

ТЕПЛОНАСОСНА СУШАРКА ДЛЯ НАСІННЕВОГО ЗЕРНА

Д.М. ЧАЛАЄВ, О.О. ХАВІН, В.С. ШАВРІН, Р.О. ШАПАР

Інститут технічної теплофізики Національної академії наук України

Наведено результати науково-дослідних робіт зі створення дослідної теплонасосної сушарки для сушіння насіннєвого зерна теплоносієм з примусово зниженим вологовмістом та використанням теплоти навколишнього середовища як низькотемпературного джерела енергії. Наведено криві сушіння зерна, робочі процеси теплонасосної зерносушарки та її робочі характеристики.

Насіннєве зерно, сушіння, тепловий насос, вологовміст, кінетика сушіння.

Невпинне зростання вартості паливно-енергетичних ресурсів гостро поставило питання щодо зниження енергетичних витрат у всіх галузях життєдіяльності людини, в тому числі і в аграрному секторі, де витрати енергоносіїв найбільш виразно впливають на собівартість продукції. Так, наприклад, у виробництві зернових вартість однієї тонни палива співвідноситься до вартості 3-4 тонн пшениці 3-го класу. Значна кількість палива витрачається в процесі тепловологісної обробки зерна, де для доведення зібраного врожаю до нормативних кондицій витрачається до 0,6 млн тонн умовного палива. Отже, зниження енергоємності процесу сушіння зернових, зернобобових та маслянистих культур є нагальною науково-технічною проблемою.

Враховуючи те, що зерно є термолабільним матеріалом, необхідно ретельно підходити до питання вибору оптимального тепловологісного режиму сушіння з урахуванням граничнодопустимих температур нагрівання матеріалу, його початкової вологості і тривалості процесу. Особливо важливо це при сушінні посівного матеріалу, бо відомо, що навіть невисокі температури негативно впливають на енергію проростання зерна і схожість. Остання з вологістю нижче 10 % зберігається при короткотерміновому нагріванні навіть до 120 °С, у той же час нагрівання вологого зерна при $W > 20$ % до 60-65 °С приводить до повної втрати схожості [1]. Максимально допустима температура при сушінні посівного зерна не повинна перевищувати 50 °С, а при вологості понад 20 % - максимум 45 °С [2].

Таким чином, найбільш простий і поширений метод інтенсифікації сушіння шляхом підвищення температурного рівня процесу, в цьому разі, є непридатним, а застосування короткотермінового підвищення температури разом з осцилювальним режимом роботи сушарки неодмінно призведе до зниження продуктивності обладнання.

Велика енергоємність процесу конвективного сушіння пов'язана з викидом у навколишнє середовище відпрацьованої, насиченої паром вологи сушильного агента, утилізація теплоти якого може значно підвищити енергоефективність процесу. Приріст ентальпії вихідного сушильного агента за рахунок теплоти пари, яка міститься в ньому, для зерносушарок становить від 2 до 8,4 МДж/год., у зв'язку з чим використання теплових насосів для підвищення енергетичної ефективності зерносушарок має значну перспективу

[2]. Так, наприклад, у теплонасосній установці для сушіння кукурудзи, яка працює в режимі повної рециркуляції сушильного агента (охолодження, зневоднення у випарнику з наступним нагріванням у конденсаторі до температури 44 °С) при зниженні вологості зерна від 33,5 % до 14 % застосування теплового насосу дало змогу зменшити витрати первинної енергії на 30 %. Але при цьому виник ряд технічних проблем, пов'язаних із забрудненням теплообмінних поверхонь теплового насоса, зростанням аеродинамічного опору тракту сушильного агента і відповідно зниженням загального корисного ефекту в результаті чого конденсаційні теплонасосні зерносушарки нині не знайшли широкого застосування.

Фактором, здатним суттєво впливати на інтенсивність процесу масопереносу, є також вологовміст сушильного агента, що особливо важливо при низькотемпературному сушінні насіннєвого зерна. Так, згідно з отриманими нами раніше результатами [3], при зниженні вологовмісту повітря з 15 г/кг до 10 г/кг сухого повітря при температурі матеріалу 45 °С інтенсивність процесу сушіння збільшується на 20-25 %, а подальше зниження вологовмісту до 8 г/кг сухого повітря забезпечує зростання інтенсивності процесу до 35 %.

Результати досліджень

На відміну від конденсаційних теплових насосів, ефективність яких визначається кількістю вилученої вологи на одиницю спожитої енергії, ефективність рекупераційних теплових насосів оцінюється за величиною коефіцієнта перетворення та залежить від різниці температур між вхідними та вихідними потоками повітря.

Можливі два варіанти підключення рекуперативного теплового насоса. У випадку, коли він утилізує теплоту відпрацьованого в сушарці повітря, потоки теплоносія рознесені таким чином, що у випарник подають відпрацьоване вологе повітря, а в конденсатор – свіже атмосферне. При цьому вологовміст сушильного агента, який нагрівається не змінюється. В установках, які працюють з використанням теплоти навколишнього середовища, навпаки, атмосферне повітря проходить послідовно випарник, і конденсатор теплового насоса та вологовміст повітря, що нагрівається зменшується.

Робочі процеси в теплонасосній сушарці відбуваються так. Атмосферне повітря (рис.1) охолоджується і зневоднюється у випарнику (процес а – о), після цього зневоднене повітря нагрівається в конденсаторі (процес о – в) і подається до сушарки, де вступає в контакт з матеріалом і потім викидається в навколишнє середовище.

В цьому випадку, для забезпечення необхідного тепловологісного стану повітря на виході з конденсатора, величина коефіцієнту перетворення повинна відповідати відношенню тепловитрат на охолодження та нагрів повітря.

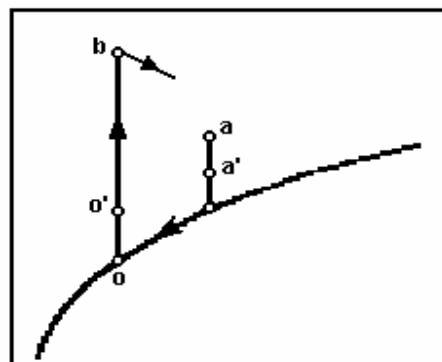


Рис. 1. Робочий процес теплонасосної зерносушарки

$$\frac{Q_{\text{âî}}}{Q_{\text{êî ä}}} = \frac{I \alpha - I \hat{i}}{I \beta - I \hat{i}} = \hat{i} \quad (1)$$

де, $Q_{\text{вип}}$ – тепловитрати у випарнику;
 $Q_{\text{конд}}$ – тепловитрати у конденсаторі;
 H – ентальпія;
 α – о – охолодження повітря у випарнику;
 β – о – нагрівання повітря у конденсаторі.

Характер впливу параметрів навколишнього середовища, при якому виконується умова (1) (рис. 2.). Графік побудовано на базі робочих характеристик досліджуваного нами теплонасосного сушильного агрегата без рекуперативного теплообмінника [4]. З графіка видно, що зі зниженням вологовмісту повітря необхідна температура охолодження знижується і при його малих значеннях стає мінусовою. При реалізації рекуперативного теплообміну між вхідним і вихідним повітряними потоками випарника (рис. 1, процеси $a - a'$ і $o - o'$) оптимальна температура охолодження, залежно від ефективності рекуператора, знижується на 3-5 °С, що позитивно впливає на енергоефективність сушарок. Робота теплового насоса при мінусових температурах випаровування холодоагента має технічні складності, пов'язані з тим, що вилучена з повітря волога заморожується на теплообмінній поверхні, що потребує періодичного відтаювання випарника.

Аналіз відомих режимів роботи зерносушарок, особливо для насінневого зерна, і кліматичних умов регіонів України, головних виробників зерна, показав, що при прямоточній схемі теплонасосної зерносушарки з примусовим зневодненням атмосферного повітря та використанням теплоти навколишнього середовища можна уникнути вказаних вище негативних факторів. Теплові розрахунки і робочі характеристики парокомпресійного теплового насоса, який працює на фреоні R 134 показали, що при температурі навколишнього середовища +15 °С і відносній вологості повітря 75-80 % можна отримати сушильний агент з вологовмістом $d = 5$ г/кг сухого повітря і температурою 50 °С. Коефіцієнт трансформації теплоти в таких умовах буде знаходитись у межах 2,5-3,0, що забезпечує зниження витрат первинної енергії на вилучення вологи до 0,5 кВт/год. Тобто можна стверджувати, що в природно-кліматичних умовах України доцільно застосовувати теплонасосні зерносушарки з примусовим зневодненням атмосферного повітря та використанням теплоти навколишнього середовища як низькотемпературного джерела енергії для роботи теплового насоса.

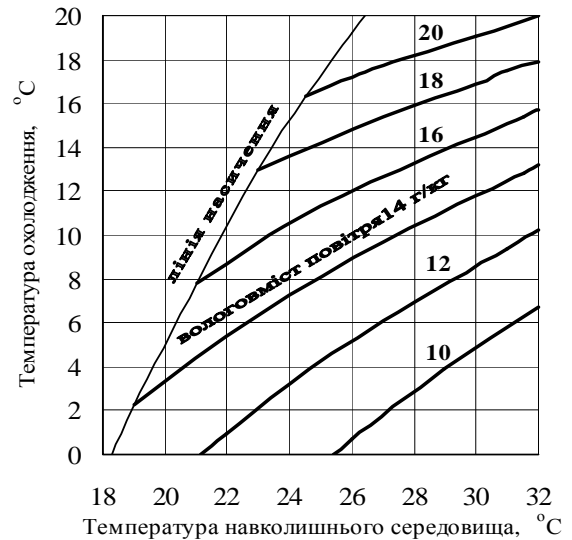


Рис. 2. Залежність оптимальної температури охолодження від параметрів навколишнього середовища

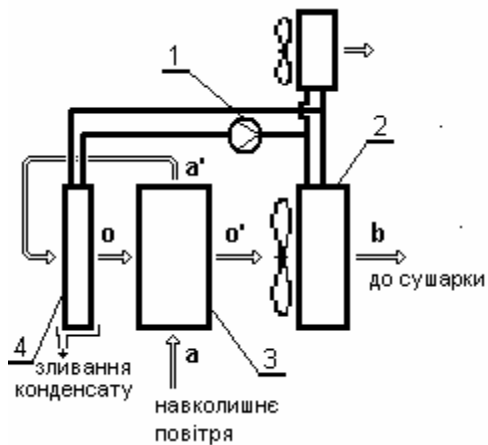


Рис. 3. Схема теплонасосного агрегату: 1 – компресор; 2 – повітряний конденсатор;



Рис. 4. Експериментальна теплонасосна зерносушарка

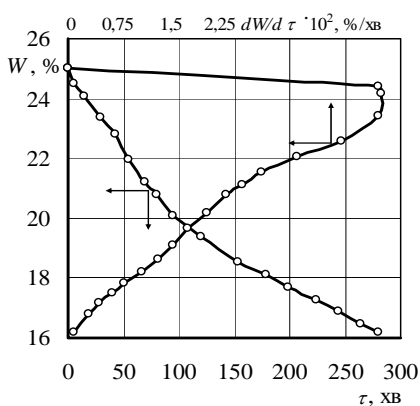


Рис. 5. Криві кінетики сушіння пшениці:
 $t = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$; $V = 0,23\text{ м/с}$; $d = 10\text{ г/кг с.в.}$ $\alpha = 142\text{ кг/м}^2$.

процесу.

На рис.5 наведено криві кінетики та швидкості сушіння зерна пшениці. Дослідні дані отримано на штучно зволоженому зерні з початковою вологістю

У ІТТФ НАН України було виконано комплекс науково-дослідних і конструкторських робіт для створення дослідної теплонасосної зерносушарки для насінневого зерна (рис 3).

Сушарка складається з теплонасосного блоку і сушильної камери 3, з'єднаних між собою м'яким повітропроводом. Загальний вид дослідного зразка представлено на рис. 4. Місткість камери - $0,8\text{ м}^3$. Продуктивність з випареної вологи 7 кг/год . Встановлена потужність електродвигунів - $4,7\text{ кВт}$.

Теплонасосна зерносушарка працює так. Вологе атмосферне повітря вентилятором подається на пакет теплових труб, де охолоджується і надходить у випарник теплового насоса. У випарнику повітря охолоджується до температури, яка нижча ніж температура точки роси, зневоднюється до заданого вологовмісту і прямує до конденсаційного відсіку пакета теплових труб, де через теплообмінну поверхню сприймає теплоту від свіжого вологого атмосферного повітря. В конденсаторі теплового насоса зневоднене і частково нагріте повітря нагрівається до заданої температури і повітропроводом подається у вхідні повітряні канали сушильної камери. В сушильній камері зневоднене гаряче повітря проходить крізь шар вологого зерна висотою 140 мм , вбирає зайву вологу, яка знаходиться в зерні, і крізь вихідні повітряні канали залишає сушильну камеру. Регулювання тепловологісних параметрів сушильного агента здійснюється шляхом зміни його витрат, температур випаровування холодоагента і його конденсації. З цією метою сушарка обладнана регулятором подачі атмосферного повітря, терморегулюючим вентилям подачі рідкого холодоагента у випарник, додатковим виносним конденсатором холодоагента та системою автоматики, яка підтримує задані параметри

сушильної камери. В сушильній камері зневоднене гаряче повітря проходить крізь шар вологого зерна висотою 140 мм , вбирає зайву вологу, яка знаходиться в зерні, і крізь вихідні повітряні канали залишає сушильну камеру. Регулювання тепловологісних параметрів сушильного агента здійснюється шляхом зміни його витрат, температур випаровування холодоагента і його конденсації. З цією метою сушарка обладнана регулятором подачі атмосферного повітря, терморегулюючим вентилям подачі рідкого холодоагента у випарник, додатковим виносним конденсатором холодоагента та системою автоматики, яка підтримує задані параметри

$W_c > 25\%$. Натурні випробування теплонасосної зерносушарки планується провести в цьому році на зерні нового врожаю.

Висновки

У кліматичних умовах України для сушіння зерна насінневого призначення доцільним є використання прямоточних рекуперативних теплових насосів. Питомі витрати первинної енергії на випаровування вологи при використанні теплонасосних агрегатів знаходяться в діапазоні 0,4 – 0,8 кВт·год./кг.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Любошиц И.Л., Слободкин А.С., Пикус И.Ф. Сушка дисперсных термочувствительных материалов. – Минск: Наука и техника, 1996. 216 с.
2. Станкевич А.В., Страхова Т.В., Атаназевич В.І. Сушіння зерна. Підручник. – К.: Либідь, 1997. – 352 с.
3. Снежкин Ю.Ф., Чалаев Д.М., Дабижа Н.А. Обезвоживание коллоидных капиллярно-пористых материалов в условиях высоковлажной окружающей среды // Тр. V Минского межд. Форума по тепло-и массообмену. – Минск, 2004. – С. 256–258.
4. Чалаев Д.М., Дабижа Н.А., Шаврин В.С., Хавин А.А. Оптимизация режимов работы теплонасосной конденсационной сушильной установки // Тр. 1-ой Межд. науч.-практ. конф. – М.: МГАУ, 2002. – Т. 1. – С. 26–35.

ТЕПЛОНАСОСНАЯ СУШИЛКА ДЛЯ СЕМЕННОГО ЗЕРНА

Д.М. Чалаев, О.О. Хавин, В.С. Шаврин, Р.О. Шапар

Приведены результаты научно–исследовательских работ по созданию экспериментальной теплонасосной сушилки для сушки семенного зерна теплоносителем с принудительно сниженным влагосодержанием и использованием теплоты окружающей среды в качестве низкотемпературного источника энергии. Приведены кривые кинетики сушки зерна, рабочие процессы теплонасосной зерносушилки и ее рабочие характеристики.

Семенное зерно, сушка, тепловой насос, влагосодержание, кинетика сушки.

HEATPUMPING A DRYER FOR A SEED GRAIN

D.M Chalaev, O.O. Khavin, V.S. Shavrin, R.O. Shapar

The results of research works on creation experimental heat pump dryer for drying of a seed grain by the heat–carrier with reduced moisture content and use of heat of an environment as low–temperature sources are given. Drying kinetics curve of a grain and heat pump working processes are presented.

Vegetative raw materials, dryer, heatpump, drying kinetics, step-wise dehydration regimes.