

ЕФЕКТИВНИЙ ПОВЕРХНЕВИЙ ТЕПЛООБМІННИК ДЛЯ КОМБІНОВАНОГО УДАРНО-ПІННОГО АПАРАТУ

Київський національний університет будівництва і архітектури, Україна

Робота сфокусована на чисельному аналізі процесів гідрогазодинаміки теплопередачі та теплообміну в ударно-пінному апараті та визначенні оптимальних геометричних характеристик поверхневих теплообмінників, що розміщені в пінному шарі для оптимізації процесів теплопередачі від поверхні теплообмінника до шару піни.

Постановка проблеми. Проблема мікроклімату в приміщеннях для зберігання музейних експонатів є комплексною задачею. Особливо гостро стоїть питання забезпечення і підтримання параметрів мікроклімату при переміщенні музейних експонатів та у приміщеннях, що характеризуються невеликими об'ємами, зі складним плануванням та мають особливі вимоги до параметрів мікроклімату, а саме, приміщення дезінфекції, дезінсекції, ізоляторні, науково-дослідні тощо [1]. Для зазначених приміщень нами розроблений комбінований ударно-пінний апарат з блоком термоелектричних модулів, який є компактним, легким, мобільним, а також виконує функції центрального кондиціонера [2]. Особливістю апарату є те, що в ньому створюється шар динамічної піни в якому розташовані поверхневі теплообмінники, конструкція яких обумовлена особливостями гідродинамічної обстановки в робочому просторі апарату.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Тепловіддачу від поверхонь, які занурені в газорідинну систему, вивчали багато дослідників [3, 4]. Всі автори відмічали той факт, що при введенні газу в шар рідини, в якому знаходиться теплообмінний елемент, значення коефіцієнта тепловіддачі від рідини до цього елемента (або в протилежному напрямку) різко зростає. Аналіз експериментальних даних пінних апаратів з розміщеними всередині поверхневими теплообмінниками, показали, що вирішальний вплив на процес теплообміну в пінному потоці мають гідродинамічні умови, а саме, висота пінного шару та швидкість повітря в перерізі апарату. В переважній більшості цих робіт були дослідженні теплообмінники з проміжним холодоносієм. Проте, їхні габаритні та вагові характеристики не дозволяють використати їх в розробленому апараті.

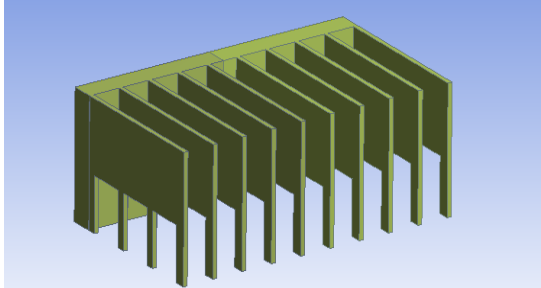
Формулювання цілей та завдання статті. Якісне і кількісне дослідження впливу конструктивних особливостей поверхневих теплообмінників на гідрогазодинаміку та процеси тепловіддачі та теплообміну між водою і повітрям та визначенні їх оптимальних геометричних характеристик.

Основна частина. Конструкція теплообмінників зумовлена особливістю гідрогазодинаміки пінного шару, а також вимогами до компактності та вагових характеристик апарату. Вони виконані у вигляді лінійно розміщених рядів пластин, з П-подібними пазами в нижній частині. Пази створені для зменшення опору тепловому потоку від ребер до водоповітряної суміші, та для запобігання поздовжнім коливанням пінного шару, при високих швидкостях повітря, турбулізації та інтенсифікації тепловіддачі від ребер радіаторів до водоповітряної суміші.

Вирішення задачі було здійснено з допомогою програмно-розрахункового комплексу ANSYS FLUENT 14.5. Дослідження проводилось із застосуванням математичного методу планування експерименту. Був реалізований ПФЕ 2³. В якості конструктивних факторів, що впливають на інтенсифікацію процесів теплообміну в даному дослідженні прийнято варіювати висоту ребер, висоту та ширину пазів, решта факторів приймалися сталими. Технологічні параметри: швидкість повітря в перерізі апарату, статичний рівень води, витрата підживлюваної води та температура джерела тепла чи холоду радіаторів були прийняті з результатів попередніх досліджень оптимального режиму роботи апарату. Геометричні характеристики одного з досліджуваних радіаторів вказані в таблиці 1.

Таблиця 1

Геометричні характеристики радіатора

№	Розміри, мм		3D вид
1	Висота ребра	35	
	Довжина ребра	52	
	Висота пазів	15	
	Ширина пазів	13	
	Товщина ребер	1,5	
	Крок ребер	10	
	Товщина основи	8	

Розглянута задача описується за допомогою моделі Ейлера для багатофазного потоку. Багатофазна модель Ейлера дозволяє моделювати декілька взаємодіючих фаз, припускаючи, що кожна фаза веде себе як взаємнопроникне суцільне середовище. Рух кожної фази регулюється відповідними рівняннями нерозривності, збереження імпульсу та енергії. Описана система рівнянь доповнена рівняннями переносу субстанції для кінетичної енергії турбулентності і швидкості її дисипації, що виражені за допомогою модифікованої k-ε моделі турбулентності для кожної фази [5, 6].

Рівняння нерозривності:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\alpha_k \rho_k) + \nabla \cdot (\alpha_k \rho_k \mathbf{v}_k) = (m'_{gk} - m'_{kg}), \quad (1)$$

де α_k - об'ємна частка фази k; ρ_k - густина фази k; \mathbf{v}_k - швидкість фази k; m'_{gk} - характеризує масо передачу від фази g до фази k; m'_{kg} - характеризує масо передачу від фази k до фази g.

Рівняння збереження кількості руху:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\alpha_k \rho_k v_k) + \nabla \cdot (\alpha_k \rho_k v_k v_k) = -\alpha_k \nabla P + \nabla \bar{\tau}_k + \alpha_k \rho_k \bar{g} + \bar{R}_{kg} + m'_{gk} \bar{v}_{gk} - m'_{kg} \bar{v}_{kg}, \quad (2)$$

де P - тиск загальний для всіх фаз, \bar{R}_{kg} та \bar{R}_{gk} - члени рівнянь які представляють міжфазову передачу імпульсу для рідини та газу відповідно; \bar{v}_{gk} - інтерфазна швидкість. $\bar{\tau}_k$ - напружено-деформований тензор.

Рівняння збереження енергії:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\alpha_k \rho_k h_k) + \nabla \cdot (\alpha_k v_k \rho_k h_k) = -\alpha_k \frac{\partial P}{\partial t} + \bar{\tau}_k \nabla v_k + \nabla \bar{q}_k + (Q_{gk} + m'_{gk} h_{gk} - m'_{kg} h_{kg}), \quad (3)$$

де h_k - питома ентальпія рідкої фази; Q_{gk} - інтенсивність теплообміну між водою та повітрям; h_{gk} - міжфазова ентальпія.

Прототип був розроблений, щоб працювати в умовах номінальної витрати 40 м³/год для повітря та 0,43 л/год для підживлюваної води. Нами була створена геометрична модель ударно-пінного апарату (рис.1) за допомогою ANSYS Design modeler. В Mesh modeler сформована сітка методом CutCell з структуризованих тетраедральних елементів. Щоб спростити тривимірну модель було прийняте припущення, що процеси в апараті відбуваються симетрично, у зв'язку з даним припущенням розглядалась половина апарату.

Була розрахована нестационарна задача другого порядку в неявному формулюванні. Використана схема рішення заснована на матричному алгоритмі сумісного рішення основних рівнянь (phase coupled SIMPLE) методом корекції тиску (pressure-based solver), який використовує поєднання фаз напівнеявним методом для енергетичних рівнянь лінії зв'язку тиску зв'язаним алгоритмом тиск-швидкість [7].

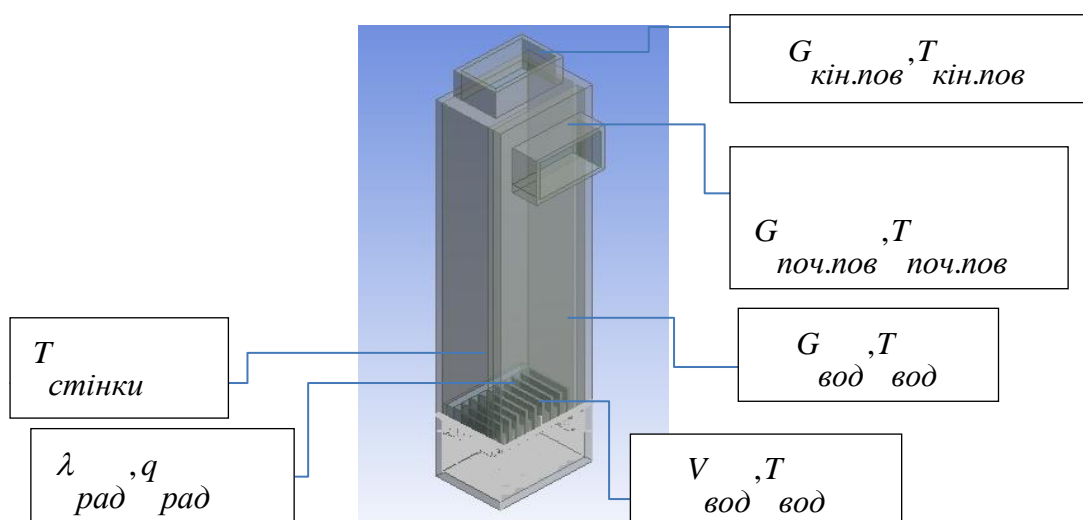


Рис. 1. Розрахункова схема компактного ударно-пінного апарату

Результати моделювання: в ході досліджень було виявлено, що висота ребер теплообмінника залежить від продуктивності по повітрю та типорозміру

апарату. Якщо висота ребер теплообмінника є більшою половини ширини корпусу апарату, утворюються високі поздовжні канали, що перешкоджають ефективному поперечному перемішуванню водоповітряної суміші, збільшенню аеродинамічного опору пристрою та зменшенню висоти пінного шару. При зменшенні висоти ребра радіатора від 60 мм до 35 мм, коефіцієнт теплопередачі збільшується від $5,8 \text{ кВт/м}^2\text{год}^0\text{С}$ до $8 \text{ кВт/м}^2\text{год}^0\text{С}$ тобто в 1.3 рази.

Збільшення розмірів П-подібних пазів по відношенню до ребер теплообмінника, зменшує градієнт температур вздовж ребер, а також сприяє створенню додаткових вихорів чим збільшує висоту пінного шару, коефіцієнт тепловіддачі ребер, внаслідок турбулізації рідини навколо теплообмінного елемента і частковому руйнуванню ламінарного пограничного шару рідини на поверхні теплообмінного елемента рис.2. При збільшенні висоти пазів від 15 мм до 30мм, коефіцієнт теплопередачі змінюється в межах від $5,2 \text{ кВт/м}^2\text{год}^0\text{С}$ до $8,6 \text{ кВт/м}^2\text{год}^0\text{С}$, збільшення складає 40%.

При збільшенні ширини пазів від 5мм до 13мм, коефіцієнт теплопередачі збільшується вдвічі, від $4,6 \text{ кВт/м}^2\text{год}^0\text{С}$ до $9,1 \text{ кВт/м}^2\text{год}^0\text{С}$. При $l \geq 0,3L$ відбувається перетікання води без ефективного змішування водоповітряної суміші. Зменшення розмірів П-подібних пазів до $l \leq 0,1L$, призводить до незначного збільшення теплообмінної поверхні, про те разом з тим збільшується аеродинамічний опір.

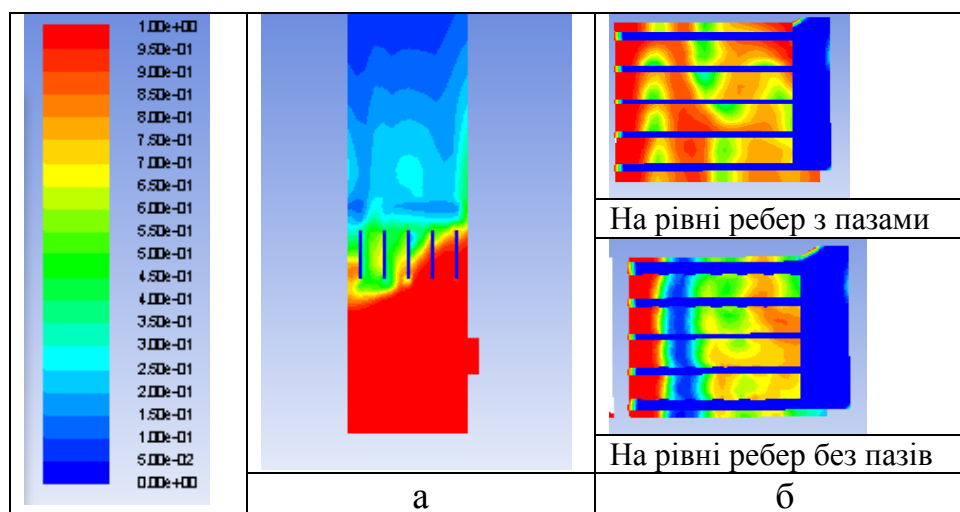


Рис. 2. Контурне зображення об'ємної частки газу в рідині та завихреності потоків при швидкості в перерізі апарату 3 м/с та статичному рівні рідини 20 мм а – в поздовжньому перерізі апарату; б – в поперечному перерізі апарату

Висновки.

1. Результати моделювання дозволили виявити вплив конструкції радіаторів на гідродинамічний режим роботи комбінованого ударно-пінного апарату та на інтенсивність теплопередачі від радіатора до водоповітряного потоку.

2. Турбулізація водоповітряної суміші, її ефективне перемішування та збільшення коефіцієнту тепловіддачі від радіаторів до піни (або в

протилежному напрямку) спостерігається при висоті ребер радіатора $35 \geq H \geq 40$ мм, та розмірах пазів $25 \geq h \geq 30$ мм, $10 \geq l \geq 13$ мм.

3. Розроблений поверхневий теплообмінник дає можливість підвищити ефективність роботи пристрою шляхом інтенсифікації процесів теплообміну та розширити область його застосування за рахунок зменшення ваги та габаритів апарату.

Література

1. Технические нормативы /Рекомендации по проектированию музеев/ М: Стройиздат, 1988.

2. Пат. №101290 України МПК F24F 3/Пристрій для тепловологісної обробки повітря/ Довгалюк В.Б., Шадура І.В.заяв. 12.06.12, опубл. 11.03.13, Бюл. № 5/2013.

3. Мерчанский В.Д. Бахенский В.А. О наружном теплообмене в пенно-испарительном воздухоохладителе/ Холодильная техника, 1986, №3, с. 38-41.

4. Мухленов И.П. Пенный режим и пенные аппараты/ Мухленов И.П., Тарат Э.Я., Туболкин А.Р., Тумаркина Е.С. - Л. : Химия, 1977. 303 с.

5. Sokolichin A., Eigenberger, G. /Applicability of the standard k-ε turbulence model to the dynamic simulation of bubble columns/: Part I. Detailed numerical simulations/ Chemical Engineering Science, 1999, № 54, p. 2273–2284.

6. Sokolichin A. a. E. G., /Gas-liquid flow in bubble columns and loop reactors/: Part I. Detailed modelling and numerical simulation, 49(24, Part 2) /Chemical Engineering Science, 1994, p. 5735 – 5746.

ЭФФЕКТИВНЫЙ ПОВЕРХНОСТНЫЙ ТЕПЛООБМЕННИК ДЛЯ КОМБИНИРОВАННОГО УДАРНО-ПЕННОГО АППАРАТА

В. Б. Довгалюк, И. В. Чабан

Работа сфокусирована на численном анализе процессов гидрогазодинамики, теплопередачи и теплообмена в комбинированном ударно-пенном аппарате и определении оптимальных геометрических характеристик поверхностных теплообменников, размещенных в пенном слое для оптимизации процессов теплопередачи от поверхности теплообменника к слою пены.

EFFECTIVE SURFACE HEAT EXCHANGER FOR COMBINED SHOCK-FOAM-TYPE AIR-HANDLING UNIT

V. Dovgalyuk, I. Chaban

The work focuses on the numerical analysis of fluid dynamics processes, heat transfer and heat exchange in combined shock-foam-type air-handling unit and determining the optimal geometric characteristics of the surface heat exchangers, which disposed in the foam layer to optimize the processes of heat transfer from the heat exchanger surface to foam layer.