



УКРАЇНА

(19) UA (11) 24616 (13) U
(51) МПК (2006)
G01N 25/18МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІОПИС
ДО ПАТЕНТУ
НА КОРИСНУ МОДЕЛЬвидається під
відповідальність
власника
патенту(54) СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ТЕПЛОВІДДАЧІ ЗА УМОВ КОНВЕКТИВНОГО ТЕПЛООБМІНУ
ОРГАНІЧНОЇ СУМІШІ

1

(21) u200701190
(22) 05.02.2007
(24) 10.07.2007
(46) 10.07.2007, Бюл. № 10, 2007 р.
(72) Ткаченко Станіслав Йосипович, Резидент На-
талія Володимирівна
(73) ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ
(57) Спосіб визначення коефіцієнта тепловіддачі
за умов конвективного теплообміну органічної
суміші, що включає вимірювання температури те-
плоносіїв, який **відрізняється** тим, що вимірюють
масу потрійного теплоносія та суміші, а темпера-
туру потрійного теплоносія та суміші вимірюють
через проміжки часу і визначають експеримен-
тальний коефіцієнт конвективної тепловіддачі в
базовому режимі теплообміну $\alpha_{\text{експ}}^{\text{баз}}$ при
температурі суміші t_c і температурному напорі між
потрійною стінкою і сумішшю Δt , які відповідають

2

шуканим режимам, а комплекс фізичних властиво-
стей для базового режиму теплообміну визнача-
ють за залежністю

$$K\Phi B_{\text{експ}}^{\text{баз}} = \frac{\alpha_{\text{експ}}^{\text{баз}}}{A},$$

де A - коефіцієнт, що враховує всі параметри, які
входять в критеріальне рівняння для базового ре-
жиму теплообміну, окрім теплофізичних властиво-
стей, 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 $K\Phi B_{\text{експ}}^{\text{шук}}$, причому експеримен-
тально-розрахунковий шуканий коефіцієнт тепло-
віддачі $\alpha_{\text{ер}}^{\text{шук}}$ визначають за структуризованим
критеріальним рівнянням з врахуванням
 $K\Phi B_{\text{експ}}^{\text{шук}}$.

Корисна модель відноситься до
експериментальної теплофізики і може бути
використана для визначення коефіцієнтів
тепловіддачі до багатокомпонентних органічних
сумішей, що використовуються як сировина в
системах біоконверсії.

Відомим є спосіб визначення коефіцієнта
тепловіддачі методом конденсації, згідно якого
обігрівання дослідної трубки проводиться дещо
перегрітою парою, що конденсується. Вимірюється
температура середовища, що досліджується, на
вході і виході з дослідної трубки, температура
перегрітої пари на вхідному і вихідному перерізах
дослідної трубки, температура поверхні дослідної
трубки та витрата конденсату.

Фізичні властивості теплоносія: густину ρ_p ,
теплопровідність λ_p , динамічну в'язкість μ_p ,
теплоємність c_p визначають в окремому досліді.

Результати обробляються згідно теорії
подібності за залежністю

$$Nu_p = C \cdot Re_p^m \cdot Pr_p^n \cdot \left(\frac{Pr_p}{Pr_{\text{ст}}} \right)^k, \quad (1)$$

де $Nu_p = \frac{\alpha \cdot L}{\lambda}$ - критерій Нусельта;

$$Pr_p = \frac{\mu \cdot c_p}{\lambda} \text{ - критерій Прандтля;}$$

$$Re = \frac{w \cdot L}{\nu} \text{ - критерій Рейнольдса;}$$

C, m, n, k - константи;

L - визначальний розмір;

w - швидкість теплоносія, м/с;

p - параметри визначені за температури
рідини;

$ст$ - параметри визначені за температури
стілки.

За залежністю (2) визначають величину
коефіцієнта тепловіддачі [Осипова В.А.

(13) U

(11) 24616

(19) UA

Экспериментальное исследование процессов теплообмена. М: Энергия. - 1969, 392с].

$$\alpha = \frac{Nu_p \cdot \lambda}{L} \quad (2)$$

Недолік даного способу полягає у високій трудоемкості проведення дослідів, їх обробки та необхідності визначення в окремому досліді кожного теплофізичного параметра з достатньою точністю.

Найбільш близьким за технічною суттю до способу, що пропонується 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

$$\alpha = \frac{1}{L} \cdot A_1 \cdot A_2 \cdot A_3 \quad (3)$$

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

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

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

Δp - перепад тиску, віднесений до одного ряду пучка.

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

В основу корисної моделі поставлена задача створення способу визначення коефіцієнта тепловіддачі за умов конвективного теплообміну органічної суміші, в якому за рахунок введення операції вимірювання маси гріюного теплоносія та суміші, а також вимірювання температури гріюного теплоносія та суміші через проміжки часу досягається можливість спрощення процесу визначення коефіцієнта тепловіддачі, крім того спрощується методика виконання та обробки дослідів, за рахунок того, що зникає необхідність визначення кожного теплофізичного параметра в окремому досліді.

Поставлена задача вирішується тим, що у відомому способі визначення коефіцієнта тепловіддачі, який полягає у вимірюванні температури теплоносія вимірюють маси гріюного теплоносія та суміші, а температури гріюного 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 гріюною стінкою і сумішшю Δt , які відповідають шуканим режимам, а комплекс фізичних властивостей для базового

режиму теплообміну $KФВ_{експ}^{баз}$ визначають за залежністю

$$KФВ_{експ}^{баз} = \frac{\alpha_{експ}^{баз}}{A},$$

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 $KФВ_{експ}^{шук}$, причому експериментально-розрахунковий шуканий коефіцієнт тепловіддачі $\alpha_{ер}^{шук}$ визначають за структуризованим критеріальним рівнянням з врахуванням $KФВ_{експ}^{шук}$.

На Фіг.1 представлено схему дослідної установки для дослідження тепловіддачі за умов вільної конвекції.

На Фіг.2 представлено змінений температур гріюного теплоносія та суміші за часом.

На Фіг.3 представлено значення коефіцієнта тепловіддачі до суміші за умов вимушеної конвекції при швидкості суміші $w=0,2\text{м/с}$ та $w=0,6\text{м/с}$.

Установка для реалізації способу складається з двох циліндричних коаксіальних ємностей 1 та 2, які мають гладку теплообмінну поверхню і вкладені одна в одну таким чином, що утворені дві робочі порожнини - внутрішня 3 та зовнішня у вигляді кільцевого зазору 4. Порожнини розділені трійною стінкою 5. З метою зменшення тепловтрат в навколишнє середовище зовні установка ізолювана (див. Фіг.1).

Спосіб здійснюється наступним чином. Вимірюють маси гріюного теплоносія та суміші. Заливають трійний теплоносій у внутрішню порожнину 3, а суміш, що нагрівають - в кільцевий зазор 4 утворений циліндричними коаксіальними ємностями 1 та 2. Вимірюють температуру суміші в кільцевому зазорі 4 та температуру гріюного теплоносія у внутрішній порожнині 3 через проміжки часу. Після досягнення малої різниці температур між трійною стінкою 5 і сумішшю дослід закінчують (див. Фіг.2).

Для прикладу визначимо інтенсивність тепловіддачі до субстрату ВРХ (в подальшому суміш) у випадку вимушеної конвекції в кільцевому каналі, режим руху в'язісно-гравітаційний. Виділяють базовий варіант, коли теплообмін здійснюється між вертикальною стінкою і сумішшю в перехідному режимі природної конвекції. Такий базовий варіант прийнято виходячи з того, що відносно просто можна організувати експериментальне визначення показників інтенсивності теплообміну.

Визначають експериментальний коефіцієнт конвективної тепловіддачі до суміші в базовому режимі теплообміну $\alpha_{експ}^{баз}$ (в подальшому $\alpha_{експ}^{баз} = \alpha_{в.к}$) при температурі суміші t_c і температурному напорі між трійною стінкою і сумішшю Δt , які відповідають шуканим режимам.

Шляхом структуризації відомого критеріального рівняння, що відповідає заданому режиму теплообміну, виділяють спеціалізований комплекс фізичних властивостей КФВ, який залежить від масової концентрації сухих речовин в суміші, температури суміші та температурного напору, тобто $\text{КФВ} = f(c_{\text{сух}}, t_c, \Delta t)$.

Експериментально комплекс фізичних властивостей для базового варіанту визначають за залежністю

$$\text{КФВ}_{\text{експ}}^{\text{баз}} = \frac{\alpha_{\text{в.к}}}{A}, \quad (4)$$

де $A = 0.54 \cdot \frac{(g \cdot \Delta t)^{0.25}}{H^{0.25}}$; Δt - температурний напір; H - висота поверхні теплообміну. Із критеріального рівняння –

$$\text{КФВ}_{\text{експ}}^{\text{баз}} = \frac{\lambda_c^{0.75} \cdot \beta^{0.25}}{\nu_c^{0.25}} \cdot (C_c \cdot \rho_c)^{0.25} \cdot \left(\frac{Pr_c}{Pr_{\text{ст}}} \right)^{0.25}. \quad (5)$$

де Pr - критерій Прандтля, нижні індекси: c - температура суміші, ст - температура стінки.

За шуканий режим приймають, що теплообмін здійснюється в умовах вимушеної конвекції в кільцевому каналі, режим руху в'язкісно-гравітаційний $\alpha_{\text{ер}}^{\text{шук}}$ (в подальшому $\alpha_{\text{ер}}^{\text{шук}} = \alpha_{\text{вк(вг)}}$).

Комплекс фізичних властивостей для вимушеної течії з в'язкісно-гравітаційним режимом теплообміну із відомої критеріальної залежності

$$\text{КФВ}_{\text{експ}}^{\text{шук}} = \frac{\lambda_c^{0.57} \cdot \beta^{0.1}}{\nu_c^{0.1}} \cdot (C_c \cdot \rho_c)^{0.43} \cdot \left(\frac{Pr_c}{Pr_{\text{ст}}} \right)^{0.25}. \quad (6)$$

Із (5) та (6) при однакових t_c і $\left(\frac{Pr_c}{Pr_{\text{ст}}} \right)^{0.25}$ випливає, що шуканий комплекс фізичних властивостей

$$\text{КФВ}_{\text{експ}}^{\text{шук}} = \left[\frac{\nu_c^{0.15} \cdot \beta^{-0.15}}{\lambda_c^{0.18}} \cdot (C_c \cdot \rho_c)^{0.18} \right] \cdot \text{КФВ}_{\text{експ}}^{\text{баз}} \quad (7)$$

або

$$\text{КФВ}_{\text{експ}}^{\text{шук}} = \Pi_{\text{ФВ}} \cdot \text{КФВ}_{\text{експ}}^{\text{баз}} \quad (8)$$

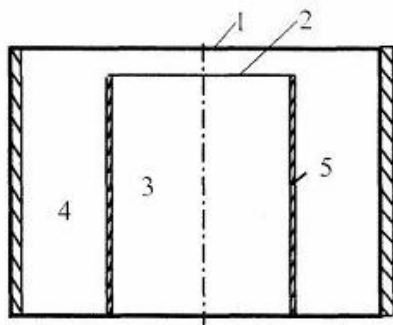


Fig. 1

Тоді структуризоване критеріальне рівняння за яким визначають коефіцієнт тепловіддачі до суміші в умовах вимушеної конвекції з в'язкісно-гравітаційним режимом

$$\alpha_{\text{вк(вг)}} = \Pi_{\text{ФВ}} \cdot \text{КФВ}_{\text{експ}}^{\text{баз}} \cdot 0.15 \cdot w^{0.33} \cdot d^{-0.37} \cdot (g \cdot \Delta t)^{0.1}, \quad (9)$$

де $\Pi_{\text{ФВ}}$ - поправка на теплофізичні властивості суміші; w - швидкість потоку, м/с; Δt - температурний напір, °C; d - діаметр каналу, м.

Поправка на теплофізичні властивості суміші ($\Pi_{\text{ФВ}}$) в даному випадку виведена на основі теплофізичних властивостей мелясної барди, соапстоку та субстрату свиней і визначається за залежністю

$$\Pi_{\text{ФВ}} = 119 \cdot (\text{КФВ}_{\text{експ}}^{\text{баз}})^{-0.6} \quad (10)$$

Емпірична залежність запропонована в літературі для визначення коефіцієнта тепловіддачі в умовах вимушеної течії субстрату ВРХ за умов ламінарної течії має вигляд

$$\alpha_{\text{вк(вг)}} = 27 \cdot \omega^5 \cdot \theta^{-0.1} (\rho \cdot w)^{0.33} d_e^{-0.37}, \quad (11)$$

де $\omega = \frac{W}{100}$ - відносна вологість; $\theta = \frac{t}{100}$ - відносна температура; d_e - еквівалентний діаметр кільцевого каналу, м; ρ - густина суміші, кг/м³.

Залежність (1.1) справедлива в таких межах: $d_e = 0.05 \dots 0.088 \text{ м}$; $W = 86 \dots 98\%$; $t_c = 25 \dots 55^\circ \text{C}$. Результати розрахунків за запропонованою нами методикою та розрахунки за емпіричною залежністю (11) наведені на Фіг.3. Дослідження проведені за температури суміші $t_c = 35^\circ \text{C}$, температурного напору між стінкою та сумішшю $\Delta t = 18^\circ \text{C}$, при цьому еквівалентний діаметр каналу $d_e = 0.05 \text{ м}$. 1, 3 - розрахунки за запропонованою методикою, швидкості $w = 0.2 \text{ м/с}$ та $w = 0.6 \text{ м/с}$ відповідно; 2, 4 - розрахунки за (11), швидкості $w = 0.2 \text{ м/с}$ та $w = 0.6 \text{ м/с}$ відповідно (див. Фіг.3).

Із Фіг.3 видно, що розбіжність між коефіцієнтами тепловіддачі визначеними за експериментально-розрахунковою методикою для суміші і за емпіричною залежністю, в основному, не перевищує 40%.

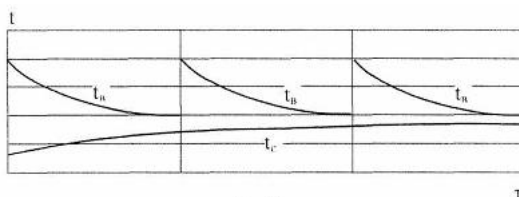


Fig. 2

