

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛООБМІНУ В УНІВЕРСАЛЬНОМУ ЖАРИЛЬНОМУ АПАРАТІ З ПРОМІЖНИМ ОБІГРІВОМ

Наведено результати експериментальних досліджень визначення теплообмінних процесів універсального жарильного апарата з непрямим обігрівом кремнійорганічним теплоносієм, та запропоновано критеріальні рівняння які дозволяють розрахувати коефіцієнти тепловіддачі від нагрівальних елементів до проміжного теплоносія, від проміжного теплоносія до робочої поверхні, від робочої поверхні до харчового жиру.

Приведены результаты экспериментальных исследований теплообменных процессов универсального жарочного аппарата с косвенным обогревом кремнийорганическим теплоносителем, и предложены критериальные уравнения, которые позволяют рассчитать коэффициенты теплоотдачи от греющих элементов к промежуточному теплоносителю, от промежуточного теплоносителя к рабочей поверхности, от рабочей поверхности к пищевому жиру.

The results of experimental studies of heat-exchange processes universal Frying apparatus with indirect heating silicone coolant, and suggested criterial equations that allow us to calculate heat transfer coefficients from the heating elements to the intermediate coolant from the intermediate coolant to the working surface of the working surface to a food fat.

Постановка проблеми у загальному вигляді. У стрімкому розвитку науки та техніки перед науково-технічною спільнотою гостро постають питання екологічної безпеки та ресурсозбереження. Одним із напрямів вирішення цих питань є підвищення ефективності обладнання, яке використовується в різних галузях народного господарства. Теплове обладнання підприємств харчової індустрії потребує переведення на непрямий обігрів проміжним високотемпературним теплоносієм із метою підвищення довговічності та експлуатаційної надійності цього обладнання [1; 2]. Ця проблема пов'язана з важливим науково-практичним завданням – створенням енергоефективного обладнання для підприємств харчової індустрії України.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У праці [3] започатковано вирішення даної проблеми: запропоновано конструкцію універсального жарильного пристрою з непрямим обігрівом кремнійорганічним теплоносієм.

Теплообмінні процеси, які відбуваються в теплових апаратах із проміжним обігрівом мають деякі відмінності від теплообмінних процесів у апаратах із безпосереднім обігрівом. Це пов'язано, в першу чергу, з наявністю так званої «мастильної оболонки», яка заповнена проміжним теплоносієм, в об'ємі якого розташовано нагрівальні пристрої. Наявність цієї оболонки дає змогу отримати «м'який обігрів», що сприяє підвищенню ефективності та економічності цього обладнання. Тому важливим науково-практичним завданням є дослідження процесів теплообміну, які мають місце в нагрівальних оболонках цих апаратів, а також тепловіддачі від робочої поверхні до харчового жиру, в якому відбувається процес жарення кулінарних виробів.

Мета та завдання статті. Аналіз та узагальнення результатів експериментальних досліджень теплообміну в універсальному жарильному апараті з непрямим обігрівом робочої поверхні кремнійорганічним теплоносієм з метою перевірки адекватності критеріального рівняння теплообміну і, за необхідності, коригування значень параметрів робочого режиму нового апарата.

Виклад основного матеріалу дослідження. Для вивчення теплообмінних процесів в універсальному жарильному апараті з непрямим обігрівом кремнійорганічним теплоносієм нами було розроблено та виготовлено експериментальний стенд, який дозволив дослідити та адекватно оцінити процеси тепловіддачі від нагрівальних елементів до проміжного теплоносія, від проміжного теплоносія до робочої поверхні, від робочої поверхні до харчового жиру [4].

Нами розглядається випадок, коли тепловий апарат складається з жарильної ванни, робочої поверхні, яка омивається проміжним кремнійорганічним теплоносієм. Усередині нагрівальної оболонки в об'ємі теплоносія знаходяться трубчасті електронагрівачі (тени). Під час роботи апарата тепловий потік передається від тенів крізь проміжний теплоносій до робочої поверхні. У цьому випадку рівняння теплообміну для випадку, який має місце в жарильному апараті, буде мати такий критеріальний вигляд [4]:

$$Nu = A \cdot Gr \cdot Pr^{\bar{n}} \cdot H^k, \quad (1)$$

де A , n та k – сталі величини; H – симплекс, який визначає співвідношення геометричних величин, які впливають на процес тепловіддачі.

Обробивши результати експериментальних досліджень за методикою [4], ми отримали наступну критеріальну залежність, що описує процес тепловіддачі від нагрівальних елементів до проміжного теплоносія:

$$Nu_{H-m} = 0,65 (Gr \cdot Pr)^{0,3} \cdot H_{H-m}^{0,44}, \quad (2)$$

$$(4 \cdot 10^6 \leq Gr \cdot Pr \leq 3,5 \cdot 10^6),$$

де $H_{H-m} = \frac{h_H}{d_H}$ – геометричний симплекс для випадку тепловіддачі від нагрівача до проміжного теплоносія; h_H – відстань від центру нагрівача до робочої поверхні; d_H – діаметр нагрівача.

Процес тепловіддачі від теплоносія до робочої поверхні виражається залежністю:

$$Nu_{m-p,n} = 0,5 (Gr \cdot Pr)^{0,3} \cdot H_{m-p,n}^{-0,7}, \quad (3)$$

$$(1,4 \cdot 10^6 \leq Gr \cdot Pr \leq 3,5 \cdot 10^8),$$

де $H_{m-n} = \frac{h_H}{b_o}$ – геометричний симплекс для випадку тепловіддачі від проміжного теплоносія до робочої поверхні; $2 b_o$ – відстань між осями нагрівача.

Процес тепловіддачі від робочої поверхні до харчового жиру описується наступним вираженням:

$$Nu_{p,n-ж} = 0,53 (Gr \cdot Pr)^{0,33} \cdot H_{p,n-ж}^{0,38}, \quad (4)$$

$$(1,2 \cdot 10^7 \leq Gr \cdot Pr \leq 2,5 \cdot 10^8),$$

де $H_{n-ж} = \frac{b_{ж}}{\delta_{ж}}$ – геометричний симплекс для випадку тепловіддачі від робочої поверхні до харчового жиру; $b_{ж}$ – ширина робочої ванни; $\delta_{ж}$ – висота шару жиру в робочій ванні.

Залежності (2), (3), (4) з достатньою для практичних розрахунків точністю погодяться з експериментальними даними, що видно із графіка (рисунок), на якому представлені відповідні залежності:

$$\frac{Nu}{H^k} = f(Gr \cdot Pr).$$

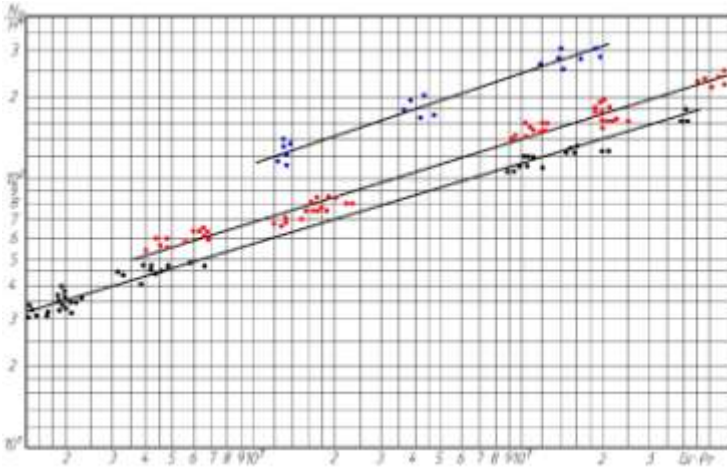


Рисунок – Графік залежності $\frac{Nu}{H^k} = f(Gr \cdot Pr)$ для випадку тепловіддачі:

1 – від нагрівального елемента до проміжного теплоносія; 2 – від проміжного теплоносія до робочої поверхні; 3 – від робочої поверхні до харчового жиру

Із графіка видно, що при тепловіддачі від тєну до теплоносія й від останнього до робочої поверхні, значення добутку $Gr \cdot Pr$ перебувають в інтервалі $1,4 \cdot 10^6 \dots 6 \cdot 10^8$, а від робочої поверхні до харчового жиру – $1,2 \cdot 10^7 \dots 2,5 \cdot 10^8$.

Обробка експериментальних даних проводилась наступним чином.

Визначались за даними експерименту значення критеріїв Nu , Gr , Pr та геометричного фактора далі визначались коефіцієнти регресійного рівняння за рівнянням (1).

Коефіцієнти A , n , k – визначалися методом лінійного регресійного аналізу з наступного рівняння:

$$\ln \tilde{Nu} = \ln A + h \cdot \ln \tilde{Gr \cdot Pr} + k \cdot \ln \tilde{H} \quad (5)$$

Коефіцієнти цього рівняння визначалися із застосуванням стандартних процедур пакету MatchCad.

Ступені адекватності рівняння перевірялися на відповідність похибки нормальному розбігу за формулою (6), та у всіх випадках не вийшла за межі прийнятого критичного значення – 5%.

$$\varepsilon = \frac{1}{N_{\varepsilon}} \cdot \frac{\sum_{i=1}^{N_{\varepsilon}} \alpha_p - \alpha_i}{\alpha} \cdot 100\%, \quad (6)$$

де ε – ступінь адекватності; N_{ε} – загальна кількість порівнювальних розрахункових значень α_p , з фактично отриманими в результаті проведеного кожного експерименту – α_i .

Висновки. Таким чином, отримані результати експериментальних досліджень дозволяють вирішувати низку завдань, пов'язаних із дослідженням процесів теплообміну в апаратах із проміжним обігрівом, визначення коефіцієнтів тепловіддачі з критеріальних рівнянь, які описують процеси теплоперенесення від тенів до проміжного теплоносія, від теплоносія до робочої поверхні апарата, від робочої поверхні до харчового жиру.

Список літератури

1. Червко, О. І. Процеси та апарати жаріння харчових продуктів [Текст] : навч. посібник / О. І. Червко, В. М. Михайлов, І. В. Бабкіна ; Харк. держ. академія технолог. та орг. харчування. – Х. : ХДАТОХ, 2000. – 332 с.
2. Беляев, М. И. Теоретические основы комбинированных способов тепловой обработки пищевых продуктов [Текст] : монография / М. И. Беляев, П. Л. Пахомов. – Х. : ХИОП : Коммунист, 1991. – 160 с.
3. Сафонов, В. В. Застосування кремнійорганічного теплоносія в системі обігріву електричної сковороди з проміжним теплоносієм [Текст] / В. В. Сафонов, О. В. Петренко, Е. В. Білецький // Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства та торгівлі : зб. наук. пр. / Харківський держ. ун-т харчування та торгівлі. – Х., 2007. – Вип. 1 (5). – С. 341–346.
4. Потапов, В. О. Методика визначення теплообмінних характеристик універсального жарильного апарата з проміжним обігрівом [Текст] / В. О. Потапов, О. В. Петренко, Е. В. Білецький // Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства та торгівлі : зб. наук. пр. / Харківський держ. ун-т харчування та торгівлі. – Х., 2009. – Вип. 1 (9). – С. 187–194.

Отримано 1.10.2010. ХДУХТ, Харків.
© В.О. Потапов, О.В. Петренко, 2010.