

УДК 621.9.:681.3

В.О. Потапов, д-р техн. наук

І.С. Ковш, магістр

ВИКОРИСТАННЯ ТЕПЛОВИХ НАСОСІВ У ПРОЦЕСІ СУШІННЯ

Розглянуто використання теплового насосу для процесу сушіння харчової сировини. Наведено класифікацію теплових насосів та історію їх використання у процесі сушіння. Викладено критерії вибору типу теплового насосу.

Рассмотрено использование теплового насоса для процесса сушки пищевого сырья. Приведена классификация тепловых насосов и историю их использования в процессе сушки. Изложены критерии выбора типа теплового насоса.

The use of heat pump is considered for the process of drying of food raw material. Classification of heat pumps is resulted and history of their use in the process of drying. The criterion of choice of type of heat pump are expounded.

Постановка проблеми у загальному вигляді. В сучасних умовах за швидкого подорожчання енергоносіїв, особливо актуальною стає проблема енергозберігання у виробничо-господарській діяльності підприємств. Одним з найбільш енергоємних процесів є теплове сушіння. Особливе значення даний технологічний процес набирає в умовах, коли необхідно збереження корисних властивостей матеріалу. Одним із засобів, що дозволяють суттєво знизити експлуатаційні витрати процесу сушіння і отримати високоякісний продукт, являється технологія сушіння з тепловим насосом (ТН).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Використання теплових насосів у процесі сушіння значно зростає, на ринку з'являються численні установки для цих цілей. Розгляд цього питання почався ще у середині минулого сторіччя [1]. Можливість використання різних типів теплових насосів було розглянуто Є.В. Романовою та А.Ю. Орловим [2]. Слід зазначити, що обсяг викладеного матеріалу недостатній.

Мета та завдання статті. Виходячи з цього, метою даної роботи є огляд існуючих типів теплових насосів і з'ясування можливостей їх використання в установках для сушіння харчової сировини.

Виклад основного матеріалу дослідження. Тепловий насос представляє собою пристрій, що реалізує процес переносу низькотемпературної теплоти, що не може використовуватись за прямим призначенням, на високотемпературний рівень. Таким чином з низькопотен-

ційної теплоти різного походження (природної теплоти ґрунтових і поверхневих вод, що відновлюється, теплоти ґрунта, атмосферного повітря, а також скидної техногенної теплоти технологічних процесів промислових виробництв, стічних вод біологічних і інших очисних споруд) з температурою 0...50° С виробляється теплота. При цьому кількість корисної теплової енергії середнього потенціалу, що отримується, дорівнює сумі теплових енергій низького і високого потенціалів, що обумовлює енергетичну і, як наслідок, економічну та екологічну ефективність теплових насосів.

Одним з перших використань теплового насоса для обезводнення була зернова сушарка, що розроблена в США в 1950 р. Експериментальна зернова сушарка була виготовлена (рисунок 1) і випробувана в різноманітних умовах, що дозволило перевірити теоретичні дослідження, що проводились в 1949 р

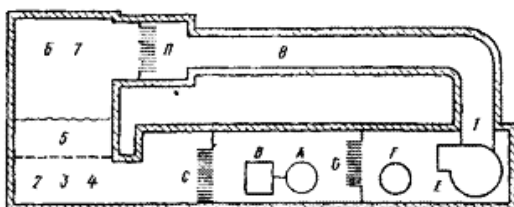


Рисунок 1 – Експериментальна теплонасосна сушарка зерна, що була випробувана в США в 1950 р.: А – електродвигун; Б – компресор; С – конденсатор; D – випарник; Е – вентилятор; F – двигун вентилятора; G – водяний теплообмінник; 1 – три термопари з усередненням показників; 2 – чотири термопари; 3 – вологий і сухий спай термопари; 4 – вимірювач вологості; 5 – термопарний датчик; 6 – чотири термопари з усередненням; 7 – вимірювач витрат

Тепловий насос, з електроприводом потужністю 570 Вт, містив холодоагент R12. Циркуляція повітря забезпечувалась відцентровим вентилятором потужністю 380 Вт. Водяний охолоджуючий контур служив для регулювання температури сушарки.

Одним з перших використань теплового насоса для сушильних цілей у комерційному масштабі з тонким регулюванням температури і вологості є сушарка деревини. Типова установка показана на рис. 2.

Вона працює так, як це було показано раніше, з тією відмінністю, що повітря обдуває електрообладнання, що підвищує використання теплоти і забезпечує охолодження мотора вентилятора. Перед

поверненням в сушильну камеру повітря нагрівається в теплообміннику.

У Новій Зеландії проведено роботу, спрямовану на зниження капіталовкладень в описаній вище сушарці великої потужності з урахуванням обмеження температури, що накладається застосуванням існуючих холодоагентів. Як рішення проблеми рекомендована рекомпресія пари. Тут слід зазначити, що максимальна температура холодоагенту в розрахунках новозеландських авторів — близько 50° С. Проте під час використання таких холодоагентів, як R144, припустима температура конденсації близько 120° С.

Існують наступні типи теплових насосів – це:

- парокompресійні;
- абсорбційні;
- адсорбційні;
- гідридні;
- хімічні;
- термоелектричні.

Масове поширення одержали парокompресійні теплові насоси з електроприводом компресора. Постійно вдосконалюються теплові насоси абсорбційного типу, розширюється область їхнього впровадження. В останні роки активізувалися дослідження адсорбційних теплових насосів на твердих сорбентах.

Принцип роботи компресійних теплових насосів (повітряно-компресійних і парокompресійних) заснований на послідовному здійсненні розширення й стиснення робочого тіла.

На рисунку 4 показано принципову схему компресійного теплового насоса для використання низькопотенційної теплової енергії повітря, що видаляється із сушильної установки (СУ). Пара робочого тіла (холодоагенту) засмоктується з випарника 1 компресором 4, піддаються стисканню й подається в конденсатор 3. Під час стиснення зростають температура й тиск пари. У конденсаторі 3 при конденсації пари виділяється теплота, що відводиться. З конденсатора зріджене робоче тіло через регулюючий вентиль – дросель 2 під час зниження тиску надходить у випарник 1, де випаровується.

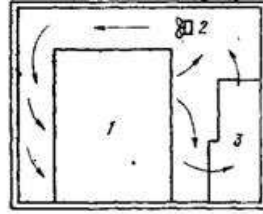


Рисунок 2 – Схема теплонасосної сушарки для дошок: 1 – дошки; 2 – вентилятор; 3 – обезводнювач

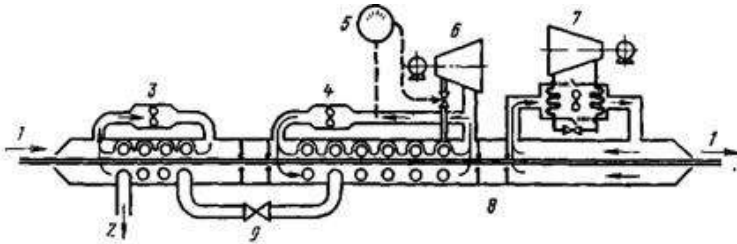


Рисунок 3 – Конвекційна сушарка з контуром перегрітої пари і звичайним тепловим насосом: 1 – продукт; 2 – холодна вода; 3 – потік повітря; 4 – водяна пара атмосферного тиску; 5 – манометр; 6 – компресор водяної пари; 7 – фреоновий компресор; 8 – конденсація пари при 0,5 МПа, 148° С; 9 – вода при 0,5 МПа, 108° С

Низькопотенційна теплота підводиться до випарника, наприклад, від повітря або води.

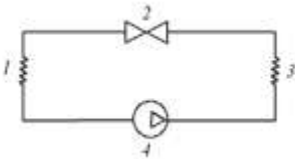


Рисунок 4 – Схема теплового насоса: 1 – випарник; 2 – дросель; 3 – конденсатор; 4 – компресор

У сорбційних (абсорбційних і адсорбційних) теплових насосах здійснюються послідовні термохімічні процеси поглинання (сорбції) робочого тіла сорбентом, що супроводжується виділенням теплоти, а потім виділення (десорбції) робочого тіла із сорбенту з поглинанням теплоти.

Робочим тілом гідридних ТН є оборотний циркулюючий водень. Під час сорбції водню виділяється теплота, при його десорбції поглинається теплота з навколишнього середовища (генерується холод). Діапазон температур таких ТН перебуває в межах -50...200° С.

Водневі теплові насоси мають високу термодинамічну ефективність, забезпечують широкий діапазон зміни температури, однак вони вимагають забезпечення високого рівня надійності експлуатації й відносно дорогі.

Однією з альтернатив парокompресійних ТН є хімічний ТН. Хімічний ТН може зберігати теплову енергію у вигляді хімічної енергії, що виділяється під час екзотермічної реакції. Хімічні ТН використо-

вують тільки теплову енергію й не дають забруднюючих викидів, що істотно відрізняє їх від механічних ТН. Енергетична ефективність сушарки з хімічним ТН набагато вище в порівнянні з конвективною сушаркою. Особливості сушіння з хімічним ТН залежать від обраної хімічної реакції, а також від режиму роботи.

Принцип дії термоелектричних теплових насосів заснований на ефекті Пельтьє, тобто на виділенні й поглинанні теплоти в спаях термопарних ланцюгів під час проходження через них електричного струму. У Воронежській державній технологічній академії було розроблено сублімаційну сушарку з термоелектричними елементами, проведений теоретичний аналіз ефективності застосування термоелектричних модулів в установках сублімаційного сушіння й обрані оптимальні режими їхньої роботи.

Ефективність і доцільність застосування кожного виду теплонасосного устаткування залежить від конкретних умов і вимагає техніко-економічного аналізу з урахуванням різних принципів роботи устаткування. У кожному окремому випадку варто розраховувати конкретну економічну й енергетичну вигоду й експлуатаційні витрати.

Застосування теплових насосів у процесі сушіння помітно зростає, на ринку з'являються численні установки, призначені для цих цілей.

Код звичайної конвекційної сушарки (формула 1) залежить від ступеня рециркуляції повітря й описується формулою

$$\eta = \frac{T_2 - T_3}{T_2 - T_3 + W \cdot (T_3 - T_1)} \quad (1)$$

де T_1 – температура навколишнього повітря; T_2 – температура повітря на вході в сушильну камеру; T_3 – температура скидного повітря; W – відношення витрати рециркуляційного повітря до повної витрати.

У звичайній сушарці неможлива 100%-а рециркуляція, тому що підвищення вологості повітря швидко ліквідує його сушильну здатність. Проте тепловий насос може бути ефективно застосований у су-

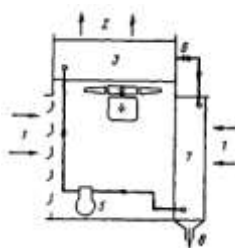


Рисунок 5 – Теплонасосна сушарка: 1 – вологе повітря; 2 – сухе повітря; 3 – конденсатор; 4 – вентилятор; 5 – компресор; 6 – дросель; 7 – випарник; 8 – конденсат

шарках як засіб видалення вологи з повітря, що викидається, так що він може направлятися на рециркуляцію в значно більших кількостях.

Процес зневоднювання за допомогою теплового насоса (рисунок 5) можна зобразити на психрометричній діаграмі (рисунок 6).

Повітря, що виходить, яке потрібно осушити, проходить через випарник теплового насоса й охолоджується (процес 1, 2 на рисунку 6). У результаті охолодження частина вологи конденсується й випливає через дренаж. Рециркулююче повітря надходить потім у конденсатор і нагрівається за рахунок використання явної й схованої теплоти, сприйнятої випарником, і тепла, еквівалентного роботі стискування.

Кжд системи підкоряється звичайним законам теплових насосів, Коефіцієнт перетворення залежить від різниці температур випарювання й конденсації.

Характеристики теплових насосів у сушарках найчастіше зображують у їхній залежності від ступеня видалення вологи, що має розмірність кг/(кВт/год). Ступінь видалення вологи зростає в міру підвищення температури й вологості.

Висновки. За проведенням оглядом можна зробити висновок, що використання теплових насосів у процесі сушіння з кожним роком зростає. Вибір типу теплового насоса залежить від потреб виробництва, конструкції сушарки та експлуатаційних умов.

Список літератури

1. Тепловые насосы – теплоснабжение будущего [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <<http://www.teplonasosu.ru>>.
2. Романова, Е. В. Возможности использования тепловых насосов в процессе сушки [Текст] / Е. В. Романова, А. Ю. Орлов // Вестник ТГТУ. – 2008. – Том 14. – №3. – С. 591–596.
3. Горшков, В. Г. Тепловые насосы. Аналитический обзор / В. Г. Горшков //Справ. пром. оборудования. – 2004. – № 2. – С. 47–80.
4. Васильев, Л. Л. Перспективы применения тепловых насосов в республике Беларусь [Электронный ресурс] / Л. Л. Васильев // Электрон. журн. энергосервис. компании «Экологические системы» – 2005. – №7. – Режим доступа : <<http://esco-ecosys.narod.ru/index.htm>>.

Отримано 31.03.2010. ХДУХТ, Харків.

© В.О. Потапов, І.С. Ковш, 2010.

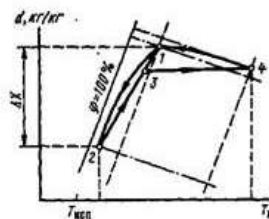


Рисунок 6 – Видалення вологи за допомогою теплового насосу: $T_{к}$, $T_{вип}$ – температури конденсації та випарювання; d – абсолютна вологість; ϕ – відносна вологість