

и выдавливается через отверстия матрицы. Неподвижный нож 4 или просто стержень срезает (сламывает) выходящие жгуты.

Одной из проблем являются конструкции приводов прессов. Мощность приводных электродвигателей достигает 200 кВт, поэтому передать её на главный вал с матрицей, вращающейся с небольшой угловой скоростью затруднительно. Наиболее распространенной, остаётся схема, приведенная на (рис. 6 а). От низкооборотного электродвигателя 4, через зубчатую передачу 3, крутящий момент передается на вал с матрицей. Преимуществом данной схемы, является высокий к.п.д. зубчатой передачи. Применяют в приводе прессов и ременные передачи. Учитывая проскальзывание ремней при небольших угловых скоростях, на второй ступени устанавливают зубчатые ремни (рис. 6 б).

От электродвигателя 5 через клиноременную передачу 4, вращается промежуточный вал, с которого через передачу с зубчатым ремнем 3, крутящий момент передается на вал 2 с матрицей 1. Иногда обе передачи выполняют зубчатыми ремнями (рис. 6 в). Для снижения нагрузок на ременные передачи, мощность подводят двумя потоками (рис. 6 г). От электродвигателя 5, через клиноременные передачи 4 и 3, вращение передаётся на главный вал 2. На этот же вал передается крутящий момент от электродвигателя 8, через ременные передачи 7 и 6.

При использовании в качестве второй ступени ременной передачи с зубчатым ремнем, возможно, подводить мощность двумя потоками от электродвигателей 5 и 7, через клиноременные передачи 4 и 6 (рис. 6 д). Зубчатый ремень 3 имеет два рабочих участка, что позволяет передавать большой крутящий момент на вал 2 с матрицей. Применение клиновых ремней по данной схеме исключено из-за небольшого угла обхвата ведомого шкива расположенного на валу 2.

В статье проанализированы схемы прессового технологического оборудования, применяемого при производстве комбикормов. Рассмотрены их преимущества и недостатки, позволяющие сделать выбор при установке нового оборудования на комбикормовых заводах.

Литература

1. Технологическое оборудование предприятий для хранения и переработки зерна / Под ред. А.Я. Соколова / 5-е изд. перераб. и доп. – М.: Колос. 1984.
2. Оборудование для производства муки, крупы и комбикормов. Демский А.Б., Веденев В.Ф. Справочник. – М.: ДеЛипринт, 2005. – 760 с.

УДК 664.723.047.59

УТИЛІЗАЦІЯ ЕНЕРГІЇ ВОЛОГОГО ПОВІТРЯ В РЕКУПЕРАТИВНІЙ ЗЕРНОСУШАРЦІ

Безбах І.В., докторант

Одеська національна академія харчових технологій, м. Одеса

Розглянуто апарати на базі термосифонів для сушіння дисперсних харчових матеріалів, способи утилізації енергії. Наведено результати експериментальних досліджень.

Devices on the basis of thermosiphons for drying of disperse food materials, methods of energy recovery are considered. Results of experimental researches are presented.

Ключові слова: термосифони, дисперсні матеріали, утилізація енергії.

У сучасних умовах зростаючого споживання енергії, з одного боку, і дефіциту енергетичних ресурсів, з іншого, усе більш гостро ставляться питання раціонального використання енергії, утилізації тепла у всіх процесах харчової технології, включаючи сушіння. Процес конвективного сушіння неминує супроводжується неповним використанням енергії теплоносія, що пов'язано з умовами гідротермічної рівноваги між матеріалом і сушильним середовищем. Однак утилізація й вторинне використання тепла відпрацьованого сушильного агента дотепер залишаються проблематичними, тому що існують труднощі, пов'язані з порівняно невисоким потенціалом газового теплоносія на виході із сушарки [1]. Саме тому значний інтерес становлять способи утилізації й рекуперації теплоти, яка втримується у відпрацьованому сушильному агенті або у висушеному продукті, для потреб самого процесу сушіння.

Аналіз парку сушильної техніки в Україні показує, що в 48 % випадків експлуатуються застарілі шахтні агрегати вітчизняного виробництва. Виробники сучасних шахтних сушарок намагаються використувати утилізацію теплоти, що перебуває у відпрацьованому агенті сушіння. У таблиці 1 наведені різні

способи й результати, однак, як технічно це реалізується не вказується [2].

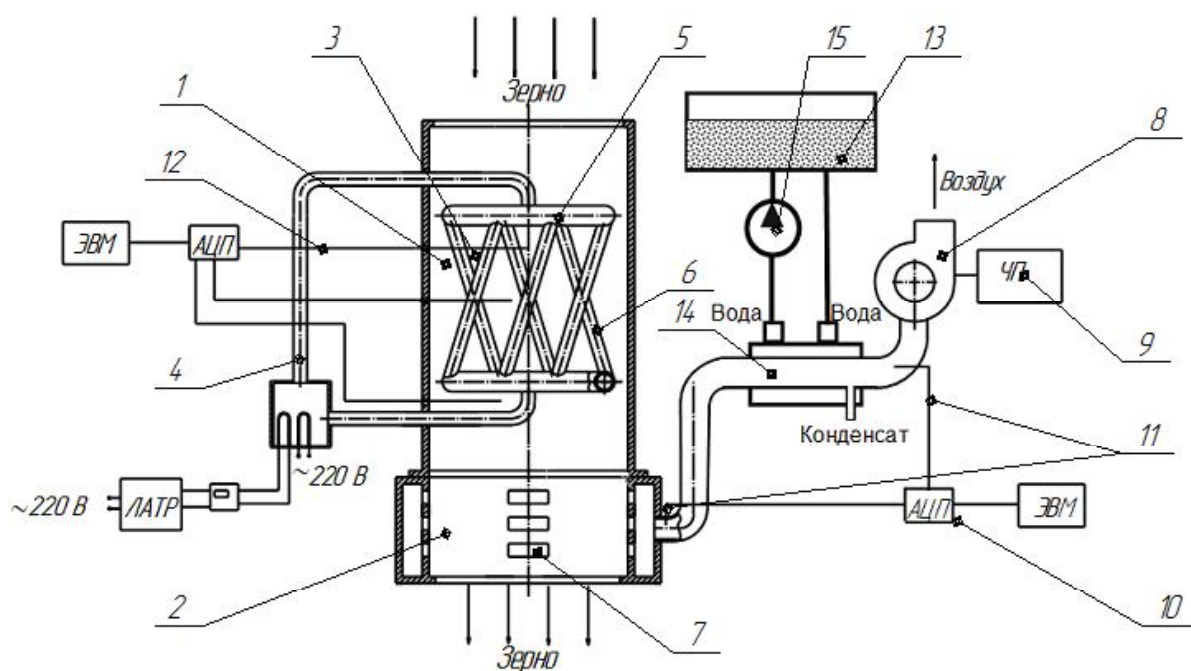
Таблиця 1 – Способи утилізації тепловтрат у шахтних сушарках

Способи утилізації тепловтрат у шахтних сушарках	Питомі енерговитрати, кДж/кг вид. вол.
Зерносушарки, що не використовують утилізацію	5000...5850
Зерносушарки, що використовують тільки утилізацію охолоджувального повітря	4800
Зерносушарки, що використовують утилізацію охолоджувального повітря й частково утилізацію відпрацьованого ненасиченого сушильного агента з нижніх зон сушіння	4418
Зерносушарки, що використовують утилізацію охолоджувального повітря й сушильного агента, у тому числі насиченого з верхніх зон сушіння	3240

Для вирішення проблем адресної доставки енергії до зерна, зниження енергоспоживання процесу сушіння, підвищення екологічності процесу на кафедрі процесів, апаратів і енергетичного менеджменту ОНАХТ розроблено конструкцію рекуперативної сушарки (рис. 1).

Сушарка містить шаровий підігрівник 1, сушильну камеру 2, термосифон (ТС), конденсаційна ділянка 3 якого розташована всередині шарового підігрівника 1, а випарна ділянка 4 розташована зовні сушарки. Конденсаційна ділянка 3 термосифона шарового підігрівника 1 виконана у вигляді торових камер 5, з'єднаних пучками труб 6 з нахилом 50...60°.

У корпусі сушильної камери 2 виконані канали 7 для відводу пароповітряної суміші за допомогою вентилятора 8, з'єднаного із сушильною камерою 2.



1 – шаровий підігрівник зерна, 2 – сушильна камера, 3 – конденсаційна ділянка термосифона, 4 – випарна ділянка термосифона, 5 – торові камери, 6 – пучок труб, 7 – канали для відводу вологого повітря, 8 – вентилятор, 9 – частотний перетворювач, 10 – аналогово-цифровий перетворювач, 11 – датчик для виміру параметрів повітря, 12 – термометр, 13 – смітник із водою, 14 – теплообмінник-рекуператор, 15 – насос

Рис. 1 – Конструкція рекуперативної зерносушарки

Сушарка працює в такий спосіб. При підведенні енергії нагрівається випарна ділянка 4 термосифона. Дисперсний матеріал, наприклад зерно, надходить зверху, зіштовхується з нагрітою поверхнею конденсаційної ділянки 3 термосифона й нагрівається до температури сушіння. Матеріал у шаровому підігрівнику 1 і сушильній камері 2 рухається щільним гравітаційним шаром. Насичене вологою повітря видаляється із сушильної камери 2 в атмосферу через канали 7 на корпусі камери за допомогою вентилятора 8.

Зерновий потік рухається щільним гравітаційним шаром уздовж пучка, що є конденсаційною ділянкою термосифона. Оригінальна конструкція пучка забезпечує ефективне перемішування шару зерна. Обґрунтування форми пучка проведено за результатами дослідження механіки обтікання зерном труб різної орієнтації й форми [3].

У лінію усмоктування вентилятора вмонтований теплообмінник-рекуператор 14. Циркуляцію води забезпечували за допомогою відцентрового насоса 15. Кількість води в буферній ємності 100 л. Вимірювали параметри повітря на вході-виході з теплообмінника.

Метою експериментальних досліджень було одержати характеристики вологого повітря на виході з рекуперативної сушарки, оцінити можливість використання його теплоти для попереднього нагрівання зерна перед сушінням.

Експерименти проведені в наступному діапазоні (табл. 2).

Таблиця 2 – Діапазон експериментальних досліджень

Витрати повітря, $G_{\text{пов}}, \text{кг/с}$	0.006...0.02
Витрати зерна, $G_z, \text{кг/с}$	0.15
Витрати води, $G_{\text{вод}}, \text{кг/с}$	0.10
Площа теплообмінника, м^2	0.25
Загальна маса зерна в шахті, кг	60
Тиск у конденсаторі ТС, Р, МПа	0.2
Температура поверхні конденсатора ТС, $^{\circ}\text{C}$	120
Температура води початкова, $^{\circ}\text{C}$	14

У результаті експериментів отримано зміну вологовмісту (рис. 2), вологості, температури вологого повітря на виході з рекуперативної зерносушарки.

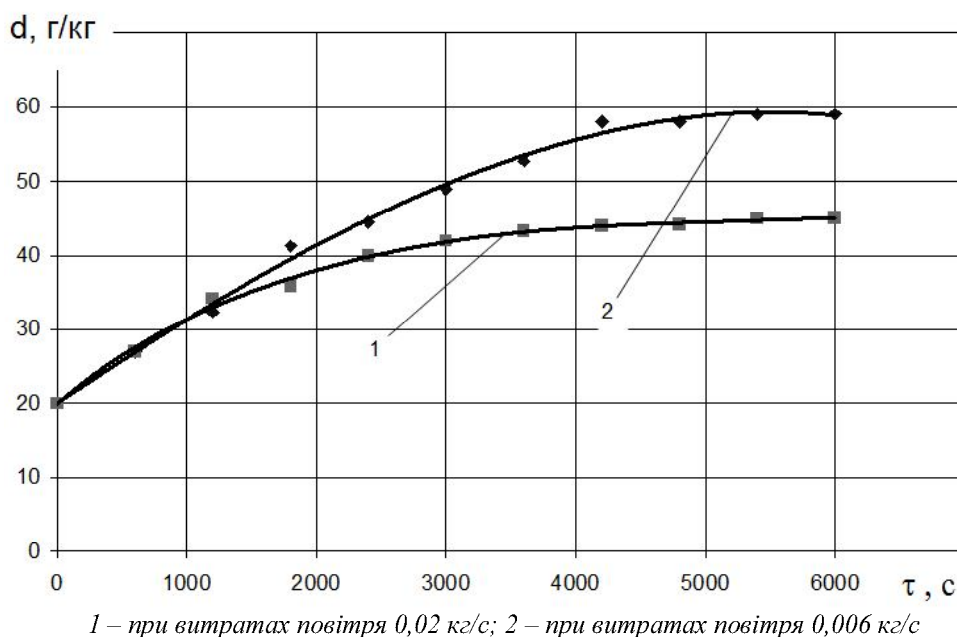
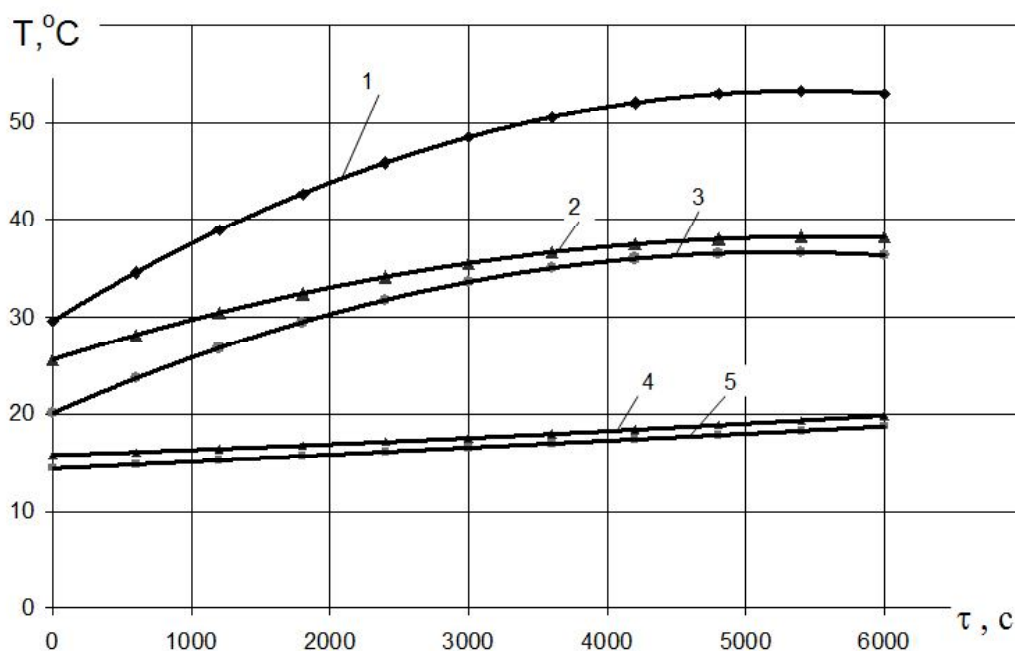


Рис. 2 – Зміна вологовмісту повітря, що виходить з рекуперативної зерносушарки

При витраті повітря 0,006 кг/с вологовміст повітря наприкінці процесу сушіння становив 60 г/кг за відносної вологості 94 %, що робить його близьким до точки фазового переходу. Таким чином зростає потенціал використання такого повітря як теплоносія для попереднього підігріву зерна.

Одержали наступні температури для зернового потоку, вологого повітря на вході-виході з теплообмінника, охолоджувальної води в теплообміннику (рис. 3).

Сушіння зерна проходить у нестационарному режимі, температура зернового потоку, повітря протягом близько 3000 с постійно збільшується, після чого графіки приймають автомоделний вид.



1 – температура зернового потоку, 2 – температура повітря на виході із сушарки, 3 – температура повітря на виході з теплообмінника-рекуператора, 4 – температура охолоджувальної води кінцева, 5 – температура охолоджувальної води початкова

Рис. 3 – Термограми при охолодженні вологого повітря

Попередньо були розраховані коефіцієнти тепловіддачі $\alpha_{\text{пов}}$ при конденсації водяної пари з повітря, що відводиться із сушарки, для умов експерименту. У літературі найчастіше зустрічаються залежності для розрахунку коефіцієнтів тепловіддачі при конденсації насиченої водяної пари [4] або насиченої водяної пари з домішкою повітря [5] (концентрація повітря до 8 %). При розрахунку коефіцієнтів тепловіддачі для конденсації водяної пари, що перебуває в повітрі, найчастіше розраховують коефіцієнт тепловіддачі для сухого повітря і вводять деяку поправку (поправку на конденсацію [1], коефіцієнт вологовипадіння [6] та ін.) Існують також методики розрахунку коефіцієнтів тепловіддачі при охолодженні вологого повітря з урахуванням тепломасообміну при конденсації. В результаті отримали з урахуванням поправки на конденсацію $\alpha_{\text{пов}}=907 \text{ Вт/м}^2\cdot\text{К}$, з урахуванням коефіцієнта вологовипадіння $\alpha_{\text{пов}}=129,5 \text{ Вт/м}^2\cdot\text{К}$. Розрахунок зроблений для умов конденсації на внутрішній поверхні круглої труби.

В експериментах у теплообміннику-рекуператорі вдалося реалізувати наступний процес охолодження вологого повітря з 40 до 36 °С, утилізовано тепловий потік 360 Вт. Розрахунковий коефіцієнт тепловіддачі від вологого повітря до стінки порядку 60 Вт/м²·К. Досягнуто умов часткової конденсації пари, яка знаходиться у вологому повітрі, що викидається із сушарки.

У рекуперативній сушарці з випаруваною вологою й повітрям втрачається більше ніж 50 % підведеної енергії, її утилізація дозволить значно знизити енерговитрати сушарки, збільшити її ККД. В умовах експериментів утилізовано 12 % підведеної теплоти, що дозволяє знизити енерговитрати рекуперативної зерносушарки до 3 МДж/кг вид. вол.

Література

1. Бурдо, О.Г. Эволюция сушильных установок [Текст] : О.Г. Бурдо. – Одесса: Полиграф, 2010, – 368 с.
2. Современное состояние и тенденции развития мощностей по хранению зерна в хозяйствах Украины, Журнал «Хранение и переработка зерна» / [Электронный ресурс]. – : <http://hipzmag.com/>
3. Бурдо, О.Г. Кінетика сушіння пшениці в апаратах на базі термосифонів [Текст] / О.Г. Бурдо, І.В. Безбах, В.І. Донкоглов // Наукові праці ОНАХТ. – Одеса, 2009. – Вип. 36, Т. 1. – С. 297–302.
4. Касаткин, А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии [Текст] / А.Г. Касаткин. – М.: Химия, 1973. – 749 с.
5. Исаченко, В.П. Теплопередача [Текст] / В.П. Исаченко, В.А. Осипова, А.С. Сукомел. – М.: Энергоиздат, 1987. – 416 с.
6. Якобсон, В.Б. Малые холодильные машины [Текст] В.Б. Якобсон. – М.: Пищевая промышленность, 1977. – 368 с.