

витрати в інших типів зерносушарках, можна відзначити доцільність сушіння зерна ріпаку в теплонасосній сушильній установці, це дає можливість зменшити витрати теплоти на 20 – 40%.

1. Станкевич Г. М., Страхова Т. В., Атаназевич В.І. Сушіння зерна: Підручник – К.: Либідь, 1997 – 352 с. 2. Сорочинський В. Эффективный способ двухстадийной сушки зерна// Комбикормовая промышленность – 1996. – №4. – С. 17 – 18. 3. ОАО „Бріг”. Проспект фірми ОАО „Бріг”. Міжнародна виставка “УкрАГРО – 2007”. 4. Окунь Г. К., Чижиков А. Г. Тенденции развития технологии и технических средств сушки зерна. – М.: ВНИИТЭИагропром, 1987. – 52 с.

УДК 66.045

І.О. Дубовкіна, Д.М. Чалаєв, Н.О. Дабіжа, В.В. Шморгун
Інститут технічної теплофізики НАН України

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ЗРАЗКА РЕКУПЕРАТИВНОГО АПАРАТА

© Дубовкіна І.О., Чалаєв Д.М., Дабіжа Н.О., Шморгун В.В., 2009

Подано експериментальні дослідження зразка рекуперативного апарата. Наведені дані лабораторних досліджень, одержані робочі характеристики експериментального зразка рекуперативного апарата.

There are represented experimental researches of experimental model of recuperative apparatus. The data of laboratory experiments are presented. The working characteristics of experimental model of recuperative apparatus were received.

Постановка проблеми. Рекуперативні теплообмінники становлять великий практичний інтерес, як найдоступніший засіб впровадження енергозберігаючих технологій. Теплообмінники на теплових трубах є різновидом регенеративних теплообмінників з проміжним теплоносієм. Вони є замкнутими порожнинами, в які під вакуумом заливається деяка кількість легкокиплячої рідини. Зовнішня поверхня труб має оребрення. Застосовується пластинчасте або спіральсно-намотувальне оребрення [1].

Переваги теплообмінників з теплових труб: відсутність рухомих елементів, відсутність зовнішнього джерела енергії для перекачування проміжного теплоносія; кожна тепла труба є автономним теплопередавальним елементом; велика площа теплообмінної поверхні на одиницю об'єму; можливість рекуперації теплоти при малих різницях температур; можливість роботи в потоках з високою вологістю: у разі охолодження потоку вологого газу нижче від температури точки роси конденсат стікає в розташовані внизу дренажні канали; реверсивність: у системах кондиціонування повітря теплообмінники можуть як охолоджувати, так і нагрівати припливне повітря залежно від пори року; простота обслуговування, легкий доступ до теплообмінних поверхонь, що спрощує очищення теплообмінника; необмежений термін служби [2].

Недоліком цієї конструкції теплообмінників є порівняно мала довжина (не більше 5 м), звідси обмежена можливість розосередження повітроохолоджувача і повітронагрівача.

Ефективність теплових труб η_t становить від 45 до 65 % і можна регулювати за рахунок зміни нахилу щодо вертикального положення. Серед інших засобів рекуперації теплові труби відрізняються найбільшою компактністю.

З метою зниження трудомісткості виготовлення теплообмінників з тепловими трубами і їхнє здешевлення досліджено можливість застосування в таких системах традиційних теплообмінних

апаратів, які випускаються серійно. Раніше було показано [3], що на основі промислових калориферів, а також стандартних повітряних конденсаторів і випарників, застосовуваних в холодильній техніці, можуть бути створені дешеві рекуператори тепла, які працюють на принципі термосифонних (гравітаційних) теплових труб.

В Інституті технічної теплофізики НАН України було створено дослідний зразок рекуперативного апарата (рис.1). На відміну від традиційних рекуператорів, в яких кожна трубка є окремо заправленою тепловою трубою, у такій конструкції всі труби сполучені між собою калачами і апарат має тільки один вихідний патрубок для заправки системи. Після заправки спочатку весь робочий агент розташований в ближніх до заправного штуцера трубках і його перерозподіл за системою відбувається вже під час роботи апарата. Експерименти підтвердили, що після подачі на теплообмінник гарячого і холодного повітряних потоків робочий агент за рахунок послідовного випаровування і конденсації в трубках рівномірно розподіляється по трубках.

Теплообмінник розділений горизонтальною перегородкою на дві ізольовані від перетікань повітря секції. Верхня частина теплообмінника є конденсаційною зоною теплової труби і слугує для підігрівання холодного повітряного потоку, а нижня – випарною зоною теплової труби і слугує для відбору теплоти від гарячого повітряного потоку.

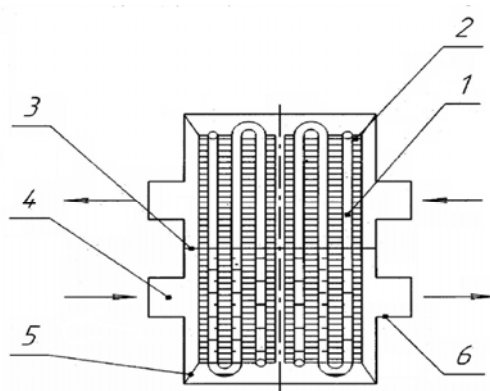


Рис. 1. Рекуператор теплоти на теплових трубах:

- 1 – трубки з фреоном R22;
- 2 – оребрення; 3 – перегородка; 4 – патрубок; 5 – ущільнювач;
- 6 – корпус теплообмінника

Експериментальна частина. Стенд для випробування експериментального зразка рекуператора (рис. 2) містить вентилятор 1 для подавання повітря в рекуператор, каналний повітрянагрівач 6 і повітропроводи 5, під'єднані до патрубків досліджуваного рекуператора. Рекуператор складається з металевому корпусу 4 із зйомною лицьовою панеллю і містить чотири повітряні патрубки на бічних сторонах. У корпусі рекуператора розміщена секція оребреного трубчастого теплообмінника 7, вхід і вихід якого герметично запаяні, а внутрішній об'єм 10 частково заповнений холодоагентом R-22. У середній частині корпусу рекуператора 4 розташована перегородка, яка розділяє секцію теплообмінника на дві порожнини. Верхня частина теплообмінника є конденсаційною зоною термосифонної теплової труби, а нижня частина – випарною зоною. Під час роботи рекуператора потоки повітря, що нагріваються і охолоджуються, рухаються в протитечії і проходять, відповідно, через конденсаційну і випарну зони теплообмінника.

Для забезпечення однакової витрати теплоносія через гріючу та охолоджувальну порожнини рекуператора (з метою підвищення точності вимірювань) циркуляція повітря в апараті здійснюється за допомогою одного вентилятора.

Вентилятор 1 встановлений перед вхідним патрубком конденсаційної зони рекуператора, а вихідний патрубок конденсаційної зони сполучений повітровою системою з каналним повітрянагрівачем 6, який встановлений на вході у випарну зону рекуператора.

Вентилятор 1 нагнітає холодне повітря в конденсаційну зону теплообмінника 7. У теплообміннику холодне повітря сприймає теплоту від фреону, що конденсується в трубках, і нагрівається. Після проходження конденсаційної зони підігріте повітря по повітроводу 5 надходить в каналний повітрянагрівач 6 і догрівається в ньому до заданої температури. Гаряче повітря через вихідний патрубок каналного повітрянагрівача подається у випарну зону рекуператора і охолоджується, віддаючи теплоту киплячому в трубках фреону.

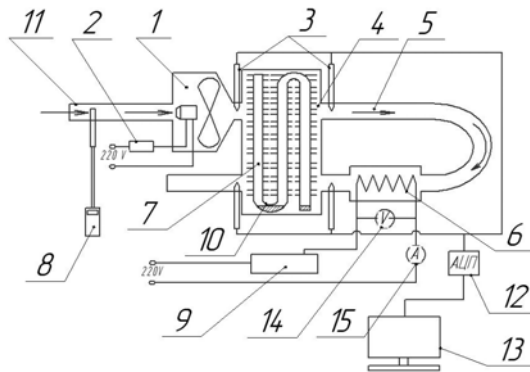


Рис. 2. Схема та система вимірювання стенда

для випробовування експериментальних зразків рекуператорів:

- 1 – вентилятор відцентровий; 2 – регулятор швидкості обертання двигуна вентилятора;
- 3 – термопара; 4 – корпус рекуператора; 5 – повітровід;
- 6 – повітрянагрівач каналний; 7 – теплообмінник; 8 – термоанемометр;
- 9 – регулятор потужності; 10 – холодоагент робочий; 11 – ділянка стабілізаційна повітроводу;
- 12 – перетворювач аналого-цифровий; 13 – комп'ютер персональний;
- 14 – вольтметр; 15 – амперметр

Після проходження через випарну зону теплообмінника відпрацьоване повітря викидається. З метою забезпечення постійної в часі температури свіжого повітря, що надходить в рекуператор, відведення відпрацьованого теплого повітря винесено за межі приміщення і проводиться через гнучкий теплоізолюваний повітровід.

Вибирають температурні режими роботи рекуператора і підтримку необхідної продуктивності по повітрю проводиться за допомогою пульта управління стендом. Основними елементами системи управління стендом є регулятор швидкості обертання двигуна вентилятора 2 і регулятор потужності ТЕНа каналного повітрянагрівача 9.

Методика обробки результатів. Відповідно до схеми циркуляції повітря у лабораторному стенді через випарну та конденсаційну зони теплообмінника проходить однакова кількість теплоносія. За результатами експериментів отримано робочі характеристики рекуператора в діапазоні швидкостей теплоносія 0,4 – 3,6 м/с і температурах до 90°C. Як очевидно з графіків (рис. 3), при мінімальних швидкостях повітря ефективність рекуператорів наближається до величини теоретичного максимуму.

Дослідження показали, що за рахунок масо- і теплопереносу між сусідніми трубками в теплообміннику із змійовиковою тепловою трубою відбувається вирівнювання температури повітряного потоку за поперечним перетином повітровою системою. Вирівнювання температур під час проходження повітря крізь рекуператор показано на рис. 4. Верхні лінії відповідають температурам на вході в рекуператор, а нижні – температурам на виході з рекуператора.

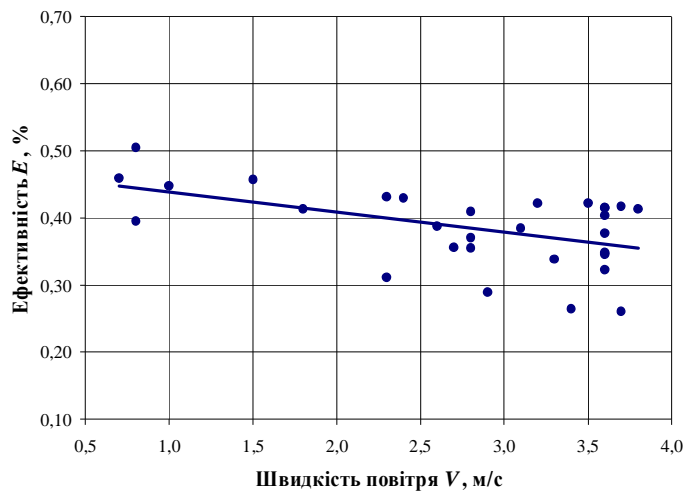


Рис. 3. Залежність ефективності рекуператора від швидкості руху теплоносія

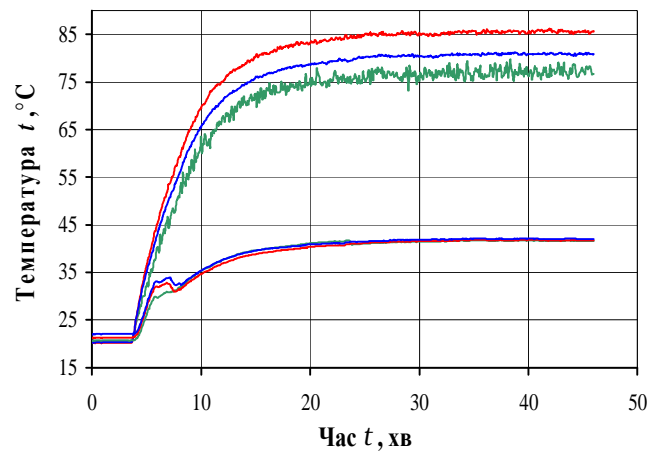


Рис. 4. Розподіл температур повітря за перетином повітроводу до і після рекуператора

1. Leonard L. Vasiliev. Heat pipes in modern heat exchangers // *Applied Thermal Engineering*. – 2005. – № 25. – Р. 1–19. 2. Безродный М. К., Пиоро И. Л., Костюк Т. О. Процессы переноса в двухфазных термосифонных системах: Монография. – К.: Факт, 2003. 3. Грабов Л.Н., Чалаев Д.М., Шморгун В.В., Карповец А.А. Рекуперация теплоты отработанного в распылительной сушилке теплоносителя с использованием теплообменника на тепловых трубах // *Тр. 2-й Междунар.научн.-практ. конф. “Современные энергосберегающие тепловые технологии (сушка и тепловые процессы) СЭТТ-2005”*, 11-14 октября 2005 г. – М., 2005. – Т.2. – С.78–80.