



УКРАЇНА

(19) UA (11) 97021 (13) C2
(51) МПК
G01N 25/18 (2006.01)

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

(54) СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ТЕПЛОВІДДАЧІ ЗА УМОВ КОНВЕКТИВНОГО ТЕПЛООБМІНУ ОРГАНІЧНОЇ СУМІШІ

1

2

(21) a201005661

(22) 11.05.2010

(24) 26.12.2011

(46) 26.12.2011, Бюл.№ 24, 2011 р.

(72) ТКАЧЕНКО СТАНІСЛАВ ЙОСИПОВИЧ, ПІШЕНІНА НАДІЯ ВОЛОДИМИРІВНА, РЕЗИДЕНТ НАТАЛІЯ ВОЛОДИМИРІВНА

(73) ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

(56) UA 24616 U, 10.07.2007

WO 2010038285 A1, 08.04.2010

SU 1078301 A, 07.03.1984

US 6442996 B1, 03.09.2002

(57) Спосіб визначення коефіцієнта тепловіддачі за умов конвективного теплообміну органічної суміші, що включає вимірювання температури теплоносіїв, причому вимірюють масу грійного теплоносія та суміші, а температуру грійного теплоносія та суміші вимірюють через проміжки часу і визначають експериментальний коефіцієнт конвективної тепловіддачі в базовому режимі теплообміну $\alpha_{\text{експ}}^{\text{баз}}$ при температурі суміші t_c , яка відповідає шуканим режимам, а комплекс фізичних властивостей для базового режиму теплообміну визначають за залежністю, який **відрізняється** тим, що залежність визначається з врахуванням напряму теплообміну

$$\text{КФВ}_{\text{експ}}^{\text{баз}} = \frac{\alpha_{\text{експ}}^{\text{баз}}}{A \cdot (\Pi_{\text{нт}})_6^m},$$

де $A = 0,54 \cdot \frac{(g \cdot \Delta t)^{0,25}}{H^{0,25}}$ - коефіцієнт, що враховує

всі параметри, які входять в критеріальне рівняння для базового режиму теплообміну, окрім теплофізичних властивостей,

$(\Pi_{\text{нт}})_6^m = (Pr_p / Pr_{\text{ст}})_6^m = (\mu_p / \mu_{\text{ст}})_6^m$ - поправка на напрямок теплообміну в суміші в базовому режимі, а експериментально-розрахунковий шуканий коефіцієнт тепловіддачі $\alpha_{\text{ер}}^{\text{шук}}$ визначають за структурованим критеріальним рівнянням

$$\alpha_{\text{ер}}^{\text{шук}} = C \cdot g^{n_1} \cdot \underbrace{(\Pi_{\text{тФВ}} \cdot \text{КФВ}_{\text{експ}}^{\text{баз}})}_{\text{КФВ}_{\text{експ}}^{\text{шук}}} \cdot w^{n_2} \cdot \ell^{n_3} \cdot \bar{\Delta t}^{n_4} (\Pi_{\text{нт}})^m,$$

де $(\Pi_{\text{нт}})^m = (Pr_p / Pr_{\text{ст}})^m = (\mu_p / \mu_{\text{ст}})^m$ - поправка на напрямок теплообміну в суміші в шуканому режимі;

$\bar{\Delta t} = \frac{1}{2}(t_c - t_0)$, де t_c - температура стінки теплообмінної поверхні, °С,

t_0 - при вимушеній течії - температура рідини на вході в трубу, при вільному русі - температура рідини за межами шару, що рухається, °С;

w - визначальна швидкість, м/с;

ℓ - визначальний розмір, м;

g - прискорення вільного падіння, м/с²;

Pr_p - критерій Прандтля за температури рідини (суміші);

$Pr_{\text{ст}}$ - критерій Прандтля за температури стінки;

C - константа, що залежить від режиму теплообміну;

n_1, n_2, n_3, n_4 - показники степеня,

з врахуванням комплексу фізичних властивостей, що відповідає шуканому режиму теплообміну

$\text{КФВ}_{\text{експ}}^{\text{шук}}$, який визначають за допомогою функції перетворення $\Pi_{\text{тФВ}}$, причому вибір модельної рідини та її теплофізичних параметрів здійснюють з врахуванням $\text{КФВ}_{\text{експ}}^{\text{баз}}$ та t_c , а значення поправок на напрямок теплообміну в базовому режимі розраховують методом послідовних наближень за допомогою теплофізичних властивостей модельної рідини, приймаючи в першому наближенні модельною рідиною воду, та значення $\Pi_{\text{тФВ}}$ і значення поправок на напрямок теплообміну в шуканому режимі розраховують з використанням теплофізичних властивостей модельної рідини.

(13) C2

(11) 97021

(19) UA

Винахід належить до області теплофізичних вимірювань і може бути використаний для визначення коефіцієнтів тепловіддачі до багатокомпонентних органічних сумішей, що використовуються як сировина в системах біоконверсії, біоенергетики.

Відомим є спосіб визначення коефіцієнта тепловіддачі [АС СРСР № 1078301, Кл. G01N25/18. заявл. 05.07.82.: опубл.07.03.84., Бюл. № 9], який полягає у вимірюванні швидкості і температури теплоносія, температури поверхні, перепаду тиску за рахунок опору теплообмінної поверхні. Коефіцієнт конвективного теплообміну визначають за формулою

$$\alpha = \frac{1}{L} \cdot A_1 \cdot A_2 \cdot A_3, \quad (1)$$

$$\text{де } A_1 = f\left(\frac{w \cdot \Delta p \cdot L^3}{\rho_p \cdot v_p^3}\right),$$

$$A_2 = f(\rho_p \cdot v_p^3),$$

$$A_3 = \left(\frac{\rho_p \cdot v_p}{\rho_p \cdot v_{ст}}\right),$$

Δp - перепад тиску, віднесений до одного ряду пучка.

Недоліком відомого способу є висока трудомісткість виконання і обробки дослідів за рахунок необхідності визначення в окремому досліді кожного теплофізичного параметра з достатньою точністю.

Найбільш близьким по суті до способу, що пропонується є спосіб визначення коефіцієнта тепловіддачі за умов конвективного теплообміну органічної суміші [Патент на корисну модель України № 24616, кл. G01N25/18. заявл. 05.02.2007: опубл. 10.07.2007., Бюл. № 10], який полягає у вимірюванні температури теплоносіїв, вимірюванні маси грійного теплоносія та суміші, а температуру грійного теплоносія та суміші вимірюють через проміжки часу і визначають експериментальний коефіцієнт конвективної тепловіддачі в базовому режимі теплообміну $\alpha_{експ}^{баз}$ при температурі суміші t_c і температурному напорі між грійною стінкою і сумішшю Δt , які відповідають шуканим режимам, а комплекс фізичних властивостей для базового режиму теплообміну визначають за залежністю

$$КФВ_{експ}^{баз} = \frac{\alpha_{експ}^{баз}}{A}, \quad (2)$$

де A - коефіцієнт, що враховує всі параметри, які входять в критеріальне рівняння для базового режиму теплообміну, окрім теплофізичних властивостей, а з використанням критеріальних рівнянь, які відповідають шуканому режиму теплообміну, і значень комплексу фізичних властивостей для

базового режиму розраховують комплекс фізичних властивостей, що відповідає шуканому режиму теплообміну $КФВ_{експ}^{шук}$, причому експериментально-розрахунковий шуканий коефіцієнт тепловіддачі $\alpha_{ер}^{шук}$ визначають за структурованим критеріальним рівнянням з врахуванням $КФВ_{експ}^{шук}$.

Недоліком відомого способу є те, що забезпечення одночасної відповідності t_c і Δt в базовому і шуканому режимах практично неможливе, так як при дотриманні рівності t_c в обох режимах спостерігається розбіжність значень Δt і, навпаки, при досягненні рівності Δt , t_c в базовому і шуканому режимах неоднакове, і, внаслідок цього, допущення, що значення поправки $(Pr_p/Pr_{ст})^{0,25}$ однакове в базовому і шуканому режимах недостатньо точне. Крім того, не подано обґрунтування вибору модельної рідини та її теплофізичних параметрів для визначення поправки на теплофізичні властивості суміші $\Pi_{ТВ}$, що призводить до похибки при визначенні $\alpha_{ер}^{шук}$ та проектування неефективного теплообмінного обладнання для органічних сумішей.

В основу винаходу поставлено задачу створення способу визначення коефіцієнта тепловіддачі за умов конвективного теплообміну органічної суміші, в якому за рахунок більш точного вибору модельної рідини та її параметрів, а також використання її теплофізичних властивостей досягається можливість коректного визначення $КФВ_{експ}^{шук}$ через

$КФВ_{експ}^{баз}$, що призводить до зменшення похибки визначення $\alpha_{ер}^{шук}$ та підвищення ефективності теплообмінного обладнання.

Поставлена задача досягається тим, що залежність визначається з врахуванням напряму теплообміну

$$КФВ_{експ}^{баз} = \frac{\alpha_{експ}^{баз}}{A \cdot (\Pi_{HT})_б^m}, \quad (3)$$

$$\text{де } A = 0,54 \cdot \frac{(g \cdot \Delta t)^{0,25}}{H^{0,25}} - \text{коефіцієнт, що вра-}$$

ховує всі параметри, які входять в критеріальне рівняння для базового режиму теплообміну, окрім теплофізичних властивостей,

$(\Pi_{HT})_б^m = (Pr_p/Pr_{ст})_б^m = (\mu_p/\mu_{ст})_б^m$ - поправка на напрямки теплообміну в суміші в базовому режимі,

а експериментально-розрахунковий шуканий коефіцієнт тепловіддачі $\alpha_{ер}^{шук}$ визначають за структурованим критеріальним рівнянням

$$\alpha_{\text{ер}}^{\text{шук}} = C \cdot g^{n_1} \cdot \underbrace{(\Pi_{\text{ТФВ}} \cdot \text{КФВ}_{\text{експ}}^{\text{баз}})}_{\text{КФВ}_{\text{експ}}^{\text{шук}}} \cdot w^{n_2} \cdot 1^{n_3} \cdot \bar{\Delta t}^{n_4} (\Pi_{\text{HT}})^m, \quad (4)$$

де $(\Pi_{\text{HT}})^m = (Pr_p / Pr_{\text{CT}})^m = (\mu_p / \mu_{\text{CT}})^m$ - поправка на напрямок теплообміну в суміші в шуканому режимі;

$\bar{\Delta t} = |(t_c - t_0)|$, де t_c - температура стінки теплообмінної поверхні, °C, t_0 - при вимушеній течії - температура рідини на вході в трубу, при вільному русі - температура рідини за межами шару, що рухається, °C;

w - визначальна швидкість, м/с;

l - визначальний розмір, м;

g - прискорення вільного падіння, м/с²;

Pr_p - критерій Прандтля за температури рідини (суміші);

Pr_{CT} - критерій Прандтля за температури стінки;

C - константа, що залежить від режиму теплообміну;

n_1, n_2, n_3, n_4 - показники степеня,

з врахуванням комплексу фізичних властивостей, що відповідає шуканому режиму теплообміну

$\text{КФВ}_{\text{експ}}^{\text{шук}}$, який визначають за допомогою функції перетворення $\Pi_{\text{ТФВ}}$, причому вибір модельної рідини та її теплофізичних параметрів здійснюють з урахуванням $\text{КФВ}_{\text{експ}}^{\text{баз}}$ та t_c , а значення поправок на напрямок теплообміну в базовому режимі розраховують методом послідовних наближень за допомогою теплофізичних властивостей модельної рідини, приймаючи в першому наближенні модельною рідиною воду, та значення $\Pi_{\text{ТФВ}}$ і значення поправок на напрямок теплообміну в шуканому режимі розраховують з використанням теплофізичних властивостей модельної рідини.

В таблиці представлено складові структурованого критеріального рівняння (4) для різних режимів теплообміну, які здійснюються в елементах систем біоконверсії.

Таблиця

Режим теплообміну	$\text{КФВ}_{\text{експ}}^{\text{шук}}$	$\Pi_{\text{ТФВ}}$	n_1	n_2	n_3	n_4	C	m
Вимушена конвекція в трубах і кільцевих каналах								
1. Ламінарний, в'язкісно-гравітаційний	$\text{КФВ}_{\text{експ}}^{\text{шук}} = \frac{\lambda_p^{0,57} \cdot \beta_p^{0,1}}{\nu_p^{0,1}} \times (C_p \cdot \rho_p)^{0,43}$	$\Pi_{\text{ТФВ}} = \frac{\nu_p^{0,15} \cdot \beta_p^{-0,15}}{\lambda_p^{0,18}} \times (C_p \cdot \rho_p)^{0,18}$	0,1	0,33	-	0,1	0,15	0,25
Вільна конвекція біля вертикальної стінки								
2. Ламінарний	$\text{КФВ}_{\text{експ}}^{\text{шук}} = \frac{\lambda_p^{0,75} \cdot \beta_p^{0,25}}{\nu_p^{0,25}} \times (C_p \cdot \rho_p)^{0,25}$	$\Pi_{\text{ТФВ}} = 1$	0,25	-	-	0,25	0,25	0,25
Вільна конвекція біля горизонтальних труб								
3. Турбулентний	$\text{КФВ}_{\text{експ}}^{\text{шук}} = \frac{\lambda_p^{0,67} \cdot \beta_p^{0,33}}{\nu_p^{0,33}} \times (C_p \cdot \rho_p)^{0,33}$	$\Pi_{\text{ТФВ}} = \frac{(\beta_p \cdot C_p \cdot \rho_p)^{0,08}}{(\lambda_p \cdot \nu_p)^{0,08}}$	0,33	-	-	0,3	0,15	0,25
4. Ламінарний	$\text{КФВ}_{\text{експ}}^{\text{шук}} = \frac{\lambda_p^{0,75} \cdot \beta_p^{0,25}}{\nu_p^{0,25}} \times (C_p \cdot \rho_p)^{0,25}$	$\Pi_{\text{ТФВ}} = 1$						

В табл.: β_p - коефіцієнт температурного розширення суміші, °C⁻¹; ν_p - кінематична в'язкість суміші, м/с;

λ_p - коефіцієнт теплопровідності суміші, Вт/(м·К); ρ_p - густина суміші, кг/м³; C_p - теплоємність суміші, кДж/(кг·К).

На кресленні представлено зіставлення експериментальних значень коефіцієнта тепловіддачі $\alpha_{\text{експ}}^{\text{шук}}$, та отриманих за ЕРМ $\alpha_{\text{ер}}^{\text{шук}}$ для мелясної барди в діапазоні температур $t=20\dots 100$ °C і масо-

вих концентрацій $c = 30,6\dots 49,1$ %, режим теплообміну в'язкісно-гравітаційний при ламінарній течії в кільцевому каналі: еквівалентний діаметр $d_{\text{екв}}=50$ мм, швидкість течії суміші $w=0,2; 0,4; 0,6$ м/с.

Спосіб здійснюється наступним чином. Для даної органічної суміші, інформація по теплофізичним властивостям якої обмежена, гіпотетично визначають умови теплообміну, оцінюють режим теплообміну, приймають відповідне критеріальне рівняння теплообміну і, отже, відповідне структуроване рівняння.

Визначають температуру шуканого режиму $t_{шук}$ і за допомогою експериментальної установки для дослідження тепловіддачі за умов вільної конвекції проводять базовий експеримент по теплообміну в органічній суміші при температурі суміші $t_c = t_{шук}$, в результаті чого визначають $\alpha_{експ}^{баз}$.

Розраховують значення комплексу фізичних властивостей в базовому режимі теплообміну для кожної із модельних рідин $[КФВ_б]_м$, використовуючи їхні відомі теплофізичні властивості, але при різних концентраціях і в різних діапазонах температур, при цьому як модельну вибираються такі рідини, теплофізичні властивості яких достатньо досліджені: соапсток, мелясна барда, цукровий розчин, водний розчин гліцерину тощо. Розрахунки проводять за формулою

$$[КФВ_б]_м = \left(\frac{\lambda_p^{0,75} \cdot \beta_p^{0,25}}{\nu_p^{0,25}} \right) \cdot (C_p \cdot \rho_p)^{0,25}. \quad (5)$$

Визначають $КФВ_{експ}^{баз}$ за формулою (3), де значення поправки на напрямок теплообміну в суміші в базовому режимі $(\Pi_{нт})_б^m$ розраховують методом послідовних наближень за допомогою теплофізичних властивостей модельних рідин, приймаючи в першому наближенні модельною рідиною воду.

Виконують аналіз теплофізичних властивостей всіх модельних рідин і для кожної з них підбирають такий діапазон визначальних параметрів - концентрацій c_m , % і температур t_m , °С, при якому значення розрахункового комплексу фізичних властивостей кожної із модельних рідин $[КФВ_б]_м$ співпадає з визначеним комплексом фізичних властивостей $КФВ_{експ}^{баз}$. Тобто, за умови $КФВ_{експ}^{баз} \cong [КФВ_б]_м$ вибирають перелік модельних рідин з різними визначальними параметрами для досліджуваної суміші.

Зіставляючи температури вибраних модельних рідин t_m і температуру суміші t_c , остаточно приймають таку модельною рідиною і з такою концентрацією c_m %, температура якої найближча до

температури досліджуваної суміші, при цьому залишається необхідною умовою рівність $КФВ_{експ}^{баз} \cong [КФВ_б]_м$. Вважають, що теплофізичні параметри досліджуваної суміші ідентичні до теплофізичних параметрів вибраної модельної рідини.

Використовуючи структуроване рівняння, що описує шуканий режим теплообміну, та теплофізичні властивості вибраної модельної рідини, визначають $\Pi_{ФВ}$ (табл.), поправку на напрямок теплообміну в субстратах в шуканому режимі $(\Pi_{нт})^m$, здійснюють уточнення і перевірку правильності вибору шуканого режиму теплообміну.

Визначають комплекс фізичних властивостей для шуканого режиму $КФВ_{експ}^{шук}$, використовуючи $\Pi_{ФВ}$.

У вибране структуроване критеріальне рівняння, яке відповідає шуканому режиму теплообміну, підставляють значення комплексу фізичних властивостей для шуканого режиму $КФВ_{експ}^{шук}$ і визначають експериментально-розрахунковий коефіцієнт тепловіддачі для шуканого режиму теплообміну $\alpha_{ер}^{шук}$.

Вищенаведений спосіб, починаючи з визначення $КФВ_{експ}^{баз}$, повторюють для кожної точки базового експерименту.

Виконано зіставлення експериментальних значень коефіцієнта тепловіддачі $\alpha_{експ}^{шук}$, та отриманих за ЕРМ $\alpha_{ер}^{шук}$ для мелясної барди (див. Креслення). Шуканий режим теплообміну - в'язкісно-гравітаційний при ламінарній течії в кільцевому каналі: еквівалентний діаметр $d_{екв}=50$ мм, швидкість течії суміші $w=0,2; 0,4; 0,6$ м/с. Значення експериментального коефіцієнта тепловіддачі $\alpha_{експ}^{шук}$ отримані за допомогою чисельного експерименту з використанням відомого критеріального рівняння в діапазоні температур $t = 20...100$ °С і масових концентрацій $c = 30,6...49,1$ %.

Із креслення видно, що розбіжність між коефіцієнтами тепловіддачі, визначеними згідно з даним способом і за відомими критеріальними рівняннями, не перевищує 10 %.

