

С. Й. Ткаченко
Н. В. Резидент
К. О. Іщенко

НАБЛИЖЕНІ МЕТОДИ МОДЕЛЮВАННЯ ЗА УМОВ ВИЗНАЧЕННЯ ТЕПЛООБМІНУ В НЬЮТОНІВСЬКИХ ТА НЕНЬЮТОНІВСЬКИХ РІДИНАХ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У роботі проведено аналіз методів визначення інтенсивності теплообміну у ньютонівських і неньютонівських рідинах з невизначеними теплофізичними властивостями з точки зору системного підходу.

Ключові слова: експериментально-розрахунковий метод, теплообмін, складні середовища, системний підхід, градієнт швидкості зсуву.

Abstract

In the work analyzes the methods of determining the intensity the heat transfer in Newtonian and non-Newtonian fluids with uncertain thermophysical properties from a systems perspective.

Keywords: experimental calculation method, heat transfer, complex environments, systems approach, the shear rate gradient.

Вступ

В промисловості значну частку у вартості виробленої продукції складають енергоносії, тобто вартість пов'язана з енергоефективністю технологічних процесів. Виробництво продукції в харчовій і переробній промисловості передбачає застосування складних систем, які містять теплообмінне та ємнісне обладнання. В таких виробництвах велике значення мають процеси нагрівання та інтенсифікації теплообміну в'язких сумішей, ньютонівських та неньютонівських рідин теплофізичні властивості яких невизначені [1-4]. Тому мета дослідження авторів полягає у підвищенні енергоефективності теплотехнологічного обладнання за умов проходження в ньому тепломасообмінних процесів в складних сумішах з невизначеними теплофізичними властивостями.

Прикладом складної системи, яка містить теплообмінне і ємнісне обладнання є теплотехнологічна система вироблення гліцерину-дистиляту з гліцерину-сирцю [5]. Вона складається із технологічної системи вироблення гліцерину-дистиляту (ТС), міжопераційної системи резервуарів (МСР) з гліцерином-сирцем і гліцерином-дистилятом, та системи градирень.

Дані щодо теплових і матеріальних балансів системи вироблення гліцерину-дистиляту (основне виробництво) є детермінованими. Для МСР гліцерину-сирця потрібно дотримуватись обмеження за температурою для відправлення сировини на переробку. Для МСР гліцерину-дистиляту встановлено рекомендовану температуру для вивантаження готового продукту споживачам. Градирня застосовується для зниження температурного рівня теплоносія на вході в основне виробництво. Отже, в системі є резерв теплової енергії у технологічній воді, що подається на градирню – скидна теплота. Її потрібно використати для нагрівання сировини. Невизначеність системи створюється у період, коли обсяги постачання сировини і відпуск готової продукції нерівномірні, непередбачені і неузгоджені між собою. Відповідно, якщо в системі не використати скидну теплоту, тоді потрібна потужність градирні у різних ситуаціях різко змінюється, що зменшує енергоефективність системи. В умовах невизначеностей вхідної інформації, багатоваріантності режимів постачання-відпуску сировини і готової продукції потрібно: утилізувати скидну теплоту і розвантажити градирню, мати змогу проаналізувати яку теплову потужність можна використати для організації приймання сировини, не виходячи за рамки використання скидної теплоти.

Особливість системи в тому, що за умов нерівномірного постачання на підприємство гліцерину-сирцю і за умов нерівномірного відвантаження готової продукції гліцерину-дистиляту, міжопераційна система резервуарів повинна забезпечувати рівномірну подачу гліцерину-сирцю в цех і рівномірний відбір гліцерину-дистиляту з цеху заданих параметрів.

Для організації ефективної роботи виробництва гліцерину-дистиляту потрібно знати потоки. Класичні методики базуються на складанні потоків маси і теплоти з подальшим вирішенням балансових рівнянь. Таким способом не вдалося вирішити поставлену задачу, тому авторами застосовано системний підхід. Основний загальний принцип системного підходу полягає в тому, що частини складної системи, яка досліджується, розглядаються з урахуванням їх взаємодії. Одним із основних принципів системного підходу є врахування невизначеностей та випадковостей у системі.

Проаналізувавши рівні достовірності потоків інформації, виявили, що є певна частка невизначеностей у вхідних умовах, вхідній інформації [5]. Система, що розглядається включає в себе такі потоки: вода з технології, гліцерин-сирець, гліцерин дистилят, вода після парку резервуарів, вода після градирні, втрати теплоти в навколишнє середовище. Поділ системи на підсистеми та елементи для її розрахунку дозволив отримати інформацію про потоки маси, теплоти та рівні достовірності інформації, що дало змогу визначити методи розв'язання конкретних задач. Якщо для детермінованої вхідної інформації можна застосувати традиційні методи то для нижчих рівнів достовірності інформації ймовірнісної, ймовірно-невизначеної та власне невизначеної це є неможливим.

До схемних невизначеностей додається невизначеність стосовно теплообміну. Якщо не вирішити проблеми з невизначеністю теплообміну, то система працюватиме не енергоефективно. В системі переробки гліцерину-сирцю доцільно використати тільки утилізацію скидної теплоти. При цьому металоемність теплообмінників-утилізаторів скидної теплоти має бути близькою до оптимальної.

Для розрахунку теплових балансів за традиційними залежностями ми повинні знати теплофізичні властивості рідин, які приймають участь у процесах. Гліцерин-сирець не має визначених теплофізичних властивостей [6], тому для визначення інтенсивності теплообміну застосовано експериментально-розрахунковий метод (ЕРМ) [7]. В ЕРМ прийнято, що властивості складних реонестабільних натурних сумішей при певному теплообмінному процесі можна охарактеризувати за допомогою однорідної ньютонівської рідини, яка за своїми фізичними властивостями, за впливом на інтенсивність теплообміну еквівалентна конкретній складній суміші в конкретних умовах. Для цього в ЕРМ введено поняття «частково-модельна рідина» та «модельна рідина» [8], які вибираються із переліку рідин і розчинів на водній основі, теплофізичні властивості яких достатньо вивчені.

Схема застосування ЕРМ в проектних і перевірних розрахунках теплообмінного обладнання показана в роботах [9 – 14]. Етапи ЕРМ реалізуються наступним чином. Формуються початкові дані для теплового розрахунку натурних теплообмінних установок (НТОУ) в залежності від виду розрахунку – проектний чи перевірний; умови однозначності (геометричні, витратні параметри, характерні температури, тиски). В залежності від виду конвекції в НТОУ вибираються базові експериментальні установки в ЕРМ. Проводиться багатоваріантне дослідження теплообміну зі зразком натурної суміші на базовому експериментальний стенді. Застосовуючи методи теорії подібності і бази даних по теплофізичним властивостям потенційно «модельних рідин» отримуємо оцінювальне значення коефіцієнтів тепловіддачі в НТОУ $\alpha_{\text{НТОУ}}$. Далі виконується стандартний алгоритм розрахунку НТОУ.

Крім інтенсивності теплообміну на базовому експериментальному стенді також можна виявити зміни реологічних властивостей в суміші в залежності від тепло-гідродинамічної ситуації в ній, виявити руйнування структури, області, в яких неньютонівська рідина поводить себе як ньютонівська.

На даний час експериментально-розрахунковий метод для визначення коефіцієнта тепловіддачі у рідинах із невідомими теплофізичними властивостями дає розбіжність з відомими одиночними експериментальними результатами у межах 20 – 45%.

Аналізуючи конструкцію експериментальної установки та умови проведення дослідів, автори прийшли до висновку, що для подальшого вдосконалення методу, доведення його достовірності, перевірки гіпотез і наближення експериментальних результатів до реальних експлуатаційних умов потрібно створити експериментальний стенд, в якому в моделі, тобто базовій експериментальній установці реалізуватиметься як багатомірна так і одномірна течія з одномірним градієнтом швидкості зсуву. Наприклад, одномірний градієнт швидкості зсуву може мати місце в круглих трубах трубчатих натурних теплообмінних установок, які використовуються в харчовій та переробній промисловості.

Висновки

Для розробки енергоефективного теплообмінного обладнання та ємнісного обладнання для різних видів теплової обробки в'язких харчових та технологічних продуктів потрібно мати достовірні методи визначення інтенсивності теплообміну у ньютонівських і неньютонівських рідинах з невизначеними теплофізичними властивостями.

Авторами запропоновано новий експериментально-розрахунковий метод визначення інтенсивності теплообміну у середовищах з невідомими теплофізичними властивостями. На даний час експериментально-розрахунковий метод при визначенні коефіцієнта тепловіддачі у рідинах із невідомими теплофізичними властивостями дає розбіжність з відомими одиночними експериментальними результатами у межах 20 – 45%.

Для підвищення достовірності визначення інтенсивності теплообміну у ньютонівських та неньютонівських рідинах представлено схему системного підходу для вирішення поставленої задачі. Аналіз результатів отриманих за експериментально-розрахунковим методом показав необхідність у врахуванні як руху з багатомірними так і одномірними градієнтами швидкості зсуву, що наблизить експериментальні результати до реальних експлуатаційних умов.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Николаев Б. В. Развитие научных основ интенсификации гидродинамических и тепловых процессов при обработке жиросодержащих пищевых продуктов в ёмкостном оборудовании с перемешивающими устройствами: дис. доктора. техн. наук / Б. В. Николаев – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный университет низкотемпературных и пищевых технологий, 2009. – 584 с.
2. Холланд Ф. Химическиереакторы и смесители для жидкофазных процессов / Ф. Холланд, Ф. Чапман; [пер. с англ. под ред. Ю. М. Жорова]. М.: Химия, 1974. – 208 с.
3. Фройштетер Г. Б. Течение и теплообмен неньютоновских жидкостей в трубах / Фройштетер Г.Б., Данилович С., Радионова Н. В.; Отв. ред. Никитенко Н. И.; АН УССР Ин-т техн. теплофизики; Мин. нефтеперераб. и нефтехим. пром-сти СССР. ВНИИПК - нефтехим – Киев : Наук, думка, 1990 – 216 с.
4. Уилкинсон У. Л. Неньютоновские жидкости. Гидромеханика, перемешивание и теплообмен / У. Л. Уилкинсон. [под ред. А. Л. Лыкова, перевод с английского З. П. Шульмана]. – М.: Мир, 1964 – 216с.
5. Ткаченко С. Й. Метод реалізації використання вторинної теплової енергії в системі з парком резервуарів // С. Й. Ткаченко, Н. В. Пішеніна, Дишлюк С. В. // Наукові праці ОНАХТ. – 2015. – Вип. 47. – Т.1 – С. 142–147.
6. Рахманкулов Д. Л. Физические и химические свойства глицерина / Д. Л. Рахманкулов, Б. Х. Кисманов, Р. Р. Чанышев. – М.: Химия, 2003 – 199 с.
7. 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.
8. 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.
9. Ткаченко С. Й. Ідентифікація закономірностей теплообміну за умов невизначеності вхідних даних / С. Й. Ткаченко, Н. В. Резидент // Вісник ВПІ. – 2006. – № 6. – С.142 –146.
10. Ткаченко С. Й. Нові аспекти застосування теорії подібності в теплотехнічних розрахунках систем біоконверсії [Електронний ресурс] / С. Й. Ткаченко, Н. В. Резидент // Наукові праці ВНТУ. – 2009. - №2. Режим доступу: http://www.nbu.gov.ua/old_jrn/e-journals/VNTU/2009-2/2009-2.files /uk /09sjtobs_ua.pdf
11. Ткаченко С. Й. Удосконалення експериментально-розрахункового методу / С. Й. Ткаченко, Н.В. Пішеніна, Н. В. Резидент // Вісник Дніпропетровської металургійної академії. – 2010. – № 2. – С. 171 – 183.
12. Резидент Н. В. Теплообмін в системах біоконверсії монографія / Н. В. Резидент– Вінниця: Універсум – Вінниця, 2011 – 116 с.

13. Ткаченко С. Й. Методи та засоби зниження невизначеностей оцінювання інтенсивності теплообміну в складних сумішах / С. Й. Ткаченко, Н. В. Пішеніна, Т. Ю. Румянцева // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Збірник наукових праць. Серія: Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування. Х.: НТУ «ХПІ», 2014. - №12(1055). С. 116 - 126. - ISSN 2078-774X - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/j-pdf/vcpient_2014_12_21.pdf

14. S. I. Tkachenko, N. V. Pishenina, T. Yu. Romyantseva Processes of Heat Transfer in Rheologically Unstable Mixtures of Organic Origin has now been published in the following paginated issue of Journal of Engineering Physics and Thermophysics: Volume 87, Issue 3 (2014), Page 721-728.

Ткаченко Станіслав Йосипович – д. т. н., професор, завідувач кафедри теплоенергетики.

Резидент Наталія Володимирівна – к. т. н., доцент кафедри теплоенергетики, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, E-mail: rezidentnv@mail.ru.

Іщенко Ксенія Олександрівна – аспірант кафедри теплоенергетики, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, E-mail: doc13energee@gmail.com.

Науковий керівник **Ткаченко Станіслав Йосипович** – д. т. н., професор, завідувач кафедри теплоенергетики, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, E-mail: stahit@mail.ru.

Stanislav Tkachenko – Dc. Sc., Professor, Head of the power system, Vinnytsia National Technical University. Vinnytsya, E-mail: stahit@mail.ru.

Resident Natalia - assistant professor of power engineering, Vinnytsia National Technical University. Vinnitsa, E-mail: rezidentnv@mail.ru.

Ishchenko Ksenia – graduate student of heating, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia National Technical University. Vinnytsya, E-mail: doc13energee@gmail.com.