

значно відрізняються або рівні, а витрати на паливо відчутно менші. У той час як витрати на спорудження теплових мереж при Т, що лежить в області від 90 °С і вище хоча і зменшуються, але витрати на паливо при цьому відчутно збільшуються.

Як видно з табл., невеликі теплові пункти, які вироблятимуть теплоносій з температурою нижче 90 °С, більш енергоефективні в порівнянні з центральним тепlopостачанням. Тобто, за такої схеми тепlopостачання очевидна економія енергоресурсів та їх ефективне використання.

Література

1. Богословский В.Н. Внутренние санитарно-технические устройства. В 3 ч. Ч.1. Отопление.- М., 1990. —320 с.
2. Варфоломеев Ю.М. Отопление и тепловые сети. Учебник для вузов/ Ю.М. Варфоломеев, О.Я. Кокорин. — М., 2006.- 480 с.
3. Гусев В. М. Теплотехника, отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха: Учебник для вузов/В. М. Гусев, Н. И. Ковалев, В. П. Попов, В. А. Потрошков, под ред. В. М. Гусева.— Л.: Стройиздат. Ленингр. Отд-ние, 1981.—343 с.

УДК 664.723.047.59

ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ РЕКУПЕРАТИВНОЇ ЗЕРНОСУШАРКИ

**Бурдо О.Г., д-р техн. наук, професор, Безбах І.В., докторант,
Зиков О. В., канд. техн. наук, доц.
Одеська національна академія харчових технологій, м. Одеса**

Розглянуто апарати на базі термосифонів для сушіння дисперсних харчових матеріалів. Наведено результати експериментальних досліджень.

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

Ключові слова: термосифони, дисперсні матеріали.

Для сушіння зерна в Україні застосовують сушильні апарати різних типів. Найбільше поширення й найбільшу продуктивність мають шахтні зерносушарки. В Україні на долю цих сушарок припадає більше 80 % діючих установок із продуктивністю від 2 до 50 т/год. Шахтні сушарки більшої продуктивності (до 120 т/год) використовують у термінальних елеваторах США й Канади, але для європейських промислових установок найбільш характерна продуктивність від 2 до 10 т/год [1].

Аналіз парку сушильної техніки в Україні показує, що в 48 % випадків експлуатуються застарілі шахтні агрегати вітчизняного виробництва. Досить високий відсоток використання шахтних сушарок закордонного виробництва – 38%. Близько 10% підприємств використовують вітчизняні й закордонні сушарки, що дає можливість порівнювати їх технологічні й експлуатаційні характеристики, а також більш ефективно забезпечувати сушіння різних культур. Близько 4% аграріїв використовують інші типи сушильного встаткування, наприклад мобільні сушарки, а також агрегати колонкового типу [2].

Із закордонних шахтних сушарок використовуються американські агрегати (45 %), італійські й польські зерносушарки (14%), турецькі (7%). Близько 21% зерносховищ оснащені зерносушарками інших типів і країн-виробників. Причому вдосконалення ділянки сушіння у виробників перебуває тільки на 3 місці (16%). Але застосування шахтних зерносушарок приводить до досить високих енерговитрат – 5 МДж/кг і вище. З другого боку, незалежно від конструкції сушарки кожний вид зерна для знімання вологості зерна на 1% вимагає однакової кількості теплоти. Отже, у конструкторів різних сушарок існує однакове завдання – донести теплоту до зерна, зробивши втрати мінімальними. Чим краще вирішене таке цільове завдання, тим менше експлуатаційні витрати на сушіння.

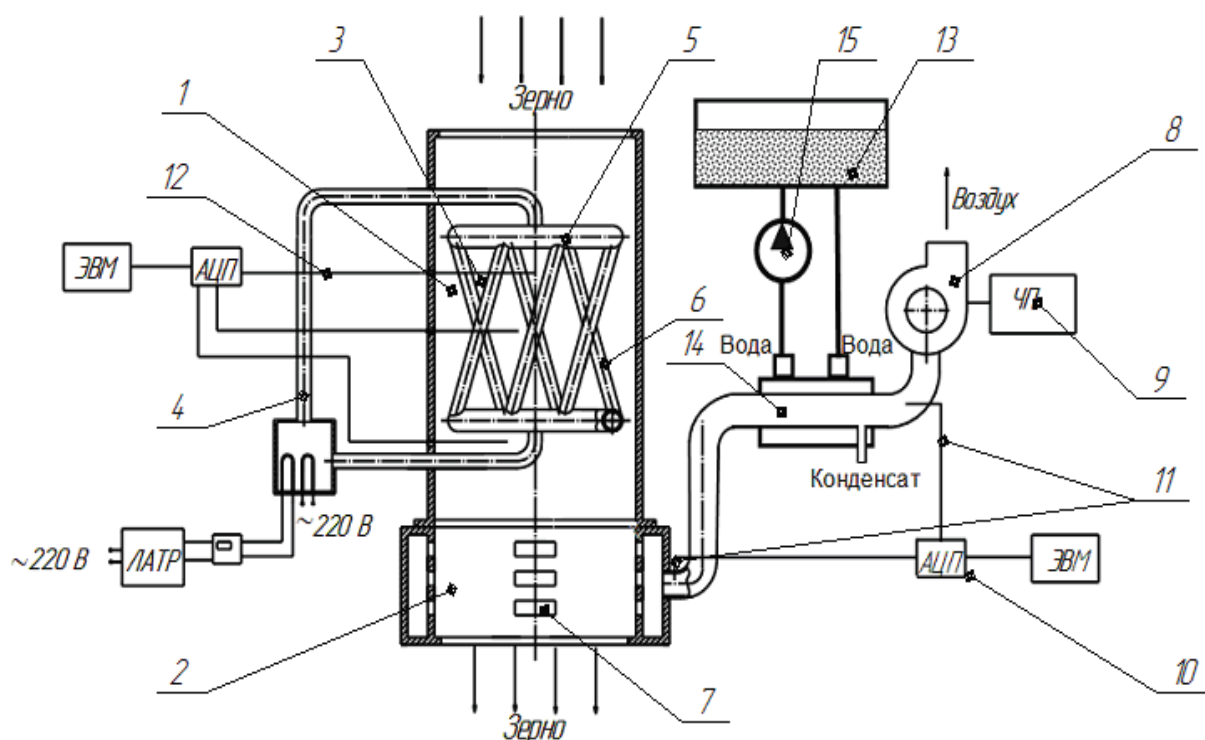
Для рішення проблем адресної доставки енергії до зерна, зниження енергоспоживання процесу сушіння, підвищення екологічності процесу розроблена конструкція рекуперативної сушарки (рис. 1).

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 термосифону 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 від-

воду пароповітряної суміші за допомогою вентилятора 8, з'єднаного із сушильною камерою 2. У лінію усмоктування вентилятора вмонтований теплообмінник-рекуператор 14. Циркуляцію води забезпечували за допомогою відцентрового насоса 15. Кількість води в буферній ємності 100 л.

Сушарка працює в такий спосіб. При підведенні енергії нагрівається випарна ділянка 4 термосифону. Дисперсний матеріал, наприклад зерно, надходить зверху зіштовхується з нагрітою поверхнею конденсаційної ділянки 3 термосифону 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].

Вимірювали параметри повітря на вході-виході з теплообмінника. Температуру зернового потоку реєстрували за допомогою термопар. Використовувалися мідь-константанові термопари, відградузовані в діапазоні температур 0÷100 °С. Термодатчик був поміщений у капіляр діаметром 5мм і довжиною 400мм і закріплений. Кілька термопар розташовувалися по висоті сушильної шахти. Дані первинних перетворювачів температури надходили на аналого-цифровий перетворювач (АЦП), перетворювалися в цифровий сигнал і вводилися в ПК. Інтервал реєстрації даних – 10 с.



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 – термопара, 13 – ємність із водою, 14 – теплообмінник-рекуператор, 15 – насос

Рис. 1 – Конструкція рекуперативної зерносушарки

Температуру теплоносія усередині ТС визначали по величині тиску в конденсаторі сушарки. Інтервал реєстрації даних – 600 с. У ланцюг керування двигуном вентилятора включений частотний перетворювач, що дозволило проводити експерименти в широкому діапазоні швидкостей повітря. В усмоктувальний патрубков вентилятора встановлений цифровий датчик вологості SHT 10 для виміру параметрів повітря – температури, вологості, ентальпії, вологовмісту. Це дозволяло з високою точністю визначати характеристики повітря, що виходило. Інтерфейс програми перетворювача АЦП був виконаний таким чином, що зміна параметрів повітря від часу відображалась у вигляді графічних залежностей у режимі

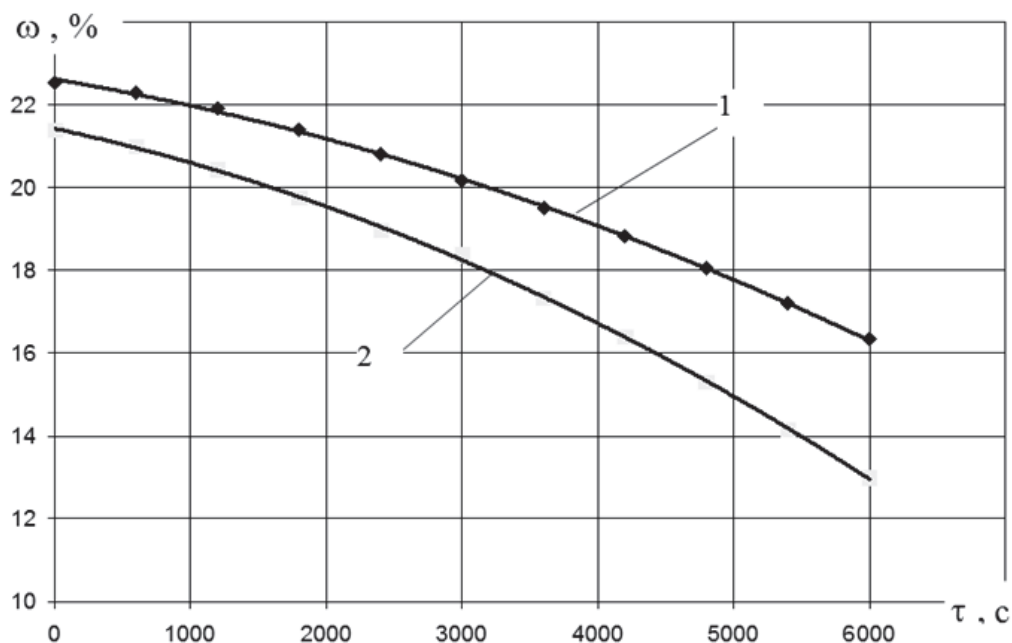
онлайн. Використання такої схеми разом із застосуванням частотного регулювання приводу вентилятора, дозволяло оперативно втручатися в хід експерименту, спрощувало його планування. Експерименти проводили на пшениці. Вологість продукту вимірювали за допомогою цифрового вологоміру типу Wile. Діапазон експериментальних досліджень представлений у таблиці 1.

Таблиця 1 – Діапазон вимірюваних величин

Культура	Витрати повітря на виході із сушарки	Вологість зерна	Витрати зерна	Температура зернового потоку	Тиск у модулі ТС	Потужність	Час сушіння
	кг/с	%	кг/с	°С	МПа	кВт	хв.
Пшениця	0,006...0,02	12...25	0,15	40...60	0,2	3	100

Метою експериментальних досліджень було дослідити процеси тепло- масообміну при сушінні в рекуперативній зерносушарці, одержати характеристики вологого повітря на виході із сушарки, оцінити можливість використання його теплоти для попереднього нагрівання зерна перед сушінням.

Дані по сушінню й швидкості сушіння зерна пшениці в різних джерелах суперечливі. Розкид по швидкості сушіння пшениці в сушарках різного типу 0,5...3 %/хв. Це пов'язано з розмаїтістю сортів і відповідно властивостей пшениці, різною початковою вологістю, зв'язком вологи безпосередньо в зернівці, розмаїтістю способів сушіння. При сушінні зернових у конвективних зерносушарках присутній період постійної й падаючої швидкості сушіння [4]. У результаті експериментів отримані лінії сушіння при різних витратах повітря на виході з рекуперативної сушарки (рис. 2).



1 – при витратах повітря 0,02 кг/с; 2 – при витратах повітря 0,006 кг/с

Рис. 2 – Лінії сушіння пшениці в рекуперативній зерносушарці

Після аналізу ліній сушіння й розрахунку швидкості сушіння видно, що швидкість постійно зростає й лише наприкінці процесу стабілізується. Вид ліній сушіння не характерний для сушіння пшениці в конвективних сушарках. Це пов'язано з тим, що відбувається постійний розігрів зернового потоку, що видно по термограммам зернового потоку (рис. 3).

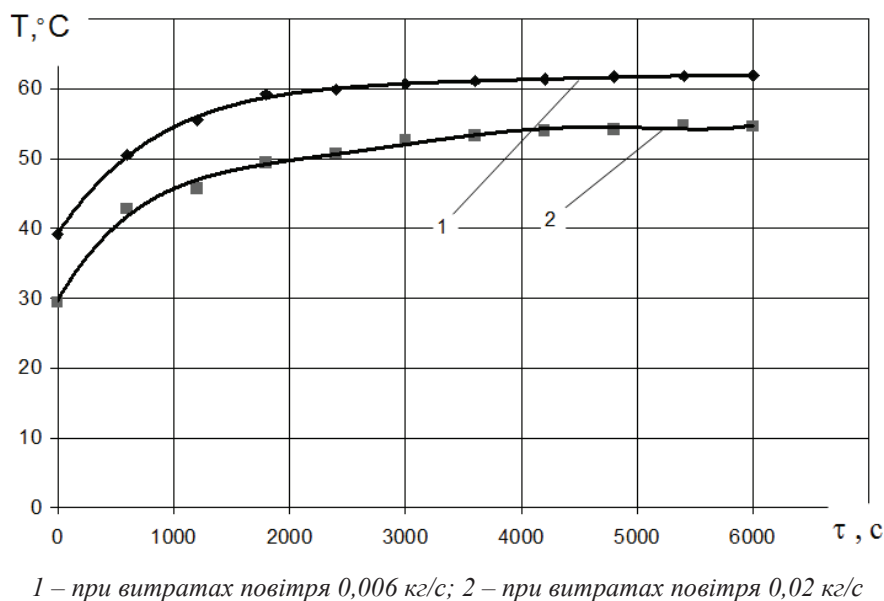


Рис. 3 – Термограми зернового потоку в рекуперативній зерносушарці

Період нагрівання зернового потоку триває близько 3000 с, далі графіки зміни температури зернового потоку приймають практично автомодельний характер. Температура зернового потоку стабілізується й стає рівною 50–60 °С, залежно від режиму. Що приводить до нелінійної зміни вологовмісту й температури повітря на виході із сушарки (рис. 4).

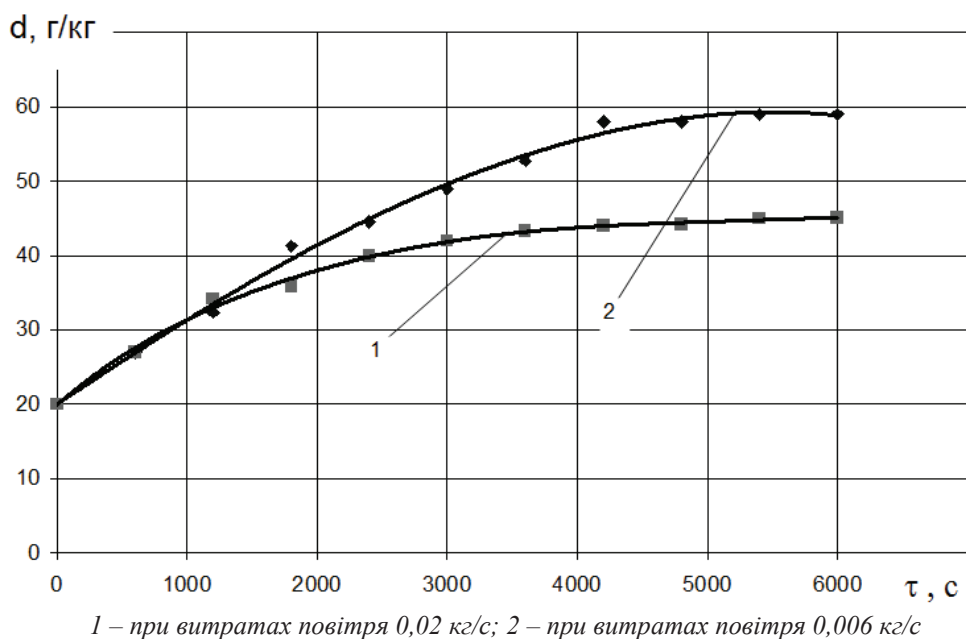


Рис. 4 – Зміна вологовмісту повітря, що виходить з рекуперативної зерносушарки

Значним недоліком сучасних конвективних зерносушарок є викид відпрацьованого теплоносія в атмосферу, тепломісткість якого всього лише на 10–15 % менше, ніж гарячого повітря, що подається в сушильну камеру. У порівнянні із шахтною конвективною зерносушаркою ДСП-32, повітря на виході з рекуперативної зерносушарки має набагато більшу вологість і вологовміст що робить його близьким до точки фазового переходу. При витраті повітря 0,006 кг/год, вологовміст повітря наприкінці процесу сушіння становив $d=60$ г/кг при відносній вологості 94 % (у порівнянні із ДСП 32, $d=24$ г/кг). Крім того витрати повітря в конвективних сушарках і рекуперативній відрізняються на порядки.

Для оцінки розподілу енергії в рекуперативній зерносушарці, складене рівняння теплового балансу. Після аналізу експериментальних даних одержуємо, що в порівнянні з конвективним сушінням у рекупе-

ративної сушарки більша частина енергії (69,4 %) затрачується на випаровування води, на нагрівання зерна 16,3 %, втрати в навколишнє середовище 13,2, на підігрів повітря всього близько 1,1 % (рис. 5).

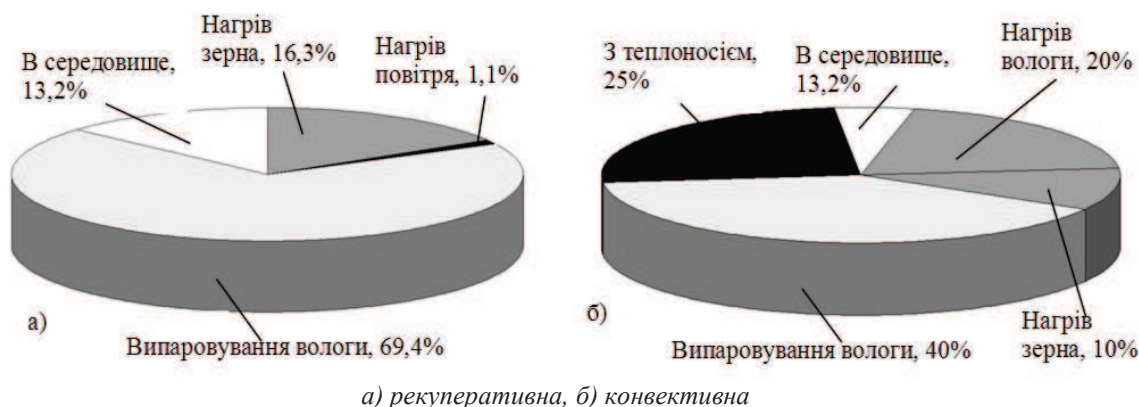
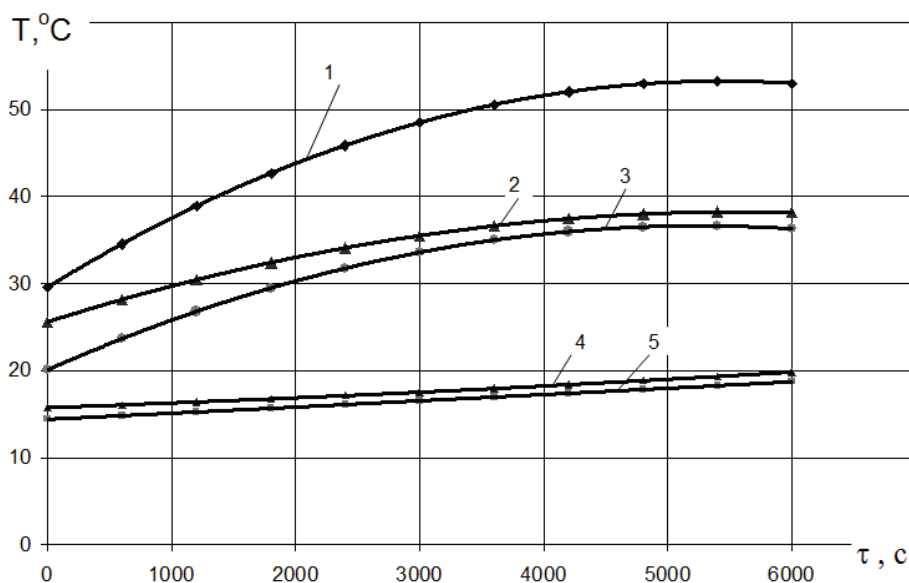


Рис. 5 – Розподіл теплової енергії в зерносушарках

В рекуперативній зерносушарці з випаруваною водою й повітрям втрачається більше 50 % підведеної енергії, її утилізація дозволить значно знизити енерговитрати сушарки, збільшити її ККД. Для цього необхідно зробити розрахунок теплообмінника рекуператора для утилізації теплоти вологого повітря, що виходить з сушарки. Аналіз параметрів відпрацьованого повітря рекуперативної зерносушарки, показує, що з'являється реальна можливість використання тепла конденсації вологого повітря для попереднього нагрівання зерна. Завдання подальших експериментів – отримати коефіцієнти тепловіддачі при конденсації води з повітря, що викидається з сушарки. Одержали наступні температури для зернового потоку, вологого повітря на вході-виході з теплообмінника, охолоджуючої води в теплообміннику (рис. 6).



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

Рис. 6 – Термограми при охолодженні вологого повітря

Попередньо були розраховані коефіцієнти тепловіддачі $\alpha_{\text{пов}}$ при конденсації водяної пари з повітря, що відводиться з сушарки, для умов експерименту. У літературі найчастіше зустрічаються залежності для розрахунку коефіцієнтів тепловіддачі при конденсації насиченої водяної пари [5], 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 й вводять деяку поправку (поправку на конденсацію [1], коефіцієнт вологови-

падіння [6] та ін.) Існують також методики розрахунку коефіцієнтів тепловіддачі при охолодженні вологого повітря з урахуванням тепло- масообміну при конденсації. В результаті 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 дорівнює 60 Вт/м²·К. Досягнуто умов часткової конденсації пари, що знаходиться в вологому повітрі, що викидається з сушарки.

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, // Монография / - О, Полиграф, 2010. – 368 с.
2. Современное состояние и тенденции развития мощностей по хранению зерна в хозяйствах Украины, Журнал «Хранение и переработка зерна» : <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 // Наук. пр. /ОНАХТ. – О., 2009. - Вип. 36, т. 1. - С. 297-302.
4. Гинзбург, А. С. Влага в зерне [Текст] / А.С. Гинзбург, В. П. Дубровский, Е. Д. Казаков– М.: Колос, 1969. - 217 с.
5. Исаченко В. П. , Осипова В. А. , Сукомел А. С. Теплопередача М.: Энергия, 1975. – 488 с.
6. Якобсон, В.Б. Малые холодильные машины [Текст] В.Б. Якобсон –М.: Пищевая промышленность. 1977. – 368 с

УДК 66.021.001.57:56/59.004.18

ПОВЫШЕНИЕ РЕСУРСОЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИИ РАСТВОРИМОГО КОФЕ

Терзиев С.Г., канд. техн. наук, ассистент

Одесская национальная академия пищевых технологий, г. Одесса

Анализируются проблемы технологии растворимого кофе. Рассматриваются различные приемы утилизации кофейного шлама. Показаны перспективы вакуумных и микроволновых технологий в задачах концентрирования и экстрагирования из кофейных продуктов. Предлагаются новые принципы работы и конструктивные особенности выпарного аппарата и экстрактора.

The problems of instant coffee technology are analyzed. Different techniques of coffee sludge utilization are considered. The prospects of vacuum and microwave technologies in concentrating and extraction from coffee products are shown.

Ключевые слова: концентраты кофе, энергоэффективность, вакуумные, микроволновые технологии.

Введение. Кофе является экономически важным сырьевым продуктом в мире. С каждым годом спрос на кофе растет на 2 % и превышает предложение. Кофейный рынок Украины за последние 10 лет стал самым динамично развивающимся рынком кофе в мире. Так, в 2012 г. производство кофе в стране увеличилось на 16,6 % по сравнению с 2011 г. В структуре продаж кофейной продукции в Украине преобладает растворимый кофе (табл.1).

Таблица 1 – структура продаж кофейной продукции в Украине

№	кофейная продукция	доля продаж, %
1	растворимый кофе	40
2	молотый кофе	35
3	кофейные смеси	25

Половину рынка кофейной продукции Украины занимает «Галка». Производители одесского предприятия «Энни Фудз» имеют 13 % в общей доле продаж. Дорогое, импортируемое сырье и энергоемкое производство главного в секторе продаж – растворимого кофе, определяют постоянную актуальность