

ENERGY EFFICIENCY FROM THE INTRODUCTION OF CONVECTIVE-THERMORADIATION DRYING EQUIPMENT WITH A HEAT PUMP

L. Strelchenko, I. Dubkovetsky

National University of Food Technologies

Key words:

*Semi-finished product
Convective-thermoradiation drying
Dried apples
Storage
Product
Efficiency*

Article history:

Received 20.04.2020
Received in revised form
12.05.2020
Accepted 02.06.2020

Corresponding author:

L. Strelchenko
E-mail:
lanovenkol@i.ua

ABSTRACT

This scientific work highlights the need for the introduction of energy-efficient industrial equipment, including a convective-thermoradiation dryer with a heat pump, and presents the advantages of its use compared to a classical thermoradiation dryer.

A comparative analysis of the current state of industrial dryers was carried out, the trends of patented inventions were investigated. Based on existing developments, a number of equipment deficiencies were identified, they were taken into account, and the dryer with a heat pump was designed. Data processing of the stated material was carried out on the basis of such programs — KOMPAS-3D V16, Corel DRAW X7.

The developed two-chamber convective-thermoradiation drying unit with a heat pump is designed in such a way that thermoradiation emitters are located between the shelves with a semi-finished product, with the aim of maximum exposure and reflection of rays. The air heated up to 50...60°C is supplied from the bottom of the drying chamber, as well as along the entire height of the chamber through special openings of technological channels. This design feature is associated with a practical problem that often happens in production, namely the loss of air pressure through the grate of the trays and during the production cycle it is necessary to change the position of the trays with the product from the bottom up and vice versa for uniform drying. The use of the heat pump in the installation allows to save up to 80% of electric energy during the production process due to the use of an alternative heat source — air heat. So, for 1 ton of dried apples' production, costs can be reduced by 2046.28 UAH compared to the classical thermoradiation drying, of which electricity accounts for 1670.37 UAH/t. The additional profit from 1 ton of dried apples' production on convective-thermoradiation drying equipment with a heat pump is 32 628.8 UAH. Since the life cycle of the project is 5 years, and the payback period is 0.62 years, this project is profitable. Initial investments in the installation project with the heat pump will require investments in the amount of 204005.28 UAH (the amount is indicated with VAT).

DOI: 10.24263/2225-2924-2020-26-3-18

ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ ВІД ВПРОВАДЖЕННЯ КОНВЕКТИВНО-ТЕРМОРАДІАЦІЙНОЇ СУШИЛЬНОЇ УСТАНОВКИ З ТЕПЛОВИМ НАСОСОМ

Л. В. Стрельченко, І. В. Дубковецький
Національний університет харчових технологій

У статті висвітлено необхідність впровадження енергоефективного промислового обладнання, зокрема конвективно-терморадіаційної сушарки з тепловим насосом, і наведено переваги її застосування порівняно з класичною терморадіаційною сушаркою. У результаті аналізу встановлено ряд недоліків існуючого обладнання, взято їх до уваги та спроектовано сушарку з тепловим насосом. Обробка даних викладеного матеріалу здійснювалась на базі таких програм: КОМПАС-3D V16, Corel DRAW X7.

Розроблену двокамерну конвективно-терморадіаційну сушильну установку з тепловим насосом спроектовано таким чином, що терморадіаційні випромінювачі розміщені між полицями з напівфабрикатом з метою максимального опромінення та відбиття променів. Подача нагрітого до 50... 60°C повітря здійснюється знизу сушильної камери, а також по всій висоті камери через спеціальні отвори технологічних каналів. Така конструктивна особливість пов'язана з практичною проблемою, яка часто трапляється на виробництві, адже через втрату напору повітря крізь решітку лотків і в процесі виробничого циклу доводиться змінювати положення лотків з продуктом знизу вгору і навпаки для рівномірного висушування. Застосування теплового насоса в установці дає змогу економити електроенергію на виробничий процес до 80% завдяки використанню альтернативного джерела теплоти — теплоти повітря. Так, на 1 т виробництва сушених яблук можна знизити затрати на 2 046,28 грн порівняно з класичним терморадіаційним сушінням, з них на електроенергію припадає 1 670,37 грн/т. Додатковий прибуток з 1 т виробництва сушених яблук на конвективно-терморадіаційній сушильній установці з тепловим насосом складає 32 628,8 грн. Оскільки життєвий цикл проекту 5 років, а термін окупності 0,61 року, то проект є прибутковим. Початкові інвестиції на проект установки з тепловим насосом потребують вкладень на суму 204 005,28 грн (сума вказана з ПДВ).

Ключові слова: напівфабрикат, конвективно-терморадіаційне сушіння, сушені яблука, зберігання, продукт, ефективність.

Постановка проблеми. Сучасне сушильне промислове обладнання України має високий рівень енергоспоживання, яке зосереджується на технічних джерелах енергії, тому в останні роки енергетична стратегія нашої країни «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність» від 18.08.2017 визначила пріоритетні цілі для розбудови енергетичного сектору країни до 2035 р., серед яких перехід до енергоощадного й енергоефективного використання та споживання енергетичних ресурсів з одночасним впровадженням інноваційних технологій [1]. Тому існує доцільність і необхідність розробок промислових установок із

застосуванням сучасних технічних рішень, які будуть характеризувати сушильне обладнання як енергоефективне.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У науковій літературі приділяється увага застосуванню теплових насосів у різних галузях науки [2; 3], зокрема українськими науковцями Н. Н. Сороковою та ін. [4] розроблено стрічкову сушарку із застосуванням теплового насоса для сушіння столового буряку. О. Ю. Пилипенком [5] запатентована конвективна сушарка із застосуванням теплового насоса, а науковець з Молдови М. Л. Шит [6] розробив пастеризаційну установку із застосуванням теплового насоса для пастеризації молока. Розвиток сучасного ресурсозберігаючого обладнання доводить ефективність від його впровадження з підвищенням якості його експлуатації.

Мета статті: висвітлення доцільності застосування конвективно-терморадіаційної установки з тепловим насосом на вітчизняному виробничому ринку та порівняння енергоефективності розробленої установки з класичною терморадіаційною.

Викладення основних результатів дослідження. Розроблена конвективно-терморадіаційна сушарка [7] має ряд переваг, які були встановлені дослідним шляхом [8], зокрема енергетична економічність у процесі виробництва продукції. Однак розробка двокамерної сушарки з тепловим насосом (ТН) дає змогу отримати вдвічі більше готового продукту за один цикл виробництва, а економія електроенергії при цьому скорочується до 80% за рахунок альтернативного джерела палива [9], наприклад, за рахунок теплоти повітря.

На рис. 1 представлено конвективно-терморадіаційну установку з тепловим насосом за принципом «повітря-рідина».

Конструктивними особливостями установки передбачено подачу нагрітого повітря під лотками з продуктом, тобто знизу сушильної камери. З метою уникнення застійних зон повітря передбачено технологічні канали, крізь які додатково здійснюється подача та відвід повітря. Опромінення продукту здійснюється за допомогою терморадіаційних випромінювачів, які розташовані між лотками з напівфабрикатом, щоб опромінення було максимальним, а полірований алюміній, з якого виконаний корпус сушарки, додатково відбивав промені.

Теплоносій у тепловому насосі проходить крізь теплообмінник і віддає теплоту на нагрівальний контур ТН. Внутрішній контур ТН заповнений холодоагентом, проходячи крізь випарник перетворюється з рідини в газ завдяки низькому тиску й температурі — 5°C. З випарника охолоджений холодоагент потрапляє до компресора і стискається знову до рідини, холодоагент нагрівається через зміну напруги. Стискання теплоносія здійснюється між двох спіралей, перша закріплена нерухомо, а інша рухома та встановлена із зсувом фаз. Коли одна із спіралей починає рухатись навколо нерухомої, утворюються «подушки». Через зміну об'єму «подушок» відбувається стискання газоподібного холодоагенту і зростання температури. Пара, яка виходить з компресора, поступає до конденсатора. Саме в конденсаторі відбувається теплообмін між гарячим газом і повітрям (теплоносієм) із зовнішнього трубопроводу, де холодоагент віддає свою теплоту для нагріву повітря в сушарці до заданих температур. Після цього охолоджений холодоагент знову перетворюється в рідину і цикл Карно повторюється.

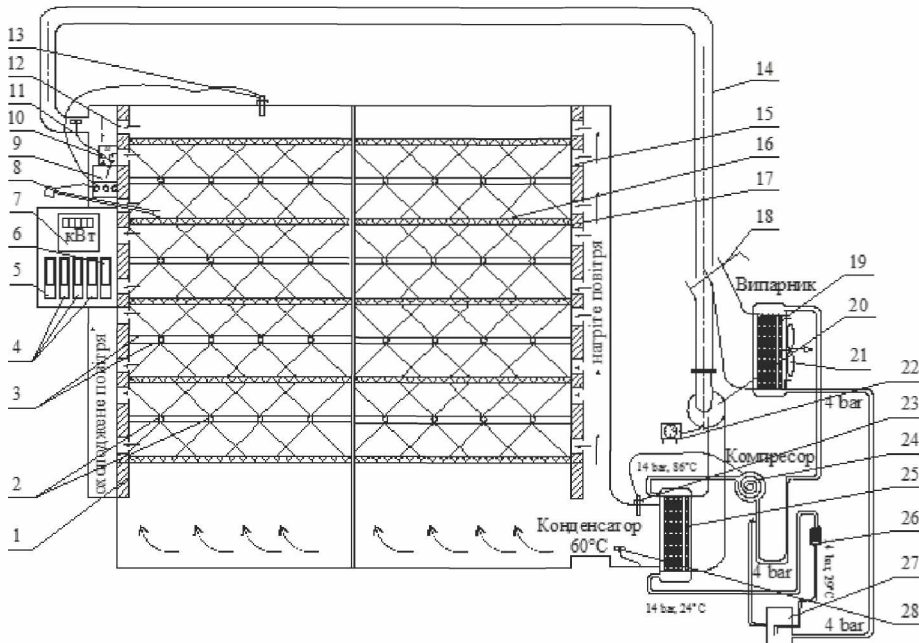


Рис. 1. Схема конвективно-терморадіаційної сушильної установки з тепловим насосом: 1 — камера сушарки; 2 — радіативно-інфрачервоні випромінювачі; 3 — тримачі випромінювачів; 4 — автоматичний вимикач сушарки; 5 — реле; 6 — автоматичний вимикач; 7 — лічильник витрат енергії; 8 — термопари; 9 — блок автоматичного регулювання температури; 10 — регулятор відносної вологості повітря; 11 — датчик для виміру відносної вологості; 12 — технологічні канали для відведення повітря; 13 — контактний датчик; 14 — циркуляційна труба; 15 — технологічні канали для подачі повітря; 16 — лотки сушарки; 17 — полиці для лотків; 18 — шибер; 19 — випарник теплового насоса; 20 — відцентровий вентилятор; 21 — осьовий вентилятор; 22 — блок автоматичного регулювання швидкості руху теплоносія; 23 — контактний датчик; 24 — компресор; 25 — конденсатор теплового насоса; 26 — дросель; 27 — сепаратор; 28 — датчик виміру відносної вологості

Холодоагент для ТН має низьку температуру кипіння, не замерзає при від’ємних температурах та легко переходить з одного стану в інший. Для установки, представленої на рис. 1, як холодоагент обрано фреон (хладон).

Виробництво сушених яблук здійснювалось за класичною технологією, технологічною особливістю виготовлення яблук є бланшування та охолодження напівфабрикату у воді. Така операція необхідна для інактивації пероксидази, яка в процесі подальших технологічних операцій може негативно впливати на хімічний склад продукту: потемніння кольору, пов’язане з окисленням амінокислот продукту під впливом кисню повітря та часткове руйнування аскорбінової кислоти.

Конвективно-терморадіаційне сушіння продукту здійснювалось за такими параметрами: температура повітря в сушильній камері в діапазоні 50...60°C; потужність терморадіаційних випромінювачів — 7...9 кВт/м²; швидкість руху теплоносія — 4,5...5,5 м/с; питома навантаження напівфабрикату — 6,6...11 кг/м²; відстань від напівфабрикату до випромінювачів 13...15 см; до кінцевої вологості — 10—12%.

Зберігання яблучних снєків здійснюється в сімох варіантах упакування (упакування з повітряним середовищем, під вакуумом, з харчовою сумішшю з модифікаціями із та без застосування поглинача кисню), серед яких обрано дві активні пакувальні системи [10], що впливають на збереження харчового складу та подовження терміну зберігання продукту. Матеріал пакувальної системи виконаний з багатошарової плівки, яка складається з поліетилентерефталату та поліетилену. Середовищем зберігання обрано повітря та харчову газову суміш CO₂:N₂ [11] при співвідношенні 30:70% з додатковим розміщенням саше-пакета з поглиначем кисню [12; 13] в кожній із систем.

Ефективність від впровадження конвективно-терморадіаційної установки з тепловим насосом представлена практичним економічним розрахунком базового виробництва та проекту (табл. 1—2). З метою чистоти експерименту калькуляцію за статтями (табл. 1) здійснювали на прикладі виробництва сушених яблук за класичною технологією.

Для розрахунку зміни витрат «Інструкції з планування, обліку й калькулювання собівартості продукції на підприємствах консервної промисловості України» вихідні дані були отримані на ТОВ «Продсервіс-ІР» Київська область, м. Ірпінь.

Таблиця 1. Зміни калькуляційних витрат на виробництво 1 тонни сушених яблук

Статті калькуляції	Терморадіаційна сушарка (база), грн	Конвективно-терморадіаційна установка з тепловим насосом (проект), грн	Різниця, грн
	Одиниця калькулювання, 1 т		
1. Сировина і основні матеріали	75 004,8	75 004,8	—
2. Паливо, електроенергія та вода на технологічні цілі	2 320	649,65	-1670,37
3. Заробітна плата:			
3.1. основних виробничих робітників	932,8	932,8	—
3.2. додаткова заробітна плата	26,53	26,53	—
4. Відрахування до єдиного соціального фонду	211,054	211	-0,54
5. Витрати на утримання та експлуатацію обладнання:			
5.1. амортизація	579,69	305,409	-274,28
5.2. ремонт	214,2	112,86	-101,34
6. Загальновиробничі витрати	2 705,12	2 704,88	-0,24
Всього:	81 994,2	79 947,92	-2 046,28

Примітка: * в табл. знаком «-» позначається економія від виробництва.

З табл. 1 видно, що економічна доцільність від впровадження розробленої сушильної установки з ТН, на прикладі виробництва сушених яблук, складає 2 046,28 грн/т. Економічний ефект в основному базується на економії електро-

енергії на виробництві, оскільки використовується альтернативне паливо — теплота повітря.

Показники ефективності проекту виробництва сушених яблук на базовій і конвективно-терморадіаційній установці з тепловим насосом наведені в табл. 2.

Таблиця 2. Техніко-економічні показники базового виробництва та проекту виробництва сушених яблук

Показник	Од. виміру	Терморадна сушарка (база)	Конв.-термор-на сушарка з ТН (проект)	Різниця
Виробнича потужність	кг/добу	200	523,94	+323,94
	кг/год	59,7	78,2	+18,5
Виробнича програма у натуральному вигляді	т/рік	38,4	100,599	+62,199
Кількість робітників основного виробництва	чол.	1	1	1
Додаткові капітальні витрати				
з ПДВ	грн	—	204 005,28	—
без ПДВ	грн	—	170 004,4	—
Затрати на електроенергію	грн/т	2 320	649,65	-1 670,35
Додатковий прибуток				
на 1 т	грн	32 704,25	32 628,8	-75,45
на обсяг	грн	1 255 843,2	3 282 424,6	+2026581,4
Чистий прибуток				
на 1 т	грн	26 814	26 755,62	-58,38
на обсяг	грн	1 029 657,6	2 691 588,6	+1 661 931
Рентабельність продукції	%	25,93	26,53	+0,6
Термін окупності проекту	роки	—	0,62	—
Виробнича собівартість	грн/т	126 144,93	122 996,8	-3 148,13
Відпускна ціна	грн/т	204 354,8	199 254,82	-5 099,98

З табл. 2 видно, що відпускна ціна 1 т сушених яблук, виготовлених на розробленій установці з ТН, складатиме 199 254,82 грн, що на 5 099,98 грн менше за 1 т сушених яблук, виготовлених на терморадіаційній (базовій) установці. Разом з тим із збільшенням продуктивності виробленого продукту за один цикл збільшується загальний обсяг виробництва протягом 6 місяців роботи цеху, що складатиме 100,6 т/рік. Завдяки цьому отримаємо чистий приріст прибутку в розмірі 1 661 931 грн/рік.

Висновки

Техніко-економічний аналіз розробленої конвективно-терморадіаційної установи з тепловим насосом і терморадіаційної сушарки доводить, що впровадження розробленого енергозберігаючого сушильного обладнання скорочує

витрати на виробництво сушених яблук. Це суттєво відображається на собівартості продукції — 3 148,13 грн/т та, відповідно, на ціні товару, що складає 199 254,82 грн/т, а це на 5 099,98 грн/т менше ніж при виробництві цього ж продукту на терморадіаційній сушарці. Термін окупності проекту складає 0,62 року.

Література

1. Міненерговугілля України ДП «НЕК «Укренерго» відокремлений підрозділ «Науково-проектний центр розвитку об'єднаної енергетичної системи України» державного підприємства «Національна енергетична компанія «Укренерго» (НПЦР ОЕС України). Досвід країн Євросоюзу з підвищення енергоефективності, енергоаудиту та енергоменеджменту з енергоощадності в економіці країн. Київ. 2017. С. 87.
2. Тепловий насос: пат. 52228 Україна: МПК (2009) F25B 9/00. № а 201003117; заявл. 18.03.2010; опубл. 25.08.2010, Бюл. № 16.
3. Тепловий насос: пат. 58921 Україна: МПК (2011.01) F25B 9/00. № u 201012584; заявл. 25.10.2010; опубл. 26.04.2011, Бюл. № 8.
4. Сорокова Н. Н., Снежкин Ю. Ф., Шапарь Р. А., Сороковой Р. Я. Способ сушки термолабильных материалов в ленточной сушильной установке с применением теплового насоса. *Наукові праці ОНАХТ*. 2015. Випуск 47, том 2. С. 91—97.
5. Низькотемпературна конвективна теплонасосна сушарка: пат. 137557 Україна: МПК (2006): F26B 3/02 (2006.01), F26B 17/00. № u 201904076; заявл. 17.04.2019; опубл. 25.10.2019, Бюл. № 20.
6. Шит М. Л. Теплонасосная пастеризационно-охладительная установка. *Наукові праці ОНАХТ*. 2015. Випуск 47, том 2. С. 148—151.
7. Радіаційно-конвективна сушильна установка: пат. 112348 Україна: МПК C2 F26B 3/30 F26B 3/04 F26B 9/06 F26B 21/04 F26B 21/08 F26B 21/10 F26B 21/12 A23B 7/02. № а 2014 11435 заявл. 20. 10. 2014; опубл. 25.08.2016, Бюл. № 16. С. 5.
8. Малезик И. Ф., Дубковецкий И. В., Бандуренко Г. М., Стрельченко Л. В. Исследование процесса сушки яблок конвективным, терморрадиационным и комбинированным способами. V Международная научно-техническая конференция, посвящена 85-летию ФГБОУ ВПО «Воронежского государственного университета инженерных технологий», 65-летию кафедры «Технология хлебопекарного, кондитерского, макаронного и зерноперерабатывающего производств», Россия, Воронеж, 4—5 июня 2015. С. 493.
9. Радіаційно-конвективна сушильна установка з тепловим насосом: пат. 136466 Україна МПК (2019.01) F26B 3/30 F26B 3/20 F26B 9/06 F26B 21/00 A23L 7/02. № u 2019 00690, заявл. 23. 01. 2019; опубл. 27.08.2019, Бюл. № 16. С. 6.
10. Yadav K. S, Prabha R., Renuka K. Active packaging: concepts and applications. *International Journal of Food and Nutritional Sciences*. 2015. V 4. P. 194—200.
11. Skandamis P. N. and Nychas G. E. Preservation of fresh meat with active and modified atmosphere packaging conditions. *International Journal Food Microbiologie*. 2002. V. 79. P. 35—45.
12. Vermeiren L. F., Heirlings F., Devlieghere, Debevere J. Oxygen, ethylene and other scavengers. In *Novel food packaging techniques*. Ed: R. Ahvenainen. Cambridge, Woodhead Publishing Limited. 2003. P. 22—49.
13. Tewari G., Jayas D. S., Jeremiah L. E. and Holley R. A. Absorption kinetics of oxygen scavengers. *International Journal Food Science Technology*. 2002. V. 37, P. 209—217.