




review article | UDC 637.5.03:001.82 | doi: 10.31210/visnyk2022.02.34

**THE POSSIBILITY OF USING EXISTING METHODS FOR DRYING ROAST MEAT**

V. Skrypnyk

 ORCID  [0000-0001-8883-7398](https://orcid.org/0000-0001-8883-7398)

B. Ponomarenko\*

 ORCID  [0000-0002-4047-1881](https://orcid.org/0000-0002-4047-1881)

Poltava State Agrarian Academy, 1/3, Skovorody str., Poltava, 36003, Ukraine

\*Corresponding author

 E-mail: [flysoul55@gmail.com](mailto:flysoul55@gmail.com)

## How to Cite

 Skrypnyk, V., & Ponomarenko, B. (2022). The possibility of applying of existing methods for the fried meat drying process. *Bulletin of Poltava State Agrarian Academy*, (2), 287–295. doi: 10.31210/visnyk2022.02.34

Technology related to the food industry is constantly improving and becoming more efficient. Consumers today choose high quality food products with a long shelf life. In Ukraine, where during the war with Russia there is an acute issue of food supply in the areas of combat operations as well as in areas where efforts are being made to overcome a humanitarian disaster, food products of long-term storage are in high demand. One way of meeting the nutritional needs of such conditions is to provide tinned and dried foodstuffs and, above all, meat products that have a long shelf life and do not require special conditions for such storage. The production of these food products under wartime conditions requires minimal loss of raw materials, energy consumption and production time. In the food industry, the drying process is used to preserve raw materials, including meat, to extend their shelf life. The meat drying process is accompanied by the removal of moisture from the material into its surface layers and its subsequent removal in the form of liquid or vapour by the drying agent. Dried products, including dried fried meat, can be useful for military personnel on the front line, internally displaced persons, journalists, etc. To date, there is a lack of information on how to dry fried meat. The relevance of this issue is that meat is in considerable demand among consumers. The article aims to summarise and systematise the current understanding of the methods of drying food raw materials, the existing equipment for their implementation and to find a possible development of the drying process of fried meat. The article compares the efficiency of the drying methods with the possibility to use them for drying fried meat. It has been found that fried meat can be obtained by convection, sublimation, conduction and natural methods. The conductive method has limited use for drying food raw materials, but can be effective for drying fried meat due to its high heat transfer index, short drying process duration and low specific energy consumption.

**Key words:** drying, drying process duration, energy consumption, conductive, convective, sublimation, radiation, combined, high frequency, fried meat.

**МОЖЛИВІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ НАЯВНИХ СПОСОБІВ ДЛЯ СУШІННЯ ЖАРЕНОГО М'ЯСА**

В. О. Скрипник, Б. Г. Пономаренко

Полтавський державний аграрний університет, м. Полтава, Україна

Технології, пов'язані із харчовою промисловістю, постійно вдосконалюються і стають ефективнішими. Споживачі сьогодення обирають харчову продукцію високої якості зі значним терміном придатності до споживання. В Україні, де під час війни з росією гостро стоїть питання щодо забезпечення продуктами харчування районів проведення бойових дій, а також місцевостей, у яких докладають зусилля для подолання гуманітарної катастрофи, харчова продукція тривалого

зберігання є затребуваною. Одним зі шляхів забезпечення потреби в харчуванні в таких умовах є постачання консервованих і сушених харчових продуктів і, насамперед, м'ясних, які мають тривалий термін зберігання і не потребують особливих умов зберігання. Виробництво таких харчових продуктів в умовах воєнного часу потребує мінімальних втрат сировини, витрат енергії та тривалості виготовлення. У харчовій промисловості процес сушіння використовується для консервування сировини, зокрема м'яса, що забезпечує подовження термінів їхньої придатності. Процес сушіння м'яса супроводжується виведенням вологи з матеріалу у його поверхневі шари з подальшим її відводом у вигляді рідини або пари сушильним агентом. Сушена продукція, зокрема сушене смажене м'ясо, може стати в нагоді для військових, що знаходяться на передовій, внутрішньо-переміщених осіб, журналістів тощо. На сьогодні відсутня інформація щодо способів сушіння смаженого м'яса. Актуальність цього питання полягає в тому, що м'ясо користується значним попитом серед споживачів. Метою статті є узагальнення та систематизація сучасних уявлень щодо способів сушіння харчової сировини, наявного обладнання для їх реалізації та пошук можливої розробки процесу сушіння смаженого м'яса. У статті проведено порівняння ефективності способів сушіння із можливістю їх застосування для сушіння смаженого м'яса. Встановлено, що сушене смажене м'ясо можна отримати конвективним, сублімаційним, кондуктивним та природнім способами. Кондуктивний спосіб має обмежене використання для сушіння харчової сировини, але при цьому може стати ефективним для сушіння смаженого м'яса за рахунок високого показника теплопередачі, короткої тривалості процесу сушіння і низьких питомих витрат енергії.

**Ключові слова:** сушіння, конвективний, кондуктивний, сублімаційний, радіаційний, комбінований, НВЧ, ЗТП, смажене м'ясо.

Під час війни із фашистською росією перед нашою державою постає проблема забезпечення громадян України усім необхідним, зокрема продуктами харчування. У певних місцевостях відсутня електроенергія, засоби зберігання харчових продуктів. У цьому випадку сушена продукція, а особливо сушене смажене м'ясо може стати в нагоді, оскільки, маючи високу харчову цінність і значно меншу вагу, вона займає менше місця під час транспортування та переносу і може стати частиною раціону українських військових, рятувальників, поліцейських, журналістів у відрядженнях, водіїв далекобійників, біженців, внутрішньо-переміщених осіб тощо.

Сушіння – процес виведення вологи із матеріалу через її випаровування і відведення утвореної пари [1–10]. У харчовій промисловості процес сушіння використовується для консервування сировини, що забезпечує подовження терміну придатності до вживання продуктів харчування. Цього досягають завдяки припиненню біохімічних процесів, що відбуваються в сировині. Сушінню піддається харчова сировина в гранульованому стані, пастоподібному стані, суспензії та розчині. Вибір способу сушіння та обладнання залежить від особливостей висушуваної сировини, таких як термостійкість, здатність до втрати товарного вигляду, неоднорідність матеріалу за вмістом води, схильність до окислення, наявність біохімічних активних речовин [1, 5, 9–15]. Процес сушіння може відбуватися природним або штучним шляхом.

Природне сушіння відбувається на відкритому повітрі. Сировину можна висушити до вологості навколишнього середовища, чого буде недостатньо для подальшого її зберігання. Тривалість природного сушіння набагато довше, ніж штучного [4].

Штучне сушіння широко використовується у харчовій промисловості на великих, середніх, малих харчових підприємствах та в домашніх умовах [2–8].

Способам сушіння присвячені роботи багатьох науковців. Зокрема, ці питання розглядали Красніков В. В., Ликов А. В., Гінзбург А. С., Лебедев П. Д., Михайлов Ю. А., Бражніко А. М., Погожих М. І., Пак А. О., Бурдо О. Г [2, 7, 9, 14, 15, 21, 26, 30] та ін.

За способом підведення теплоти до висушуваної сировини розрізняють:

- конвективний спосіб, під час якого сушильний агент контактує із висушуваною сировиною в замкненому просторі [4–10, 13–16];
- сублімаційний спосіб, під час якого із замороженої сировини видаляється волога у вигляді льоду, минаючи рідкий стан, переходить у пару [1–9, 17];
- радіаційний спосіб, під час якого тепло, необхідне для виведення рідини і нагрівання висушуваної сировини, передається променевою енергією [4, 5, 9, 11–13];

- НВЧ спосіб, під час якого на висушувану сировину діє електромагнітне поле надвисоких частот [15, 17–20];
- комбінований спосіб, під час якого використовують одночасно декілька способів підведення теплоти, що дають змогу використовувати переваги кожного із традиційних способів сушіння [2–5, 21–25];
- спосіб сушіння змішаним теплопідводом, під час якого висушувана сировина розміщується у функціональній ємності, де і реалізується процес її зневоднення [26, 27];
- кондуктивний спосіб, під час якого тепло до висушуваної сировини передається від нагрітої металічної пластини [28–31].

**Конвективний спосіб сушіння** – процес, під час якого сушильний агент передає матеріалу теплоту, під дією якої із матеріалу видаляється волога у вигляді пари, яка виводиться у довкілля. Переважно сушильним агентом може бути повітря, газ, перегріта пара. Сушильний агент є теплоносієм і вологопоглиначем [4, 5]. У процесі конвективного сушіння важливу роль відіграє тепло і масообмін між сушильним агентом і висушуваною сировиною. У промислових масштабах виконується сушіння овочів, фруктів, плодово-ягідної сировини, риби, м'ясної сировини, грибів. Конвективний спосіб сушіння є досить поширеним в Україні, а сушильне обладнання вітчизняних та закордонних виробників пропонують придбати для промислових та побутових цілей [13, 14–16]. Основні показники конвективних сушарок наведені в таблиці 1.

### 1. Показники конвективних сушарок

Конструкція сушарок	Питома витрата енергії, МДж / кг	Спосіб організації процесу	Висушувана сировина	Джерело
Камерні	до 8,0	періодичної дії	зерно, сухарі, фрукти, овочі	[1, 2, 4, 7]
Барабанні	5...12,5	безперервної дії	зерно, цукор, горіхи, насіння	[2, 4, 7]
Тунельні	5,0...6,0	безперервної дії	сухарі, овочі, фрукти, макаронні вироби	[4, 9, 14]
Стрічкові	5,5	безперервної дії	овочі, макаронні вироби, чай	[2, 4]
Розпилювальні	9,0...12,5	безперервної дії	кава, молоко, молочні продукти	[7, 9, 16]
Киплячого шару	до 8,0	безперервної дії	овочі, казеїн, горіхи, бобові та зернові культури	[7, 9, 14]

Найпоширенішими є камерні сушарки, у яких сушильний агент нагрівається у калорифері до максимально допустимої температури, рухається вздовж сушильної камери і контактує із висушуваною сировиною [4–8]. Основним вузлом такої сушарки є прямокутна камера, всередину якої розміщується висушувана сировина. Сушильний агент нагрівається калорифером та нагнітається вентилятором, після чого сушильний агент контактує із висушуваною сировиною. Є сушаркою періодичної дії, сушіння виконується в основному чистим нагрітим повітрям або сумішшю газів із повітрям. Такі сушарки використовують для сушіння зерна, овочів, сухарів, або кукурудзи. Мають низьку продуктивність і нерівномірно висушують сировину. Сушарки бувають двокамерні, коридорного типу та шафового типу [2].

Барабанні сушарки використовуються для сушіння цукру, зерна, горіхів. Сушіння в них проходить під атмосферним тиском. Сушильним агентом загалом є повітря. Основним вузлом такої сушарки є циліндричний барабан із внутрішньою насадкою для пересипання та перемішування сировини для покращення контакту сировини із сушильним агентом. Барабан встановлюють горизонтально або під нахилом 0,3°...0,5°. Сушіння проходить всередині барабану завдяки контакту сушильного агента із сировиною. Барабанні сушарки досить ефективні, в них виконується безперервне сушіння харчової сировини [1–5].

Стрічкові сушарки використовуються для сушіння макаронних виробів, фруктів, овочів, сухарів. Використовуються як сушарки безперервної дії. Стрічкові сушарки представляють стрічковий конвеєр, по якому рухається висушувана сировина вздовж сушильної камери, після чого сировина пересипається

на інший конвеєр, який розташований нижче. Таких конвеєрів може бути до 5 штук один під одним. З нижнього конвеєра через розвантажувальний бункер виходить готова продукція. Пересипання висушеної сировини з верхнього конвеєра на нижній сприяє перемішуванню висушеної сировини, завдяки чому покращується якість сушіння. Повітря нагнітається вентилятором, нагрівається калорифером та потрапляє до сушильної камери. У сушильній камері сировина контактує із сушильним агентом протягом руху її з верхнього конвеєра до самого нижнього [4, 5].

Тунельні сушарки використовують для сушіння овочів, фруктів, макаронів як сушарки безперервної дії. Основною частиною тунельних сушарок є подовжена камера, у якій висушувана сировина вздовж камери рухається на вагонетках. Повітря нагнітається вентилятором, нагрівається калорифером і потрапляє в камеру. Сушильний агент контактує із висушеною сировиною. Після того, як із камери викочуються вагонетки із готовою продукцією, з іншого боку заочуються вагонетки із висушеною сировиною. Вагонетки переміщуються в камері вручну або за допомогою товкача. Довжина сушарок може досягати 100 м, а ширина до 10 м, тому в таких сушарках конструктивно передбачається проміжне нагрівання в камері. Калорифери та вентилятори можуть бути встановлені вгорі, збоку або всередині сушарки. Відпрацьоване повітря виводиться через газохід [2, 5, 9, 15].

Розпилювальні сушарки використовують для сушіння молока та молочних продуктів, яєць, кави. Основною частиною таких сушарок є камера, у якій відбувається сушіння. Висушувана сировина розпорошується в камері до крапель, діаметр крапель складає декілька десятків мікрон. Сировина щільно контактує із сушильним агентом завдяки високій дисперсності. Із крапель видаляється волога, готовий продукт у вигляді порошку отримується за декілька секунд. Сушіння розпиленням складається із трьох основних процесів: розпилення сировини в камері, змішування сушильного агенту із висушеною сировиною, тепло і масообмін між ними. Аналіз цих процесів і визначає ефективність та економічні показники розпилювальних сушарок [7, 9, 16].

Сушарки киплячого шару використовують для сушіння овочів, зернових культур, горіхів. Такі сушарки є апаратами безперервної дії. Сушіння відбувається в корпусі сушарки. Висушувана сировина потрапляє на поверхню газорозподільчої решітки. Сушильний агент потрапляє до корпусу завдяки нагнітання вентилятором та нагріванню калорифером. Нагрітий сушильний агент подається в корпус під газорозподільчу решітку. Висушувана сировина продувається сушильним агентом зі швидкістю, необхідною для створення «киплячого шару». Висушуваний матеріал видаляється із сушарки через патрубок, що примикає до корпусу [9, 14].

Використання перегрітої пари як сушильного агенту дає змогу виключити попередню термічну обробку висушеної сировини, наприклад, варення. Тому технологічний процес сушіння може бути спрощеним через скорочення тривалості процесу сушіння, необхідності в додатковому обладнанні і персоналі. Особливістю сушіння перегрітим паром є те, що температура сировини в періоді постійної швидкості сушіння згідно з вологістю і температурою сушильного агента близька до 100 °С. Перегріта пара як сушильний агент може бути використана для сушіння молока. Позитивно впливає на наявність корисних речовин і вітамінів в овочах, фруктах, зернових культурах. Овочі та фрукти в середовищі пару мають меншу усадку порівняно з іншими сушильними агентами, краще зберігають вітаміни. Готовий висушений продукт зберігає свої кулінарні якості після відновлення [2–5, 7, 9].

За допомогою кліматичного сушіння отримують сушене м'ясо риби, гриби, ковбаси та інші м'ясні вироби. Зневоднення сировини відбувається всередині сушильної камери. Повітря нагнітається вентилятором та підігрівається калорифером, після чого тепле повітря обдуває полиці, на яких розміщена висушувана сировина. Повітря, насичене вологою, потрапляє до осушувача, у якому волога з повітря конденсується і виводиться у дренажну систему, а висушене повітря прямує через повітроводи і подається знову до полиць, на яких розміщена сировина. Через циклічне використання повітря витрата енергії в декілька разів менше, ніж при конвективному сушінні. Температура і вологість повітря, а також тривалість процесу контролюється приладами. Тривалість процесу складає  $72 \times 10^3 \dots 86 \times 10^3$  с [2].

Перевагами конвективного способу сушіння є простота конструкції сушарок, їх невисока вартість.

Недоліками конвективного способу сушіння є великі питомі витрати енергії від 5,0 до 12,5 МДж / кг. Сушарки мають схожості в роботі, характерним для них є те, що волога випаровується тільки з поверхні висушеної сировини, в результаті чого на поверхні утворюється плівка, що ускладнює теплообмін. Це може негативно впливати на якість готового продукту. Майже у всіх сушарках втрачається приблизно 50 % витраченої енергії на нагрівання сушильного агенту. Тривалість процесу складає від 1200 с, що залежить від товщини шару сировини [1, 2, 4, 7].

Отримати сушене смажене м'ясо можна конвективним способом, попередньо обсмаживши його на відповідному обладнанні. Утворення плівки на поверхні сировини ускладнить теплообмін, що погіршить якість кінцевого продукту при високих витратах енергії, що є недоцільним.

**Сублімаційний спосіб сушіння** – процес заморожування висушеної сировини з подальшим переходом вологи у вигляді льоду на пару, минаючи рідкий стан; у харчовій промисловості використовується для сушіння розчинної кави, чаю, овочів, фруктів, м'ясних виробів, морепродуктів. За допомогою сублімаційного сушіння зберігаються біологічні якості висушеної сировини, що має важливе значення для тривалого зберігання продуктів харчування [2, 4, 9].

Сублімаційна сушарка складається із сушильної камери – субліматора, охолоджуючої системи з холодильним агрегатом, вакуумної системи, що містить вакуумний насос, системи управління, що містить елементи контролю та автоматизації процесу, системи нагрівання, що містить нагрівальні елементи. Сушіння проходить у три етапи. Першим етапом є фаза заморожування. У сушарках, у яких передбачено охолоджуючу систему, попередньо охолоджують камеру до заданої температури, після чого висушувана сировина розміщується на противнях у субліматорі. Якщо в сушарці не передбачено охолоджуючої системи з холодильним агрегатом, то заморожування проводиться в окремій морозильній камері. Другим етапом є сублімація, під час якої тиск знижується і до матеріалу додається тепло. Пара, що утворилася під час сушіння, потрапляє із субліматора в холодильний агрегат. У трубах холодильного агрегату відбувається конденсація і виморожування водяної пари за допомогою холодоагенту, що циркулює поміж трубами. Холодильний агрегат з'єднується з вакуумним насосом, що призначений для відсмоктування несконденсованих газів. Під час другого етапу видаляється основна кількість вологи. Третім етапом є сушіння, під час якого видаляється залишкова волога. Під час третього етапу підвищується температура в субліматорі для досягнення 1...5% залишкової вологи. Після закінчення сушіння готовий продукт необхідно герметично закривати в контейнерах або спеціальних пакетах [1–9, 17].

Перевагами сублімаційного сушіння є можливість зберігання готового продукту до 5-и років при температурі -50...+50 С, збереження харчової цінності готового продукту, високі органолептичні показники, а для м'ясних виробів – зменшення ваги готового продукту у 4 рази порівняно із висушеною сировиною [11].

Недоліками сублімаційного способу є високі питомі енерговитрати 10,0...14,0 МДж / кг, висока вартість обладнання; тривалість сушіння складає  $36 \times 10^3 \dots 254 \times 10^3$  с, що залежить від товщини шару висушеного продукту, і висока собівартість готового продукту.

Отримання сушеного смаженого м'яса сублімаційним способом можливе, попередньо обсмаживши його на відповідному обладнанні. Готовий продукт, скоріше за все, буде високої якості. Зважаючи на високі витрати енергії, високу вартість обладнання і необхідність у додатковому обладнанні для смаження м'яса, ціна на кінцевий продукт буде високою, тому застосування сублімаційного способу є недоцільним.

**Радіаційний спосіб сушіння** – процес сушіння, під час якого тепло, необхідне для виведення рідини і нагрівання висушеної сировини передається променевою енергією. Такий спосіб сушіння ще називається сушінням інфрачервоними променями. Використовується для сушіння квасолі, гороху, ячменю [2, 4, 5].

У сушарці висушувана сировина потрапляє через бункер на конвеєр і рухається по ньому до вивантажувального резервуару. Конвеєр розташований під газовими пальниками, що примикають до випромінювача. Газ нагнітається через газодувку. Між газодувкою і випромінювачем встановлюються крани для забезпечення можливості регулювання подачі газу. Тепло до висушеної сировини подається від газових пальників. Відпрацьовані гази виводяться через вихлопну трубу, а висушувана сировина з конвеєра потрапляє до вивантажувального резервуара. Під час використання сушарок із газовим випромінюванням необхідно забезпечити достатню вентиляцію повітря у приміщенні [4, 5, 9, 11–13].

Перевагою радіаційного способу сушіння є те, що інтенсивність випаровування вологи може бути збільшена в декілька разів порівняно з конвективним сушінням. Це пояснюється тим, що таким способом можна підводити більшу кількість теплоти до висушеної сировини. Але не завжди можна збільшити швидкість сушіння через підведення більшої кількості теплоти до висушеної сировини. У багатьох випадках швидкість сушіння визначається швидкістю переміщення вологи в середині сировини і якістю готового продукту – зберіганням біологічних, поживних, смакових властивостей.

Недоліком радіаційного сушіння є виникнення перепаду температур, через які волога переміщується за напрямом теплового потоку в середину висушеної сировини.

Сушарки із газовими випромінювачами економічні і забезпечують більш рівномірне сушіння сировини [3]. Питома витрата енергії – 3,0...4,5 МДж / кг. Тривалість процесу сушіння – від 600...900 с, що залежить від товщини шару висушеного продукту.

Під час сушіння смаженого м'яса радіаційним способом виникне концентрація великих потужностей на поверхні м'яса, що погіршить його кінцеву якість. Для виробів із незруйнованою структурою, у яких волога розповсюджена нерівномірно, чим і є м'ясо, застосування такого способу призведе до перегріву певних ділянок поверхні виробу і, як наслідок, погіршення його органолептичних показників і харчової цінності. Зважаючи на це, використання радіаційного способу є недоцільним.

**НВЧ сушіння** – спосіб сушіння, що полягає у впливу на висушувану сировину інтенсивного електромагнітного поля надвисоких частот. У харчовій промисловості застосування такого способу обмежене.

НВЧ сушарка складається із високочастотного генератора і сушильної камери. У середині сушильної камери розміщений стрічковий конвеєр. З обох сторін стрічкового конвеєра розташовані пластини конденсатора. Змінний струм із мережі через випрямляч потрапляє в генератор, де перетворюється у змінний струм високої частоти. Цей струм і підводиться до пластин конденсатора. Завдяки низці наступних фізичних процесів із залученням поля високої частоти, іонів та електронів матеріалу, висушувана сировина нагрівається. Температуру висушеної сировини із середини можна регулювати і підтримувати на необхідному рівні за допомоги напруженості електричного поля [15, 17–20].

Перевагою НВЧ сушіння перед традиційними методами є можливість виходу на задану температуру всередині висушеної сировини, а також її регулювання і підтримання.

Недоліками є висока ціна обладнання та необхідність навчання персоналу і проведення інструктажів із техніки безпеки під час роботи із високою напругою, що призведе до додаткових матеріальних витрат. НВЧ сушарки мають високі питомі витрати енергії – 8,0...13,0 МДж / кг [3, 7, 8, 10].

З огляду на вартість НВЧ сушарок, їх складну будову, високі витрати енергії, потреби у кваліфікованому персоналі, очевидно, що такі сушарки можуть використовуватися рідше за традиційні сушарки. Використання НВЧ сушарок може бути доцільним у разі виготовлення окремих спеціальних продуктів харчування.

Використання цього способу для сушіння смаженого м'яса ймовірно призведе до руйнування його структури і, як результат, неминуче спричинить погіршення якості продукту. За високих витрат енергії використання НВЧ-сушіння є недоцільним.

**Комбіновані способи** використовуються для підвищення ефективності процесу сушіння, зменшення питомої витрати енергії, зменшення тривалості процесу сушіння та покращення якості готового продукту. Комбінований спосіб дозволяє майже вдвічі зменшити питомі витрати енергії, які залежно від комбінації способів складають 3,0...7,0 МДж / кг [2–5, 21–25].

У харчовій промисловості використовують конвективно-кондуктивний, конвективно-радіаційний, кондуктивно-радіаційний, радіаційно-НВЧ, конвективно-НВЧ способи. Сушарки, що працюють із комбінованим підведенням теплоти до висушеної сировини, дозволяють використовувати переваги кожного із традиційних способів сушіння.

Дослідженням процесів сушіння харчової сировини займаються у Харківському державному університеті харчування та торгівлі, у якому було розроблено і досліджено ефект індукованого тепломасообміну [26], розроблено пристрій безперервної дії для гідротермічної обробки та сушіння крупи, у якому зазначений ефект реалізується. На такому обладнанні можна виготовляти швидковідновлювані каші, що не потребують варіння. Ефект полягає в переході системи від нестійкої рівноваги до стійкої, супроводжується розсіюванням теплоти завдяки переходу рідкої фази в газоподібний стан.

Основною частиною апарату є термостат, у середині якого перебуває висушувана сировина. Іншим невід'ємним складником системи є обтюратор, який значно менший за розміром термостата. Через обтюратор термостат під'єднаний до навколишнього середовища. Як зазначено в роботі А. О. Пака [26], в середині термостата виникає динамічна рівновага між складниками, газове середовище є суцільним за парціальним тиском пари рідини. А всередині термостата має бути наявна рідка фаза. Під час виконання низки умов спрацьовує ефект індукованого тепло масообміну.

Одним із індукованих способів є сушіння харчової сировини змішаним теплопідводом (ЗТП-сушіння) [26, 27]. За допомоги ЗТП-сушіння реалізується активна теплова і гідродинамічна взаємодія сушильного агента із висушуваною сировиною. Особливість процесу полягає в тому, що сировина

розміщується у функціональній ємності, яка є газонепроникною і виготовлена із матеріалу, що не чинить опору потоку теплоти, на корпусі якої є зазори для відведення випаруваної вологи. Теплота до функціональної ємності за ЗТП-сушіння подається конвективно та кондуктивно. Таким способом можна сушити крупу та плодово-ягідну сировину.

Розроблена установка [26] працює таким чином. Сировина потрапляє у функціональну ємність через завантажувальний бункер. У першій частині функціональної ємності проводиться гідротермічна обробка сировини, а у другій – сушіння із ефектом індукованого тепломасообміну через наявність зазорів на стінках, що виконують роль обтюраторів, а також дотримання необхідних умов для запуску ефекту індукованого тепломасообміну. Повітря нагнітається вентилятором, нагрівається калориферами та потрапляє до стінок другої частини функціональної ємності, у якій і реалізується процес сушіння. Частина випаруваної вологи з повітря конденсується і виходить через патрубок у конденсаторвідводчик. Готова продукція виходить через розвантажувальний бункер.

Перевагою ЗТП-сушіння є низькі питомі витрати енергії 3,0...4,0 МДж / кг та можливість отримання якісного продукту. Тривалість процесу складає 3600...5100 с, кінцевий вологовміст продукту складає 6,0...8,0 %.

Недоліком є те, що таким способом висушуються тільки консистентні готові страви, цей спосіб має обмежене використання.

ЗТП-сушінням та комбінованими способами можна сушити консистентну сировину, яка пройшла теплову обробку, у якій волога розповсюджена по об'єму продукту рівномірно. Використання цих способів для сушіння смаженого м'яса не забезпечить високої якості готового продукту, тому їх використання є недоцільним

**Кондуктивний спосіб сушіння** – процес сушіння матеріалу на нагрітій металічній пластині. Тепло до матеріалу передається від гарячої поверхні з подальшою віддачею його в довкілля [3, 5, 9, 29, 30]. Спосіб кондуктивного сушіння широко використовується в хімічній, енергетичній, фармацевтичній, текстильній галузях промисловості. Використовується кондуктивний спосіб і в харчовій промисловості в технологічних процесах, у яких необхідно забезпечити щільний контакт продукту із нагрівальною поверхнею, таких як жаріння та обсмажування [31], а також сушіння рідких та пастоподібних матеріалів.

Конструктивно кондуктивні сушарки виконуються у вигляді періодично діючих сушильних барабанів, безперервно діючих валкових, циліндричних сушарок або у вигляді сушильних шаф із розташованими за їх висотою полиці або плити, що підігріваються теплоносієм, на яких і розташовується сировина.

До кондуктивних сушарок, що використовуються в харчовій промисловості, належать валкові сушарки [2–5, 9, 30]. Залежно від тиску вони поділяються на сушарки, що працюють під атмосферним тиском або під вакуумом. Залежно від кількості валків промисловість випускає одно-, дво- та багатовалкові сушарки.

Основною їхньою частиною є вали, що обертаються назустріч один одному зі швидкістю 2...10 об / хв. Висушувана сировина потрапляє на вали, які нагріваються за рахунок пари, електричного калориферу або газів, висушується завдяки переходу з одного вала на інший до повного зневоднення і зрізується ножом. Коефіцієнт тепловіддачі за таких умов становить 170...180 Вт / (м<sup>2</sup>×К), процес сушіння триває від декількох секунд до декількох хвилин. Нагрівальні поверхні виготовляються з чавуна, нержавіючої сталі або листової міді. Питомі енерговитрати під час кондуктивного сушіння складають 5,0...7,0 МДж / кг. Тривалість процесу сушіння 5...180 с, що залежить від товщини шару висушуваного матеріалу [30].

На сьогодні кондуктивне сушіння застосовується значно рідше традиційних методів сушіння у харчовій промисловості, оскільки таким способом не завжди вдається зберегти харчову цінність готового продукту, а вибір способу, оптимального режиму та обладнання визначається комплексним аналізом властивостей харчової сировини [1–5, 9, 10, 15].

Перевагами кондуктивного способу сушіння є низька питома витрата енергії, можливість досягти високих показників теплопередачі, тривалість сушіння, висока якість готового продукту, про що свідчать експериментальні дослідження [28].

Недоліком є обмеження за видом висушуваної сировини.

З огляду на конструкцію обладнання, що використовується під час кондуктивного способу можна сумістити процес смаження м'яса із подальшим сушінням. Завдяки короткій тривалості процесу сушіння і високої теплопередачі можна отримати якісний кінцевий продукт при низьких витратах

енергії [28]. Це означає, що кондуктивний спосіб може стати ефективним для сушіння смажених м'ясних виробів.

Питомі витрати енергії способів сушіння наведені в таблиці 2.

## 2. Питома витрата енергії різних способів сушіння

Спосіб сушіння	Питома витрата енергії, МДж / кг	Джерело
Кондуктивний	5,0...7,0	[15, 30]
Конвективний	6,0...12,5	[4, 7, 9, 14]
Сублімаційний	10,0...14,0	[9, 19]
Радіаційний	3,0...4,5	[3, 5, 12, 13]
НВЧ	8,0...13,0	[4, 9, 19]
ЗТП	3,0...4,0	[26, 27]

### Висновки

Огляд, представлений у статті, зроблений з метою узагальнення та систематизації сучасних уявлень стосовно способів сушіння харчової сировини та пошуку можливості використання наявних способів для сушіння жареного м'яса. У результаті проведеної роботи виявлено, що на сьогодні вироби із сушеного жареного м'яса можна отримати технологіями конвективного сушіння, сублімаційного сушіння та природним способом сушіння, дані стосовно кондуктивного сушіння жареного м'яса відсутні. Під час кондуктивного сушіння реалізовується високий показник теплопередачі. Конструктивні особливості обладнання дають змогу сумістити процес смаження та сушіння, питомі витрати енергії є низькими під час короткої тривалості процесу. Це вказує на те, що кондуктивний спосіб може стати ефективним для сушіння м'ясних виробів.

Перспективи подальших досліджень полягають у розробці обладнання для кондуктивного сушіння смажених м'ясних виробів.

### References

- Savchenko-Pererva, M. Yu., & Radchuk, O. V. (2021). Analiz suchasnykh shliakhiv stvorennia kharchovykh produktiv z pidvyshchenoiu kharchovoiu tsinnistiu. *Modern Engineering and Innovative Technologies*, 16 (2), 48–52. Retrieved from: <http://repo.snau.edu.ua/handle/123456789/8794> [In Ukrainian].
- Burdo, O. G. (2010). *Evolyutsiya sushilnykh ustanovok*. Odessa: Poligraf [In Russian].
- Riadh, M. H., Ahmad, S. A. B., Marhaban, M. H., & Soh, A. C. (2014). Infrared heating in food drying: An Overview. *Drying Technology*, 33 (3), 322–335. doi: 10.1080/07373937.2014.951124
- Cherevko, O. I., & Poperechniy, A. M. (2015). *Protsesi i aparati harchovih virobnitsv*. Harkiv: Svit knig [In Ukrainian].
- Salehi, F. (2019). Recent Applications and potential of infrared dryer systems for drying various agricultural products: A Review. *International Journal of Fruit Science*, 20 (3), 586–602. doi: 10.1080/15538362.2019.1616243
- Musiellak, G., Mierzwa, D., & Kroehnke, J. (2016). Food drying enhancement by ultrasound: a review. *Trends in Food Science & Technology*, 56, 126–141. doi: 10.1016/j.tifs.2016.08.003
- Mihaylov, Yu. A. (1967). *Sushka peregretyim parom*. Moskva: Energiya [In Russian].
- Khaing Hnin, K., Zhang, M., Mujumdar, A. S., & Zhu, Y. (2018). Emerging food drying technologies with energy-saving characteristics: A review. *Drying Technology*, 37 (12), 1465–1480. doi: 10.1080/07373937.2018.1510417
- Lyikov, A. V. (1968). *Teoriya sushki*. Moskva: Energiya [In Russian].
- Zhang, M., Jiang, H., & Lim, R.-X. (2010). Recent Developments in Microwave-Assisted Drying of Vegetables, Fruits, and Aquatic Products—Drying Kinetics and Quality Considerations. *Drying Technology*, 28 (11), 1307–1316. doi: 10.1080/07373937.2010.524591
- Aksoy, A., Karasu, S., Akcicek, A., & Kayacan, S. (2019). Effects of Different Drying Methods on Drying Kinetics, Microstructure, Color, and the Rehydration Ratio of Minced Meat. *Foods*, 8 (6), 216. doi: 10.3390/foods8060216
- Zavaliy, A. A., & Yanovich, I. V. (2010). Infrakrasnaya kamera dlya sushki plodov i ovoschey. *Trudy Tavricheskogo Gosudarstvennogo Agrotehnologicheskogo Universiteta*, 10, 103–110. [In Russian].
- Zavaliy, A. A., Yanovich, I. V., & Lago, L. A. (2010). Sravnitel'naya otsenka energeticheskikh zatrat pri sushke produktov pitaniya infrakrasnyim i konvektivnyim sposobami v ustroystvakh kamernogo tipa. *Harchova Nauka i Tehnologiya*, 3, 128–132. [In Russian].



14. Ginzburg, A. S., & Rezchikov, V. A. (1966). *Sushka pischevyih produktov v kipyaschem sloe*. Moskva: Pischevaya promyshlennost [In Russian].
15. Pohozykh, M. I., Potapov, V. O., Pak, A. O., & Zherebkin, M. V. (2016). *Enerhoefektyvni tekhnologii ta tekhnika sushinnia kharchovoi syrovyny*. Kharkiv: KhDUKhT [In Ukrainian].
16. Veresotskyi, Yu. I. (2001). Udoskonalennia rozpyliuvalnoho sposobu sushinnia molochnoi syrovatky. *Candidates thesis*. Kyiv [In Ukrainian].
17. Hayashi, H. (1989). Drying Technologies of Foods -Their History and Future. *Drying Technology*, 7 (2), 315–369. doi: 10.1080/07373938908916590
18. Pohozykh M. I., Pak A. V., & Pak A. O. (2015). Potentsiini mozhlyvosti shtuchnoho keruvannia protsesom sushinnia volohoi syrovyny. *Rozvytok kharchovykh vyrobnytstv, restorannoho ta hotelnoho hospodarstv i torhivli : problemy, perspektyvy, efektyvnist. Naukovo-praktychna konferensija*. Kharkiv: KhDUKhT [In Ukrainian].
19. Lebedev, P. D. (1962). *Raschet i proektirovanie sushilnyih ustanovok*. Moskva – Leningrad: Gosenergoizdat, 1962 [In Russian].
20. Buchynskyi, A. K., & Kovalenko, V. S. (2002). *Osnovy tekhnologii ta tekhniky sushinnia..* Dnipropetrovsk: UDKhTU [In Ukrainian].
21. Mykhailov, V. M., Severyn, O. A., Babkina, I. V., & Liashenko, B. V. (2004). Pidvyshchennia efektyvnosti pryrodnoho sushinnia kharchovykh produktiv. *Prohresyvni Resursozberihaiuchi Tekhnologii ta yikh Ekonomichne Obgruntuvannia u Pidpriemstvakh Kharchuvannia. Ekonomichni Problemy Torhivli*. 1, 355–361. [In Ukrainian].
22. Acar, C., Dincer, I., & Mujumdar, A. (2020). A comprehensive review of recent advances in renewable-based drying technologies for a sustainable future. *Drying Technology*, 40 (6), 1029–1050. doi: 10.1080/07373937.2020.1848858
23. Llavata, B., García-Pérez, J. V., Simal, S., & Cárcel, J. A. (2020). Innovative pre-treatments to enhance food drying: a current review. *Current Opinion in Food Science*, 35, 20–26. doi: 10.1016/j.cofs.2019.12.001
24. Kalinichenko, R. A. (2005). Enerhozberihaiuchi rezhymy sushinnia i aktyvnoho ventyliuvannia zerna pry zberihanni v umovakh hospodarstv. *Candidates thesis*. Kyiv [in Ukrainian].
25. Stankevych, H. M. (2015). Osnovni napriamky vdoskonalennia tekhnologii ta tekhniky sushinnia zerna. *Problemy enerhoefektyvnosti ta yakosti v protsesakh sushinnia kharchovoi syrovyny. Vseukrainska naukovo-praktychna konferensija*. Kharkiv: KhDUKhT [In Ukrainian].
26. Pak, A. O. (2014). Rozrobka naukovykh osnov indukovanoho teplo masoobminu ta yoho vykorystannia v protsesakh ta obladnanni kharchovykh vyrobnytstv. *Doctors thesis*. Kharkiv [In Ukrainian].
27. Pohozykh, M. I., & Pak, A. O. (2014). Rozvytok naukovykh osnov efektyvnoho keruvannia tekhnikoju ta tekhnolohiieju ZTP-sushinnia kharchovoi syrovyny. *Rozvytok kharchovykh vyrobnytstv, restorannoho ta hotelnoho hospodarstv i torhivli: problemy, perspektyvy, efektyvnist. Mizhnarodna naukovo-praktychna konferensija*. Kharkiv [In Ukrainian].
28. Skrypnyk, V. O., Myronov, D. A., & Latysh, V. S. (2021). Rezultaty poperednikh doslidzhen protsesu konduktivnoho sushinnia zharenoho miasa. *Novi tekhnologii i obladnannia kharchovykh vyrobnytstv. Mizhvuzivskii naukovo-praktychnyi seminar*. Poltava [In Ukrainian].
29. Brazhnikov, A. M., Karpyichev, V. A., & Peleev, A. I. (1974). *Analiticheskie metody issledovaniya protsessov termicheskoy obrabotki myasoproduktov*. Moskva: Agropromizdat [In Russian].
30. Krasnikov, V. V. (1973). *Konduktivnaya sushka*. Moskva: Energiya [In Russian].
31. Molchanova, N. Yu. (2011). Rozrobka obladnannia dlia zharinnia miasa z vysokym vmistom spoluchnoi tkanyny. *Candidates thesis*. Donetsk [In Ukrainian].

Стаття надійшла до редакції: 25.04.2022 р.

**Бібліографічний опис для цитування:**

Скрипник В. О., Пономаренко Б. Г. Можливість використання наявних способів для сушіння жареного м'яса. *Вісник ПДАА*. 2022. № 2. С. 287–295.

© Скрипник Вячеслав Александрович, Пономаренко Богдан Геннадійович, 2022