, г. Киев., 03164, Украина, e-mail: vadim_pazuk@ukr.net)

Paziuk Vadym Mykhailovych – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Leading Research Fellow of the Institute of Technical Thermophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine (2 Bulakhovsky St., Building 2, Kyiv, 03164, Ukraine, e-mail: vadim_pazuk@ukr.net)