

Гейср Геннадій Валерійович, д-р екон. наук, проф., провідний науковий співробітник науково-дослідної частини, Донецький національний університет економіки і торгівлі ім. Михайла Туган-Барановського. Адреса: вул. Трамвайна, 16, м. Кривий Ріг, Україна, 50005. Тел.: (056)409-77-97; e-mail: heier_gv@donnuet.edu.ua.

Tsvirkun Ludmila, PhD in Ped. Sc., Assist., Donetsk National University of Economics and Trade named after Mykhailo Tugan-Baranovsky, Department of General Engineering Disciplines and Equipment. Address: Ostrowski str., 16, Kryvyi Rih, Ukraine, 50005. Tel.: 0980717294; e-mail: cvirkun@donnuet.edu.ua.

Цвіркун Людмила Олександрівна, канд. пед. наук, асист., кафедра загальноінженерних дисциплін і обладнання, Донецький національний університет економіки і торгівлі ім. М. Туган-Барановського. Адреса: вул. Островського, 16, м. Кривий Ріг, Україна, 50005. Тел.: 0980717294; e-mail: cvirkun@donnuet.edu.ua.

DOI: 10.5281/zenodo.4369743

УДК 664.8.047.014

СПОСОБИ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЦЕСУ СУШІННЯ НАСІННЄВОГО ЗЕРНА

В.М. Пазюк

У сучасному світі широко використовуються відновлювані джерела енергії як енергоефективний спосіб отримання електричної та теплової енергії. Поєднання сушильних технологій і відновлюваних джерел енергії реалізується через упровадження теплових насосів, що найбільш доцільно за низькотемпературного сушіння насіння зернових культур.

Розглянуто різні варіанти роботи теплового насоса для сушіння насінневих матеріалів. За однією з наведених схем розроблено експериментальний зразок сушильної установки з тепловим насосом із повною рециркуляцією теплоносія. Теплові насоси дають можливість ефективно використовувати теплоту доквілля для підігрівання сушильного агента і направлення в шахту сушильної установки.

Експериментальні дослідження на сушильній установці з тепловим насосом показали високі результати схожості насіння зернових культур та зменшення енергоспоживання на 36% порівняно з витратами в інших зерносушарках.

Ключові слова: енергоефективність, тепловий насос, сушіння насіння, якість, зерносушарка.

DIRECTIONS OF INCREASING THE ENERGY EFFICIENCY OF THE SEED GRAIN DRYING PROCESS

V. Paziuk

In the modern world, renewable energy sources are widely used as an energy-efficient way to produce electric and thermal energy. The combination of drying technologies and renewable energy sources is realized through the introduction of heat pumps, as more appropriate for low-temperature drying of grain seeds.

Various options for the operation of a heat pump for drying seed materials are considered. According to one of the presented schemes, an experimental sample of a drying plant with a heat pump from complete recirculation of the coolant was developed. Heat pumps allow you to effectively use the heat of the environment to heat the drying agent and directing it to the shaft of the drying installation.

When drying the seeds of cereals, the greatest intensity is observed on oat seeds. The duration of drying oat seeds from the initial humidity of 20% to the final humidity of 13% is 32 minutes, which is 1.8 times less than the duration of drying wheat and 2.18 times less than barley. Heating of seeds of grain crops in the drying installation with the heat pump in a layer of 20 mm occurs to temperature of 36...36,5 °C.

Drying of seeds of grain crops takes place in the periods of warming up, constant and falling speed of drying. The maximum drying rate of oats is 0.375%/min., Wheat – 0.218%/min. and barley – 0.142%/min.

Experimental studies on a drying unit with a heat pump showed high germination results of grain seeds and a 36% reduction in energy consumption compared to costs in other grain dryers.

Keywords: *energy efficiency, heat pumps, drying, seeds, quality, grain dryers.*

Постановка проблеми у загальному вигляді. Енергетична складова сушіння насінневого зерна має велике значення для розвитку сільського господарства в Україні. Сушіння насінневого зерна відбувається за низькотемпературних режимів сушіння, але енергетична складова цього процесу досі не розглядалась.

На сучасному етапі розвитку сушильних технологій проводиться пошук дешевих, екологічно доцільних, відновлюваних джерел енергії, що є однією з умов зменшення енергетичних витрат на процес. Також проблема енергоефективності вирішується застосуванням сучасних технологій та обладнання для сушіння насінневого зерна.

Але разом із вирішенням проблеми енергоефективності необхідно розв'язувати питання якості насінневого матеріалу, що визначається вибором раціонального режиму сушіння.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Публікації з підвищення енергоефективності процесу в стосується переважно зерна харчового та технічного призначення, до насінневого зерна складно їх застосувати через низькі температурні режими сушіння.

Серед заходів підвищення енергоефективності, запропонованих авторами публікацій, є використання альтернативних і відновлювальних джерел енергії. Зокрема, розглянуто можливість застосування сонячної енергії, тепла навколишнього середовища та геотермальних джерел енергії. Застосування альтернативних і відновлюваних джерел під час сушіння насіннєвого зерна можна реалізувати за допомогою введення в технологічний процес підготовки теплоносія теплових насосів.

Мета статті – проведення аналізу та систематизації енергоефективних методів і установок для сушіння зернових культур.

Виклад основного матеріалу дослідження. За прогнозом використання відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) у Україні в 2030 р. основними напрямками енергії доквілля (25%, або 23 млн т/рік умовного палива), біоенергетика (9%, або 9 млн т/рік умовного палива) та інші (геотермальна енергія, мала гідроенергетика, сонячна енергетика – 4%, або 4 млн т/рік умовного палива) [1–3]. Розвиток і перспективи використання відновлюваних джерел енергії в Україні подано на рис. 1.

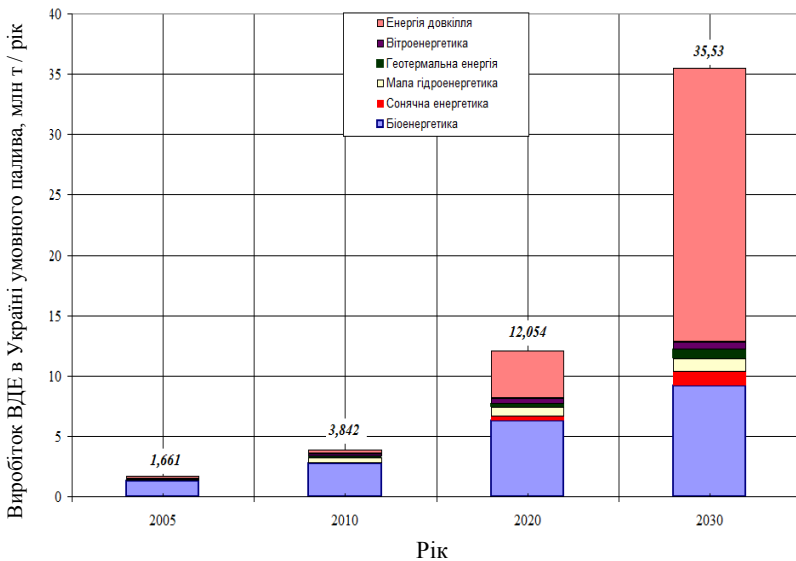


Рис. 1. Розвиток і перспективи використання відновлюваних джерел енергії в Україні

Як видно з рис. 1, в Україні до 2010 р. основним напрямом збільшення енергоефективності була біоенергетика. Із 2020 р. разом зі збільшенням частки біоенергетики починають активно використовуватися сонячна енергія та енергія доквілля. До 2030 р. планується зростання частки енергії доквілля в 4,4 разу більше за біоенергетику в перерахунку на умовне паливо в млн т/рік.

Для отримання теплової енергії в теплогенераторах зерносушарки можна використовувати біомасу, як дешевий вид палива. Біомаса відіграє домінуючу роль серед інших видів ВДЕ, формуючи близько 46% ринку відновлюваних джерел енергії. Вона може забезпечувати виробництво тепла, електроенергії та різних видів газоподібного (біогаз), рідкого (біоетанол, біодизель) та твердого палива [4].

Іншим видом ВДЕ, який уже сьогодні в окремих країнах та регіонах забезпечує вагомий внесок у промисловість є тепла енергія доквілля (води, ґрунту, повітря), яка за допомогою теплонасосних установок (ТНУ) переводить енергію низькопотенційних джерел у придатну для використання енергію. Економічна доцільність використання ТНУ підтверджена світовим досвідом. Уже сьогодні в розвинутих країнах ТНУ широко використовуються для систем опалення та кондиціонування (у США, Канаді, Швеції, Швейцарії, Німеччині, Австрії та ін.), налагоджено промисловий випуск ТНУ в досить великих обсягах (США – 1 млн ТНУ щороку, Японія – 3 млн) [5].

Витрати теплоти на сушіння в ТНУ за проведеними розрахунками становлять 3000–3800 кДж/кг, що значно менше, ніж за традиційних технологій підготовки теплоносія [6].

У сушильних установках із ТНУ можна досягти підвищення температури сушильного агента до 50...60 °С. За необхідності нагрівання теплоносія до більш високих температур доцільно застосовувати високотемпературні киплячі холодоагенти або теплові насоси з комбінованим енергопідведенням (використання декількох етапів підготовки теплоносія) [7].

Удосконалення схем із тепловим насосом дозволяє збільшити енергоефективність теплонасосного способу сушіння насіння, рослинних матеріалів, використовуючи заходи із рециркуляцією теплоносія та з частковим змішуванням із відпрацьованим теплоносієм.

В Інституті технічної теплофізики НАН України була створена експериментальна установка з тепловим насосом для сушіння насінневих зернових матеріалів (рис. 2).

Витрати енергії на процес сушіння насіння зернових культур визначалися за показником лічильника електроенергії, зміна маси матеріалу фіксувалася за цифровим табло вагів.

Для дослідження та відпрацювання технологічного режиму сушіння насіннєвого зерна експериментальний стенд обладнано контрольно-вимірювальними приладами та системою автоматики, що дозволяють автоматично підтримувати заданий режим сушіння, вимірювати потрібні параметри робочого процесу (температуру, вологовміст і швидкість руху теплоносія, витрати енергії та зменшення маси зерна). Розроблена програма Cooler дає можливість автоматично знімати та записувати інформацію про зміни часу сушіння та температури нагрівання шару насіння зернових культур.

Корпус теплового насоса складається з рами, перегородок і лицьових панелей з отворами для забору та виходу теплоносія. На передній лицьовій панелі розміщений пульт керування. Роботу теплонасосного агрегата показано на рис. 3.

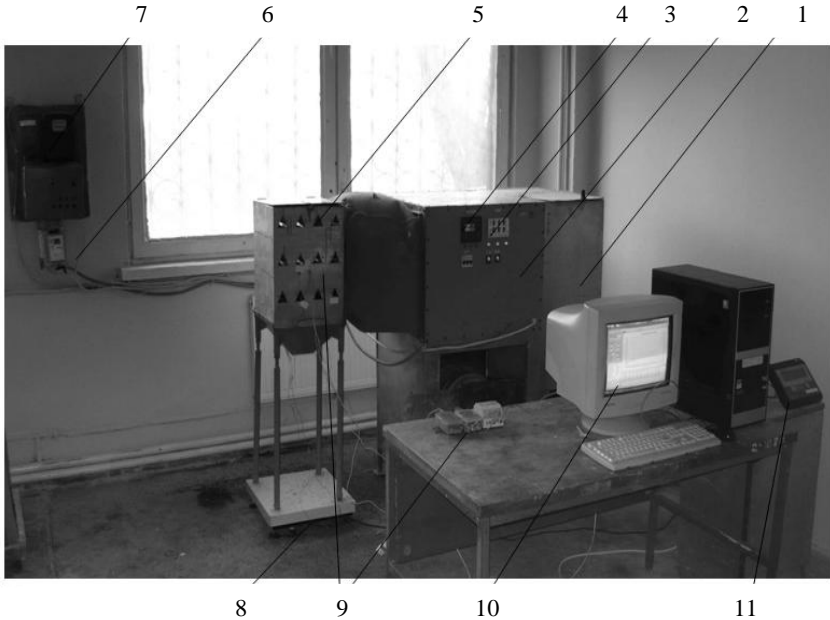


Рис. 2. Експериментальний стенд із тепловим насосом для сушіння насіння зернових культур: 1 – тепловий насос; 2 – щит керування; 3 – реле часу; 4 – термореле; 5 – сушильна шахта; 6 – регулятор швидкості; 7 – лічильник електроенергії; 8 – підлогові ваги; 9 – аналоговий цифровий перетворювач *i-7018*, конвертор-інтерфейс *i-7520* та хромель-копелеві термоелектричні перетворювачі; 10 – персональний комп'ютер; 11 – цифрове табло вагів

Повітря з навколишнього середовища всмоктується вентилятором 5 і надходить на холодний бік рекуперативного теплообмінника 3, де із сушильного агента частково відбирається тепло. На випарнику 4 відбувається остаточне охолодження сушильного агента до точки роси, при цьому утворюється конденсат, який зливається у спеціальну ємність.

Зневоднений сушильний агент надходить на гарячий бік рекуперативного теплообмінника 3, де відбувається його попереднє підігрівання. Остаточне нагрівання теплоносія до потрібної температури відбувається на основному конденсаторі 2, і вентилятором 5 він нагнітається в сушильну шахту сушарки. В окремому відсіку корпусу розташовано додатковий конденсатор 7 із додатковим вентилятором 6, які необхідні для стабільної роботи компресора 1.

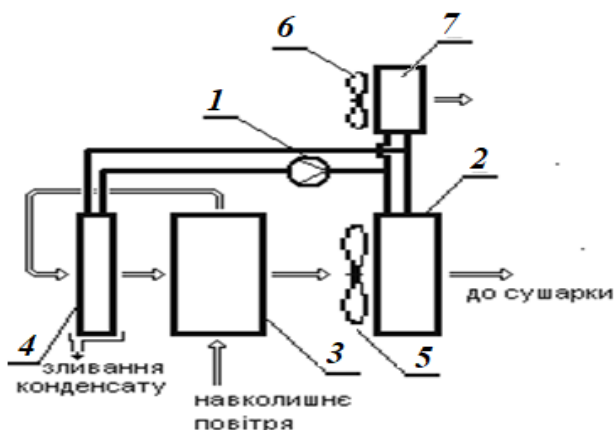


Рис. 3. Схема роботи теплонасосного агрегата: 1 – компресор; 2, 7 – основний та додатковий конденсатори; 3 – рекуперативний теплообмінник; 4 – випарник; 5, 6 – основний та додатковий вентилятори

Кінетику сушіння насінневих зернових культур (пшениці, ячменю, вівса) показано на рис. 4. Серед наведених зернових культур найменша інтенсивність сушіння спостерігається в насіння ячменю. Тривалість сушіння насіння ячменю від початкової вологості 20% до кінцевої вологості 13% становить 70 хв, що в 1,17 разу більше за тривалість сушіння пшениці та в 2,18 разу більше за тривалість сушіння вівса. Прогрівання насіння зернових культур за температури теплоносія 50 °С в шарі 20 мм відбувається від 20 °С до 36...36,5 °С (рис. 4а).

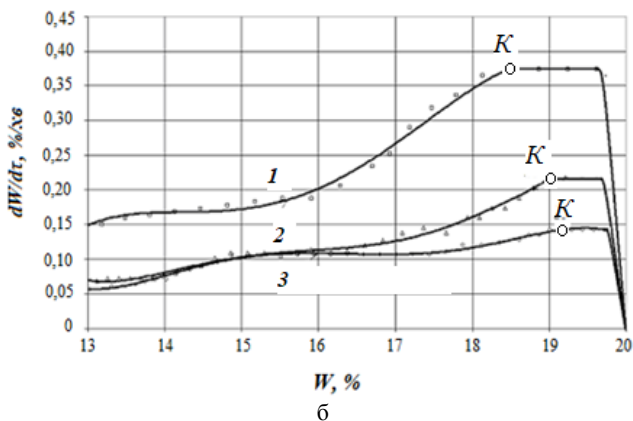
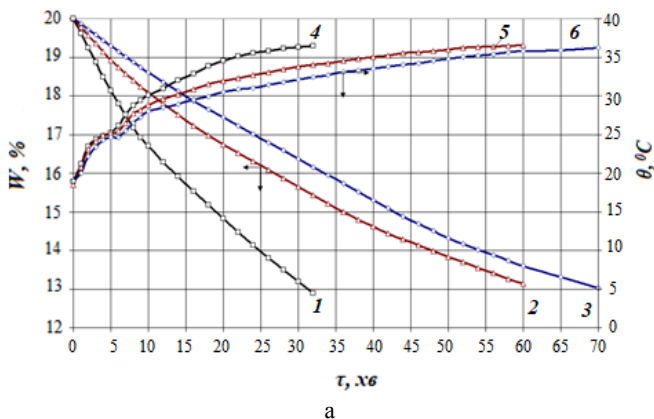


Рис. 4. Вплив температури теплоносія та температури нагрівання матеріалу на тривалість сушіння (а) та швидкість сушіння (б) насіння вівса, пшениці та ячменю: $t = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$, $V = 1,5\text{ м/с}$, $S = 20\text{ мм}$, $d = 6\text{ г/кг с. п.}$; 1, 4 – овес; 2, 5 – пшениця; 3, 6 – ячмінь

Сушіння насіння зернових культур проходить періоди прогрівання, постійної та спадної швидкості сушіння. Максимальна швидкість сушіння вівса становить $0,375\%/хв$, пшениці $0,218\%/хв$ та ячменю $0,142\%/хв$ (рис. 4б)

Висновки. Витрати теплоти під час сушіння насінневих матеріалів із тепловим насосом при режимі сушіння $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ становлять 3675 кДж/кг вип. вологи, що на 36% менше від витрат на традиційних сушильних установках. Схожість насіння ячменю, пшениці, вівса за умов сушіння в сушильному стенді з тепловим насосом за температури теплоносія $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ становить $99\text{--}100\%$.

Список джерел інформації / Referens

1. “Henbest: Energy to 2040 – Faster Shift to Clean, Dynamic, Distributed. Bloomberg New Energy”, available at: <http://about.bnef.com>
2. Rogulska, M. (2005), “Stan obecny i kierunki rozwoju energetycznego wykorzystania biomasy w Polsce”, *Zrównoważone systemy energetyczne*. referat z konferencji 12–14.10.2005, Zakopane.
“Current state and directions of the energy development of biomass use in Poland” [Suchasnyy stan ta napryamy enerhetychnogo rozvytku vykorystannya biomasy v Polshchi] paper from the conference “Sustainable energy systems” 12 - 14.10. 2005, Zakopane.
3. Розвиток відновлювальних джерел енергії в Україні // Інформаційний портал Житло [Електронний ресурс] Режим доступу : <http://www.zhytlo.in.ua>
“Development of renewable energy sources in Ukraine”, *Information portal Housing* [“Rozvytok vidnovlyvalnykh dzherel enerhiyi v Ukrayini”], *Informatsiynyy portal Zhytlo*, available at:<http://www.zhytlo.in.ua>
4. Могилко О. В. Аналіз перспектив розвитку сонячної енергетики та інших альтернативних джерел енергії України / О. В. Могилко // Вісник економіки транспорту і промисловості. – 2010. – № 30. – С. 51–53.
Mogilko, O.V. (2010), “Analysis of prospects for the development of solar energy and other alternative energy sources in Ukraine” [“Analiz perspektiv rozvytku sonyachnoyi enerhetyky ta inshykh alternatyvnykh dzherel enerhiyi Ukrayiny”], *Bulletin of Transport Economics and Industry*, No 30, pp. 51-53.
5. Ren21’s Renewables 2015. Global Status Report, available at: http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2015/07/REN12-GSR2015_Onlinebook_low1.pdf.
6. “Price quotes updated weekly – PV spot prices” available at: <http://pv.energytrend.com>.
7. Окунь Г. К. Тенденции развития технологии и технических средств сушки зерна / Г. К. Окунь, А. Г. Чижигов. – М. : ВНИИТЭИагропром, 1987. – 52 с.
Okun, G.K., Chizhikov, A.G. (1987), *Trends in the development of technology and technical means of grain drying* [Tendentsiyi rozvytku tekhnolohiyi ta tekhnichnykh zasobiv sushinnya zerna], VNShTEIaGroprom, Moscow, 52 p.
8. Теплові насоси в системах теплохолодопостачання Снежкін Ю. Ф., Чалаев Д. М., Шаврин В. С., Дабіжа Н. О. – Київ : Поліграф-Сервіс, 2009. – 104 с.
Snezhkin, Yu.F., Chalaev, D.M., Shavrin, V.S., Dabizha, N.O. (2009), *Heat pumps in heat and cold supply systems* [Teplovi nasosy v systemakh teplokhologopostachannya], Poligraf-Service, Kyiv, 104 p.
9. Теплонасосна зерносушарка для насінневого зерна / Снежкін Ю. Ф., Пазюк В. М., Петрова Ж. О., Чалаев Д. М. – Київ : Поліграф-Сервіс, 2012. – 154 с.
Snezhkin, Yu.F., Paziuk, V.M., Petrova, Zh.O., Chalaev, D.M. (2012), *Heat pump grain dryer for seed grain* [Teplonasosna zernosusharka dlya nasinnyevoho zerna], Poligraf-Service LLC, Kyiv, 154 p.
10. Денисюк С. П. Формування політики підвищення енергетичної ефективності – сучасні виклики та європейські орієнтири / С. П. Денисюк // Енергетика: економіка, технології, екологія. – 2013. – № 2. – С. 7–22.

Denisyuk, S.P. (2013), "Formation of energy efficiency policy – modern challenges and European guidelines" ["Formuvannya polityky pidvyshchennya enerhetychnoyi efektyvnosti – suchasni vyklyky ta yevropeyski oriyentyry"], Energy: economics, technology, ecology, No. 2, pp. 7-22.

11. Коновалов В. И. Сушка с тепловыми насосами в химической промышленности: возможности и экспериментальная техника / В. И. Коновалов, Е. В. Романова, Н. Ц. Гагапова // Вестник ПГТУ. – 2011. – № 3. – С. 153–178.

Konovarov, V.I., Romanova, E.V., Gagarova N.C. (2011), "Drying with heat pumps in the chemical industry: possibilities and experimental techniques" ["Sushka s teplovymi nasosami v khimicheskoy promyshlennosti: vozmozhnosti i eksperimentalnaya tekhnika"], *Bulletin of TSTU*, No. 3, pp. 153-178.

Пазюк Вадим Михайлович, д-р техн. наук, доц., провідний науковий співробітник відділу тепломасопереносу в теплотехнологіях, Інститут технічної теплофізики Національної академії наук. Адреса: вул. Булаховського, 2, м. Київ, Україна, 03164. Тел.: 0962235306; e-mail: vadim_pazuk@ukr.net.

Paziuk Vadim, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Leading Researcher Department of Heat and Mass Transfer in Heat Technologies, Institute of Technical Thermophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine. Address: Bulakhovsky str., 2, Kyiv, Ukraine, 03164. Tel.: 0962235306; e-mail: vadim_pazuk@ukr.net/

DOI: 10.5281/zenodo.4369745

УДК 640.4:662.992

ОРГАНІЗАЦІЯ СИСТЕМИ РЕКУПЕРАЦІЇ ТЕПЛОТИ ДЛЯ ВИКОРИСТАННЯ В ЗАКЛАДАХ РЕСТОРАННОГО ГОСПОДАРСТВА

Д.В. Горєлков, Г.М. Постнов, І.В. Нечипоренко, Б.В. Ляшенко

Визначено технічні особливості організації системи теплообміну, що може використовуватися в закладах ресторанного господарства для забезпечення ефективної теплопередачі від відпрацьованого повітря до іншого теплоносія з урахуванням експлуатаційних особливостей. Наведено результати експериментальних досліджень доцільності використання ребер у конструкції рекупераційної установки та значення кута нахилу ребер у ній.

© Горєлков Д.В., Постнов Г.М., Нечипоренко І.В., Ляшенко Б.В., 2020