

**КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ УТВОРЕННЯ ЗАБРУДНЕНЬ
НА ПОВЕРХНІ ТЕПЛОПЕРЕДАЧІ ПЛАСТИНЧАСТОГО
ТЕПЛООБМІННИКА**

Арсеньєва О. П., ТОВАЖНЯНСЬКИЙ Л. Л., КАПУСТЕНКО П. О., МАЦЕГОРА О. І.

**КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОБРАЗОВАНИЯ
ЗАГРЯЗНЕНИЙ НА ПОВЕРХНОСТИ ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ ПЛАСТИНЧАТОГО
ТЕПЛООБМЕННИКА**

Арсеньева О. П., Товажнянский Л. Л., Капустенко П. О., Мацегора О. И.

**COMPUTER MODELING OF THE PROCESS OF FOULING FORMATION ON
HEAT TRANSFER SURFACE OF PLATE HEAT EXCHANGER**

Arsenyeva O., Tovazhnyansky L., Kapustenko P., Matsegora O.

**Національний Технічний Університет
«Харківський Політехнічний Інститут»
Харків, Україна
kap@kpi.kharkov.ua**

Наведено математичну модель пластинчастого теплообмінника (ПТО) при утворенні забруднень на поверхні пластин. Модель представлена системою рівнянь в приватних похідних, інтегрування якої дозволяє оцінити локальні параметри процесу і розрахувати зміну місцевих значень товщини шару забруднюючої речовини в часі. Адекватність моделі підтверджена даними роботи ПТО в промислових умовах.

Ключові слова: математична модель, пластинчастий теплообмінник, теплопередача, коефіцієнт теплопередачі, коефіцієнти тепловіддачі

Приведена математическая модель пластинчатого теплообменника (ПТО) при образовании загрязнений на поверхности пластин. Модель представлена системой уравнений в частных производных, интегрирование которой позволяет оценить локальные параметры процесса и рассчитать изменение местных значений толщины слоя загрязняющего во времени. Адекватность модели подтверждена данными работы ПТО в промышленных условиях.

Ключевые слова: математическая модель, пластинчатый теплообменник, теплопередача, коэффициент теплопередачи, коэффициенты теплоотдачи

A mathematical model of Plate Heat Exchanger (PHE) is given for the fouling formation on the surface of the plates. The model is represented by the system of partial differential equations. The system integration allows estimate local process parameters and to calculate the development in time of deposited fouling layer thickness. The model validity is confirmed by data of PHE operation in industrial conditions.

Keywords: mathematical model, plate heat exchanger, heat transfer, heat transfer coefficient, heat transfer coefficients

Ефективна рекуперація тепла з використанням сучасного теплообмінного обладнання надзвичайно важлива для економії енергії, зниження забруднення навколишнього середовища і оптимізації використання енергії з метою скорочення споживання викопного палива і зменшення небезпечних викидів двоокису вуглецю, парникових газів та інших небезпечних для довкілля речовин [1]. Явища забруднення можуть значно погіршити інтенсивність процесу теплопередачі і продуктивність теплообмінника за рахунок створення додаткового термічного опору шару забруднення. Консервативна оцінка втрат від забруднення теплообмінного обладнання дозволяє зробити висновок, що додаткові витрати через забруднення в промислово розвинених країнах становлять близько 0,25% від валового внутрішнього продукту (ВВП). Забруднення також є причиною близько 2,5% загальних еквівалентних антропогенних викидів вуглекислого газу. Одним з ефективних способів зменшення забруднення є використання інтенсифікованих поверхонь теплопередачі, наприклад, спеціально профільованих труб або пластинчастих теплообмінників (ПТО) [2]. ПТО є одним з найбільш ефективних типів теплообмінників з поліпшеною теплопередачею [1]. У таких компактних теплообмінниках з високими коефіцієнтами тепловіддачі і вузькими каналами велике значення має прогнозування утворення забруднень.

Утворення відкладення на поверхнях теплообміну визначається цілою низкою чинників, серед яких одним з найбільш важливих є температура. Температура теплоносія і температура поверхні, на якій утворюється шар забруднення, дуже впливають на швидкість осадження забруднень. Це призводить до значних розбіжностей в інтенсивності осадженні забруднень по поверхні теплообміну і суттєво впливає на розподіл загальних коефіцієнтів теплопередачі і характеристик втрат тиску в каналі. Іншим важливим фактором, що впливає на процес відкладення забруднень, є дотичне напруження зсуву на поверхні теплообміну. Температура рідини і її кордони також змінюється уздовж поверхні теплообміну зі зміною термічного опору відкладення. Це призводить до значних розбіжностей в швидкості утворення відкладення і його товщині по поверхні теплообміну. В таких умовах припущення про сталість загального коефіцієнта теплопередачі не виконується, і фактичні різниці температур між гарячими і холодними потоками можуть істотно відрізнятися від розрахованих для середньої логарифмічної різниці температур. Розрахунки теплообмінників з використанням усереднених коефіцієнта теплопередачі і падіння тиску не дозволяють врахувати ці явища і можуть привести до значних розбіжностей в оцінці площі поверхні теплообміну, необхідної для підтримки заданих умов процесу. У цьому дослідженні запропонована математична модель, що враховує локальний розподіл забруднень уздовж поверхні теплообміну каналів ПТО.

Математична модель ПТО розроблена на основі наступних припущень:

1. ПТО має один хід з протитечією для обох потоків.
2. Характеристики для всіх каналів одного з потоків однакові.
3. Тепловими втратами в навколишнє середовище можна знехтувати.
4. Параметри процесу змінюються лише по довжині каналу.
5. Тепловим опором забруднень на стороні гарячого потоку можна знехтувати.

Наведено математичну модель ПТО з забрудненням на поверхні теплообміну. Модель враховує зміну параметрів процесу по довжині каналу і в часі з розвитком шару забруднень. Це дозволяє більш точно прогнозувати поведінку ПТО, схильного до забруднення, в порівнянні з моделлю, заснованою на середніх параметрах процесу, особливо в умовах, коли температура потоку значно змінюється між входом і виходом ПТО.

Запропоновано математичну модель теплообміну в ПТО при роботі із середовищами схильними до утворення забруднень. Модель представлена системою рівнянь в приватних похідних, інтегрування якої дозволяє оцінити локальні параметри теплообмінних потоків і розрахувати локальні значення товщини шару забруднюючої речовини в часі. Для вирішення системи використаний чисельний метод кінцевих різниць, реалізований на комп'ютері. Модель включає в себе чотири емпіричних параметра, які можуть бути ідентифіковані з використанням даних моніторингу теплових характеристик ПТО, який працює з конкретними забруднюючими середовищами. За допомогою цих параметрів модель може бути використана для імітації теплових характеристик ПТО, які працюють з конкретним теплоносієм, і для аналізу впливу на теплові характеристики ПТО геометрії гофрування пластин, температурної програми і швидкості потоку в каналах. Як показують два приклади промислової експлуатації ПТО з даними наведеними в літературі [3], для забруднень типу накипу карбонату кальцію і осадження твердих частинок тільки два параметри повинні бути ідентифіковані, а інші два можуть бути залишені без зміни. Модель передбачає зміну швидкості потоку уздовж каналу. Це може бути важливо для розрахунку збільшення падіння тиску в ПТО при забрудненнях, що вимагає подальшого розвитку і експериментального підтвердження моделі у цьому напрямку.

Література

1. *Klemeš J. J., Arsenyeva O., Kapustenko P., Tovazhnyanskyy L., 2015. Compact Heat Exchangers for Energy Transfer Intensification: Low Grade Heat and Fouling Mitigation. CRC Press, Boca Raton, FL, USA.*
2. *Crittenden B. D., Yang M., Dong L., Hanson R., Jones J., Kundu K., Klochok E., Arsenyeva O., Kapustenko, P., 2015. Crystallization Fouling With Enhanced Heat Transfer Surfaces. Heat Transfer Engineering, 36(7-8), 741-749.*
3. *Demirskiy O. V., Kapustenko P. O., Arsenyeva O. P., Matsegora O. I., Pugach Y. A., 2018. Prediction of fouling tendency in PHE by data of on-site monitoring. Case study at sugar factory. Applied Thermal Engineering, 128, 1074-1081.*