УДК 664.723.047

В.М. ПАЗЮК
Інститут технічної теплофізики НАН України
О.О. РУБАНЕНКО
Вінницький національний аграрний університет
В.М. ВИШНЕВСЬКИЙ
Науково-виробниче підприємство «Торенерго»

ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ СУШІННЯ НАСІННЯ ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР ШЛЯХОМ ЗАСТОСУВАННЯМ ТЕПЛОВИХ НАСОСІВ

В статті наведені дослідження з енергоефективного сушіння насіння ріпаку із застосуванням теплових насосів. Проаналізовано ефективність технологій сушіння насіння зернових культур: сушіння на традиційних видах палива, активне вентилювання, застосування енергозберігаючих технологій сушіння, сушіння з застосуванням теплових насосів. Зокрема, наведено переваги і недоліки кожної технологій та наведено витрати теплоти. В роботі представлено будову і принцип роботи експериментальної теплонасосної зерносушарки.

Ключові слова: *енергоефективність, сушіння, тепловий насос, теплонасосна зерносушарка.*

V.M. PAZUK
Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine
O.O. RUBANENKO
Vinnytsia National Agrarian University
V.M. VISHNEVSKY
Research and Production Enterprise «Torenergo»

ENHANCEMENT OF ENERGY EFFICIENCY OF DRINKING THE SEEDING OF GRAIN CULTURE BY USE OF HEAT PUMPS

The article is devoted to research on energy-efficient drying of rapeseed seeds using heat pumps. The efficiency of technologies of drying of seeds of grain crops has been analyzed: drying on traditional types of fuel, active ventilation, application of energy saving technologies of drying, drying with the use of heat pumps. In particular, the advantages and disadvantages of each technology are given and the costs of heat are given. The paper presents the structure and operation principle of the experimental heat pump grain dryer. The work of drying plants working with a heat pump on the waste heat carrier is as follows. The high costs of grain drying process (more than 5000 kJ / kg of moisture) and the development of the agrarian market in Ukraine require the development of modern technologies that allow to significantly reduce energy costs, therefore the purpose of the study is to improve the structure of experimental convective heat pump powder dryer, which will allow to reduce expenses of thermal energy in the process of drying process. For the effective operation of the heat pump installation, it is necessary to have a low-potential heat source. The use of heat pumps is quite extensive, they can use not only the heat of the environment, the heat of the exhaust gases and the coolant, but also alternative sources of energy, can combine the processes of heating, drying and cooling. The wet waste heat carrier is cooled in the evaporator of the heat pump to the dew point and is drained due to moisture condensation, then heated in a condenser and fed into the material. The process can be repeated repeatedly. The advantage of heat pump plants is to consume a relatively small amount of electricity in comparison with the received thermal energy. The heat pump produces 3 to 4 kW of thermal energy per kWh of consumed electricity. Research on the application of heat pumps in the processes of drying seeds of cereals, in particular wheat, barley and oats, showed a decrease in the energy costs of the process and a high similarity of the seeds.

Key words*: energy efficiency, drying, heat pump, heat pump drying dryer.*

Вступ

Використання відновлюваних джерел енергії набуває широкого розвитку в світі та в Україні, хоча темпи в нашій країні суттєво нижчі. Одним із напрямів розвитку альтернативних джерел енергії є використання теплової енергії довкілля (води, ґрунту, повітря), за допомогою теплонасосних установок (ТНУ).

Теплові насоси переводять енергію низькопотенціальних джерел у придатну для використання теплову енергію. Економічна доцільність використання ТНУ підтверджена світовим досвідом. Вже сьогодні у розвинутих країнах ТНУ широко використовуються для систем опалення та кондиціювання (США, Канаді, Швеції, Швейцарії, Німеччині, Австрії та ін.), для чого налагоджено промисловий випуск ТНУ у досить широких масштабах (США – 1 млн ТНУ щороку, у Японії – 3 млн) [1].

Мета і задачі роботи

Високі витрати на процес сушіння зернових матеріалів (більше 5000 кДж/кг вип. вологи), а також розвиток аграрного ринку в Україні вимагає розробки сучасних технологій, що дозволяють суттєво зменшити енергетичні витрати, тому метою дослідження є вдосконалення будови експериментальної конвективно-теплонасосної зерносушарки, що дозволить зменшити витрати теплової енергії при виконанні технологічного процесу сушіння.

Аналіз попередніх досліджень

На основі аналізу літературних джерел та результатів проведених експериментальних досліджень із питомих витрат на процес сушіння, зрозуміло, що впровадження ТНУ значно знижує енергетичні втрати, які становлять 3000 – 3800 кДж/кг, та залежать від схеми теплового насосу, виду зернового матеріалу та ін. факторів (табл. 1).

Для ефективної роботи ТНУ необхідно мати низькопотенційне джерело теплоти, що є їх беззаперечною перевагою. Використання теплових насосів досить широке, вони можуть використовувати не тільки теплоту навколишнього середовища, теплоту відпрацьованих газів та теплоносія, але і альтернативні джерела енергії, можуть поєднувати процеси нагрівання, сушіння та охолодження.

Таблиця 1

Ефективність технологій сушіння насіння зернових культур

№	Технологія	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 вентилювання	2500–3000	Енергозбереження, висока якість насіння	Тривалість процесу, невелике знімання вологи
3	Застосування енергозберігаючих технологій сушіння	3244–4800	Енергозбереження, висока якість продукції	Потрібні додаткові капітальні вкладення та введення нового обладнання
4	Сушіння із застосування теплових насосів (власні дослідження) [2]	3000–3800	Низькі енергетичні витрати, висока якість насіння, зниження собівартості	Недостатньо вивчено і потребує конструкторських розробок

Принцип роботи сушильних установках, що працюють з тепловим насосом на відпрацьованому теплоносії

Робота сушильних установок, що працюють з тепловим насосом на відпрацьованому теплоносії, відбувається наступним чином. Вологий відпрацьований теплоносій охолоджується у випарнику теплового насосу до точки роси і осушується внаслідок конденсації вологи, потім нагрівається в конденсаторі і подається в матеріал для сушіння. Процес може багатократно повторюватись.

Перевага ТНУ полягає в споживанні малої кількості електроенергії в порівнянні з отриманою тепловою енергією. Тепловий насос виробляє 3–4 кВт теплової енергії на 1 кВт*год спожитої електроенергії, яка переважно використовується компресорною установкою ТНУ.

Дослідження із застосування теплових насосів в процесах сушіння насіння зернових культур, зокрема пшениці, ячменю та вівса, засвідчили зменшення енергетичних витрат на процес та високу схожість насіння.

Будова і принцип роботи експериментальної теплонасосної зерносушарки

Експериментальна теплонасосна зерносушарка складається з наступних частин (рис. 1): теплонасосного агрегату 1, зернової шахти 5 і приладів контрольно-вимірювальних та систем автоматики: регулятора швидкості 6, лічильника електроенергії 7, терезів 8 з цифровим табло 11.

Рис. 1. Експериментальна конвективно-теплонасосна зерносушарка:
1 – теплонасосний агрегат з щитом керування; 2 – терморегулятор; 3 – автотрансформатор;
4 – блок нагрівачів; 5 – лічильник електроенергії; 6 – сушильна шахта; 7 – терези

За основу дослідження був взятий теплонасосний агрегат та зерносушильна шахта із завантаженням 25–40 кг по вологому зерну.

Методика проведення досліджень на конвективно-теплонасосній зерносушарці

1. Проведення досліду починається з вмиканням вентилятора конвективно-теплонасосної зерносушарки та комп'ютерної система збору та обробки інформації (на рисунку не вказано).

2. Потім вмикається блок нагрівачів і за допомогою автотрансформатора регулюється необхідний температурний режим в сушильній камері зерносушарки.

3. Після встановлення в установці режиму сушіння засипаємо партію зернового матеріалу в сушильну шахту і проводимо сушіння до кінцевої вологості. При цьому реєструємо час проходження досліду, температуру теплоносія, температуру на поверхні та в середині шару матеріалу, зміну маси сушильної камери із зерном. А також за допомогою лічильника електроенергії фіксуємо витрати електричної енергії та переводимо їх витрати в теплоту на кг випареної вологи.

4. З партії отриманого висушеного зернового матеріалу відбираємо дві проби:

4.1. Перша проба йде на визначення насіннєвих властивостей матеріалу.

4.2. Друга – визначає кінцеву вологість матеріалу.

5. Після визначення абсолютно сухої маси зразка розраховуємо і будуємо криві сушіння та швидкості сушіння насіння: $W = f(\tau)$, $dW/d\tau = f(W)$, а також зміну температури шару зерна під час сушіння.

Дослідження енергоефективності процесу сушіння в ТНУ проводилося на насінні ріпаку. Результати досліджень представлені на рис. 2.

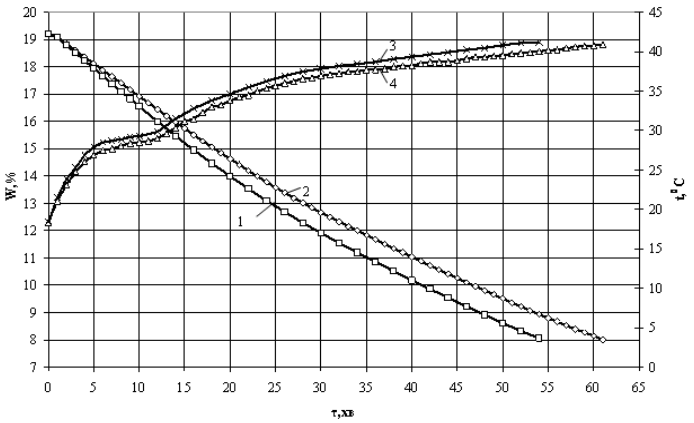

Рис. 2. Кінетика процесу та температурні криві сушіння насіння ріпаку з:
1 – тепловим насосом (d = 6 г/ кг с. п.); 2 – електронагрівом (d = 10 г/ кг с. п.).
t = 50ºС, V = 1,2 м/с, W_n = 19,2%, δ = 20 мм

Визначення кінетики процесу сушіння насіння ріпаку проводилась в зерносушильній шахті з відстанню між коробами 20 мм при температурі теплоносія 50ºС з швидкістю руху 1,2 м/с.

Зменшення вологовмісту теплоносія в тепловому насосі прискорює процес сушіння насіння ріпаку на 11%. Кінцева температура теплоносія в шарі ріпаку в теплонасосній зерносушарці при вологості зерна 8% складає 40,9°С, з електричним нагріванням – 41,2°С.

Питомі витрати теплоти в ТНУ в енергоефективних режимах сушіння складають 3675–3700 кДж/кг вип. вологи, що в 4 рази менше за нагрівання теплоносія в калорифері .

Схожість насіння ріпаку відповідає початковій схожості насіннєвого матеріалу і складає 100%.

Висновки

1. Тривалість процесу під час сушіння з тепловим насосом зменшується на 13%, кінцева температура нагрівання насіння в тепловому насосі складає 40,9%, що найкраще впливає на схожість насіння.

2. Експериментальні дослідження показали, що використання теплових насосів створює умови для зменшення втрат теплоти на 30–40% в діючих зерносушарках, і в 4 рази в сушарках з електричним нагріванням.

Література

1. Снєжкін Ю. Ф. Теплові насоси в системах теплохолодопостачання / Ю. Ф. Снєжкін, Д. М. Чалаєв, В. С. Шаврин, Н. О. Дабіжа ; під ред. академіка НАН України А. А. Долінського ; НАН України, Ін-т техн. теплофізики. – Київ: «Поліграф-Сервіс», 2009. – 104 с.

2. Снєжкін Ю.Ф. Теплонасосна зерносушарка для насіннєвого зерна / Ю.Ф. Снєжкін, В.М. Пазюк, Ж.О. Петрова, Д.М. Чалаєв. – К. : Поліграф-Сервіс, 2012. – 154 с.

References

1. Sniezhkin Yu. F. Teplovi nasosy v systemakh teplokholodopostachannia / Yu. F. Sniezhkin, D. M. Chalaiev, V. S. Shavryn, N. O. Dabizha ; pid red. akademika NAN Ukrainy A. A. Dolinskoho ; NAN Ukrainy, In-t tekhn. teplofizyky. – Kyiv : «Polihraf-Servis», 2009. – 104 s.

2. Sniezhkin Yu.F. Teplonasosna zernosusharka dlia nasinnievoho zerna / Yu.F. Sniezhkin, V.M. Paziuk, Zh.O. Petrova, D.M..Chalaiev. – K.: Polihraf-Servis, 2012. – 154 s.

Рецензія/Peer review : 24.04.2018 р. Надрукована/Printed :05.07.2018 р.
Стаття рецензована редакційною колегією