

УДК 637.524

DOI: 10.31388/2078-0877-19-2-18-24

## ВИЗНАЧЕННЯ ТРИВАЛОСТІ ПІДСУШУВАННЯ КОВБАСНИХ ВИРОБІВ

Петриченко С. В., к. т. н.,

Олексієнко В. О., к. т. н.

*Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного*

Тел. (0619) 42-13-06

**Анотація** – в статті наведено результати аналізу процесів термічної обробки ковбасних виробів та теоретичні передумови визначення тривалості процесу підсушування варених ковбас з метою забезпечення високої якості продукції при мінімальних витратах енергоносіїв.

**Ключові слова** – ковбасні вироби, термічна обробка, підсушування, тривалість, температуропровідність, фронт збурення.

*Постановка проблеми.* Традиційна технологія виробництва варених ковбасних виробів передбачає проведення термічної обробки в три стадії: підсушування, обсмажування і варіння, що розрізняються режимами середовища, що гріє.

Перша стадія (підсушування) полягає в прогріванні (головним чином поверхні) об'єкта в середовищі з низькою відносною вологістю (до 10 %). При підсушуванні з поверхні ковбасної оболонки віддається волога змочування, що сприяє рівномірному прокрашуванню поверхні і дифузії в продукт коптільних речовин при подальшому обсмажуванні. Підсушування вважається закінченим, якщо температура поверхні продукту досягне 50 °С. Втрати маси під час підсушування складають 0,5 ... 1,8 %. Тривалість підсушування коливається від 3 до 30 хвилин.

Друга стадія (обсмажування) зводиться до обробки ковбасних виробів димоповітряною сумішшю при температурі середовища 100 °С, відносної вологості 20 % і швидкості руху 2 м/с. При обсмажуванні зміцнюються оболонка і поверхневий шар фаршу; поверхня батона забарвлюється в буро-червоний колір із золотистим відтінком. Фарш прогрівається і набуває специфічний запах і присмак підкопченого продукту. Вологість димоповітряної суміші повинна бути такою щоб виключалася можливість конденсації водяної пари на поверхні батона. З огляду на те, що при обсмажуванні температура поверхні ковбасного батона зростає, можна вважати, що мінімальна

допустима вологість відповідає початку, а максимальна - закінчення процесу. Обсмажування закінчується, коли температура в центрі батона сягає 40 ... 50 °С.

Третя стадія (варіння) полягає в обробці продукту пароповітряним середовищем з температурою 85 °С і відносною вологістю близько 90%; швидкість середовища 1-2 м/с; тривалість визначається досягненням в центрі батона температури 68 ... 72 °С.

При варінні ковбас температура поверхні батона повинна дорівнювати або бути трохи нижче температури пароповітряного середовища, яка вимірюється по мокрому термометру. У процесі варіння необхідно створити умови, що виключають випаровування вологи з поверхні. Парціальний тиск водяної пари в пароповітряному середовищі при температурі 80 ... 85 °С має бути більше тиску насичення у поверхні батона.

Всі три процеси термічної обробки полягають у перерозподілі теплоти, що підводиться продукту від середовища, що гріє. При цьому перенесення маси і енергії відбувається внаслідок теплового руху мікрочастинок. Перенесення маси здійснюється за рахунок процесів дифузії. При дифузії в результаті теплового руху частинок речовини відбувається взаємне проникнення частинок дотичних тіл. Дифузія, в кінцевому рахунку, призводить до вирівнювання концентрації.

*Аналіз останніх досліджень.* М'ясопродукти відносяться до об'єктів з досить складною структурою. Тому враховувати її при розрахунку процесів поширення теплоти і речовини важко і практично навряд чи доцільно. При розгляді цих процесів ми будемо керуватися такими загальними міркуваннями:

1. М'ясопродукти розглядаються як суцільне середовище. Властивості м'ясопродуктів проводити теплоту і речовину визначаються транспортними коефіцієнтами: коефіцієнтом теплопровідності і коефіцієнтом дифузії. Значення цих коефіцієнтів, які є функцією складу і структури речовини, інтегрально відображають індивідуальні властивості м'ясопродуктів.

2. Швидкість поширення теплоти м'ясопродуктів відносно низька. Ця обставина дозволяє розглядати процес поширення енергії речовин м'ясопродуктів за наступною схемою: продукт як би складається з двох областей збуреної і незбуреної. Під збуреною областю ми будемо розуміти ту частину об'єкта, в якій за рахунок взаємодії із зовнішнім середовищем почалася зміна параметрів. Наприклад, якщо об'єкт помістити в середу, температура якої відмінна від його усталеною температури, то внаслідок теплообміну температура в об'єкті почне змінюватися. Однак в початковий момент часу температура змінюється не у всіх точках об'єкта - спочатку в

периферійних точках об'єкта і лише потім буде поступово (з кінцевою швидкістю) поширюватися і до центру.

3. Між збуреною і незбуреною областями існує межа розділу - "фронт збурення". У процесах поширення теплоти ми будемо називати його "температурним фронтом", а при вивченні процесів поширення речовини - "фронтом концентрації". Зокрема в процесах поширення теплоти "температурний фронт" - лінія, що відокремлює область об'єкта, в якій температура почала змінюватися, від області, де температура мінятися не починала.

4. Процес поширення теплоти і речовини в тілі відбувається в дві стадії. Перша стадія охоплює проміжок часу від початку процесу до моменту досягнення "фронтом збурення" геометричного центру тіла; друга стадія починається з моменту, коли "фронт збурення" досягає геометричного центру, і триває до закінчення процесу. Теоретично тривалість другої стадії нескінченна [5].

*Формулювання цілей статті (постановка завдання).* Теплова обробка в м'ясній промисловості є основним технологічним процесом при виробництві м'ясопродуктів. Її організація суттєво впливає на якість, вихід, а отже, собівартість готової продукції. У нормативній документації зазначені умови і режими теплової обробки традиційних м'ясних виробів. Однак, при розробці нових продуктів, їх технології і рецептур, а також при зміні обладнання необхідно враховувати зміни, що відбуваються, пов'язані з тепло-, масопереносом.

На деяких підприємствах режими теплового оброблення для конкретного виду ковбасних виробів підбирають експериментальним шляхом. Однак, такі роботи не носять системного характеру та не мають наукового підґрунтя. У зв'язку з цим доцільно теоретично обґрунтувати та розробити практичні рекомендації для оптимізації режимів термообробки м'ясопродуктів.

*Основна частина.* Перенесення теплової енергії при термічній обробці відбувається внаслідок теплопровідності. Теплота переноситься від більш нагрітих до менш нагрітих частин тіла. Процес перенесення енергії і маси можливий лише при наявності рушійної сили, тобто при відхиленні системи від стану рівноваги. Основний закон теплопровідності - закон Фур'є, який встановлює пряму пропорційну залежність між щільністю теплового потоку (наслідок) і градієнтом температури (причина або рушійна сила) і має наступний вигляд

$$q = -\lambda \cdot \text{grad } t, \quad (1)$$

де  $q$  – щільність теплового потоку по нормалі, проведеної в напрямку зменшення температури, до ізотермічної поверхні, Вт/м;

$\lambda$  – коефіцієнт пропорційності, що називається коефіцієнтом теплопровідності, Вт/(м·К);

$\text{grad } t$  – градієнт температури, що характеризує зміну температури  $t$ , що припадає на одиницю відстані між ізотермічними поверхнями по нормалі в напрямку зменшення температури, К / м.

Вираз (1) пов'язує щільність теплового потоку з температурним полем, що дозволяє звести рішення задачі про розподіл теплоти в тілі до дослідження зміни температурного поля в часі [6].

Коефіцієнт теплопровідності - один з найважливіших теплофізичних параметрів різних тіл. Він чисельно дорівнює щільності теплового потоку при  $\text{grad } t = 1$ . Значення коефіцієнта теплопровідності змінюється в широких межах.

При встановленні тривалості теплової обробки (підсушування) ковбасних виробів в першу чергу необхідно знайти значення тепловіддачі від середовища, що гріє, до ковбасних батонів. Згідно з даними А. І. Пелєєва [3], значення коефіцієнта тепловіддачі  $\alpha$ , Вт/(м<sup>2</sup>·К) при термічній обробці ковбасних виробів можна визначити за виразом

$$\alpha = \alpha_c \cdot (1 + 1,9 \cdot d), \quad (2)$$

де  $\alpha_c$  – коефіцієнт тепловіддачі від гарячої води або повітряного середовища, Вт/(м<sup>2</sup>·К);

$d$  – вологовміст продукту (при підсушуванні, де температура середовища ( $t_{\text{сер}} = 100$  °С) і відносна вологість повітря ( $\varphi = 10$  %)  $d = 76$  г/кг = 0,076 кг/кг). Значення  $\alpha_c$ , Вт / (м<sup>2</sup>·К) можна визначити за відомими критеріальними залежностями конвективного теплообміну або за емпіричною формулою Юргеса [3]

$$\alpha_c = 6,16 + 4,19 \cdot W, \quad (3)$$

де  $W$  – швидкість руху середовища, м/с ( $W = 2$  м/с).

Як було сказано вище, на стадії підсушування збільшення радіусу ковбасного батона незначно (до 0,3 %), тому їм можна знехтувати і прийняти емпіричний коефіцієнт розширення продукту ( $RI = 1$ ), отже

$$R_{\text{під}} = R_0, \quad (4)$$

де  $R_{\text{під}}$  – радіус батона на стадії підсушування, м;

$R_0$  – радіус батона перед початком підсушування, м;

Визначаємо значення критерію Біо – безрозмірного коефіцієнта, який характеризує інтенсивність теплообміну між

поверхнею тіла і навколишнім середовищем, і який можна розглядати як відношення термічного опору тіла до термічного опору теплообміну між навколишнім середовищем і поверхнею тіла. Фізичний сенс критерію Біо полягає в тому, що він характеризує відношення інтенсивностей підведення теплоти в процесі тепловіддачі і відведення теплоти до внутрішніх шарів тіла в результаті процесу теплопровідності.

$$Bi_{\text{під}} = (\alpha/\lambda) \cdot R_{\text{під}}, \quad (5)$$

де  $\lambda$  – коефіцієнт теплопровідності (для варених ковбас  $\lambda = 0,465$  Вт/(м·К)).

Тривалість поширення температурного фронту з критерієм Фур'є,  $Fo^{(1)}$ , який характеризує тривалість термічної обробки знаходимо за формулою

$$Fo^{(1)} \approx 0,7 \cdot [1/12 + 1/(3Bi_{\text{під}}) - 2/(3Bi_{\text{під}}^2) \cdot \ln(1 + 0,5 Bi_{\text{під}})], \quad (6)$$

де  $Fo^{(1)}$  – час проходження температурного фронту.

Значення критерію Фур'є ( $Fo_{\text{під}}$ ) відповідного часу, протягом якого для підсушування температура в центрі ковбасного батона ( $t_{\text{центр}}$ ) досягає необхідного значення, визначається за формулою

$$Fo_{\text{під}} = [(Bi_{\text{під}} + 4)/(8Bi_{\text{під}})] \cdot \ln [2/((Bi_{\text{під}} + 2) \cdot (1 - T_{\text{під}}))] + Fo^{(1)}, \quad (7)$$

де  $Fo_{\text{під}}$  – тривалість підсушування в безрозмірному вираженні;

$T_{\text{під}}$  – безрозмірне значення температури поверхні продукту у процесі підсушування, яке виражається залежністю

$$T_{\text{під}} = (t_{\text{під}} - t_0)/(t_{\text{сер}} - t_0), \quad (8)$$

де  $t_{\text{під}}$  – температура поверхні ковбасного батона в кінці процесу підсушування, °С;

$t_0$  – початкова температура ковбасного батона, °С;

$t_{\text{сер}}$  – температура середовища, °С.

При розрахунку розмірного часу у вираз, що визначає  $Fo_{\text{під}}$ , обчислений на підставі формули (7) зазначеної вище, вводяться експериментальні поправки згідно зі зміною радіуса ковбасного батона на стадії підсушування

$$\tau_{\text{під}} = Fo_{\text{під}} \cdot (R_{\text{під}})^2/a, \quad (9)$$

де  $a$  – коефіцієнт температуропровідності (для варених ковбас  $a = 0,0005$  м/год).

На початку процесу термічної обробки ковбасних виробів, відбувається випаровування вологи, що конденсується на поверхні батонів (в початковий період підсушування), коли температура поверхні батона нижче, ніж температура «точки роси» середовища. Обробка результатів експериментів дозволила отримати наступне емпіричне вираження для кількісної оцінки часу видалення конденсату

$$\tau_{\text{кон}} = (2 - 0,46 \cdot V_{\text{під}}) \cdot (21T_{\text{п}} - 8), \quad (10)$$

де  $\tau_{\text{кон}}$  – час видалення конденсату при підсушуванні, хв.

Таким чином загальна тривалість процесу визначається як сума часу підсушування та конденсації

$$\tau_{\text{під}\Sigma} = \tau_{\text{під}} + \tau_{\text{кон}} \quad (11)$$

*Висновки.* Отримані залежності дозволяють з достатнім ступенем вірогідності розрахувати необхідну тривалість підсушування ковбасних виробів при розробці нових продуктів, їх технології і рецептур, а також при зміні обладнання, що дозволить проводити корегування технологічних режимів термічної обробки з метою забезпечення високої якості продукції при мінімальних витратах енергоносіїв.

Література:

1. Моделирование производственных процессов мясной и молочной промышленности / Ю. А. Ивашкин и др. Москва: Агропромиздат, 1987. 256 с.

2. Блаж И. Д. Экономико-математическое моделирование в пищевой промышленности. Москва: Агропромиздат, 1986. 288 с.

3. Бражников А. М., Карпычев В. А., Пелеев А. И. Аналитические методы исследования процессов термической обработки мясопродуктов. Москва: Пищевая промышленность, 1974. 232 с.

4. Маркин Ю. П. Математические методы планирования и управления в мясной и молочной промышленности. Москва: Пищевая промышленность, 1972. 288 с.

5. Аслаев М. П., Карнилов Ю. Г. Моделирование процессов пищевых производств. Москва: Легкая и пищевая промышленность, 1982. 177 с.

6. Петриченко С. В., Лобода О. І. Особливості мікропроцесорної системи контролю і управління технологічним процесом термообробки варених ковбас // Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету, 2011. Вип. 1, т. 1. URL: <http://nauka.tsatu.edu.ua/e-journals-tdatu/pdf1t1/11psvtcp.pdf> (дата звернення: 13.10.2018).

7. Поперечний А. М., Потапов В. О., Корнійчук В. Г. Моделювання процесів та обладнання харчових виробництв: підручник. Київ: Центр учбової літератури, 2012. 312 с.

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ПОДСУШКИ КОЛБАСНЫХ ИЗДЕЛИЙ**

Петриченко С. В., Алексеенко В. А.

*Аннотация* – в статье приведены результаты анализа процессов термической обработки колбасных изделий и теоретические предпосылки определения продолжительности процесса подсушки вареных колбас с целью обеспечения высокого качества продукции при минимальных затратах энергоносителей.

## **DETERMINATION OF THE DELAY DURATION SAUSAGE PRODUCTS**

S. Petrychenko, V. Oleksienko

### *Summary*

The traditional technology provides for the heat treatment of cooked sausages in three stages: drying, roasting and cooking, which differ in the modes of the heating medium. All three processes of heat treatment consist in the redistribution of heat supplied to the product from the heating medium. Meat products are objects with a rather complex structure. Therefore, to take it into account when calculating the processes of distribution of heat and matter is difficult and practically hardly expedient.

During heat treatment of meat products, the transfer of mass and energy occurs due to the thermal motion of the micro particles. Mass transfer is carried out through diffusion processes. During diffusion, as a result of the thermal motion of particles of a substance, the mutual penetration of particles of the contacting bodies occurs. Diffusion ultimately leads to a leveling out of concentration.

The transfer of heat energy occurs due to heat conduction. Heat is transferred from warmer to less heated parts of the body. The process of energy and mass transfer is possible only in the presence of a driving force, i.e. when the system deviates from the equilibrium state.

The article presents the results of the analysis of the processes of heat treatment of sausages and theoretical prerequisites for determining the duration of the process of drying cooked sausages in order to ensure high quality products with minimal energy costs.

The results obtained can be used both in the educational process and in scientific research.