

Висновки

Показано, що за допомогою впливу турбулентності можна активувати полімерний флокулянт, що зумовлює підвищення споживних властивостей яблучного соку під час освітлення.

Перспективами подальших досліджень у даному напрямі є оптимізація співвідношення між молекулярною масою, концентрацією, режимами гідродинамічного впливу та способами введення полімерного флокулянта до яблучних соків з метою формування поліпшених товарознавчих властивостей яблучного соку, за умови мінімальних витрат флокулянта і значного зменшення залишкової його концентрації у фруктовому соку після його освітлення.

Список літератури

1. Вейцер Ю.И. Высокомолекулярные флокулянты в процессах очистки воды / Ю.И. Вейцер, Д.М. Минц – М.: Стройиздат, 1975. – 191 с.
2. Баран А.А. Флокулянты в биотехнологии / А.А. Баран, А.Я. Тесленко. – Л.: Химия, Ленингр. отд-ние, 1990. – 144 с.
3. Натура Е.П. Ускоренное осветление и стабилизация прозрачности вин различными флокулянтами: дис. ... канд. техн. наук: 05.18.16 / Е.П. Натура. – К., 1967. – 185 с.
4. Перкун И.В. Повышение флокулирующей способности макромолекул под действием гидродинамического поля / И.В. Перкун, А.В. Погребняк // Экологическая технология создания водозащитных экранов. Раздел 6.3. – Донецк: НОУЛИДЖ, 2010. – С. 396-423.
5. Перкун І.В. Турбулентна течія розчинів флокулянта в яблучному соку / І.В. Перкун // Товарознавство та інновації. – 2011. – Вип. 3. – С. 127-134.
6. Перкун І.В. Товарознавча оцінка яблучного соку, освітленого гідродинамічно-активованими флокулянтами: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.18.15 / І.В. Перкун. – Донецьк, 2012. – 20 с.
7. Погребняк В.Г. Оценка безопасности яблочного сока, обработанного активированными флокулянтами по микробиологическим показателям / В.Г. Погребняк, И.В. Перкун // Продукты @ ингредиенты. – 2012. – № 8. – С. 42-45.
8. Погребняк В.Г. Повышение безопасности яблочного сока с использованием активированных флокулянтов для его очистки от тяжелых металлов / В.Г. Погребняк, И.В. Перкун // Продукты @ ингредиенты. – 2012. – № 6. – С. 30-32.

УДК 620.172.251.88 (088.8)

Товт В.М., д-р техн. наук, проф.,

Омельченко Н.В., канд. техн. наук, доц. (ВНЗ Укоопспілки ПУЕТ, Полтава),

Ліпатов С.Ю., канд. техн. наук, доц. (КНУТД, Київ)

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ СКЛАДНОГО ТЕПЛООБМІНУ У ФОКУСУЮЧИХ ВИСОКОТЕМПЕРАТУРНИХ ПРИСТРОЯХ

Обґрунтовано необхідність створення випромінювачів складної форми, які б забезпечили рівномірне розподілення густини енергії по всій поверхні ви-

промінювання. Досліджено випромінювачі із профілем у вигляді зовнішньої гілки конхойди Нікомеда, що дають найбільш рівномірну густину випромінювання порівняно з випромінювачами інших профілів. Доведено переваги застосування графітових випромінювачів у високотемпературних фокусуєчих пристроях, де передача тепла відбувається тільки за рахунок випромінювання.

Ключові слова: високотемпературний фокусуєчий пристрій, випромінювач, високотемпературне джерело, гілка конхойди Нікомеда.

Постановка проблеми та її зв'язок із важливими науковими та практичними завданнями. Велика різноманітність геометричних форм, конструктивних і режимних характеристик високотемпературних пристроїв вимагає від теорії нових підходів достатньої точності, ефективності та простоти застосування під час конструювання.

Підвищений інтерес до високотемпературних пристроїв, що забезпечують великі швидкості нагрівання, свідчить про необхідність розробки методів розрахунку випромінювачів.

Найбільш важливими вузлами високотемпературних пристроїв є високотемпературне джерело. Під час використання матеріалів із жаростійкими покриттями в агресивних середовищах і під час моделювання термічного удару забезпечення високих температур є основним і надскладним завданням експериментальної техніки.

Сьогодні постали серйозні завдання, пов'язані із поглибленням теорії щодо розрахунку форм і розмірів як джерела випромінювання, так і відбиваючих поверхонь, які певним чином перерозподіляють енергію випромінювача. Складність вирішення усієї сукупності завдань пояснюється тим, що відомі випромінювачі мають нерівномірну густину випромінювання.

Як джерело променевої енергії сьогодні використовують електричну дугу, кварцові, ртутні, ксенонові лампи або стрижень, нагрітий до високої температури для пропускання електричного струму. Стрижні із різних матеріалів, що створюють електроопір з постійним поперечним перерізом по довжині, мають більш високу температуру в середній частині, внаслідок відведення тепла периферійними ділянками у струмовідводи. Недоліком указаних джерел нагрівання є низька достовірність результатів досліджень за рахунок нерівномірності нагрівання досліджуваного об'єкта, зумовлена локалізацією енергії лише на частині його поверхні.

Достовірність результатів високотемпературних механічних досліджень матеріалів з покриттям підвищується за рахунок вирівнювання густини опромінення на всій робочій частині досліджуваного об'єкта. Ця мета може бути досягнута тільки в тому випадку, коли густина енергії випромінювача буде рівномірною по його довжині.

Назріла необхідність створити випромінювачі складної форми, які б забезпечували рівномірний розподіл густини енергії на всій поверхні випромінювання.

Метою статті є покращення техніко-економічних характеристик випромінювачів для забезпечення підвищення ефективності високотемпературного

фокусуємого пристрою в цілому і розширення галузі його застосування у вітчизняній промисловості.

Виклад основного матеріалу дослідження. Одним із основних і найменш надійних вузлів високотемпературного фокусуємого пристрою є випромінювач, від якого залежить режим роботи печі, температура, надійність, строк служби. Це пояснюється тим, що випромінювач має найвищу температуру в порівнянні з іншими вузлами пристрою. Він повинен мати малий коефіцієнт лінійного розширення, високі механічні властивості та мінімальні зміни питомого електричного опору від температури. Тому вибір матеріалу випромінювача і його розрахунок має суттєве значення для розрахунку всіх інших вузлів високотемпературного пристрою – він дасть можливість усунути градієнти температури на утворюючій випромінювача, внаслідок чого можна забезпечити однакову температуру по периметру і утворюючій досліджуваного об'єкта.

Найважливіші енергетичні й температурні характеристики випромінювачів залежать від розподілу температури по їхній довжині. До теперішнього часу розрахунок випромінювачів для більш тривалої роботи у високотемпературних пристроях приділялось мало уваги.

Розглянемо розподіл температури на утворюючій випромінювача і визначимо рівняння профілю кривою. Виділимо елементарну ділянку dy на відстані y від центру випромінювача (рисунок 1) і складемо рівняння балансу енергії для ділянки dy .

$$I^2 R' \frac{d}{dy} \left(\lambda \frac{dT}{dy} \right) + \varepsilon P' \sigma T^4 + \rho A' C_p \frac{dT}{d\tau}, \quad (1)$$

де I – струм, що протікає через випромінювач, А;

R' – електричний опір ділянки dy , Ом;

A' – площа поперечного перерізу на відстані y , м²;

λ – теплопровідність, Вт/(м·К);

T – температура випромінювача, °К;

ε – коефіцієнт чорноти напівсферичного випромінювання;

P' – площа випромінюючої поверхні на одиницю довжини, м;

σ – постійна Стефана-Больцмана $5,67 \cdot 10^{-12}$ Вт/(м²·К⁴);

ρ – густина, кг/м³;

C_p – теплоємність за постійного тиску, Дж/(кг·К);

τ – час, с.

Таким чином, потужність, що підводиться до випромінювача, витрачається на теплопровідність, випромінювання і накопичення тепла. За умови тривалої роботи у стаціонарних умовах останній член рівняння балансу енергії перетворюється в нуль, тоді:

$$A' \frac{d}{dy} \left(\lambda \frac{dT}{dy} \right) = I^2 R' - \varepsilon P' \sigma T^4, \quad (2)$$

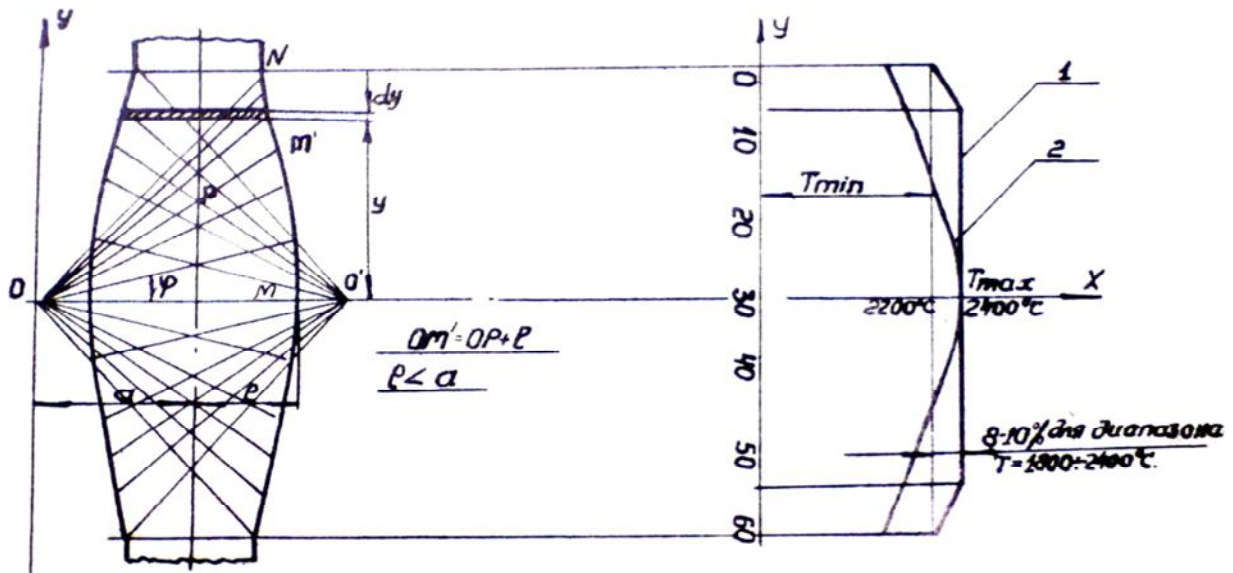


Рисунок 1 – Розподілення температури по утворюючій випромінювача

За умови постійної температури в усіх точках випромінювача по висоті рівняння (2), набуде вигляду:

$$l^2 R' = \varepsilon P' \sigma T^4 \quad (3)$$

Площу поверхні випромінювача можна розглядати як площу поверхні тіла обертання:

$$P' = 2\pi \int f(y) \sqrt{1 + f'^2(y)} dy.$$

Опір випромінювача дорівнює: $R = \rho \int \frac{dy}{\pi X^2}$, тоді рівняння (3) можна записати так:

$$l^2 \rho \int \frac{dy}{\pi X^2} = \varepsilon \sigma T^4 2\pi \int f(y) \sqrt{1 + f'^2(y)} dy \quad (4)$$

$$l^2 \rho \frac{dy}{\pi X^2} = \varepsilon \sigma T^4 2\pi X \sqrt{1 + X'^2}. \quad (5)$$

$$l^2 \rho \frac{1}{2\pi^2 \varepsilon \sigma T^4 \cdot X^3} = \sqrt{1 + X'^2}; \quad \frac{dX}{dy} = \sqrt{\frac{\alpha}{X^6} - 1}. \quad (6)$$

$$\alpha = \frac{l^4 \rho^2}{4\pi^4 \varepsilon^2 \sigma^2 T^4}; \quad dy = \frac{dX}{\sqrt{\frac{\alpha}{X^6} - 1}} = \frac{X^3 dX}{\sqrt{\alpha - X^6}}. \quad (7)$$

$$y = \int \frac{X^3 dX}{\alpha - X^6}. \quad (8)$$

Отриманий інтеграл в елементарних функціях розв'язати неможливо, тому для дослідження форми кривої була складена алгоритмічна програма і проведено чисельне інтегрування за таких значень: $\varepsilon = 0,85$, $\rho = 10,2 \text{ кг/м}^3$, $I = 38 \text{ А}$, $T = 1400 \text{ К}$.

Відомо, що розв'язання задачі правильного вибору довжини нагрівальних елементів, що забезпечують необхідну величину центральної, не ізометричної зони під час проектування нагрівальних пристроїв та інших теплофізичних установок, залежить від конкретного температурного поля нагрівача. Отримано наближену аналітичну залежність розподілення температури по довжині обмеженого випромінюючого стрижня за різних значень безрозмірного параметра теплопровідності на основі порівняння температур кінця граничного стрижня і в рівноставленому перерізі напівобмеженого стрижня.

Через те що випромінювачі циліндричної форми, які застосовують в оптичних печах, не мають рівномірної густини випромінювання у центрі і на периферійних ділянках через тепловідвід у держаку, запропоновано новий випромінювач (авторське свідоцтво № 1136060, ССРСР, пристрій для високотемпературних досліджень В.М. Товт в Б И, 1985, № 3) визнаний оригінальним. Його профіль був отриманий на основі рішення рівняння балансу енергії в замкнутих дзеркальних нагрівальних пристроях і апроксимується кривою зовнішньої гілки конхоїди Нікомеда. Експериментальна перевірка довела, що випромінювачі із профілем у вигляді зовнішньої гілки конхоїди Нікомеда дають найбільш рівномірну густину випромінювання у порівнянні з випромінювачами інших профілів. Так, на заданій довжині 50 мм запропонований випромінювач дає найменше відхилення від заданої температури і найбільшу рівномірність густини випромінювання по довжині. Профіль кривої, отриманої у результаті чисельного інтегрування, порівнювався із різними кривими: параболою, гіперболою, урізаним конусом. Найменша абсолютна різниця між ординатами за однакових значень аргументів для різних кривих знайдена у зовнішній гілці конхоїди Нікомеда. На основі численних розрахунків виготовлено випромінювач з новим профілем, який технологічно виконується за принципом «найбільшого діаметра» в його центральній частині і обмежується розмірами високотемпературного пристрою по висоті. Найбільший діаметр у стаціонарному режимі роботи визначається із відомого співвідношення, що зв'язує енергію, яка підводиться до випромінювача, і енергію, яка витрачається на випромінювання. Координатна прив'язка під час побудови від центру випромінювача до його торцевих частин здійснена за формулами побудови кривої. Експериментально було підтверджено, що температура у точках М і N випромінювача, виготовленого із ніхрому, постійна в інтервалах, починаючи від $973 \text{ }^\circ\text{К}$ до $1573 \text{ }^\circ\text{К}$. Вимірювання, проведені на випромінювачах, виготовлених із графіту марки 50ПГ, що працює у потоці аргону, підтвердили результати розрахунку. Градієнт температур у центральній точці М і периферійній точці N (рисунок 2), виміряний за допомогою оптич-

ного пірометра з поглинаючим світлофільтром, становить для $T = 1573-2073$ К порядку 5 %, а для $T = 2073-2673$ °К – 10 %. Розроблені випромінювачі стабільно працюють протягом 40-50 годин у високотемпературних фокусуєчих пристроях.

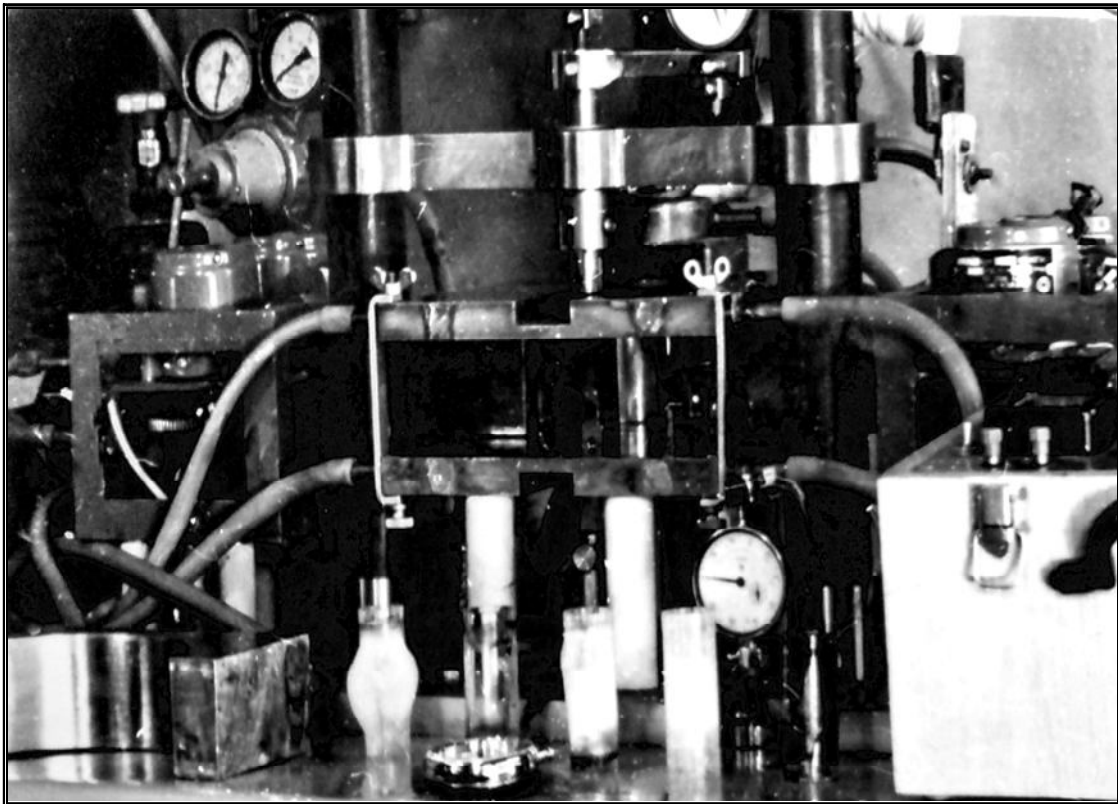


Рисунок 2 – Загальний вигляд графітового випромінювача

Для отримання стабільних і потужних потоків останнім часом широко застосовують під час високотемпературних досліджень графітові випромінювачі. Маючи ряд відмінних властивостей, графітовий випромінювач за звичайних температур менш міцний, ніж метали, а за $T = 2273-2773$ °К графіт має підвищену міцність, більшу ніж усі окисли і метали. Графіт легко обробляти, він має малий коефіцієнт термічного розширення, високу теплопровідність і електричну провідність. Такий комплекс властивостей забезпечує високу стійкість графіту до термоударів. Випромінювальні властивості графіту в середньому становить для різних матеріалів 0,7-0,9.

На рисунку 2 показано стан кварцевої трубки після довготривалих випробувань (50 годин) із циліндричними випромінювачами і з випромінювачами, профіль яких виготовлений за зовнішньою гілкою конхоїди Нікомеда. Експлуатаційна надійність нового випромінювача свідчить про правильність його вибору і розрахунку.

Висновки

Таким чином, у високотемпературних фокусуєчих пристроях, де передача тепла відбувається тільки за рахунок випромінювання, сьогодні застосування графітових випромінювачів має переваги.

Список літератури

1. А.с. 241474 (СССР) Устройство для нагрева изделий / Г.В. Исаханов, Б.А. Лященко, Є.А. Єскін и др. Опубл. в БИ 1989 № 14.
2. А.с. 652226 (СССР) Способ поверхностной закалки изделий из металлов и сплавов / Б.А. Лященко, О.В. Цыгулев, Ю.А. Кузема, В.М. Товт, А.Б. Менакер. Опубл. в БИ 1989 № 10.
3. Зигель Р. Теплообмен излучением / Р. Зигель, Дж. Хауэлл. – М.: Мир, 1985. – 934 с.
4. Измерение температур в объектах новой техники: сб. статей / пер. с англ. под ред. А. Н. Гордова. – М.: Мир, 1985. – 280 с.