

Висновки. Можна констатувати, що застосування комбінованого ІЧ-апарата на підприємствах харчування очевидно надасть можливість інтенсифікувати процес теплової обробки, покращити якість та знизити собівартість готових виробів. За рахунок заходів щодо вдосконалення теплового апарата вдалося досягти підвищення ефективності його роботи в конкретних випадках приготування харчових продуктів.

Список літератури

1. Черевко О. І. Комбінований процес ІЧ-жаріння в регульованих за складом газових середовищах / О. І. Черевко, В. М. Михайлов, І. В. Лебединець // Прогресивні техніка та технології харчових виробництв, ресторанного господарства та торгівлі : зб. наук. пр. – Харків : ХДУХТ, 2008. – Вип. 1 (7). – С. 128–135.
2. Черевко О. І. Дослідження функціональних можливостей апаратів для теплової обробки / О. І. Черевко, В. М. Михайлов, І. В. Лебединець // Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі : зб. наук. пр. – Харків : ХДУХТ, 2009. – Вип. 1 (9). – С. 153–161.
3. Черевко О. І. Шляхи оптимізації роботи ІЧ-апаратів / О. І. Черевко, В. М. Михайлов, І. В. Лебединець // Сучасні проблеми техніки та технології харчових виробництв, ресторанного бізнесу та торгівлі : Всеукр. наук.-практ. конф. : [присвяч. 20-річчю з дня заснування ФОТС : тези]. – Харків : ХДУХТ, 2010. – С. 168–170.

Отримано 30.10.2012. ХДУХТ, Харків.

© О.І. Черевко, В.М. Михайлов, І.В. Лебединець, 2012.

УДК 664.002.5:640.432

О.І. Черевко, д-р техн. наук

В.О. Скрипник, канд. техн. наук

**ЕКСЕРГЕТИЧНИЙ АНАЛІЗ ПРОЦЕСУ
КОНДУКТИВНОГО ЖАРЕННЯ М'ЯСА
В АПАРАТАХ ПЕРІОДИЧНОЇ ДІЇ**

Розроблено методику та проведено ексергетичний аналіз процесу кондуктивного жарення виробів із натурального м'яса в апаратах періодичної дії.

Разработана методика и проведен эксергетический анализ процесса кондуктивного жарения изделий из натурального мяса в аппаратах периодического действия.

Developed a method and conducted exergy analysis process conductive grilling products from natural meat mashines batch.

Постановка проблеми у загальному вигляді. Процес кондуктивного жарення м'ясних виробів у харчовій промисловості, у тому числі й ресторанному господарстві, є одним із найбільш енергозатратних і матеріаловитратних. Енергоефективність апаратів для його реалізації оцінюють тепловим коефіцієнтом корисної дії (ККД). Значення теплового ККД для реального процесу нічого не говорять про ступінь використання наявних можливостей, тобто враховуються втрати, обумовлені лише внутрішньою необоротністю процесу, але ніяк не враховуються втрати, зумовлені кінцевою різницею температур між джерелом тепла й середовищем, що нагрівається (робочим тілом), та між середовищем і продуктом. Крім того, як довели у своїй роботі автори [1], порівняно досконалі з точки зору першого закону термодинаміки апарати можуть мати найбільшу питому витрату енергоносія. Проте метод коефіцієнтів корисної дії широко розповсюджений у практиці технологічних розрахунків. Пояснюється це тим, що зовнішня необоротність не впливає на кількісні результати аналізу; однакова кількість теплоти буде передана від гарячого джерела до середовища (тіла), що нагрівається, незалежно від того, яка різниця температур між ними. Зовнішня необоротність призводить до недовикористання температурного потенціалу теплоти (втраті працездатності), який у разі термодинамічно досконалішої організації процесу підведення теплоти дозволив би отримати більшу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Автори [2] запропонували ексергетичний метод аналізу ефективності роботи апаратів кондуктивного жарення на основі сумісного використання першого і другого законів термодинаміки з урахуванням якості енергоресурсів і необоротності реальних робочих процесів, згідно з яким рівняння загального коефіцієнта ефективності або енергетичного ККД апарата має вигляд:

$$\eta_{\text{ен}} = \eta_{\text{т}} \cdot \eta_{\text{еф}}, \quad (1)$$

де η_m – тепловий ККД

$$\eta_m = \frac{Q_1}{Q};$$

Q_1 – корисно витрачена енергія, Дж;

Q – загальні витрати енергії, Дж;

$\eta_{\text{еф}}$ – коефіцієнт ефективності процесу [2]

$$\eta_{\text{еф}} = 1 - \beta; \quad (2)$$

β – відносна втрата ексергії на необоротний теплообмін під час нагрівання продукту.

Ексергетичний коефіцієнт процесу має вигляд [2]

$$\eta_{\text{ex}} = 1 - \beta + f + f^{\text{прод}} + \gamma, \quad (3)$$

де f – відносна втрата ексергії в навколишнє середовище стінками апарата;

$f^{\text{прод}}$ – відносна втрата ексергії в навколишнє середовище поверхнею продукту;

γ – відносна втрата ексергії на нагрівання рідини, що випаровується з продукту в навколишнє середовище під час жарення.

Мета та завдання статті. Метою статті є кількісне визначення ступеня термодинамічної досконалості процесу кондуктивного жарення м'яса в апаратах для його реалізації та розробка рекомендацій щодо використання, напрямів удосконалення діючого або розробки нового обладнання.

Виклад основного матеріалу дослідження. У праці [1] автори оцінювали енергетичну ефективність за тепловим ККД і питомою витратою енергоносія процесу кондуктивного жарення, який реалізувався в таких апаратах: сковороді СЕСМ-0,2, плиті ПЕ-0,17-01 із наплитною функціональною емністю GN1/1, настільній плиті з однією інфрачервоною склокерамічною конфоркою SEB і наплитною сковородою фірми Tefal, плиті для безпосереднього жарення на робочій поверхні (гриль для безпосереднього жарення) GN-VEG-833 фірми «Gastrorag», апараті для двостороннього жарення (контактного гриля) Elio L фірми «Nuova Simonelli», апараті для двостороннього жарення в умовах стиснення ПУСКУ-1. Саме для цих апаратів доцільно провести оцінку енергетичної ефективності за запропонованою авторами [2] методикою, яка, однак, потребує істотного уточнення визначення окремих складових відносних втрат ексергії.

Втрату ексергії на необоротний теплообмін (втрата працездатності) під час нагрівання продукту [2-3] в апаратах для їх реалізації можна визначити за формулою

$$\begin{aligned} \Delta E_{\beta} &= G \cdot \nabla e = G \cdot e_1 - e_2 = G \cdot \left[q_1 \cdot \left(\frac{T_{pn}^c - T_0}{T_{pn}^c} \right) - q_2 \cdot \left(\frac{T_v - T_0}{T_v} \right) \right] = \\ &= G \cdot \left[\frac{P \cdot \tau}{G} \cdot \left(\frac{T_{pn}^c - T_0}{T_{pn}^c} \right) - c_p \cdot \mathfrak{V}_v - T_0 \cdot \left(\frac{T_v - T_0}{T_v} \right) \right] = \end{aligned}$$

$$= P \cdot \tau \cdot \left(\frac{T_{pn}^c - T_0}{T_{pn}^c} \right) - G \cdot c_p \cdot \frac{T_v - T_0}{T_v}, \text{ Дж}, \quad (4)$$

де ΔE_β – втрата ексергії на необоротний теплообмін, Дж;

G – кількість продукту, що нагрівається в процесі жарення, кг;

∇e – втрата ексергії на необоротний теплообмін, Дж/кг;

e_1 – ексергія верхнього джерела теплоти (поверхні конфорки, поверхні жарення тощо), Дж/кг;

e_2 – ексергія нагрітого продукту, Дж/кг;

q_1 – теплота, яку видає верхнє джерело теплоти, Дж/кг;

q_2 – теплота, яку може віддати нагрітий продукт, Дж/кг;

τ – тривалість процесу жарення, с;

P – потужність електронагрівальних елементів апарата, Вт;

T_{pn}^c – середньодинамічна (середньоінтегральна) температура верхнього джерела теплоти (робочої поверхні апарата), К; якщо температура робочої поверхні апарата не змінюється в процесі нагрівання, то $T_{pn}^c = T_{pn}$.

$$T_{pn}^c = \frac{T_{\max} - T_{\min}}{\ln \frac{T_{\max}}{T_{\min}}}, \text{ К},$$

де T_{\max} , T_{\min} – максимальна та мінімальна температури робочої поверхні апарата, К;

T_v – середньооб'ємна температура продукту, К;

T_0 – температура навколишнього середовища, К.

Відносну втрату ексергії на необоротний теплообмін під час нагрівання продукту [2] можна визначити з формули

$$\beta = \frac{\Delta E_\beta}{\nabla E} = \frac{\Delta E_\beta}{P \cdot \tau} = \left(\frac{T_{pn}^c - T_0}{T_{pn}^c} \right) - \frac{G \cdot c_p \cdot T_v - T_0}{T_v \cdot P \cdot \tau}, \quad (5)$$

де ∇E – загальні втрати ексергії апаратом, для електричних апаратів – ексергія електричної енергії, Дж.

Питому втрату ексергії на 1 кг готового продукту на необоротний теплообмін під час жарення обчислюємо таким чином

$$\Delta E_{\beta num} = \frac{\Delta E_{\beta}}{G_{ze}}, \text{ Дж/кг}, \quad (6)$$

де G_{ze} – маса готових виробів після жарення, кг.

Втрату ексергії в навколишнє середовище стінками апарата [2-5] визначасмо з

$$\begin{aligned} \nabla E_f &= \sum_{i=1}^{i=n} Q_{Si} \cdot \left(\frac{T_{cmi} - T_0}{T_{cmi}} \right) = \sum_{i=1}^{i=n} \alpha_i \cdot F_i \cdot \tau \cdot \left(\frac{T_{cmi} - T_0}{T_{cmi}} \right) = \\ &= \sum_{i=1}^{i=n} \alpha_i \cdot F_i \cdot \frac{\tau}{T_{cmi}} \cdot (T_{cmi} - T_0)^2, \text{ Дж}, \end{aligned} \quad (7)$$

де Q_{Si} – теплота, що віддається безпосередньо в навколишнє середовище i -м елементом зовнішньої поверхні апарата, Дж;

α_i – коефіцієнт тепловіддачі від i -го елемента зовнішньої поверхні апарата до навколишнього середовища, Вт/(м²·К);

F_i – площа i -го елемента поверхні апарата, м²;

T_{cmi} – температура i -го елемента поверхні апарата, К.

Відносну втрату ексергії в навколишнє середовище стінками апарата [2] визначасмо за формулою

$$f = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} \alpha_i \cdot F_i \cdot \tau \cdot (T_{cmi} - T_0)^2}{T_{cmi} \cdot P \cdot \tau}. \quad (8)$$

Питому втрату ексергії в навколишнє середовище стінками апарата на 1 кг готового продукту обчислюємо

$$\Delta E_{f-num} = \frac{\Delta E_f}{G_{ze}}, \text{ Дж/кг}. \quad (9)$$

Втрату ексергії в навколишнє середовище поверхнею продукту під час жарення можна визначити [2-5] з виразу

$$\nabla E_f^{nprod} = \sum_{i=1}^{i=n} \alpha_i \cdot F_i \cdot \frac{\tau}{T_{nprod}^c} \cdot (T_{nprod}^c - T_0)^2, \text{ Дж}, \quad (10)$$

де F_i – i -та поверхня продукту, що не контактує з поверхнями нагрівання, м²;

$T_{n\text{prod}i}^c$ – середньодинамічна (середньоінтегральна) температура i -тої поверхні продукту

$$T_{n\text{prod}i}^c = \frac{T_v - T_{\text{ноч}}}{\ln \frac{T_v}{T_{\text{ноч}}}}, K.$$

Відносну втрату ексергії в навколишнє середовище поверхнею продукту [2] можна визначити з

$$f^{n\text{prod}} = \frac{\nabla E_f^{n\text{prod}}}{\nabla E} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} \alpha_i \cdot F_i \cdot T_{n\text{prod}i}^c - T_0}{T_{n\text{prod}i}^c \cdot P \cdot \tau}. \quad (11)$$

Питому втрату ексергії в навколишнє середовище поверхнею продукту на 1 кг готового продукту визначаємо з виразу

$$\nabla E_{f\text{-num}}^{n\text{prod}} = \frac{\nabla E_f^{n\text{prod}}}{G_{\text{гв}}}, \text{ Дж/кг}. \quad (12)$$

Втрату ексергії на нагрівання рідини, що випаровується в навколишнє середовище з продукту під час жарення [2-5], обчислюємо за формулою

$$\begin{aligned} \nabla E_\gamma &= G \cdot z \cdot c_p \cdot T_k - T_0 + r \cdot \varepsilon_r \cdot \frac{T_k - T_0}{T_k} = \\ &= G \cdot z \cdot \left(c_p \cdot \frac{T_k - T_0}{T_k} + r \cdot \varepsilon_r \cdot \frac{T_k - T_0}{T_k} \right), \text{ Дж}, \end{aligned} \quad (13)$$

де z – вихід готового продукту;

c_p – теплоємність вологи продукту, Дж/(кг·К);

T_k – температура кипіння рідини на поверхнях нагрівання, К;

r – теплота пароутворення, кДж/кг;

ε_r – коефіцієнт фазового перетворення (відношення кількості вологи, що випаровувалася, до загальних втрат вологи продуктом).

Відносну втрату ексергії на нагрівання рідини, що випаровується в навколишнє середовище з продукту під час жарення [2], можна визначити з

$$\gamma = \frac{\nabla E_\gamma}{\nabla E} = \frac{G \cdot z \cdot \left(c_p \cdot \frac{T_k - T_0}{T_k} + r \cdot \varepsilon_r \cdot \frac{T_k - T_0}{T_k} \right)}{T_k \cdot P \cdot \tau}. \quad (14)$$

Питому втрату ексергії на нагрівання рідини, що випаровується з продукту в навколишнє середовище під час жарення, на 1 кг готового продукту можна визначити з виразу

$$\nabla E_{\gamma\text{-num}} = \frac{\nabla E_\gamma}{G_{\text{гв}}}, \text{ Дж/кг}. \quad (15)$$

Як приклад за запропонованою методикою доцільно провести розрахунок втрат, відносних втрат і питомих втрат ексергії, на основі якого здійснити ексергетичний аналіз процесу кондуктивного жарення м'яса в апаратах періодичної дії для його реалізації. Вихідні дані, необхідні для розрахунку за вищенаведеною методикою, отримано в результаті експериментальних досліджень [1] і наведено в табл. 1.

У практичних розрахунках визначення втрат ексергії всіх елементів системи, особливо харчових продуктів, пов'язане з певними труднощами через відсутність повних даних щодо фізичних або хімічних їх властивостей, нестабільність їх температури та ін. Через це необхідно зробити певні обмеження, які, однак, дозволяють отримати результати з достатньою мірою вірогідності. Температури поверхонь тепловіддачі апаратів у процесі жарення вважалися незмінними, хоча в дійсності спостерігалось коливання вказаних температур у межах 5%. Крім того, приймалось, що геометричні розміри виробів, відповідно площі горизонтальних і вертикальних ділянок продукту, під час жарення не змінюються (хоча в реальному процесі відбувається їх зміна внаслідок денатурації білків, зварювання і дезагрегації колагену, випаровування рідини та ін.).

Таблиця 1 – Результати визначення показників процесу жарення м'ясних порційних натуральних виробів в апаратах для його реалізації

Показник	СЕСМ-0,2	ПЕ-0,17	SEB	GH-VEG-833	Eto L	ПУСКУ-1
1	2	3	4	5	6	7
Початкова температура виробів, К	288	288	288	288	288	288
Температура виробів під час перевертання, К:						
- у центрі;	333	333	333	333	-	-
- у кірочці з одного боку;	405	412	408	411	-	-
- у кірочці з іншого боку	323	324	323	324	-	-
Тривалість жарення до перевертання, с	300	298	288	530	-	-

Продовження табл. 1

1	2	3	4	5	6	7
Температура виробів у кінці процесу, К:						
-у центрі;	353	353	353	353	353	353
-у кірочці з одного боку;	405	412	408	411	398	398
-у кірочці з іншого боку	373	373	377	373	393	393
Середня кінцева температура вертикальних ділянок виробів у кінці процесу, К	373	373	373	373	364,8	364,8
Середньооб'ємна температура виробів у кінці процесу, К	367,1	367,9	367,8	367,5	364,8	364,8
Гривалість жарення після перевертання, с	200	194	192	370	254	150
					всього	всього
Маса напівфабрикатів, кг	1,79	1,5	0,3	1,5	0,3	0,4
Маса готових виробів, кг	1,234	1,009	0,222	1,183	0,407	0,36
Вихід готового продукту, кг/кг	0,689	0,673	0,697	0,629	0,81	0,90
Витрата електроенергії, кВт·год	0,672	0,547	0,102	0,688	0,109	0,058
Площа горизонтальних поверхонь тепловіддачі виробів, м ²	0,1584	0,132	0,0264	0,167	-	-
Площа вертикальних поверхонь тепловіддачі виробів, м ²	0,0684	0,057	0,0114	0,072	0,019	0,0152
Початкова температура жиру, К	453	453	453	453	-	-
Максимальна температура робочих поверхонь, К	463	623	593	463	423	423
Мінімальна температура робочих поверхонь, К	413	517	517	389	401	379
Площа дзеркала жиру, вільного від продукту	0,04	0,036	0,0082	0,053	-	-

Продовження табл. 1

1	2	3	4	5	6	7
Площа вертикальних ділянок тепловіддачі, пов'язаних із робочою поверхнею, м ² ; при температурі, К	0,38 453	0,0855 433	0,0754 433	0,189 433	0,0202 423	0,0038 423
Площа горизонтальних ділянок тепловіддачі, пов'язаних з робочою поверхнею, м ² , при температурі, К	0,065 433	0,0171 433	0,0003 433	0,004 433	0,0494 423	-
Площа вертикальних ділянок облицювання, м ² , при температурі, К	0,65 333	0,91 313	0,0576 313	0,304 333	0,1554 333	0,033 333
Площа нижніх горизонтальних ділянок облицювання, м ² ; при температурі, К	0,34 298	0,4 298	0,128 298	0,22 298	0,1131 298	0,048 298
Площа горизонтальних ділянок облицювання, м ² ; при температурі, К	-	0,23 333	0,0573 333	-	-	-

Результати розрахунку відносних втрат ексергії на необоротний теплообмін (втрати працездатності), визначених за формулою (5), теплових ККД η_m , наведених у роботі [1], результати визначення коефіцієнта ефективності процесу η_{ef} за формулою (2) та енергетичного ККД η_{en} апаратів за формулою (1) зведено в табл. 2.

Таблиця 2 – Значення теплового ККД η_m , коефіцієнта ефективності процесу η_{ef} і енергетичного ККД апаратів для реалізації кондуктивного жарення м'яса

Показник	СЕСМ-0,2	ПЕ-0,17	SEB	GH-VEG-833	Elio L	ПУСКУ-1
β	0,2922	0,4445	0,4285	0,2710	0,2266	0,1756
η_m	0,7212	0,7718	0,7832	0,8434	0,8861	0,9378
η_{ef}	0,7078	0,5555	0,5715	0,7290	0,7734	0,8244
η_{en}	0,5105	0,4287	0,4476	0,6148	0,6854	0,7731

Як видно з табл. 2, значення коефіцієнта ефективності процесу η_{ef} для різних апаратів періодичної дії для реалізації процесу

кондуктивного жарення м'яса значно відрізняються від значень теплового ККД η_m . Більш досконалий гриль для безпосереднього жарення GH-VEG-833, з позицій першого закону термодинаміки з $\eta_m=0,8434$, порівняно зі сковородою СЕСМ-0,2 з $\eta_m=0,7212$, із позицій другого закону термодинаміки має коефіцієнт ефективності процесу на рівні цієї сковороди (0,7290 проти 0,7078). Найменший коефіцієнт ефективності мають плити з наплитним посудом (0,5555 для ПЕ-0,17 і 0,5715 для SEB). Значно вищий коефіцієнт ефективності мають апарати для двостороннього жарення Elio L і ПУСКУ-1, відповідно 0,7734 і 0,8244. Дані табл. 2 свідчать про те, що зниження температурного рівня процесу жарення приводить до підвищення термодинамічної досконалості процесу з точки зору другого закону термодинаміки. Енергетичний ККД ПУСКУ-1 ($\eta_{en}=0,7731$) вище енергетичних ККД апарата Elio L ($\eta_{en}=0,6854$), гриля для безпосереднього жарення GH-VEG-833, плити SEB із наплитною сковородою Tefal, плити ПЕ-0,17-01 з функціональною смістю GN1/1, сковороди СЕСМ-0,2 на 8,77; 15,83; 32,55; 34,44 і 26,26% відповідно. Менш досконала з позицій першого закону термодинаміки сковорода СЕСМ-0,2 із $\eta_m=0,7212$ має на 8,18 і 6,29% вищий енергетичний ККД, ніж у більш досконалих з позицій того ж закону плит ПЕ-0,17-01 з $\eta_m=0,7718$ і SEB з $\eta_m=0,7832$ відповідно. Це свідчить про те, що найбільш ефективно процес жарення відбувається в апараті з двостороннім підведенням тепла в умовах осьового стиснення.

Розрахунок втрат ексергії в навколишнє середовище поверхнею апаратів ∇E_f проводився за формулою (7), втрат ексергії в навколишнє середовище поверхнею продукту під час жарення ∇E_f^{prod} – за формулою (10), втрат ексергії на нагрівання рідини, що випаровується з продукту під час жарення в навколишнє середовище, ∇E_γ – за формулою (13). На основі отриманих даних визначались значення відносних втрат ексергії f , f^{prod} , γ за формулами (8), (11) і (14). Результати розрахунку відносних втрат ексергії, ексергетичного ККД процесу кондуктивного жарення в апаратах для його реалізації наведено в табл. 3.

Як видно з табл. 3, найбільшу питому вагу в структурі мають відносні втрати ексергії на необоротний теплообмін (втрата працездатності), на нагрівання рідини, що випаровується в навколишнє середовище з продукту під час жарення, і в навколишнє середовище поверхнями тепловіддачі апарата. Зниження цих питомих втрат приведе до покращення енергетичної ефективності апаратів.

**Таблиця 3 – Результати розрахунку відносних втрат ексергії
за складовими і значення ексергетичного коефіцієнта апаратів
для кондуктивного жарення м'яса**

Показник	СЕСМ-0,2	ПЕ-0,17	SEB	GH-VEG-833	Elio L	ПУСКУ-1
β	0,292	0,445	0,429	0,271	0,227	0,176
f	0,081	0,031	0,095	0,069	0,031	0,004
f^{prod}	0,006	0,006	0,006	0,011	0,0004	0,00008
γ	0,128	0,139	0,138	0,157	0,135	0,106
η_{ex}	0,493	0,379	0,332	0,492	0,607	0,714

Дані табл. 3 свідчать про те, що найменшу відносну втрату ексергії в навколишнє середовище поверхнею апарата $f=0,004$ має апарат ПУСКУ-1, найбільшу – відповідно 0,095 і 0,081 – плита SEB із наплитною сковородою Tefal і сковорода СЕСМ-0,2 відповідно, що пояснюється наявністю розігрітих практично до температури процесу жарення, поверхонь тепловіддачі (вертикальних ділянок чаші, відбортунів та ін.). Найбільші відносні втрати ексергії в навколишнє середовище поверхнею продукту під час жарення – $f^{prod}=0,006$ – мають плити SEB із наплитною сковородою Tefal і ПЕ-0,17-01 з функціональною емністю GN1/1, що пояснюється значним перегріванням поверхні продукту в процесі жарення основним способом через відсутність підтримання температури процесу.

Невеликі значення відносних втрат ексергії в навколишнє середовище поверхнею продукту під час жарення – $f^{prod}=0,00008$ і 0,0004 – в апаратах ПУСКУ-1 і Elio L пояснюються значно меншою поверхнею продукту, що віддає тепло в навколишнє середовище, через двостороннє підведення тепла до продукту і незначну тривалість процесу – 150 і 254 с відповідно. Найменшу питому втрату ексергії на нагрівання рідини, що випаровується з продукту в навколишнє середовище під час жарення, $\gamma=0,106$, має апарат ПУСКУ-1, найбільшу – $\gamma=0,157$ – гриль GH-VEG-833, що пояснюється високим – 0,9 – виходом готового продукту в апараті ПУСКУ-1 і значно меншим – 0,629 – у грилі GH-VEG-833. Надзвичайно велика різниця у виході готового продукту (27,1%) і порівняно невелика різниця відносних втрат ексергії на нагрівання рідини, що випаровується з продукту в навколишнє середовище, – 5,02% – свідчать про те, що саме випаровування рідини і є найбільш енергозатратною складовою в процесі жарення, а збільшення виходу готового продукту здійснюється за рахунок зменшення втрат рідини продуктом, в основному у вигляді пари, і приводить до зменшення витрат енергоносія на процес

жарення. Через вказані причини найвищий ексергетичний ККД процесу жарення $\eta_{ex}=0,714$ має апарат для двостороннього жарення в умовах стиснення ПУСКУ-1, найнижчі – 0,332 і 0,379 – мають плити з інфрачервоним пальником SEB із наплитною сковородою Tefal і ПЕ-0,17-01 із функціональною ємністю GN1/1.

Розрахунок питомих витрат ексергії на 1 кг готових виробів $\Delta E_{\rho num}$, ΔE_{f-num} , ∇E_{f-num}^{prod} , $\nabla E_{\rho num}$ проводився за формулами (9), (12) і (15). Результати розрахунку питомих витрат ексергії на 1 кг готових виробів за складовими в процесі жарення в апаратах для його реалізації наведено в табл. 4.

Як видно з табл. 4, питома втрата ексергії на 1 кг готового продукту на необоротний теплообмін під час нагрівання в апараті ПУСКУ-1 $\Delta E_{\rho num} = 101,84 \cdot 10^3$ Дж/кг від 2,14 до 8,52 разу менша, ніж в апаратах Elio L, GH-VEG-833, СЕСМ-0,2, SEB і ПЕ-0,17-01; у сковороді СЕСМ-0,2 знаходиться практично на одному рівні з грилем GH-VEG-833 ($572,76 \cdot 10^3$ проти $567,45 \cdot 10^3$ Дж/кг); у плиті ПЕ-0,17-01 із функціональною ємністю GN1/1 має найбільше значення – $867,54 \cdot 10^3$ Дж/кг. Підвищення температурного рівня процесу жарення внаслідок використання елементів, що мають великий термічний опір теплопередачі (функціональних ємностей із харчової нержавіючої сталі, наплитного посуду, жиру на поверхнях), призводить до збільшення питомої втрати ексергії на 1 кг готового продукту на необоротний теплообмін.

Таблиця 4 – Результати розрахунку питомих витрат ексергії на 1 кг готового продукту (Дж/кг) за складовими для апаратів періодичної дії для реалізації кондуктивного жарення м'яса

Показник	СЕСМ-0,2	ПЕ-0,17	SEB	GH-VEG-833	Elio L	ПУСКУ-1
$\Delta E_{\rho num} \cdot 10^{-3}$	572,76	867,54	708,75	567,45	218,43	101,84
$\nabla E_{f-num} \cdot 10^{-3}$	157,99	60,39	157,81	143,84	29,52	2,52
$\nabla E_{f-num}^{prod} \cdot 10^{-3}$	11,12	11,89	8,69	23,90	0,40	0,05
$\nabla E_{\rho num} \cdot 10^{-3}$	250,95	270,42	227,77	327,97	130,26	61,74
$\nabla E_{num} \cdot 10^{-3}$	1960,45	1951,64	1654,05	2093,66	964,13	580,00

Питома втрата ексергії на 1 кг готового продукту в навколишнє середовище поверхнею апаратів в апараті ПУСКУ-1 $\Delta E_{f-num} = 2,52 \cdot 10^3$ Дж/кг від 11,72 до 62,70 разу менша, ніж в апаратах Elio L, ПЕ-0,17-01, GH-VEG-833, SEB і СЕСМ-0,2; у сковороді СЕСМ-0,2 і плиті з інфрачервоним пальником SEB з наплитною сковородою Tefal має найбільше значення – $157,99 \cdot 10^3$ і $157,81 \cdot 10^3$ Дж/кг відповідно, що пояснюється, як уже зазначалося вище, наявністю розігрітих, практично до температури процесу жарення, поверхонь тепловіддачі (вертикальних ділянок чаші, відбортувань та ін.).

Питома втрата ексергії на 1 кг готового продукту в навколишнє середовище його поверхнею під час жарення в апараті ПУСКУ-1 $\nabla E_{f-num}^{prod} = 0,05 \cdot 10^3$ Дж/кг від 8,56 до 511,72 разу менша, ніж в апаратах Elio L, SEB, СЕСМ-0,2, ПЕ-0,17-01 і GH-VEG-833; у грилі для безпосереднього жарення GH-VEG-833 має найбільше значення – $23,90 \cdot 10^3$ Дж/кг – через найтриваліший процес (900 с). Мінімальні питомі втрати ексергії на 1 кг готового продукту в навколишнє середовище в апаратах ПУСКУ-1 і Elio L пояснюється, як уже зазначалося вище, значно меншою поверхнею продукту, що віддає теплоту в навколишнє середовище, через двостороннє підведення теплоти до продукту і незначну тривалість процесу.

Питома втрата ексергії на 1 кг готового продукту на нагрівання рідини, що випаровується з продукту в навколишнє середовище під час жарення, в апараті ПУСКУ-1 $\nabla E_{gum} = 61,74 \cdot 10^3$ Дж/кг від 2,11 до 5,31 разу менша, ніж в апаратах Elio L, SEB, СЕСМ-0,2, ПЕ-0,17-01 і GH-VEG-833; у грилі для безпосереднього жарення GH-VEG-833 має найбільше значення – $327,97 \cdot 10^3$ Дж/кг – через найтриваліший процес (900 с) унаслідок недостатньої потужності електронагрівальних елементів.

Усе вищенаведене дозволяє рекомендувати закладам ресторанного господарства для реалізації процесу кондуктивного жарення м'яса такі заходи:

- обладнувати підприємства апаратами для двостороннього жарення, насамперед в умовах стиснення;
- не використовувати конфоркові електричні плити з наплитним посудом, сковороди та грилі для безпосереднього жарення;
- провести комплекс організаційних заходів із підвищення загальної культури споживання енергоносіїв шляхом підвищення кваліфікації працівників і жорсткого контролю за здійснення процесу жарення лише у вказаних апаратах для його реалізації.

Під час розробки нового або вдосконалення існуючого обладнання для кондуктивного жарення необхідно керуватись такими рекомендаціями:

- максимально знижувати температурний рівень процесу (не більше 150°C), що, окрім підвищення енергетичного ККД процесу, приведе до практичної відсутності утворення в готових виробах шкідливих речовин ендогенної природи (гетероциклічних ароматичних амінів);

- розвивати поверхню теплообміну з продуктом шляхом двостороннього підведення тепла та використовувати при цьому фізичні і, можливо, електрофізичні методи підвищення ефективності процесу (стиснення, електричний струм та ін.), що приведе до зменшення втрат теплоти поверхнею продукту і тривалості процесу жарення;

- зводити до мінімуму кількість і площу розігрітих до температури процесу жарення елементів конструкції;

- для підвищення виходу готового продукту, зменшення втрат рідини й утвореної пари використовувати функціонально замкнуті об'єми, які можна організовувати шляхом створення відбортунів на робочих поверхнях із матеріалів, які мають великий термічний опір, або шляхом використання функціонально замкнутих смонтей із матеріалів, що мають мінімальний опір переносу теплоти до продукту.

Висновки. 1. У роботі вперше кількісно визначено ступінь термодинамічної досконалості процесу кондуктивного жарення м'яса в апаратах для його реалізації.

2. Запропоновану методика визначення ступеня термодинамічної досконалості процесу кондуктивного жарення м'яса в апаратах для його реалізації доцільно рекомендувати при розробці нового або вдосконаленні існуючого обладнання.

3. Розроблено рекомендації щодо істотного зменшення енергетичних втрат на процес кондуктивного жарення порційних натуральних виробів із м'яса на підприємствах ресторанного господарства.

4. Визначено подальші напрями розвитку обладнання для реалізації процесу кондуктивного жарення м'яса.

Список літератури

1. Черевко О. І. Енергетична ефективність апаратів для кондуктивного жарення м'яса / О. І. Черевко, В. О. Скрипник // Прогресивні техніка та технології харчових виробництв, ресторанного господарства і торгівлі : зб. наук. пр. / ХДУХТ.– Х., 2012. – Вип. 1 (15). – С. 90–100.

2. Дорохін В. О. Енергетична ефективність процесів і апаратів жаріння харчових продуктів / В. О. Дорохін, В. О. Скрипник // Обладнання та технології харчових виробництв : темат. зб. наук. пр. / ДонНУЕТ. – Донецьк, 2007. – Вип. 16. – С. 146–159.

3. Гордон И. Л. Термодинамические основы и теплообменные характеристики процессов и рабочих тел для тепловой аппаратуры с косвенным обогревом : учеб. пособие / Л. И. Гордон. – М. : МИНХ, 1970. – 130 с.

4. Шаргут Я Эксергия / Я. Шаргут, Р. Петела ; пер. под. ред. В. М. Бродянского. – М. : Энергия, 1968. – 280 с.

5. Михелев А. А. Расчет и проектирование печей хлебопекарного и кондитерского производства / А. А. Михелев, Н. М. Ицкович. – М. : Пищевая пром-сть, 1968. – 487 с.

Отримано 30.10.2012. ХДУХТ, Харків.

© О.І. Черевко, В.О. Скрипник, 2012

УДК 641.512.06

І.М. Заплетніков, д-р техн. наук (*ДонНУЕТ, Донецьк*)

А.К. Пільненко (*ДонНУЕТ, Донецьк*)

ПОБУДОВА ПОЛЯ НОРМАЛЬНОЇ СКЛАДОВОЇ ШВИДКОСТІ РІЗАННЯ ТА КОЕФІЦІЄНТА КОВЗАННЯ ЛЕЗА ДИСКОВОГО НОЖА В РАЗІ МАЯТНИКОВОГО СПОСОБУ ПОДАЧІ ПРОДУКТУ

Визначено значення нормальної, тангенціальної швидкості різання та коефіцієнта ковзання в разі маятникового способу подачі продукту на дисковий ніж.

Определены значения нормальной, тангенциальной скорости резания и коэффициента скольжения при маятниковом способе подачи продукта на дисковый нож.

In the article the value of normal, tangential cutting speed and the slip coefficient for the pendulum method feed product to the disk blade are defined.

Постановка проблеми у загальному вигляді. Одним із найбільш розповсюджених і енергоємних процесів є різання, яке істотним чином впливає на якість сировини і вихід готової продукції. Найважливішою тенденцією подальшого прогресу сучасної м'ясопереробної та молочної промисловості є зниження енерговитрат на процес різання.

Різання як один із технологічних процесів обробки харчових матеріалів широко застосовується в різних галузях харчової, м'ясної, рибної, комбікормової промисловості. Різання дуже часто здійснюється в сфері громадського харчування під час розподілу на частини різноманітних продуктів таких, як: хліб, ковбаса, риба, м'ясо, сир, овочі.