

УДК 641.526.7

USE OF ELECTRIC-CONTACT HEATING IN PROCESSES AND APPARATUS OF FOOD INDUSTRY

I. Babanov, O. Babanova*National University of Food Technologies***V. Mikhaylov, I. Babkina, A. Shevchenko***Kharkiv State University of Food Technology and Trade*

Key words:

electro-contact heating,
electrical current,
processes and apparatus,
food industry

Article history:

Received 08.09.2018

Received in revised form
27.10.2018

Accepted 23.11.2018

Corresponding author:

igbabanov@ukr.net

ABSTRACT

In the article presented the analysis of use of electric-contact heating in the processes and apparatus of the food retail industry. Executed a thermal calculation, the results of which confirm the efficiency of the use of electric-contact heating in the combined thermal processes in-use in the production of fried and cooked culinary items. Presented the results of the research on the choice of rational parameters of the electric current are voltage and frequencies.

Electric-contact heating used in the manufacture of sausages from various types of stuffing (the main condition here is the uniformity of the structure of semi-finished products). Under the influence of electric current, defrosting of food products, for example, fish blocks. However, despite a number of important benefits, use of electric-contact heating in heat treatment methods is not widely used in culinary products.

The purpose of the article is to analyze the use of electric-contact heating in food industry processes and apparatuses and to determine electric current rational parameters.

A linear increase in electrical conductivity with increasing frequency up to the value of 30 Hz was established, then the trend is violated and after 50 Hz the electrical conductivity is the same. An increase in the electrical conductivity is possible (at what is negligible) only with an increase in the frequency of electrical current hundreds of times when there is a fluctuation of particles at the molecular level. However, this requires the use of high-frequency generators, which are quite cumbersome and have high costs, which increases hardware costs. From this point of view, it is advisable to use frequencies that can be obtained using simple electrical circuits.

Thermal calculations have been used to show the effectiveness of the use of ECH in combined heat processes used in lubrication vibrations and cooked culinary products. The rational parameters of the current electric current are used: voltage 12 V, frequency 30...50 Hz.

DOI: 10.24263/2225-2916-2018-24-13

ВИКОРИСТАННЯ ЕЛЕКТРОКОНТАКТНОГО НАГРІВАННЯ В ПРОЦЕСАХ ТА АПАРАТАХ ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

І.Г. Бабанов, О.І. Бабанова

Національний університет харчових технологій

В.М. Михайлов, І.В. Бабкіна, А.О. Шевченко

Харківський державний університет харчування та торгівлі

У статті наведено аналіз використання електроконтактного нагрівання (ЕКН) в процесах і апаратах харчової промисловості. Виконано тепловий розрахунок, результати якого підтверджують ефективність використання ЕКН в комбінованих теплових процесах, що використовуються при виробництві смаженої і запеченої кулінарної продукції. Представлено результати дослідження вибору раціональних параметрів електричного струму — напруги та частоти.

Ключові слова: електроконтактне нагрівання, електричний струм, процеси і апарати, харчова промисловість.

Постановка проблеми. Теоретичні відомості та виробничий досвід здійснення процесів жарення і, зокрема, запікання кулінарних виробів, свідчать про ряд властивих їм недоліків, найбільш важливими з яких є висока витрата енергоресурсів, значна тривалість і трудомісткість, низький коефіцієнт корисної дії, а в деяких випадках невисока якість готових виробів. З метою усунення цих недоліків вищевказані процеси вдосконалюються, зокрема шляхом комбінування різноманітних способів підведення теплової енергії до продукту.

Одним із можливих напрямків підвищення техніко-експлуатаційних показників процесів теплової обробки харчових продуктів є комбінування традиційних методів підведення теплової енергії з електрофізичними методами, зокрема електроконтактним нагріванням (ЕКН). Однак, незважаючи на ряд переваг цього методу (високий ККД, рівномірність температурного поля і т. ін.), ЕКН у технологіях жарення застосовується рідко. Це обумовлено тим, що в умовах нагріву електричним струмом основний провідник, що входить до складу напівфабрикатів, — водний сольовий розчин, при нормальних умовах нагрівається тільки до 100°C. Така температура достатня для кулінарної готовності виробів, але для формування скоринки на поверхні продукту необхідно досягти близько 120...130°C, що і є бар'єром для використання ЕКН у процесах жарення. У той же час відомо, що готовність виробу визначається досягненням температури в центральних шарах до 80...85°C, тому ЕКН можна використовувати передусім для інтенсифікації нагрівання внутрішніх шарів продукту. Однак слід зазначити, що позитивний ефект використання ЕКН в комбінованих процесах можливий лише при раціональних параметрах, в іншому випадку можливий зворотний, негативний ефект. Тому важливим завданням є розрахунок показників, які свідчать про ефективність теплового процесу для випадку комбінування ЕКН з іншими методами нагрівання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. ЕКН використовується при виробництві ковбасних виробів на основі різноманітних видів фаршу (основною умовою при цьому є однорідність структури напівфабрикатів). При дії електричного струму здійснюють розморожування харчових продуктів, наприклад риб-

них блоків. ЕКН застосовують як в процесах сушіння на тютюновому виробництві, так і для пастеризації рідких харчових продуктів (молока, оцту). Однак, незважаючи на ряд важливих переваг, використання електроконтактного нагріву в способах теплової обробки кулінарної продукції не знайшло широкого застосування.

ЕКН дає змогу здійснювати обробку при переміщенні напівфабрикатів уздовж електродів та при їх нерухомому положенні. До першої групи слід віднести пристрій для електроконтактної термообробки рибного фаршу, пристрій для безперервного ЕКН харчових продуктів, пристрій для електроконтактного варіння харчових продуктів, пристрій для виготовлення варених ковбас, шнековий пристрій для електроконтактного теплової обробки харчових продуктів, пристрій для ЕКН фаршевих виробів. Перераховані розробки можуть в основному застосовуватися на різних великих переробних підприємствах, виробничих цехах м'ясокомбінатів. Друга група устаткування — періодичної дії, в якій більшість апаратів призначена для використання на харчових підприємствах невисокої потужності, у тому числі ресторанного господарства. Сюди можна віднести пристрій для обробки харчових продуктів електричним струмом, контейнер для харчових продуктів з пазами для електродів, пристрій для реалізації електроконтактного способу приготування харчових продуктів. На цьому ж принципі обробки заснований спосіб варіння і спосіб приготування харчових продуктів.

Мета статті: аналіз використання ЕКН у процесах та апаратах харчової промисловості і визначення раціональних параметрів електричного струму.

Викладення основних результатів дослідження. Проведений аналіз використання ЕКН дав змогу зробити висновок про перспективність досліджень з розробки технології застосування ЕКН для виробництва формованих виробів, наприклад, сосисок без оболонки, порційних рубаних виробів і запіканок на основі м'яса, риби, подрібнених овочів (картоплі, моркви, буряка), різних круп; виробів з тіста, в тому числі хлібобулочних виробів тощо. Одним з напрямків у вирішенні цього завдання є вдосконалення процесів смаження шляхом комбінації традиційних методів нагрівання з ЕКН.

Розроблені комбінований спосіб теплової обробки та багатофункціональний пристрій реалізують ідею використання ЕКН при смаженні і запіканні. В їх основу покладено комбінування поверхневого, інфрачервоного (ІК) та електроконтактного нагрівання [1]. При цьому поверхнєве та ІЧ нагрівання забезпечують формування скоринки, відповідно з нижньої і верхньої поверхні напівфабрикату, а ЕКН забезпечує інтенсивне нагрівання внутрішніх шарів через бічні поверхні виробу.

Для обґрунтування ефективності використання ЕКН в комбінованому тепловому процесі, а також раціональних параметрів електричного струму розглянемо два варіанти теплової обробки напівфабрикатів:

- 1) при двосторонньому підведенні теплової енергії знизу і зверху (контроль);
- 2) при комбінації двостороннього підведення теплової енергії знизу і зверху з ЕКН від електродів, розташованих у бічних поверхнях продукту.

Вихідні дані: маса напівфабрикату 0,125 кг; площі нагрівальних поверхонь дорівнюють $5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$; початкова температура продукту 20°C ; питома теплова напруга з одного боку 10 кВт/м^2 ; тривалість нагрівання 750 с.

Як відомо, кількість теплоти визначається за формулою:

$$Q = q \cdot S \cdot \tau, \text{ Дж}, \quad (1)$$

де q — питома теплова напруга, кВт/м²; S — площа поверхні, що нагрівається, м²; τ — тривалість нагрівання, с.

З виразу (1) енергія від джерела теплоти на процес нагрівання одного боку продукту становить $Q = 37,5$ кДж, тоді при двосторонньому нагріванні — $Q = 75$ кДж.

У таких умовах теплової обробки справедливий вираз

$$Q = k \cdot G \cdot c \cdot (t_k - t_n) + k \cdot G \cdot x \cdot r, \text{ Дж}, \quad (2)$$

де k — частка продукту від загальної маси напівфабрикату (приймаємо для внутрішнього шару $k = 0,8$, для поверхневого $k = 0,2$); G — маса напівфабрикату, кг; c — середня питома теплоємність напівфабрикату, Дж/(кг·К) (приймаємо для внутрішнього шару $c = 3157$ Дж/(кг·К), для поверхневого — $c = 1670$ Дж/(кг·К)); t_k, t_n — кінцева і початкова температура, відповідно, °С; x — кількість випареної вологи від початкової маси напівфабрикату (приймаємо для внутрішнього і поверхневого шару 15% і 45% відповідно); r — прихована теплота пароутворення, Дж/кг (приймаємо для внутрішнього шару $r = 2382,2 \cdot 10^3$ Дж/кг; поверхневого — $2256,3 \cdot 10^3$ Дж/кг).

З формули (2) кінцева температура:

$$t_k = \frac{Q - k \cdot G \cdot x \cdot r}{k \cdot G \cdot c} + t_n, \text{ °С}. \quad (3)$$

Оскільки [2] відношення необхідної енергії на нагрівання внутрішнього шару до енергії на нагрівання поверхневого 3:2, то енергія розподілиться в кількості, відповідно, 45 кДж і 30 кДж (при розрахунку процесу нагрівання поверхневого шару з одного боку слід прийняти 15 кДж).

Виконавши розрахунки за рівнянням (3) для першого варіанта, визначаємо, що кінцева температура внутрішнього шару становить 49°С, що є недостатнім для кулінарної готовності виробу, а поверхневого — 130°С, при якій формується скоринка. Збільшенням потужності нагрівання безумовно можна досягти необхідного значення в центрі виробів 80°С, але при цьому відбудеться перегрівання і пригорання скоринки, що є небажаним.

При вирішенні завдання для другого варіанта нагрівання будемо виходити з необхідності досягнення кінцевої температури внутрішнього шару 80 °С. При цьому з виразу (1) випливає, що необхідна кількість теплової енергії повинна становити 54,7 кДж. Різниця між кількістю одержуваної від джерела енергії теплоти і необхідної теплою становить 9,7 кДж. Відомо [2], що напруга для електроконтактного нагріву із закону Джоуля-Ленца:

$$U = \sqrt{\frac{Q}{\sigma \cdot \tau}}, \quad (4)$$

де U — напруга електричного струму, В; σ — електропровідність, Ом⁻¹ (приймаємо $\sigma = 0,085$ Ом⁻¹); Підставивши значення, отримаємо $U = 12$ В.

У розрахунку показано, що двостороннє нагрівання виробів не дає можливості отримати необхідний розподіл температур за його обсягом. Недолік енергії можна компенсувати застосуванням ЕКН. При цьому, з огляду на відмінність в електропровідних властивостях харчових продуктів, виникає необхідність регулювання потужності ЕКН за рахунок зміни напруги. Її раціональне значення при відомих значеннях середньої електропровідності напівфабрикату, часу на формування скоринки і кількості енергії на нагрівання можна визначити з формули (4).

Однак слід зазначити, що крім напруги, важливим електричним параметром, який значно впливає на процес ЕКН, є частота електричного струму, зміна якої впливає на електропровідність продукту, а також, відповідно, швидкість нагрівання і витрати енергії.

Було проведено відповідні дослідження [3]. Як предмет досліджень використовували м'ясний фарш. На рис. 1 наведені результати досліджень зміни електропровідності в інтервалах низьких 0,1...1 Гц, 2...10 Гц, 20...60 Гц і високих 100...300 Гц частот.

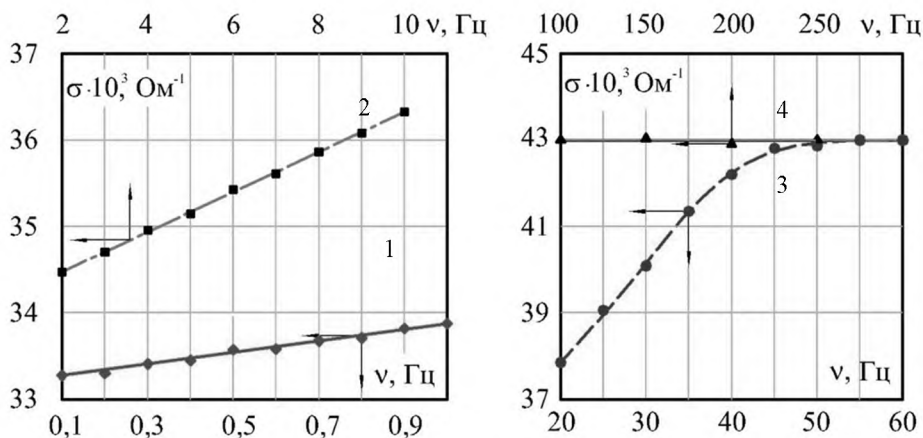


Рис. Залежність електропровідності м'ясного фаршу від частоти електричного струму:

1 — 0,1...1 Гц; 2 — 2...10 Гц; 3 — 20...60 Гц; 4 — 100...300 Гц

Аналіз наведених залежностей свідчить про лінійне збільшення електропровідності з підвищенням частоти аж до значення 30 Гц, далі тенденція порушується і після 50 Гц електропровідність однакова. Це, можливо, пояснити так: з огляду на відносно високий опір клітинної мембрани, при малій частоті електричний струм проходить в основному в позаклітинному середовищі, що й обумовлює невелику електропровідність. При збільшенні ж частоти електричного струму знижується опір мембран, наслідком чого є збільшення кількості енергії, що проходить через клітини продукту і, відповідно, зростання електропровідності. Крім того, при низьких частотах відбувається перерозподіл вологи всередині продукту, що погіршує провідність, а при 30...50 Гц частинки вологи в основному здійснюють лише коливальний рух і майже не переміщуються. Це означає, що структура продукту залишається рівномірною, що й обумовлює більш високу електропровідність. Подальше ж збільшення частоти до 300 Гц не

впливає на ці фактори і електропровідність залишається постійною. Підвищення електричної провідності можливе (при чому незначно) лише при збільшенні частоти електричного струму в сотні разів, коли виникне коливання часток на молекулярному рівні. Однак це вимагає використання генераторів надвисоких частот, які досить громіздкі і мають високу вартість, що підвищує собівартість апаратного забезпечення. З цієї точки зору доцільно застосовувати частоти, які можна отримати, використовуючи прості електричні схеми [4; 5].

Висновки. Виконаний аналіз використання ЕКН в процесах та апаратах харчової промисловості показав перспективність його використання для виробництва широкого асортименту кулінарної продукції, наприклад, порційних рубаних виробів і запіканок на основі м'яса, риби, подрібнених овочів, круп, хлібобулочних виробів тощо [6].

Тепловими розрахунками отримані дані, що свідчать про ефективність використання ЕКН в комбінованих теплових процесах, що використовуються при виробництві смаженої і запеченої кулінарної продукції [7]. Визначено раціональні параметри використовуваного електричного струму: напруга — 12 В, частота — 30...50 Гц.

Важливими завданнями подальшої роботи є дослідження електропровідних властивостей різних фаршевих систем, розробка рекомендацій щодо теплової обробки конкретних напівфабрикатів, розрахунки основних показників розроблених апаратів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Михайлов В.М. Розробка комбінованого способу смаження та багатофункціонального пристрою для його здійснення / В.М. Михайлов, І.В. Бабкіна, А.О. Шевченко // Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі : зб. наук. праць. — Х. : ХДУХТ, 2008. — Вип. 2 (8). — С. 202—209.

2. Михайлов В.М. Теоретичне визначення ефекту інтенсифікації термообробки за умов комбінованого запікання кулінарної продукції / В.М. Михайлов, О.Г. Дьяков, А.О. Шевченко // Прогрес. техніка і технології харч. вир-в ресторан. господарства і торгівлі : зб. наук. пр. — 2009. — Вип. 2 (10). — С. 230—237.

3. Шевченко А.О. Використання електроконтактного нагрівання в процесах жарення кулінарної продукції : дис. канд. техн. наук : 05.18.12 / А.О. Шевченко. — Х. : ХДУХТ, 2012. — 333 с.

4. Нові технічні рішення в проектуванні обладнання для теплової обробки харчової сировини : монографія в 3 ч. Ч. 2. Використання електроконтактного нагрівання в процесах жарення кулінарної продукції / О.І. Черевко [та ін.]; за заг. ред. О.І. Черевка, В.М. Михайлова. — Х. : ХДУХТ, 2012. — 151 с.

5. Програми і матеріали 80 міжнародної наукової конференції молодих учених, аспірантів і студентів «Наукові здобутки молоді — вирішенню проблем харчування людства у ХХІ столітті». Прогресивні електрофізичні методи теплового впливу на харчову сировину / И. Бабанов, В. Михайлов, А. Шевченко. — К.: НУХТ, 2014 р. — Ч. 2. — С. 68—70.

6. Усовершенствование производства колбасных изделий с применением электрофизических методов обработки / И.Г. Бабанов, О.И. Бабанова, В.М. Михайлов, А.О. Шевченко // Scientific Works of University of Food Technologies. — Plovdiv, 2015. — V/ LXII. — P. 763—766.

7. Дослідження процесів електроконтактного оброблення м'ясопродуктів / Бабанов І.Г., Бабанова О.І., Михайлов В.М., Шевченко А.О. // Журнал «Харчова промисловість». — Київ, 2017 р. — № 22. — С. 102—106.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭЛЕКТРОКОНТАКТНОГО НАГРЕВА В ПРОЦЕССАХ И АППАРАТАХ ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

И. Бабанов, Е. Бабанова

Национальный университет пищевых технологий

В. Михайлов, И. Бабкина, А. Шевченко

Харьковский государственный университет питания и торговли

В статье приведен анализ использования электроконтактного нагрева (ЕКН) в процессах и аппаратах пищевой промышленности. Выполнен тепловой расчет, результаты которого подтверждают эффективность использования ЕКН в комбинированных тепловых процессах, используемых при производстве жареной и запеченной кулинарной продукции. Представлены результаты исследования выбора рациональных параметров электрического тока — напряжения и частоты.

Ключевые слова: *электроконтактный нагрев, электрический ток, процессы и аппараты, пищевая промышленность.*