

## **МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РОБОЧИХ ПРОЦЕСІВ В ТЕПЛОТЕХНОЛОГІЧНОМУ ОБЛАДНАННІ**

Вінницький національний технічний університет

### **Анотація**

*Запропоновано вирішення проблеми визначення інтенсивності теплообміну в складних сумішах, які є робочими речовинами. Висвітлено раціональний метод визначення інтенсивності тепловіддачі в перехідному режимі руху рідини. Проаналізовано зміну фізичних властивостей рідини зі зміною температури.*

### **Ключові слова**

Інтенсивність теплообміну, складна суміш, перехідний режим, уявна в'язкість, експериментально-розрахунковий метод, ньютонівська рідина, неньютонівська рідина.

### **Abstract**

*Proposed a method that is solving the problem of determining intensity of heat transfer in complex mixtures, that are working substances. Told about a ration method for determining the intensity of heat transfer in transition regime of the flow. Analyzed some changes of physical properties when the temperature is changing.*

### **Keywords**

Intensity of heat transfer, complex mixtures, transition regime of the flow, imaginary viscosity, experimental calculation method, Newtonian fluid, non-Newtonian fluid.

### **Вступ**

Під час формування математичної моделі теплотехнологічної системи з особливою гостротою постає питання визначення інтенсивності теплообміну в складних рідких сумішах, які є реологічно нестабільні, насичені газами, схильні до розшарування тощо. З огляду на сезонність органічних відходів виникає необхідність забезпечення надійності роботи системи за умов переходу на інший тип сировини. Всі ці особливості потрібно враховувати під час складання математичних описів, моделей. Автори пропонують вирішення проблеми за рахунок багатоваріантних досліджень процесів теплообміну в сумішах у рамках експериментально-розрахункового методу (ЕРМ) визначення коефіцієнтів тепловіддачі до рідин  $\alpha$ , інформація про теплофізичні властивості яких обмежена [1-4]. Рідини можуть бути різноманітні та відноситись до різних галузей промисловості, наприклад, цілорічні відходи: тваринництво, птахівництво (гній ВРХ, МРХ, свиней, коней, пташиний послід), м'ясопереробна, рибна (відходи від переробки м'яса, риби), харчова (відходи кондитерського, молочного виробництва), побутові відходи (тверді стоки), промислові стоки (стоки від молокозаводів, забійного, рибного цехів, виробництва пива). Також є сезонні відходи: рослинництво (трава, солома, листя, лузга, енергетичні культури), харчова (відходи плодоконсервного, цукрового виробництва).

Мета досліджень – підвищення енергоекологічної ефективності теплотехнологічного обладнання (ТТО) за рахунок створення і застосування в процесі синтезу ТТО обґрунтованих математичних моделей теплообмінних процесів в складних сумішах з обмеженою інформацією про фізичні властивості.

### **Основний розділ**

На кафедрі теплоенергетики ВНТУ запропоновано і досліджено експериментально-

розрахунковий метод (ЕРМ) для визначення інтенсивності теплообміну в складних сумішах, інформація про фізичні властивості яких обмежена. Для застосування ЕРМ в розрахунках перехідного, між ламінарним і турбулентним, режиму руху складних сумішей в круглих трубах виконано таке:

- 1) Проаналізовано існуючу інформацію стосовно визначення інтенсивності теплообміну в перехідному режимі (між ламінарним і турбулентним режимами) ньютонівських рідин;
- 2) Запропоновані і досліджені методи створення умов за яких складна суміш буде поводитись як ньютонівська, методи оцінки фізичних властивостей складних сумішей в цих умовах;
- 3) Використовуючи напрацювання за пунктами 1 і 2 проведено оцінку інтенсивності теплообміну в складних сумішах для яких обмежена інформація про фізичні властивості.

Перехід від ламінарного режиму до турбулентного не є миттєвим і відбувається у певному діапазоні значень числа Рейнольдса ( $Re=(2...10) \cdot 10^3$ ) [5]. Цей діапазон називається перехідним і розрахунок інтенсивності теплообміну в ньому є складною задачею. При цьому виправданим є використання розрахункових емпіричних залежностей. На інтенсивність тепловіддачі у в'язкісно-гравітаційному режимі суттєвий вплив має вільна конвекція, так як при значенні  $Gr=10^3$ ;  $10^6$  та  $10^7$  величина  $Gr^{0.1}$  становитиме відповідно 2,4 і 5. Оцінювання усереднених за часом значень  $\alpha$  в перехідному режимі можна виконати використовуючи формулу [6]:

$$Nu=0,021Re^{0.8}Pr^{0.43}Pe_i;$$

для турбулентного режиму, якщо ввести до неї поправковий коефіцієнт  $\epsilon_n=f(Re; Gr)$  ( $\epsilon_n < 1$ ). Тоді  $\alpha_{\text{перехідний}}=\alpha_{\text{турбулентний}} \cdot \epsilon_n$ . За початок розрахунку параметрів тепловіддачі у перехідному режимі бралась в'язкісна течія [6, 7]. Ці дані добре описуються простою формулою  $\epsilon_n=1,18-1800/Re=a-b/Re$ . Вплив природної конвекції враховувався корегуванням констант  $a$  і  $b$  в залежності від  $Gr$ :  $b=1800-220 \lg Gr$ ;  $a=1+b \cdot 10^{-4}$ .

Авторами [8] запропоновано формулу для поправкового коефіцієнта до рівняння тепловіддачі при турбулентному режимі течії рідини у горизонтальних трубах, що дозволяє використовувати це рівняння і для перехідного режиму, враховуючи вплив вільної конвекції на тепловіддачу. Поправкові коефіцієнти наведені у таблиці для перехідного режиму течії і залежать від значень Грасгофа ( $Gr$ ) та Рейнольдса ( $Re$ ).

На кафедрі ТЕ [9-15] запропоновано ЕРМ для визначення  $\alpha$  за умов теплообміну в складних сумішах. Введено по аналогії з ньютонівською рідиною поняття уявної в'язкості [16]:

$$\mu_a=\tau/\gamma,$$

де  $\tau$  – дотичне напруження між шарами рідини;

$\gamma$  – швидкість зсуву.

До уваги прийнято [16, 17]: між структурою і в'язкістю дисперсійних систем існує зв'язок; «реологічні моделі, як відомо, не є фізичними законами, а являють собою емпіричні і напівемпіричні наближення, які описують криві течії в певному інтервалі швидкостей зсуву» [17]; реологічна крива тиксотропної рідини  $\mu_a=f(\gamma)$ , а отже і КФВ= $f(\gamma)$ , має два горизонтальних відрізки. Крім цих досить обґрунтованих положень виявлена суттєва залежність КФВ під час зміни температури в обмеженому діапазоні за рахунок зміни  $\mu_a$ .

Тобто при зміні температури і швидкостей зсуву із фізичних властивостей  $\rho$ ,  $C$ ,  $\lambda$ ,  $\beta$ ,  $\mu$  в найбільшій мірі змінюється  $\mu_a$  [17], яка і призводить до суттєвої зміни КФВ.  $\mu_a$  для складної суміші:

$$\mu_a=f(P, t, \gamma, \tau),$$

де  $P$  – тиск;

$t$  – температура.

На горизонтальній ділянці графіка  $\mu_a=f(\gamma)$  при  $t=\text{const}$  ньютонівська суміш поводить себе як ньютонівська рідина. Тому оцінку  $\alpha$  в складній суміші проводимо за такою схемою: визначаємо фізичні властивості  $\rho$ ,  $C$ ,  $\beta$ ,  $\mu$  при зручній для експерименту  $t$ , із КФВ за цих же умов для структурованої суміші визначаємо  $\alpha$ . Далі нехтуємо змінами  $\rho$ ,  $C$ ,  $\beta$ ,  $\lambda$ , із КФВ визначаємо  $\mu_a$  для горизонтальної ділянки залежності КФВ= $f(\gamma)$  при  $t=\text{const}$ . За умов тепер уже відомих теплофізичних властивостей визначаємо  $Re$ , а отже і режим руху. За оцінками в технологічних режимах БГУ маємо або в'язкісно-гравітаційний режим або перехідний режим ( $Re=2300...10000$ ) [18]. І за схемою [8] даємо оцінку  $\alpha$  в натурному теплообміннику з трубчастою поверхнею теплообміну.

#### Висновки

Запропоноване використання розробленого на кафедрі теплоенергетики ВНТУ експериментально-розрахункового методу для оцінки інтенсивності теплообміну в натурних

теплообмінниках з трубчастою поверхнею нагріву за умов перехідного режиму руху складних сумішей, для яких обмежена інформація про фізичні властивості, що дозволило здійснити математичне моделювання робочих процесів в теплотехнологічному обладнанні.

### Список використаної літератури

1. Наукові основи мінімізації техногенних ризиків в системах виробництва енергоносіїв з органічних відходів / Звіт з НДР82-Д-334, 2011. – 108 с.
2. Патент України на винахід № 97021, (51) МПК (2006.01) G01N 25/18. Спосіб визначення коефіцієнта тепловіддачі за умов конвективного теплообміну органічної суміші / Ткаченко С.Й., Пішеніна Н.В., Резидент Н.В; заявник і власник патенту Вінницький національний технічний університет. – № а201005661; заявл. 11.05.2010; опубл. 26.05.2011, Бюл. № 2.
3. Ткаченко С. Й. Оціночний метод визначення коефіцієнтів тепловіддачі в обладнанні теплотехнологічних систем // С.Й. Ткаченко, Т.Ю. Румянцева, Н.В. Пішеніна / Наукові праці Одеської національної академії харчових технологій. – Одеса: 2014. Вип. 45. – Том 2. – С. 16 – 20.
4. Ткаченко С. И. Исследование процессов теплообмена в реонестабильных смесях органического происхождения / С.И. Ткаченко, Н.В. Пишенина, Т.Ю. Румянцева // Инженерно-физический журнал. – Издательство Национальной академии наук Беларуси. Институт тепло- и массообмена им. А.В. Лыкова., 2014. – Том 87, №3. – С. 700 – 707.
5. Исаченко В.П. Теплопередача: учеб. для вузов / В.П. Исаченко, В.А. Осипова, А.С. Сукомел. – М.: Энергоиздат, 1981. –416 с.
6. Алабовский А.Н. Техническая термодинамика и теплопередача: учеб. пособие / А.Н. Алабовский, И.А. Недужный.– К.: Вища школа, 1990. – 255 с.
7. Теоретические основы хладотехники. Тепломассообмен: учеб. пособие / С.Н. Богданов, Н.А. Бучко, Э.Н. Гуйго и др. – М.: Агропромиздат, 1986. – 320 с.
8. Сінат-Радченко Є.Д. Тепловіддача при перехідному режимі течії рідини у горизонтальних трубах / Є.Д. Сінат-Радченко, С.М. Василенко, О.М. Недбайло // Пром. теплотехніка, 2014. – том 36, №6. – с. 46-48.
9. Ткаченко, С.Й. Нові аспекти застосування теорії подібності в теплотехнічних розрахунках систем біоконверсії [Електронний ресурс] / С.Й. Ткаченко, Н.В. Резидент // Електронний журнал Наукові праці ВНТУ. Енергетика та електротехніка. – 2009. – № 2.
10. Ткаченко, С.Й. Тепломасообмінні та гідродинамічні процеси в елементах систем біоконверсії [Текст]: моногр. / С.Й. Ткаченко, Н.В. Резидент. – Вінниця: Універсум–Вінниця, 2011. – 132 с. – ISBN 978-966-641-396-6
11. Пат. 24616 України на корисну модель, (51) МПК (2006.01) G01N25/18. Спосіб визначення коефіцієнта тепловіддачі за умов конвективного теплообміну органічної суміші / Ткаченко С.Й., Резидент Н.В; Заявник і власник патенту Вінницький національний технічний університет. – № 200701190; заявл. 05.02.07; опубл. 10.07.2007, Бюл. № 10.
12. Ткаченко, С.Й. Удосконалення експериментально-розрахункового методу [Текст] / С.Й. Ткаченко, Н.В. Пішеніна, Н.В. Резидент // Технічна теплофізика та промислова теплоенергетика : наук. зб. – 2010. – № 2. – С. 171-183. – ISSN 2077-1134
13. Ткаченко, С.Й. Застосування поняття «модельна рідина» в експериментально-розрахунковому методі // С.Й. Ткаченко, Н.В. Пішеніна // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2012. – № 3. – С. 103-110. – ISSN 1997-9266.
14. Пішеніна, Н.В. Теплообмін в складних сумішах в умовах природної конвекції / Н.В. Пішеніна // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. Науково-технічний збірник. – Вінниця: Універсум–Вінниця, 2011. – № 2. – С. 124-131.
15. Ткаченко, С.Й. Метод визначення інтенсивності теплообміну в реонестабільних сумішах / С.Й. Ткаченко, Н.В. Пішеніна // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. Науково-технічний збірник. – Вінниця: Універсум–Вінниця, 2012. – № 2. – С. 78–87.
16. Шульман З.П. Конвективный массоперенос реологически сложных жидкостей / З.П. Шульман. – М., «Энергия», 1975. – 352 с.
17. Фройштетер Г.Б. Течение и теплообмен неньютоновских жидкостей в трубах / Г.Б. Фройштетер, С.Ю. Данилевич, Н.В. Радионова // «Наукова думка», 1990. – 216 с.
18. Бердыев, О. Экспериментальное исследование теплообмена в установках по выработке биогаза: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.14.04 «промышленная теплоэнергетика»; Научно-

производственное объединение «Солнце» / Бердыев Овезмурад. – Ашхабад, 1989. – 24 с.

**Ткаченко Станіслав Йосипович**, д.т.н., професор, завідувач кафедри теплоенергетики Вінницького національного технічного університету, м. Вінниця.

**Пишенина Надія Володимирівна**, к.т.н., старший викладач кафедри теплоенергетики Вінницького національного технічного університету, м. Вінниця.

**Дишлюк Сергій Васильович**, інженер II категорії Вінницького національного технічного університету, м.Вінниця, [sergiydyshliuk@gmail.com](mailto:sergiydyshliuk@gmail.com).

**Tkachenko Stanislav Iosupovich**, doctor of engineering science, professor, chairman of department of heat engineering in the Vinnitsya national technical university, Vinnitsya.

**Pishenina Nadiya Volodumirivna**, c.t.s., senior lector of department of heat engineering in the Vinnitsya national technical university, Vinnitsya.

**Dyshliuk Sergiy Vasulyovuch**, second rank engineer in the Vinnitsya national technical university, Vinnitsya. [sergiydyshliuk@gmail.com](mailto:sergiydyshliuk@gmail.com).