

**Висновки.** Теоретичні і експериментальні дослідження світловодного телеметричного поєднувача для подачі оптичної енергії дають змогу стверджувати, що він може бути застосований для роботи в особливо складних умовах. Покращити його параметри можна, зменшуючи послідовний опір у фотоелементах, ввівши оптоелектронний приймач, оптичне обернене зчеплення, збільшивши кількість волокон, покращавши спектральну характеристику енергетичних світловодів, застосувавши арсенід-галієві елементи і одномодовий світловод у трансмісійному поєднувачі.

1. Wojcik W., Smolarz A., *The design of an optical fibre power supplying link, Proceedings of SPIE, V. 1504. 1992. P. 292-297.* 2. Krolopp W.J., Wojcik W., *Zdalnie zasilanie swiatlowodowe lacze telemetryczne, Materialy X Krajowego Sympozjum Telekomunikacji, Bydgoszcz. 1994. S. 244-250.* 3. Miskowicz J., Wojcik W., *Telemetryczne lacze zasilane energia optyczna, Przegląd Telekomunikacji, Nr 9. 1988. S. 269-270.* 4. Kotyra A., Lach Z., Wojcik W., Zientkiewicz J., *Investigation of the Electric Supply System Based on Fibre Optic Feeder, Proceedings of the International Conference on Intermolecular Interactions in Crystalization Process and Characterization of Physical Effects in Solids, Kazimierz Dolny. 1993. P. 111-113.* 5. Krolopp W.J., Miskowicz J., Wojcik W., *Mathematical models for basic elements in an elektrooptical system designed for sparkless feeding of small-power receivers with electrical energy, Zeszyty Naukowe Politechniki Lodzkiej, Elektryka, z. 89, 1996. P. 95-124.* 6. Krolopp W.J., Wojcik W., Kotyra A., Przylucki S., Smolarz A., *The light source to optical fibre coupling, Zeszyty Naukowe Politechniki Lodzkiej, Elektryka, z. 90. 1998. P. 1.38.* 7. Wojcik W., Kotyra A., Smolarz A., *Spreganie objetojciowych zrodel swiatla ze swiatlowodami, Materialy V Konferencji „Swiatlowody i ich zastosowanie”, Bialowieza. 1998. S. 309-319.* 8. Goliaka R., Gotra O., Kalita W., Lopatynskij I., Wojcik W., *Analogowe układy mikroelektroniczne do zastosowan w urzadzeniach pomiarowych i czujnikach, Wydawnictwo Lubelskiego Towarzystwa Naukowego, – Lublin. 2000. 419 S.* 9. Вуйцік В., Голяка Р., Каліта В., Невмержицька О., Лопатинський І., *Аналогова мікросхемотехніка вимірвальних та сенсорних пристроїв / Під ред. З. Готри, Р. Голяки. – Львів. 1999.*

УДК 536.24

**Станіслав Ткаченко, Дмитро Степанов**

Вінницький державний технічний університет,  
кафедра теплоенергетики, газопостачання  
та інженерного забезпечення будівництва

## **ВПЛИВ ОРГАНІЗАЦІЇ КОНВЕКЦІЇ НА ТЕПЛООБМІН В ОБ'ЄМІ ВОДИ ТА СУСПЕНЗІЇ**

© Ткаченко Станіслав, Степанов Дмитро, 2001

**In the bioreactor the free convection does not provide intensive thermoexchange of submersed surface with suspension, washing against it. Conditions of convection organization near round horizontal tube in bulk waters and suspensions, at which one the intensity of thermoexchange increases in 1,2 – 4 times, are experimentally determined, the deposits on surface miss.**

У багатьох технологічних процесах постає питання організації теплообміну в ємкості для підтримання стабільного температурного режиму. Розглянемо особливості ефективної організації теплообміну в об'ємі середовища стосовно реактора біогазової установки (БГУ).

За даними [1, 2] в БГУ забезпечення реактора тепловою енергією є визначальним для енергетичної та економічної ефективності установки. Основні вимоги до теплообмінного

пристрою в реакторі БГУ полягають в підведенні такої кількості теплової енергії, що відповідає витратам реактора назовні, але температури стінки теплообмінника і стінки реактора мають відповідати допустимому діапазону коливань в реакторі [3].

Так, згідно з оціночними розрахунками, для реактора БГУ об'ємом  $10 \text{ м}^3$ , що працює в зимовий період в мезофільному режимі при вільній конвекції біля теплообмінної стінки необхідний змійовик з діаметром труби 32 мм і довжиною до 50 м. Встановлення поверхні таких розмірів за умови компонування її з імобілізаторами, мішалками та іншими пристроями ускладнене. У такому випадку використання інтенсивніших процесів тепловіддачі приведе до значного спрощення конструкції, компонування, монтажу та експлуатації устаткування. Слід враховувати також схильність середовища до утворення осаду на елементах устаткування, що зменшує ефективність теплообміну.

Мета роботи – визначення впливу організації конвекції біля горизонтальної круглої труби на тепловіддачу від неї до води та суспензії.

Експериментальні дослідження тепловіддачі проведені на дослідній установці, детальний опис якої наведений в [4]. В ємкості з прозорими стінками, що має розміри  $600 \times 320$  мм, на відстані 80 мм вище від дна встановлений тепловиділяючий елемент (ТВЕ) зовнішнім діаметром 25 мм, всередині якого розміщений прямий електричний нагрівник довжиною 340 мм. Навантаження контролюється лабораторним амперметром Э59 і вольтметром Щ4313. Відносна похибка вимірювання сили струму та напруги не перевищує 2,2 % і 1,1 % відповідно. Відносна похибка визначення питомого теплового потоку 2,1...4,3 %. Температури вимірюють за допомогою 15 хромель-копелевих термопар. Вимірюють термоЕРС компенсаційним методом за допомогою потенціометра Р330 і цифрового вольтметра Щ300. Температура рідини вимірюється термошупами на відстані 50 мм від осі ТВЕ і визначається як середньоарифметична величина між показаннями в трьох точках по довжині елемента. Величина температури на стінці є середньоарифметичною показів 12 термопар в стінці. Похибка вимірювання температур становить до  $0,1 \text{ }^\circ\text{C}$ , похибка визначення температурного напору – 0,68...12 %, коефіцієнта тепловіддачі – 2,78...14,5 %.

Для створення газорідного середовища на відстані 10 мм від дна ємкості встановлений барботаажний пристрій (БП) з шістьма рівномірно розташованими по довжині ТВЕ отворами діаметром 1,5 мм. На отвори повітря надходить з двох протарованих скляних посудин, звідки воно витісняється почергово з водопровідної мережі. Загальний об'єм посудин 33 літри. Температура води, якою витісняється повітря, неістотно відрізняється від температури води в ємкості з ТВЕ. Тиск в резервуарах вимірюється дифманометрами, об'ємна витрата води – за допомогою мірної лінійки та секундоміра.

В першій серії дослідів як середовище в ємкості використовувалась вода, в другій – суміш води з додаванням хлібних крихт з масовою концентрацією твердих частинок  $C = 3,5 \%$ , яку називатимемо суспензією. Результати досліджень, отримані для води, можуть бути використані як точки відліку для обробки досліджень на різних суспензіях. Крім того, вони мають самостійне значення, оскільки нам не відомі джерела з результатами відповідних досліджень.

В умовах роботи реактора без газового перемішування наведені швидкості біогазу незначні і не можуть значно вплинути на інтенсивність тепловіддачі від вбудованої теплообмінної поверхні, наприклад, змійовикового теплообмінника, до суспензії. Тому в інтервалах між перемішуваннями тепловіддача відбувається при вільній конвекції суспензії біля теплообмінної поверхні.

Напівемпіричні залежності для тепловіддачі до реологічних рідин при вільній конвекції, наведені в [5], ґрунтуються на реологічних показниках. Відповідних даних для описаної суспензії або для субстрату в реакторі БГУ не вдалося виявити. Тому для визначення впливу твердих частинок суспензії на тепловіддачу були проведені відповідні дослідження.

Діапазон зміни параметрів: питомий тепловий потік  $q = 1 \dots 17 \text{ кВт/м}^2$ , температура рідини  $t_p = 23 \dots 43 \text{ }^\circ\text{C}$ , температурний напір  $\Delta t = 1 \dots 16 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Розбіжність експериментальних та розрахункових результатів пояснюється інтегральним впливом конвекції середовища в ємкості. Детальніше це розглянуто в [4].

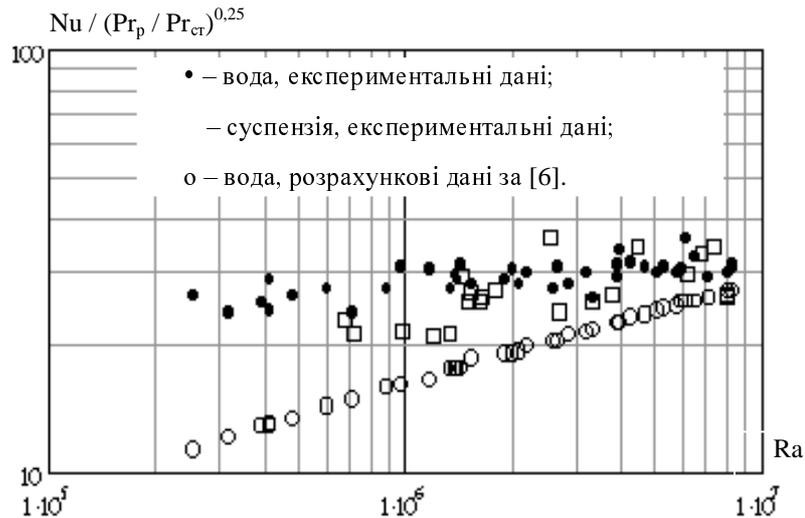


Рис. 1. Тепловіддача при вільній конвекції від стінки ТВЕ до середовища

Відповідність показників інтенсивності тепловіддачі до води та суспензії пояснюється значним розшаруванням суспензії в ємкості. Візуально відрізняються три зони за висотою ємкості. У верхній частині накопичуються легкі частинки, діаметром більше за 10 мм, ще пояснюється їх пористістю. Біля дна ємкості збирається шар осаду, що складається з частинок меншого діаметра (орієнтовно 1...10 мм). В середньому шарі об'єму утворюється суспензія з діаметром частинок менше за 1 мм.

Орієнтовне значення коефіцієнта тепловіддачі при вільній конвекції до води та до суспензії в наведеному діапазоні параметрів становить  $650 \dots 900 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{K)}$ .

Відзначимо також, що, згідно з даними [1], при теплообміні вільною конвекцією відбувається інтенсивне налипання частинок на гарячі поверхні, що зменшує інтенсивність теплообміну. Підвід газової фази викличе конвективні токи. Вони інтенсифікують тепловіддачу і зменшать можливість налипання частинок на поверхню.

Дослідження із підводом газової фази в об'єм (рис. 2) проведені при зміні основних параметрів в таких межах:  $q = 1 \dots 17 \text{ кВт/м}^2$ ,  $t_p = 22 \dots 40 \text{ }^\circ\text{C}$ , наведена швидкість газової фази, що визначається як відношення витрати газу до повздовжнього перерізу ТВЕ (для змійовикового теплообмінника – добуток діаметра трубки на довжину одного витка)  $w_T = 0,005 \dots 0,014 \text{ м/с}$ .

При дослідженнях тепловіддачі за наявності потоків газової фази далеко від теплообмінної поверхні (рис. 2, а) БП розташовувався на відстані 10 мм від дна і 130 мм по горизонталі від осі ТВЕ. А при створенні газорідного та трифазного середовища в області теплообмінної поверхні (рис. 2, б) БП встановлювався на тій самій глибині безпосередньо під ТВЕ. Для дослідження теплообміну в умовах, що наведені на рис. 2, в, встановлений

вертикальний прямокутний канал. Відстань між стінками 50 мм, довжина 500 мм, висота 200 мм. Нижній край каналу знаходиться на відстані 40 мм від дна ємкості, а верхній – на 25 мм нижче від рівня наливу. Для дослідження інтенсивності тепловіддачі при вимушеному поперечному омиванні (рис. 2, г) БП встановлений в каналі на 25 мм вище від осі ТВЕ.

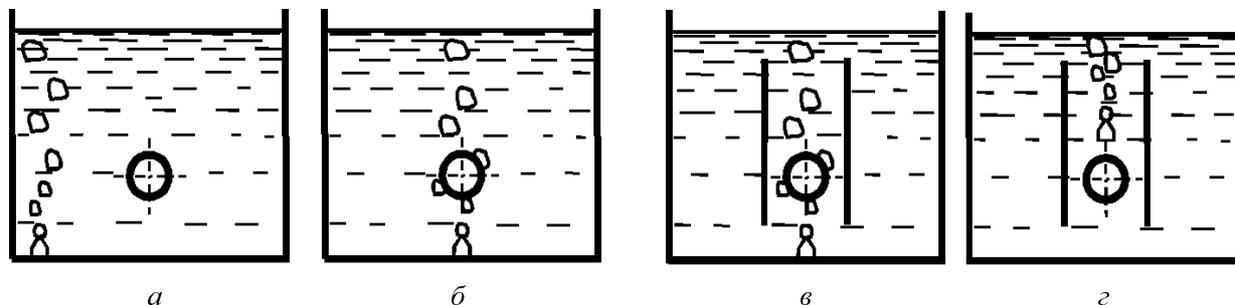


Рис. 2. Схеми варіантів організації конвекції з підводом газової фази в об'єм

Аналізуючи результати, треба відзначити, що інтенсивність тепловіддачі мало залежить від теплового потоку. Це пояснюється незначним впливом вільної конвекції. Основний фактор – інтенсивні конвективні токи, спричинені рухом бульбашок (рис. 3).

Порівняно з вільною конвекцією за наявності доволі далеко від ТВЕ потоків газової фази (рис. 2, а) тепловіддача інтенсифікується у водному середовищі в 1,7...2,0 рази.

Спрямування газових потоків на теплообмінну поверхню дає змогу, по-перше, інтенсифікувати тепловіддачу, по-друге, організувати циркуляцію субстрату біля теплообмінника із рівномірнішим прогрівом середовища в ємкості.

Орієнтовно, згідно з рис. 3, а, при підведенні газової фази в область теплообміну інтенсивність тепловіддачі зростає в 2,55 – 3,33 рази. При спрямуванні потоків газу на ТВЕ утворюються контури циркуляції середовища. Підйомні течії виникають біля теплообмінної поверхні, опускні – в області зовнішніх стінок ємкості. Присутні також течії від ТВЕ в горизонтальному напрямку, які зменшують інтенсивність омивання поверхні. Швидкість циркуляції середовища визначається перерізом, яким проходить підйомний потік. Тому встановлення ТВЕ у вертикальному каналі, де газові потоки створюватимуть природну циркуляцію, дасть змогу інтенсифікувати тепловіддачу (рис. 2, в). Результати досліджень такого варіанта показують незначне підвищення інтенсивності тепловіддачі порівняно з варіантом на рис. 2, б. Інтенсифікація тепловіддачі порівняно з вільною конвекцією становить 2,6 – 4 рази.

Теплообмінні поверхні в технологічних ємкостях, наприклад в реакторах БГУ, зазвичай встановлюють в нижній частині. Тоді підвід газової фази в область теплообміну потребує значних витрат на нагнітання газу. Але утворити інтенсивну циркуляцію середовища біля теплообмінника можливо при введенні газової фази в канал вище від нагрівальної поверхні. Незначна глибина занурення отворів дає змогу заощадити на нагнітанні газу. Але, звичайно, вимушене однофазне омивання теплообмінної поверхні в каналі при невеликій швидкості циркуляції середовища характеризується меншим показником інтенсивності тепловіддачі. Для варіанта, схема якого показана на рис. 2, г, очевидна істотна залежність тепловіддачі від швидкості газової фази. При зміні швидкості в наведеному вище діапазоні тепловіддача при вимушеному поперечному омиванні поверхні водою у вертикальному каналі інтенсивніша в 1,98 – 3,08 рази від тепловіддачі вільною конвекцією.

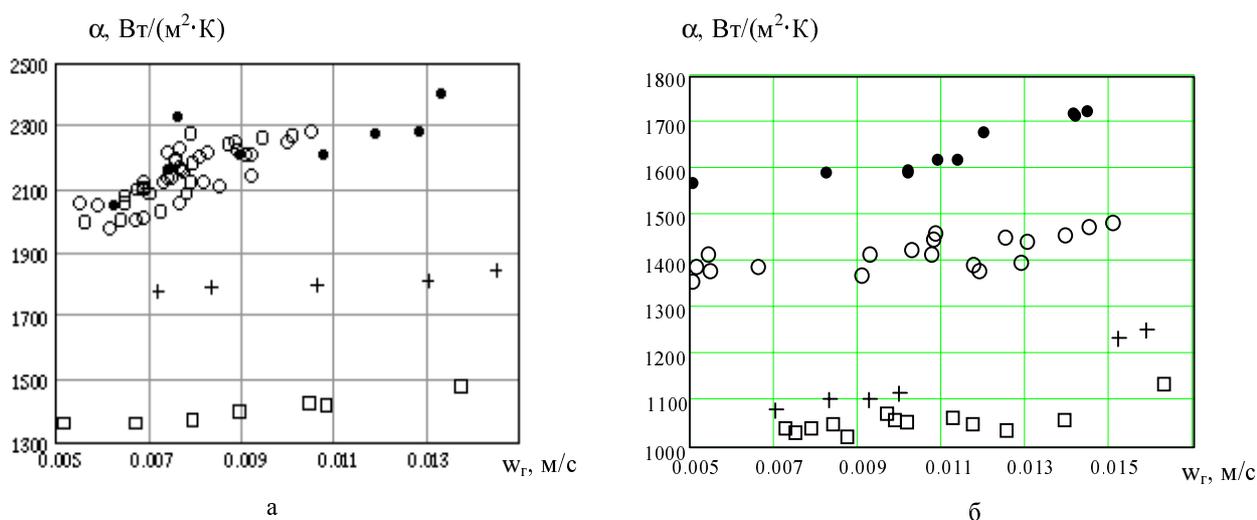


Рис. 3. Порівняння коефіцієнтів тепловіддачі від стінки ТВЕ до середовища при різних варіантах організації конвекції в об'ємі: а – як середовище вода ; б – суспензія.

Позначення: □ – варіант на рис. 2, а; ○ – рис. 2, б; ● – рис. 2, в; + – рис. 2, г

Оціночні розрахунки природної циркуляції в каналі за наведених умов дають швидкість циркуляції води при встановленні БП згідно з рис. 2, в – 0,05...0,08 м/с, а згідно з рис. 2, г – 0,03...0,06 м/с.

Інтенсифікація тепловіддачі до суспензії (рис. 3, б) при встановленні каналу порівняно з вільною конвекцією становить відповідно 1,73...2,87 раза для схеми на рис. 2, в і 1,21...2,08 раза для схеми на рис. 2, г.

Під час досліджень з варіантами, що відповідають схемам на рис. 2, а та 2, б, візуально спостерігалася відсутність налипання твердих частинок на теплообмінну поверхню. Згідно з рис. 3, б наявність потоків газової фази збільшує інтенсивність тепловіддачі порівняно з вільною конвекцією відповідно: в 1,18...1,55 раза для схеми 2, а; і в 1,66...2,3 раза для схеми 2, б.

Аналізуючи результати досліджень на рис. 3, а та 3, б, відзначимо, що коефіцієнт тепловіддачі для суспензії коливається в діапазоні 61...77 % відповідного показника для води.

Проектуючи теплообмінну поверхню в умовах, що відповідають реактору БГУ, на нашу думку, доцільно поєднати варіанти, схеми яких наведені на рис. 2, в і 2, г. Якщо змійовикову теплообмінну поверхню встановити у вертикальному каналі біля зовнішньої стінки реактора з великим кроком труб, то ефективно було б біля частини поверхні утворити трифазне середовище, а інша частина поверхні, нижче від отворів БП, буде працювати в режимі вимушеного омивання. Утворення природної циркуляції суспензії в каналі дасть змогу проводити додаткове перемішування в реакторі. Вхід теплоносія в реактор має бути у верхній частині каналу, а ділянка з найменшою температурою носія – у нижній частині. Отже, утвориться певний режим протитечії, що характеризується дещо меншою площею поверхні теплообмінника. Більш гаряча частина стінки теплообмінника (на вході в реактор) вимагає набагато більшої інтенсивності тепловіддачі для забезпечення температурних умов, описаних на початку. І саме там відбуватиметься омивання поверхні газовими потоками.

**Висновки.** Наведено результати дослідження інтенсивності тепловіддачі від круглої горизонтальної труби до води та суспензії при різних варіантах організації конвекції середовища.

Виявлено, що при підводі газової фази в об'єм інтенсифікація тепловіддачі порівняно з вільною конвекцією становить у воді 1,7 – 4 раз, у суспензії – 1,18 – 2,8 раз.

Інтенсивність тепловіддачі до суспензії в досліджуваному діапазоні параметрів становить 61...77 % відповідного показника для води.

Для організації процесу теплообміну при термостабілізації реактору БГУ запропоновано поєднання варіантів, наведених на рис. 2, в та 2, г.

1. Дубровский В.С., Виестур У.Э. *Метановое сбраживание сельскохозяйственных отходов.* – Рига. 1988. 2. Ткаченко С.Й., Степанов Д.В. *Мінімізація витрат ексергії на живлення біогазової установки енергією // Вісн. ВПІ. 2000. – № 4. – С. 50–56.* 3. Степанов Д.В. *Моделювання системи термостабілізації реактора біогазової установки // Вісн. ВПІ. 2000. – №6. – С. 25–29.* 4. Ткаченко С.Й., Степанов Д.В., Співак О.Ю. *Стабілізований теплообмін в системі: нагрівальний елемент – рідина в обмеженому об'ємі – навколишнє середовище // Вісн. ТУП. 2001. – №1. – С. 134–139.* 5. Шульман. *Конвективный теплоперенос реологически сложных жидкостей.* – М. 1975. 6. Исаченко В.П. и др. *Теплопередача: Учебник для вузов / В.П. Исаченко, В.А. Осипова, А.С. Сукомел.* –М. 1981.

УДК 621.036.2

Олена Кашина, Іван Балінський  
 НУ “Львівська політехніка”,  
 кафедра теплогазопостачання і вентиляції

## ЕФЕКТИВНІСТЬ ЕНЕРГЕТИЧНОГО РОЗДІЛЕННЯ СТИСНУТИХ ПРИРОДНОГО ГАЗУ І ПОВІТРЯ

© Кашина Олена, Балінський Іван, 2001

**Analytic dependence between values of effectiveness of energetic separation of compressed air and compressed natural gas for various pressure values, chemical consistency and correlations of the quantity heated and cool flows has been determined.**

Останнім часом значна увага звертається на використання перепаду тиску при дроселюванні на газорозподільних станціях (ГРС) для корисних потреб, зокрема виробництва електричної енергії за допомогою турбодетандерів, попереднього нагрівання газу з метою компенсації температурного ефекту Джоуля-Томсона за допомогою енергетичних роздільників (вихрових труб). Реалізовані раніше розробки для діючої ГРС [1, 2] не дають можливостей узагальнити їх для інших випадків застосування енергетичного роздільника, тому що неможливо повністю виконати дослідження на об'єктах газотранспортної системи. Такі дослідження можна провести на стисненому повітрі при менших значеннях тисків із наближенням результатів для природного газу. Сьогодні немає також даних стосовно ефективності енергетичного розділення природного газу з різним компонентним складом.

Метою роботи є встановлення аналітичної залежності енергетичного розділення сухого стисненого природного газу різного компонентного складу та повітря методами