

УДК 641.546.22

ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕКТРИЧНОГО СТРУМУ ПРИ ЕЛЕКТРОКОНТАКТНОМУ НАГРІВАННІ КУЛІНАРНОЇ ПРОДУКЦІЇ

В.М. Михайлов

Доктор технічних наук, професор, проректор з наукової роботи*

Контактний тел.: (057) 336-74-92

І.В. Бабкіна

Кандидат технічних наук, доцент*

Контактний тел.: (057) 349-45-03

А.О. Шевченко

Асистент

*Кафедра процесів, апаратів та автоматизації харчових виробництв

Харківський державний університет харчування та торгівлі
вул. Клочківська, 333, м. Харків, Україна, 61051

Контактний тел.: (057) 349-45-03, 097-737-04-49

E-mail: prociap_hduht@mail.ru

Стаття містить результати експериментальних досліджень кінетики температури, швидкості нагрівання та зміни електропровідності зразків з натуральної січеної м'ясної маси при різних типах електричного струму

Ключові слова: електроконтактне нагрівання, жарення, електричний струм, частота, електропровідність

Стаття содержит результаты экспериментальных исследований кинетики температуры, скорости нагрева и изменения электропроводности образцов из натуральной рубленной мясной массы при разных типах электрического тока

Ключевые слова: электроконтактный нагрев, жарка, электрический ток, частота, электропроводность

The article contains the results of experimental researches of kinetics of temperature, speeds of heating and change of electro-conductivity of standards from the natural chopped meat mass at the different types of electric current

Keywords: electrocontact heating, frying, electric current, frequency, electro-conductivity

1. Вступ

Виробництво жареної кулінарної продукції характеризується значною тривалістю, високою трудомісткістю, суттєвими матеріальними та енергетичними втратами, низьким ККД. Традиційні процеси та апарати жарення є малоефективними і потребують удосконалення, що можливе шляхом їх комбінування з нетрадиційними методами обробки, наприклад електрофізичними.

З електрофізичних методів обробки харчових продуктів ефективним та найбільш простим в реалізації є метод електроконтактного нагрівання (ЕКН). При контактному впливі електричним струмом електрична енергія перетворюється в теплову безпосередньо у напівфабрикаті, що дозволяє ефективно її використовувати в першу чергу для проведення теплових процесів.

Застосування ЕКН є перспективним у комбінації з поверхневими методами нагрівання для отримання жареної кулінарної продукції з метою інтенсифікації прогрівання внутрішніх шарів виробу та забезпечення

регульованої рівномірності температурного поля за об'ємом виробу.

2. Аналітичний огляд джерел

Процеси ЕКН знайшли застосування як самостійний процес при виробництві хлібобулочних виробів [1-3], розморожування харчових продуктів, наприклад рибних блоків [4], в процесах сушіння м'яса [5] та тютюновому виробництві [6].

Існуючі установки ЕКН в своїй більшості мають досить великі габарити, що не дозволяє їх застосовувати на підприємствах ресторанного господарства та харчових підприємствах малої потужності. Здебільшого, такі апарати використовують високу напругу, що за певних умов може бути небезпечним для обслуговуючого персоналу; змінний струм від генераторів високої частоти, застосування яких збільшує вартість апаратного оформлення та ускладнює виробництво. Використання при ЕКН таких генераторів вважається недоцільним з точки зору їх низького коефіцієнту корисної дії [7].

3. Постановка задачі

Використання ЕКН в комбінації з поверхневим нагріванням слід розглядати як перспективний енергозберігаючий метод теплової обробки жареної кулінарної продукції. Але це потребує проведення низки досліджень, серед яких найбільш важливими є визначення основних параметрів ЕКН, що є визначальними для раціонального проведення комбінованих процесів.

Метою роботи є дослідження параметрів електричного струму (типу, форми, частоти) як вихідних даних для розробки комбінованих процесів жарення з використанням електроконтактного нагрівання.

4. Виклад основного матеріалу

З метою визначення впливу типу і форми змінного електричного струму на процес ЕКН було проведено експериментальне дослідження кінетики температури, швидкості нагрівання та зміни питомої електропровідності зразків з натуральної січеної м'ясної маси при вищевказаних геометричних параметрах. При цьому порівнювались процеси з наступними електричними параметрами: 1 варіант (контроль) – струм постійний з напругою 40 В; 2 варіант (дослід) – струм змінний з частотою 50 Гц – синусоїдальної форми з амплітудною напругою 40 В (при цьому діюча напруга дорівнює 28 В) та прямокутної форми з амплітудною напругою 40 В (діюча напруга дорівнює амплітудній напрузі).

З отриманих залежностей кінетики температури (рис. 1) видно, що характер отриманих кривих для всіх випадків є однаковим, але при цьому нагрівання змінним струмом відбувається набагато ефективніше порівняно з використанням постійного струму. Тривалість нагрівання від 20 до 90 °С скорочується приблизно у 2,3...3,4 рази.

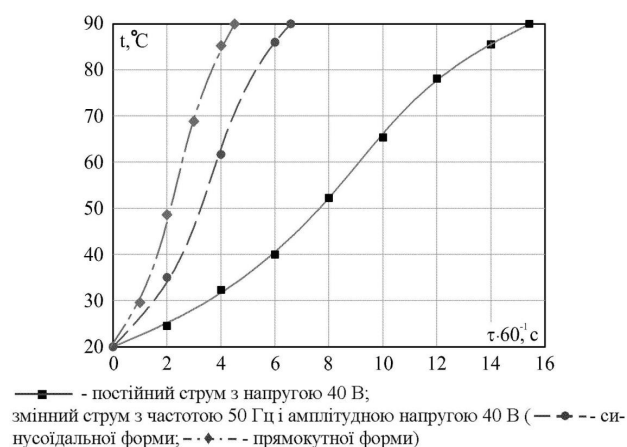


Рис. 1. Кінетика температури при ЕКН зразків з натуральної січеної м'ясної маси

Порівняльний аналіз нагрівання дослідних зразків свідчить про більш інтенсивну зміну температури при використанні струму прямокутної форми порівняно зі струмом синусоїдальної форми з однаковою амплітудною напругою. Так, тривалість досягнення температури 90 °С

у першому випадку складає 270 с, у другому – 390 с, тобто відзначається скорочення тривалості процесу на 30...32 %.

Швидкість нагрівання (рис. 2) при ЕКН з часом змінюється. На початку вона є мінімальною, а надалі з часом зростає до максимального значення та починає падати. При цьому встановлено, що максимум швидкості відповідає температурам близьким до 65...75 °С, що є температурами завершення денатураційних процесів білкової складової зразка. Слід відмітити, що для контрольного зразка максимальна швидкість зміни температури спостерігається на 9...11 хв. процесу і складає лише 0,10...0,12 °С/с. Для дослідних зразків максимальна швидкість зміни температури при синусоїдальному струмі складає 0,23...0,27 °С/с на 3...5 хв. процесу, та при прямокутному струмі – 0,34...0,37 °С/с приблизно на 3-ій хв. процесу.

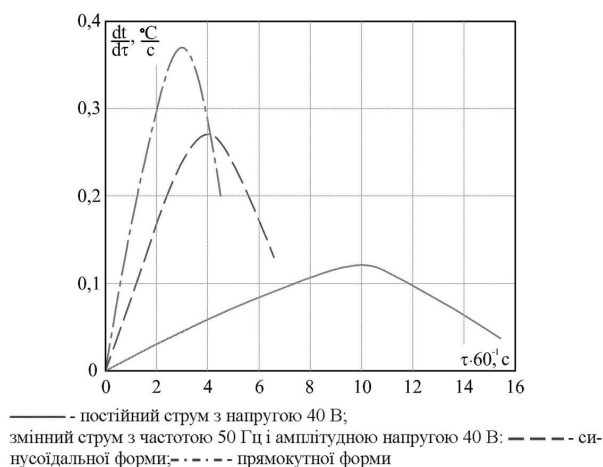


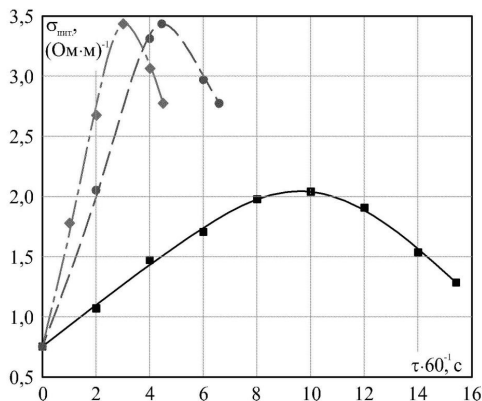
Рис. 2. Швидкість процесу ЕКН зразків з натуральної січеної м'ясної маси

Відзначені відмінності кінетики нагрівання при постійному та змінному струмі пояснюються характером зміни питомої електропровідності зразків (рис. 3). При змінному струмі синусоїдальної та прямокутної форми волога здійснює коливальні рухи, чим забезпечується рівномірний характер розподілу за об'ємом зразка, що дає можливість протікання струму. З ростом температури питома електропровідність від початкового значення в $0,76 \text{ (Ом}\cdot\text{м)}^{-1}$ збільшується до $3...3,4 \text{ (Ом}\cdot\text{м)}^{-1}$, після чого внаслідок денатураційних змін знижується і наприкінці процесу складає $2,7...2,8 \text{ (Ом}\cdot\text{м)}^{-1}$. При цьому найбільшій швидкості процесу відповідає максимальне значення питомої електропровідності. Отже, чим більша електропровідність, тим більша швидкість перебігу ЕКН.

В той же час у контрольного зразка на початку процесу спостерігаються менші значення питомої електропровідності. Це можна пояснити тим, що при постійному струмі відбувається явище електроосмосу і рідинна складова зразка рухається в одному напрямі. Це призводить до зневоднення однієї частини зразка та зволоження іншої. В результаті з'являється перепона для проходження електричного струму у вигляді зневоднених шарів. Надалі відбувається зростання питомої електропровідності до максимального значення близько

$2 \text{ (Ом}\cdot\text{м)}^{-1}$, що відповідає температурі зразка $66 \text{ }^\circ\text{C}$, після чого питомі електропровідність починає падати.

Зміна електропровідності зразка впливає на тривалість теплової обробки. У зв'язку з цим були проведені експериментальні дослідження щодо визначення зміни тривалості процесу ЕКН зразків з натуральної січеної м'ясної маси від частоти електричного струму.



—■— - постійний струм з напругою 40 В;
змінний струм з частотою 50 Гц і амплітудною напругою 40 В (—●— - синусоїдальної форми; -◆- - прямокутної форми)

Рис. 3. Кінетика питомої електропровідності в процесі ЕКН зразків з натуральної січеної м'ясної маси

На рис. 4 наведено залежності відносної тривалості ЕКН по відношенню до нагріву при частоті 0,1 Гц, при якій тривалість нагрівання від 20 до 90 °С мала максимальне значення – (9,5-60) с. Аналіз результатів досліджень свідчить про те, що в діапазоні низьких частот з підвищенням частоти відбувається поступове зменшення тривалості нагрівання. Так, в інтервалі від 0,1 до 1 Гц тривалість нагрівання в досліджуваному температурному інтервалі зменшується до 10 %, а за подальшого збільшення частоти від 1 до 10 Гц тривалість зменшується ще на 30 %. Збільшення частоти від 10 до 40 Гц також призводить до зниження тривалості до 10 %. При частотах 40...60 Гц спостерігається зменшення тривалості процесу нагрівання лише на 3...4 %, а подальше збільшення частоти до 300 Гц практично не впливає на цей показник.

Таким чином, збільшення частоти від 0,1 до 300 Гц дає можливість скоротити тривалість ЕКН приблизно на 53...54%, при цьому скорочення тривалості спостерігається лише до частоти 40...60 Гц.

За нашою думкою це зумовлено такими причинами. По-перше, внаслідок особливостей руху рідини при низьких значеннях частоти спостерігається нерівномірний її розподіл за об'ємом напівфабрикату. Але, з підвищенням частоти розподіл вологи стає більш рівномірним, що покращує електропровідні властивості зразків. По-друге, при низькій частоті струм, в основному, протікає в позаклітинному середовищі, а мембрани клітин поводять себе, як ізолюючі шари. Підвищення частоти зменшує опір мембран, внаслідок чого збільшується сила струму. Як наслідок, електропровідність збільшується, а отже процес нагрівання відбувається більш інтенсивно.

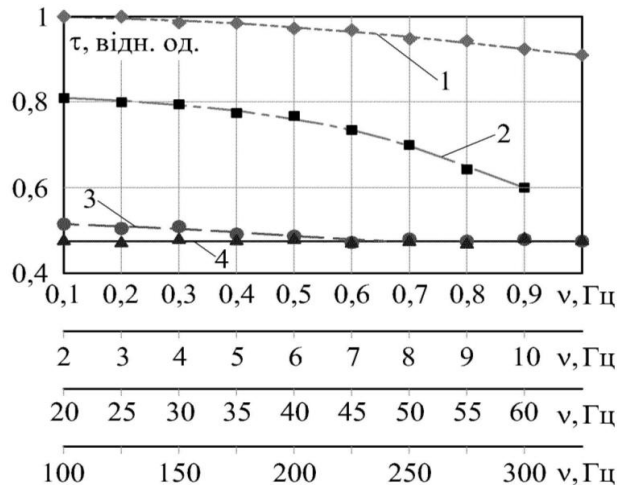


Рис. 4. Залежності зміни тривалості процесу ЕКН зразків з натуральної січеної м'ясної маси від частоти електричного струму: 1 – 0,1...1 Гц; 2 – 2...10 Гц; 3 – 20...60 Гц; 4 – 100...300 Гц

Одним з важливих показників, що характеризує ефективність технологічних процесів теплової обробки, є вихід продукції, що залежить від втрати вологи та жиру. Разом з вологою продукт втрачає низку цінних компонентів (мінеральних речовин, вітамінів та ін.), що спричиняє погіршення якості готового виробу.

Оскільки при ЕКН змінюється тривалість процесу залежно від типу, форми та частоти електричного струму, важливо було дослідити вплив цих параметрів на динаміку маси і вихід продукції. З цією метою використовувались зразки з натуральної січеної м'ясної маси, початкова вага яких становила $63 \cdot 10^{-3}$ кг. Загальна тривалість теплової обробки відповідала часу нагрівання зразків від 20 °С до 90 °С за напруги електричного струму 40 В. При цьому застосовували постійний струм і змінний струм синусоїдальної та прямокутної форми.

За результатами експериментальних досліджень на рис. 5 побудовано діаграму виходу продукції та динаміку маси при ЕКН зразків з натуральної січеної м'ясної маси постійним струмом (контроль) та змінним струмом при частотах 5, 10, 20, 30...50 Гц (дослід).

За даними діаграми виходу готової продукції, отриманої шляхом ЕКН виходить, що при використанні постійного електричного струму вихід складає близько 76 %, а при використанні змінного струму як прямокутної, так і синусоїдальної форми з частотою 50 Гц помітної розбіжності не встановлено і вихід за обох випадків складає 89 %.

За даними динаміки маси зразків відзначається, що у контрольного зразка зміна маси відбувається досить інтенсивно протягом перших 240...300 с. Це зумовлено односпрямованим рухом рідини під дією електроосмосу до однієї з поверхонь напівфабрикату та її виділенням. З часом швидкість зміни маси зменшується і до закінчення процесу термообробки залишається постійною.

При ЕКН дослідних зразків електричним струмом відмічається, що на початку процесу (до 60 с) втрати маси є несуттєві, а надалі вони зростають – в інтервалі

частот від 5 до 20 Гц вихід продукції складає 85...87 %, а в інтервалі частот 30...50 Гц – до 89 %.

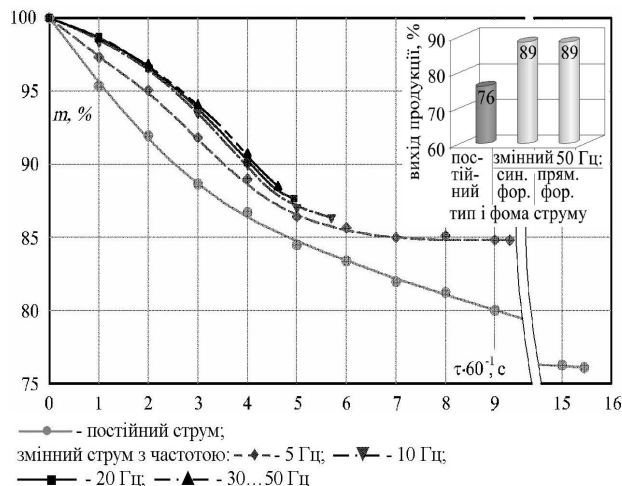


Рис. 5. Діаграма виходу продукції та динаміка маси зразків з натуральної січеної м'ясної маси під час ЕКН струмом з напругою 40 В

В цілому ж відзначається підвищення виходу продукції на 9...13 % при ЕКН змінним електричним струмом, по відношенню до ЕКН постійним струмом. Вочевидь це можна пояснити тим, що при змінному струмі волога в продукті здійснює не однонаправлені, а коливальні рухи за рахунок періодичної зміни напрямку струму, і тому стримується потік вологи до поверхні. Збільшення частоти струму в межах від 5 до 50 Гц призводить до підвищення виходу в межах 4 %, що пояснюється зменшенням амплітуди коливань

часток вологи при підвищенні частоти електричного струму.

Таким чином, можна зробити висновок про доцільність використання змінного електричного струму з частотою в інтервалі 30...50 Гц, при якій втрати маси є мінімальними, а вихід продукції складає близько 89 %.

5. Висновки

Встановлено, що при застосуванні змінного електричного струму прямокутної форми тривалість ЕКН від 20 до 90 °С порівняно з нагріванням постійним струмом скорочується приблизно у 2,3...3,4 рази, а з нагріванням під впливом змінного струму синусоїдальної форми – на 30...32 %. Швидкість ЕКН визначається змінами електропровідності зразка.

Збільшення частоти електричного струму від 0,1 до 300 Гц дає можливість скоротити тривалість ЕКН приблизно на 53...54 %. При цьому скорочення тривалості спостерігається лише до частоти 40...60 Гц. Встановлено, що при ЕКН змінним електричним струмом вихід продукції до 13 % вище, ніж при ЕКН постійним електричним струмом. Доведено, що з підвищенням частоти вихід готової продукції збільшується і в інтервалі частот 30...50 Гц складає близько 89 %.

Таким чином, експериментальними дослідженнями встановлено, що при розробці комбінованих процесів жарення з використанням електроконтактного нагрівання найбільш раціональними параметрами електричного струму є: тип струму – змінний, форма струму – прямокутна, частота – 50 Гц.

Література

1. Островский, Я. Г. Исследования процессов приготовления заварки и выпечки бескоркового хлеба электроконтактным нагревом [Текст] : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Я. Г. Островский. – М., 1954. – 16 с.
2. Сидоренко, Г. А. Разработка технологии производства хлеба с применением электроконтактного энергоподвода [Текст] : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.18.01 / Г. А. Сидоренко. – Оренбург, 2002. – 25 с.
3. Кульман, А. Г. Исследование коллоидно-химических свойств хлеба, выпекаемого электрическим током [Текст] / А. Г. Кульман, Р. А. Бранопольская // Украинский химический журнал. – К. : Изд-во Академии наук Украинской ССР, 1950. – С. 459–469.
4. Стефановская, Н. В. Процессы и аппараты рыбообработывающих производств [Текст] / Н. В. Стефановская, В. М. Стефановский, В. И. Карпов и др. – М. : Легкая и пищевая промышленность, 1984. – 237 с.
5. Тышкевич, С. Исследование физических свойств мяса [Текст] / С. Тышкевич. – М. : Пищевая промышленность, 1972. – 96 с.
6. Ивченко, В. В. Электроконтактный способ сушки средних жилок табачных листьев [Текст] / В. В. Ивченко, Г. В. Наливко // Новые физические методы обработки пищевых продуктов. Доклады и сообщения к всесоюзной конференции по обработке пищевых продуктов. – Киев, 1963. – С. 55–66.
7. Ткач, Н. В. Исследование кинетики электроконтактного нагрева мясных фаршей [Текст] : дис. ... канд. техн. наук / Н. В. Ткач. – Киев, 1970. – 163 с.