

УДК 536.24:631.371

Н. В. Пішеніна, асп.;
С. В. Дишлюк, студ.;
С. В. Пелішенко

ПРОБЛЕМИ ТЕПЛОМАСООБМІНУ В ПРОЦЕСІ ВИРОБНИЦТВА ВІДНОВЛЮВАЛЬНОГО ПАЛЬНОГО

Визначено параметри теплообмінника для підігріву реакційної суміші та термостабілізації в реакторі переетерифікації для виробництва «Біодизелю» із застосуванням оригінального розрахунково-експериментального методу. Запропоновано базовий експериментальний стенд для проведення дослідження закономірності теплообміну до реакційної суміші.

Вступ, постановка задачі

Науково-технічне оновлення виробництва, впровадження інноваційних ресурсо- та енергозбережних, екологічно безпечних технологій є основою розвитку спиртової галузі України. Особлива увага приділяється питанню комплексного використання відходів виробництва спиртової промисловості та виробництву палива для двигунів внутрішнього згорання — «Біодизелю» з використанням вторинної сировини спиртових заводів, що є принципово іншим підходом на відміну від того, що використовується сьогодні, де основною сировинною складовою є промислові олії. Це дозволяє отримувати «Біодизель» із значно меншою собівартістю, а також вирішувати екологічні питання, що пов'язані зі зменшенням значних площ полів фільтрації, на які подається спиртова барда, що є основним відходом спиртового виробництва.

В зв'язку з актуальністю означеної проблеми в галузі нових відновлювальних джерел енергії виникає необхідність в інтенсифікації технологічних процесів синтезу «Біодизеля» реакцією переетерифікації природних жирів з використанням проточних реакторів, збільшення турбулентності процесу (використання НВЧ-випромінювання, кавітація) [1]. Це в свою чергу потребує дослідження тепло- та масопереносу і оптимізації таких процесів з можливим використанням модельних систем, що адекватно відображають ці процеси.

Реакційна суміш для отримання відновлювального пального є складною багатокомпонентною речовиною, для якої невідомі теплофізичні властивості та яка має схильність до розшарування. Відповідно до технології виробництва відновлювального пального в реакторі переетерифікації необхідно підтримувати тривалий час сталою температуру суміші ($t_{\text{сум}} = 60 \text{ }^\circ\text{C}$). Поставлена задача — розробити теплообмінник для нагріву і термостабілізації $V \text{ м}^3$ реакційної суміші.

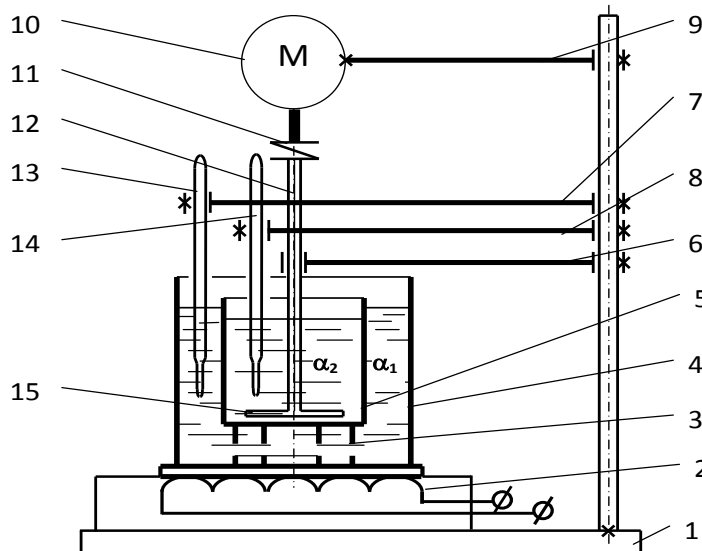
Під час проектування теплообмінного обладнання необхідно визначати коефіцієнти тепловіддачі, для чого потрібні теплофізичні властивості суміші. Застосування запропонованого нами експериментально-розрахункового методу (ЕРМ) дає можливість обчислювати інтенсивність теплообміну в сумішах без визначення теплофізичних властивостей цих сумішей, при цьому похибка розрахунків становить до 8 % [2]. Алгоритм ЕРМ передбачає проведення базового експерименту з досліджуваною рідиною.

Мета роботи — визначити принципову схему базового експериментального стенду, базові режими теплообміну, дослідити закономірність теплообміну реакційної суміші, обробити і проаналізувати результати основної серії досліджень за оригінальним експериментально-розрахунковим методом, визначити параметри теплообмінника для підігріву реакційної суміші і термостабілізації в реакторі переетерифікації.

Дослідження

Відповідно до ЕРМ [2—4] для проведення базового експерименту з метою визначення базового комплексу фізичних властивостей (КФВ₆) досліджуваної суміші розроблено експериментальний стенд [3, 4], який показаний на рисунку. Проведено оцінку умов базового режиму теплообміну в експериментальній установці — вільна конвекція біля вертикальної стінки, ламінарний режим течії приграничного шару.

Установка складається (див. рис.) з штативу 1, електротермостабілізатора 2, на якому встановлена зовнішня посудина циліндричної форми 4. Циліндрична посудина досліджуваної суміші 5 розміщена коаксіально в посудині 4 за допомогою підставки 3 таким чином, щоб між зовнішньою стінкою посудини 5 і внутрішньою стінкою посудини 4 утворився кільцевий зазор. В порожнині посудини 5 розміщений перемішувальний пристрій 15, який закріплений кронштейном 6 і приводиться в дію мотор-редуктором 10. Мотор-редуктор 10 з'єднаний з перемішувальним пристроєм муфтою 11. Термометр 13 закріплений в кільцевому зазорі за допомогою кронштейна 7. Термометр 14 встановлений у внутрішню порожнину посудини 5 за допомогою кронштейна 8. Термометри розміщено таким чином, щоб вимірювальна частина знаходилась в середній частині посудин. Діаметр та висота зовнішньої посудини дорівнює $D = 200$ мм, $H = 160$ мм, а внутрішньої посудини — $d = 98$ мм, $h = 120$ мм, товщина стінки внутрішньої посудини — $\delta_{ст} = 1$ мм.



Принципова схема експериментальної установки для проведення базового експерименту:
 1 — штатив; 2 — електротермостабілізатор; 3 — підставка; 4 — зовнішня посудина;
 5 — посудина досліджуваної суміші; 6 — кронштейн штативу для підшипника валу мішалки;
 7 — кронштейн штативу для термометра 2; 8 — кронштейн штативу для термометра 2;
 9 — кронштейн штативу для мотор-редуктора; 10 — мотор-редуктор; 11 — муфта
 з'єднувальна; 12 — вал мішалки; 13 — термометр; 14 — термометр;
 15 — перемішувальний пристрій

Геометричні параметри посудин установки підібрані таким чином, щоб забезпечити режим теплообміну між досліджуваною сумішшю і вертикальною циліндричною стінкою за умови вільної конвекції. За допомогою перемішувального пристрою 15 здійснювався режим теплообміну за умови вимушеної конвекції. Перемішувальний пристрій 15 закріплено так, щоб під час проведення експериментів за умов вільної конвекції була можливість вільного його вилучення.

Дослідження закономірностей теплообміну реакційної суміші за умови вільної конвекції біля вертикальної стінки здійснювалось за такою методикою. У внутрішню порожнину посудини 5 заливається досліджувана рідина, що нагрівається (холодний теплоносіє), а в кільцевий зазор заливається гарячий теплоносіє (вода). Вимірюється температура води та досліджуваної рідини, що нагрівається, через деякі проміжки часу. Після досягнення різниці температур між теплоносієм і рідиною в $1 \dots 2$ °С дослід закінчували. Дослідження закономірностей теплообміну в разі вимушеної конвекції здійснювалось аналогічно, але з тією відмінністю, що в проміжках часу між вимірюванням температур відбувалось інтенсивне перемішування досліджуваної суміші, колова швидкість мішалки дорівнювала $0,16$ м/с.

На експериментальному стенді проведено 8 серій дослідів. При цьому робочими (досліджуваними) рідинами були: вода, соняшникова олія, реакційна суміш. Обробка базового експерименту здійснювалась за відомою методикою [2], а результати обробки наведено в табл. 1.

Результат обробки базового експерименту (рис. 1)

№	Варіант передачі теплоти		Умови теплообміну досліджуваної суміші	Температурний перепад Δt , °С	Питомий тепловий потік, Вт/м ²	Експериментальний коефіцієнт теплопередачі $k_{\text{експ}}$ Вт/м ² К	Експериментальний коефіцієнт тепловіддачі α_2 , Вт/м ² К
	холодний теплоносії	гарячий теплоносії					
1	вода	вода	вільна конвекція	8,90	2598	292	618
2	вода	вода	вимушена конвекція	7,75	5630	363	1036
3	вода	вода	вимушена конвекція	17,00	6236	367	1023
4	вода	вода	вільна конвекція	18,10	6395	353	448
5	вода	олія	вимушена конвекція	18,50	7357	397	1081
6	вода	олія	вільна конвекція	14,50	1635	113	156
7	вода	реакційна суміш	вимушена конвекція	19,60	6977	356	587
8	вода	реакційна суміш	вільна конвекція	15,50	1923	125	167

Із табл. 1 видно, що експериментальний коефіцієнт тепловіддачі α_2 до досліджуваної рідини, що нагрівається, за вимушеної конвекції має найбільше значення для соняшникової олії, найменше значення — для реакційної суміші. У разі вільної конвекції α_2 найбільше для води, а найменше — для соняшникової олії. Це пояснюється тим, що досліджувані рідини за своїми теплофізичними властивостями відносяться до різних класів. Аналізуючи отримані значення α_2 , можна зробити висновок, що у випадку вільної конвекції закономірність теплообміну реакційної суміші більш подібна до закономірності теплообміну соняшникової олії, а у разі вимушеної конвекції такої подібності не спостерігається.

В розрахунках експериментальних коефіцієнтів тепловіддачі значення температурного перепаду (напору) Δt брались осереднені за часом і по поверхні. З використанням отриманих експериментальних коефіцієнтів тепловіддачі було визначено комплекс фізичних властивостей кожної із досліджуваних рідин в базовому режимі (КФВ_б).

Для підігріву реакційної суміші і термостабілізації в реакторі переетерифікації вибрано пластичастий теплообмінник з гофрами типу «вертикаль—нахил» [5]. Згідно з ЕРМ коефіцієнти тепловіддачі для умов, які здійснюються у вибраному теплообміннику (коефіцієнти тепловіддачі в шуканому режимі), можна визначити, використовуючи структуровані рівняння [4, 5]:

ламінарна течія для $Re < 100$

$$\alpha_{\text{лам}} = 0,59 \cdot w^{0,33} \cdot d_{\text{екв}}^{-0,67} \cdot \underbrace{(\Pi_{\text{шб}} \cdot \text{КФВ}_b)}_{\text{КФВ}_{\text{шук}}^{\text{лам}}}; \quad (1)$$

турбулентна течія для $Re \geq 100$

$$\alpha_{\text{турб}} = 0,17 \cdot w^{0,73} \cdot d_{\text{екв}}^{-0,27} \cdot \underbrace{(\Pi_{\text{шб}} \cdot \text{КФВ}_b)}_{\text{КФВ}_{\text{шук}}^{\text{турб}}} \cdot \left(\frac{Pr_p}{Pr_{\text{ст}}} \right)^{0,25}, \quad (2)$$

де (КФВ_{шук}) — комплекс фізичних властивостей рідини (суміші) в шуканому режимі теплообміну; w — визначальна швидкість, м/с; $d_{\text{екв}}$ — визначальний розмір, м; $\Pi_{\text{шб}}$ — поправка переходу із базового режиму в шуканий [2]; Pr_p — критерій Прандтля для температури рідини (суміші); $Pr_{\text{ст}}$ — критерій Прандтля для температури стінки; ν — кінематична в'язкість суміші, м²/с; λ — коефіцієнт теплопровідності суміші, Вт/(м·К); ρ — густина суміші, кг/м³; C_p — теплоємність суміші, кДж/(кг·К).

$$\text{КФВ}_{\text{шук}}^{\text{лам}} = \left\{ (C_p \cdot \rho)^{0,33} \cdot \lambda^{0,67} \right\}; \quad \text{КФВ}_{\text{шук}}^{\text{турб}} = \left\{ (C_p \cdot \rho)^{0,43} \cdot \frac{\lambda^{0,57}}{\nu^{0,3}} \right\}. \quad (3)$$

Розрахунок теплообмінника здійснювався для таких типів теплоносіїв: вода—вода, вода—реакційна суміш. Використовуючи отримане значення комплексу (КФВ_б) для соняшникової олії і

реакційної суміші, за методикою ЕРМ визначено модельну рідину [2] для реакційної суміші — м'ясна барда (з концентрацією сухих речовин 49,1 % і температурою 40 °С).

Використовуючи ТФВ вибраних модельних рідин та рівняння (1—3), виконано тепловий, гідродинамічний та конструктивний розрахунки теплообмінника для зазначених варіантів передачі теплоти. Результати розрахунків подані в табл. 2.

Таблиця 2

Результат розрахунку пластинчастого теплообмінника

Параметри теплообмінника	Варіант передачі теплоти	
	вода—вода	вода—реакційна суміш
Загальна площа теплообміну, м ²	1,5	2,5
Швидкість руху теплоносіїв, м/с	0,1	0,1
Тип пластин	гофри «вертикаль + нахил»	
Кількість пластин	9	15
Еквівалентний діаметр, м	0,00915	0,00915
Середній крок між пластинами, мм	5	5
Коефіцієнти тепловіддачі, Вт/(м ² К)	α_1	1909
	α_2	1816
Коефіцієнт теплопередачі, Вт/(м ² К)	2273	931
Температурний напір, °С	37,5	37,5
Критерій Рейнольдса	1144	119
Режим течії	турбулентний	турбулентний [5]

Висновки

1 В роботі вперше застосовано експериментально-розрахунковий метод для проектного розрахунку теплообмінного обладнання. Використання цього методу дозволило виконати теплові гідродинамічні та конструктивні розрахунки пластинчастого теплообмінника для підігріву реакційної суміші і термостабілізації реактора переетерифікації, визначити параметри елементів теплообміну за умови, що теплофізичні властивості суміші невідомі.

2. Результати розрахунків показали, що площа теплообміну для варіанта передачі теплоти вода—вода в пластинчастому теплообміннику на 40 % менша за площу теплообмінника такого ж типу для передачі теплоти від води до реакційної суміші. Режим течії обох теплоносіїв турбулентний, швидкість руху теплоносіїв 0,1 м/с. При цьому коефіцієнт теплопередачі в першому випадку в 2,4 рази більший коефіцієнта теплопередачі від гарячого теплоносія до реакційної суміші.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Черваков О. В. Способы переэтерификации жиросодержащего сырья методом алкоголиза / О. В. Черваков, Т. Г. Филинская, В. О. Копитон // Вопросы химии и химической технологии. — 2009. — № 4.
2. Ткаченко С. Й. Удосконалення експериментально-розрахункового методу / С. Й. Ткаченко, Н. В. Пішеніна, Н. В. Резидент // Збірник технічна теплофізика та промислова теплоенергетика. — 2010. — № 2. — С 171—183.
3. Резидент Н. В. Теплообмінні та гідродинамічні процеси в елементах систем біоконверсії : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук / Н. В. Резидент; ВНТУ. — Вінниця, 2009. — 22 с.
4. Патент 24616 Україна, МПК⁷ G01N25/18. Спосіб визначення коефіцієнта тепловіддачі за умов конвективного теплообміну органічної суміші / С. Й. Ткаченко, Н. В. Резидент; заявник і власник патенту Вінницький національний технічний університет. — № 200701190; заявл. 05.02.07; опубл. 10.07.2007, Бюл. № 10.
5. Коваленко Л. М. Теплообменники с интенсификацией теплоотдачи / Л. М. Коваленко, А. Ф. Глушков. — М. : Энергоатомиздат, 1986. — 240 с.

Рекомендована кафедрою теплоенергетики

Стаття надійшла до редакції 22.12.10
Рекомендована до друку 20.01.11

Пішеніна Надія Володимирівна — аспірантка кафедри теплоенергетики;

Дишлюк Сергій Васильович — студент Інституту будівництва, теплоенергетики та газопостачання.

Пелішенко Світлана Вікторівна — викладач кафедри хімії та хімічної технології.

Вінницький національний технічний університет, Вінниця