

**УДК 641.523**

**В.І. Павелко, к.т.н., проф.,**

**О.Ю. Соколенко, магістр,**

**А.І. Заславський, інженер, ст. викл.**

Національний університет харчових технологій

## **ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ДЕЯКИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ФАКТОРІВ НА ТРИВАЛІСТЬ ПРОЦЕСУ ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ КОВБАСНИХ ВИРОБІВ**

*Наведені результати аналітичного дослідження впливу діаметра і довжини ковбасного виробу (батона) на тривалість процесу термообробки і, відповідно, на витрату теплоти (пари) для термокамер ковбасного виробництва.*

*Розроблений алгоритм теплового розрахунку установки для термічної обробки варених і варено-копчених ковбасних виробів, який дозволяє визначити витрату теплової енергії на процеси підсушування, підсмажування і варки ковбасних виробів в залежності від зміни технологічних факторів, що впливають на вищевказані процеси.*

**Ключові слова:** *варені ковбасні вироби, термічна обробка, термокамери ковбасного виробництва.*

Витрата теплової енергії в ковбасному виробництві значною мірою залежить від способу термічної обробки ковбасних виробів і, в першу чергу, від тривалості цього процесу. Відомо, що специфіка процесу термічної обробки ковбасних виробів полягає в тому, що одночасно з впливом теплоти в продуктах (варених чи варено-копчених ковбасних výroбах) відбуваються достатньо складні біохімічні зміни – інактивація ферментів, денатурація і коагуляція білків, формування барвності і запаху, видалення значної кількості вологи і т.д.

Традиційна технологія виробництва варених і варено-копчених м'ясопродуктів передбачає проведення процесу термічної обробки цих виробів в три стадії, які відрізняються параметрами середовища, в якому реалізуються ці три стадії в термокамерах ковбасного виробництва.

Перша стадія (підсушування) полягає у поверхневому прогріванні продукту в середовищі з низькою відносною вологістю (до 10-15%). Стадія підсушування вважається завершеною, коли температура поверхні продукту досягає значень 45 - 50<sup>0</sup>С. Тривалість підсушування конкретного виду варених ковбасних виробів знаходиться в межах 3 - 30 хвилин і залежить, головним чином, від діаметру і довжини ковбасного батона.

Друга стадія (підсмажування) полягає в обробці ковбасних виробів сумішшю повітря, пари і диму, і завершується, коли температура в центрі ковбасного батона досягне 40 - 50<sup>0</sup>С.

Третя стадія (варка) полягає в обробці продукту пароповітряною сумішшю з температурою близько 85<sup>0</sup>С. Тривалість цієї стадії визначається досягненням в центрі ковбасного батона температури 68 - 72<sup>0</sup>С (температури пастеризації).

Загальна тривалість термічної обробки ковбасних виробів за даними, наведеними в [ 1 ], знаходиться в межах 1,5 - 2 години в залежності від маси продукції, тобто цей процес є досить тривалим.

Скоротити час термічної обробки варених чи варено-копчених ковбасних виробів можна, якщо вдається до зміни режиму роботи термокамер, тобто

перейти від класичного 3-х стадійного процесу до роботи у змінному (2-х стадійному) режимі.

Здійснення процесу термічної обробки ковбасних виробів у змінному режимі вимагає зміни температури нагрівного середовища з метою досягнення максимально можливої температури його та гранично допустимої температури продукту.

На рис. 1 представлено графік зміни температур нагрівного середовища і продукту при 2-х стадійній обробці ковбасних виробів.

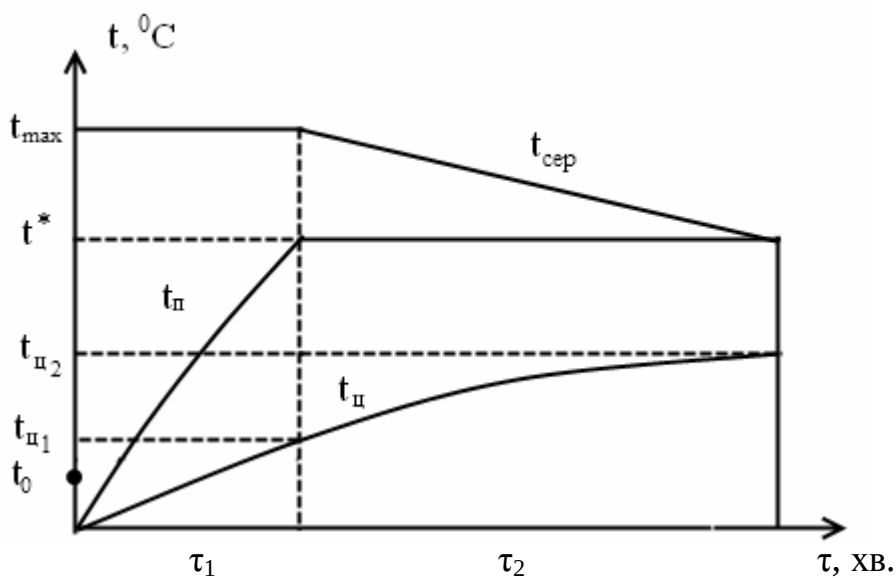


Рис.1. Зміна температури нагрівного середовища і продукту в процесі 2-х стадійної термообробки:  $t_{\Pi}$  – температура зовнішньої поверхні продукту;  $t_{\text{ц}}$  – температура в центрі ковбасного батона;  $t_{\text{max}}$ ,  $t_{\text{сер}}$  – відповідно максимальна і середня температури нагрівного середовища;  $\tau_1$ ,  $\tau_2$  – відповідно, тривалість 1-ї та 2-ї стадій термообробки.

Перша стадія термообробки здійснюється при температурі нагрівного середовища в термокамері  $t_{\text{max}}$ . Тривалість цієї першої стадії термообробки визначається періодом  $\tau_1$ , протягом якого температура поверхні ковбасного батона досягне граничного значення  $t^*$ , яке залежить від виду ковбасної оболонки. Виконані дослідження [ 2 ] дозволили встановити такі значення температур:  $t_{\text{max}}=150^\circ\text{C}$ ,  $t^*=82^\circ\text{C}$  (для белкозинової оболонки) і  $t^*=90^\circ\text{C}$  (для целофанової двохшарової оболонки). На цій першій стадії відбувається

теплотехнологічна операція підсушування і починається операція підсмажування.

На другій стадії завершується теплотехнологічна операція підсмажування, розпочата в першій стадії, і повністю реалізується процес варки. При проведенні другої стадії температура нагрівного середовища повинна змінюватися так, щоб температура поверхні продукту (ковбасного батона) залишалася незмінною. Завершення другої стадії визначається періодом  $\tau_2$ , на протязі якого температура в центрі виробу (ковбасного батона) досягає необхідного значення  $t_{ц2}=68 - 72^{\circ}\text{C}$ .

Скорочення загальної тривалості процесу у випадку 2-х стадійної термообробки складає близько 35 – 40%, тобто 2-х стадійна термообробка ковбасних виробів дозволяє суттєво зменшити тривалість процесу.

Очевидною є залежність тривалості процесу термічної обробки м'ясних виробів від технологічних чинників, в першу чергу, від діаметра і довжини ковбасного батона.

Нами здійснено аналітичне дослідження впливу діаметра ковбасного батона на тривалість процесу термообробки і, відповідно, на витрати теплоти (пари) для реалізації цього процесу. Нижче наведена методика визначення тривалості процесу термічної обробки і витрати теплоти (пари) для термокамер, що працюють в трьохстадійному режимі.

1. Тривалість теплового оброблення ковбасних виробів визначали за формулою:

$$\theta = \sum_{k=1}^{\infty} A_k \cdot \exp \cdot (-m_k^2 \cdot F_0) \cdot I_0 \cdot \left( m_k, \frac{r}{R} \right), \quad (1)$$

де  $m_k$  – корені рівняння  $\frac{I_0(m)}{I_1(m)} = \frac{m}{B_i}$ , табульовані в [ 1 ] ;

$$A_k = \frac{2 \cdot I_1(m_k)}{m_k \cdot [I_0 \cdot (m_k) + I_1 \cdot (m_k)]}, \text{ табульовано в [ 1 ]};$$

$\theta$  – відносна надлишкова температура продукту, яка розраховується за формулою:

$$\theta = \frac{t(r, \tau) - t_{\text{сер}}}{t_{\text{п}} - t_{\text{сер}}},$$

$F_0$  – критерій Фур'є (відносний час);  $F_0 = (a \cdot \tau) / R^2$ ;

$B_i$  – критерій Біо;  $B_i = \frac{\alpha}{\lambda_k} \cdot R$ ;

$r$  – поточний радіус, м;  $R$  – радіус циліндра (ковбасного батона), м;

$I_0, I_1$  – функції Бесселя;

$\tau$  – поточний час, год.

Коефіцієнт тепловіддачі від повітряного середовища до продукту (підсушування, підсмажування) визначався за рівнянням:

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

де:  $\alpha_c$  - коефіцієнт тепловіддачі від повітряного середовища до ковбасних батонів, обчислений без врахування відносної вологості, Вт/(м<sup>2</sup>·К);

$d$  – вологість повітря, кг/кг.

Коефіцієнт тепловіддачі від пароповітряного середовища до продукту (варка) визначався за рівнянням:

$$\alpha = 1,167 \cdot B \cdot k \cdot w^{0,8} \cdot D^{-0,4} \cdot (1 + 1,9 \cdot d), \quad (3)$$

де  $B$  – постійна, що залежить від температури грійного пароповітряного середовища – при  $t_{\text{сер}}=80^0\text{C}$   $B=3,87$ ; при  $t_{\text{сер}}=100^0\text{C}$   $B=3,85$ ;

$k$  – коефіцієнт, який залежить від відношення довжини батона до його діаметра: при  $l/D < 50$   $k=1$ ,  $l/D > 50$   $k>1$ ;

$l$  – довжина батона, м;

$D$  – діаметр батона, м;

$w$  – швидкість переміщення (руху середовища), м/с.

Час для процесу підсушування, на протязі якого температура поверхні ковбасного батона досягне  $50^0\text{C}$ , визначається за формулою:

$$F_{0_{\text{підсуш}}} = \frac{B_{t_{\text{підс}}} + 4}{8 \cdot B_{t_{\text{підс}}}} \left[ \ln \frac{2}{(B_{t_{\text{підс}}} + 2) \cdot (1 - T)} + F'_0 \right],$$

де  $T = (t_{\text{п}} - t_0) / (t_{\text{сер}} - t_0)$  – безрозмірна температура поверхні продукту;

$F'_0$  - час проходження “температурного фронту”, визначається за номограмою [ 1 ].

Наближено приймаючи, що при малих  $F_0$  характер розповсюдження “температурного фронту” в ковбасному батоні може бути прийнятим аналогічним характеру розповсюдження “температурного фронту” в пластині, отримуємо:

$$T(1; F_0) = \frac{B_{i_{\text{підс}}} \cdot (1 - p)}{B_{i_{\text{підс}}} \cdot (1 - p) + 2},$$

звідки

$$p = \frac{B_{i_{\text{підс}}} - T \cdot (B_{i_{\text{підс}}} + 2)}{B_{i_{\text{підс}}} \cdot (1 - T)}.$$

Тоді тривалість процесу підсушування в годинах можна визначити як:

$$\tau_{\text{підс}} = \frac{F_0 \cdot R^2}{a},$$

де  $a$  - температуропровідність продукту, м<sup>2</sup>/год.

Для процесу підсмажування число  $F_0$ , що відповідає тривалості цього процесу, визначається із виразу:

$$F_{0_{\text{підсм}}} = \frac{B_{i_{\text{підсм}}} + 4}{8 \cdot B_{i_{\text{підсм}}}} \left[ \ln \frac{t_{\text{сер}} - t_0}{t_{\text{сер}} - t_{\text{ц, підсм.}}} + F'_0 - F_{0_{\text{підсуш.}}} \right],$$

де  $t_{\text{ц, підсм.}}$  – розмірне значення температури поверхні ковбасного батона в кінці процесу підсмажування, яке може бути визначене як:

$$t_{\text{ц, підсм.}} = T \cdot (t_{\text{сер}} - t_0) + t_0,$$

де  $T$  – температура (безрозмірна) на поверхні ковбасного батона в кінці процесу підсмажування:

$$T(1; F_{0_{\text{підсм}}}) = 1 - \frac{B_{i_{\text{підсм}}}}{B_{i_{\text{підсм}}} + 2} \cdot \exp \left[ - \frac{8 \cdot B_{i_{\text{підсм}}}}{4 + B_{i_{\text{підсм}}}} \cdot F_{0_{\text{підсм}}} - F'_0 \right].$$

Для процесу варки тривалість цього процесу розраховується за виразом:

$$F_{0_{\text{в}}} = \frac{B_{t_{\text{в}}} + 4}{\cdot B_{t_{\text{в}}}} \left[ \ln \frac{t_{\text{сер}} - t_{0_{\text{в}}}}{t_{\text{сер}} - t_{\text{ц,в}}} + F'_{0'} \right],$$

де  $t_{0_{\text{в}}}$  - початкова температура ковбасного батона, яка може бути прийнятою рівною середній температурі, тобто:

$$t_{0_{\text{в}}} = \frac{t_{\text{ц,підсм.}} + t_{\text{п,підсм.}}}{2}$$

На всіх 3-х стадіях термообробки ковбасних виробів у термокамері необхідно визначити середнє за відповідний процес значення радіуса ковбасного батона, враховуючи емпіричну поправку:  $R_i = K_i \cdot R_0$ , де  $R_i$  – радіус ковбасного батона на  $i$  – й стадії термічної обробки, м; (1 – підсушування, 2 – підсмажування, 3 – варка);  $K_i$  - емпіричний коефіцієнт, що характеризує збільшення радіуса ковбасного батона при термічній обробці ( $k_1=1$ ;  $k_2=1,023$ ;  $k_3=1,045$ );  $R_0$  – радіус ковбасного батона перед початком термічної обробки, м.

Загальна тривалість процесу термічної обробки являє собою суму:

$$\tau_{\text{заг}} = \tau_{\text{підсуш.}} + \tau_{\text{підсмаж.}} + \tau_{\text{варки}}$$

2. Теплове навантаження на нагрівання продукту визначається через середню температуру його, яка визначається із виразу:

$$\theta = 1 - \sum_{k=1}^{\infty} B_n \cdot \exp \cdot (-mn^2 \cdot F_0),$$

де  $mn$  – корені рівняння  $B_n = \frac{2 \cdot I_0(mR)}{mn^2 \cdot (mn^2 + B_n^2)}$ , табульовані в [ 1 ].

Витрата теплоти на нагрівання продукту за процес, кДж:

$$Q_i = c \cdot M \cdot [\bar{t}(\tau)_i - t_{\text{сер}}],$$

де  $\bar{t}(\tau)_i = B_i(t_{\text{сер}} - t_0) + t_0, ^\circ\text{C}$

Теплове навантаження, в кВт, на процес нагрівання:

$$q_i = Q_i / \tau_i$$

Теплове навантаження на випаровування вологи, кДж:

$$Q_{\text{вип}} = (w' \cdot r') / \tau_{\text{заг}},$$

де  $w'$  – кількість випареної води на протязі процесів підсушування, підсмажування і варки, яка визначається за формулою, в кг пари/ кг води:

$$W = A \cdot \Phi \cdot \tau_{\text{заг}} \cdot d^{-1}; \quad W' = W \cdot G, \text{ кг},$$

де  $A$  – стала випаровування, приймається  $A = 2,16 \cdot 10^{-3}$  [ 1 ];

$\Phi$  – геометричний коефіцієнт;  $\tau_{\text{заг}}$  - тривалість процесу;

$d$  – діаметр оболонки, м;

$G$  – маса ковбасних виробів у камері, кг.

Теплове навантаження, в кДж, на процес випаровування води:

$$q_{\text{вип}} = Q_{\text{вип}} / 3600.$$

3. Втрати теплоти через зовнішні огороження, в кВт, визначаються за рівнянням:

$$Q_{\text{втр}} = \sum F_i \cdot K_i \cdot \Delta t,$$

де  $F_i$  - площа елементів огороження термокамери (бічна, стельова, торцева панелі, двері, підлога), м<sup>2</sup>;

$K_i$  – коефіцієнт теплопередачі елементів огороження, Вт/(м<sup>2</sup>·К);

$\Delta t$  – різниця температур всередині камери і ззовні, °С.

4. Витрата теплоти на нагрівання внутрішніх металевих конструкцій, в кДж:

$$Q_k = \sum G_i \cdot c_i \cdot (t_{\text{сер}} - t_k).$$

Теплове навантаження, в кВт:

$$q_k = \frac{Q_k}{(\tau_{\text{підсуш}} - \tau_{\text{підсмаж}}) \cdot 3600}$$

5. Сумарне (загальне) теплове навантаження в період підсушування, підсмажування і варки, в кВт:

$$q' = q_{\text{підсуш}} + q_{\text{вип}} + q_{\text{втр}} + q_k;$$

$$q'' = q_{\text{підсмаж}} + q_{\text{вип}} + q_{\text{втр}} + q_k;$$

$$q''' = q_{\text{вар}} + q_{\text{вип}}.$$

Витрата теплоти, кДж/год:

$$Q' = q' \cdot 3600;$$

$$Q'' = q'' \cdot 3600;$$

$$Q''' = q''' \cdot 3600.$$



Витрата пари, в кг/год:

$$D' = \frac{Q'}{h'' - h'};$$

$$D'' = \frac{Q''}{h'' - h'};$$

$$D''' = \frac{Q'''}{h'' - h'};$$

де  $h'$  і  $h''$  – відповідно, ентальпія пари і конденсату.

На підставі вищенаведеної методики визначення тривалості процесу термообробки ковбасних виробів і витрати теплової енергії для термокамер, що працюють у 3-х стадійному режимі, розроблений алгоритм розрахунку установки для теплового оброблення ковбасних виробів з врахуванням впливу технологічних чинників (діаметру і довжини виробу) на загальну тривалість процесу і витрату теплоти на цей процес. Нижче наведений приклад практичного застосування розробленого алгоритму для розрахунку витрати теплоти і пари на термокамеру типу ККВЕ-02.



**Висновки.** Результатом аналітичного дослідження впливу деяких технологічних факторів на тривалість процесу термообробки варених і варено-копчених м'ясних виробів є запропонований алгоритм розрахунку витрати теплоти (пари) на термокамери, що працюють у 3-х стадійному режимі.

Література:

1. Бражников А.М. Теория термической обработки мясопродуктов. – М.: Агропромиздат, 1987. – 270 с.
2. Карпов В.В. Исследование процесса термической обработки колбас с целью оптимизации. Автореферат канд. диссертации. – Москва, МТИММП, 1981.
3. Павелко В.І. Теплозабезпечення підприємств м'ясопереробної та молокопереробної промисловості. – В.: Нова книга, 2007. – 210 с.

# **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НЕКОТОРЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ДЛИТЕЛЬНОСТЬ ПРОЦЕССА ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ КОЛБАСНЫХ ИЗДЕЛИЙ**

**В.И. Павелко**, к.т.н., проф., **А.Ю. Соколенко**, магистр, **А.И. Заславский**, инженер.

Приведены результаты аналитического исследования влияния диаметра и длины колбасного изделия (батона) на продолжительность процесса термообработки и, соответственно, на расход теплоты (пара) для термокамер колбасного производства.

Разработан алгоритм теплового расчета установки для термической обработки вареных и варено-копченых колбасных изделий, который позволяет определить расход тепловой энергии на процессы сушки, поджаривания и варки колбасных изделий в зависимости от изменения технологических факторов, влияющих на вышеуказанные процессы.

**Ключевые слова:** вареные колбасные изделия, термическая обработка, термокамеры колбасного производства.

## **INVESTIGATION OF INFLUENCE OF SOME TECHNOLOGICAL FACTORS IS ON DURATION OF PROCESS OF HEAT TREATMENT OF SAUSAGE WARES**

**V.I. Pavelko, O.Y. Sokolenko, A.I. Zaslavsky**

There are results of analytical research of influence of diameter and length of sausage product (baton) on continuance of thermal process and according to the spending heat for thermal camera of sausage industry.

Algorithm of thermal calculation of plant for thermal processing for boiled and boiled-smoked sausages was developed, which can determine the number of using thermal energy for drying, frying and boiling process according to the changing technological factors, which make affect to those process.

**Keywords:** boiled sausages, heat treatment, thermo sausage production.