

МОДЕЛЮВАННЯ РУХУ ЗАБРУДНЕНОГО ПОТОКУ ГАЗУ В АПАРАТАХ МОКРОГО ТИПУ ПИЛОВЛОВЛЮВАННЯ НА ПРИКЛАДІ ПОРОЖНИСТОГО ФОРСУНКОВОГО СКРУБЕРА

О. С. Рижков, канд. техн. наук, доцент;
Р. С. Рижков, аспірант;
Ю. В. Качанова, магістр

Національний університет кораблебудування, м. Миколаїв

Анотація. Виконано теоретичний розрахунок гідродинамічних характеристик забрудненого потоку газу на прикладі моделювання в апараті мокрого типу пиловловлювання, а саме порожнистого форсункового скрубера. Розрахунок направлений на виявлення найбільш і найменш активної гідродинамічної зони, що дасть можливість зробити висновки щодо вдосконалення даного обладнання та доцільності встановлення такого газоочисного апарата для суднового двигуна.

Ключові слова: гідродинаміка, теоретичні розрахунки, забруднений потік газу, скрубберне очищення, дисперсна фаза.

Аннотация. Выполнен теоретический расчет гидродинамических характеристик загрязненного потока газа на примере моделирования в аппарате мокрого типа пылеулавливания, а именно полого форсуночного скруббера. Расчет направлен на выявление наиболее и наименее активной гидродинамической зоны, что позволит сделать выводы относительно усовершенствования данного оборудования и целесообразности установления такого газоочистительного аппарата для судового двигателя.

Ключевые слова: гидродинамика, теоретические расчеты, загрязненный поток газа, скрубберная очистка, дисперсная фаза.

Abstract. The theoretical calculation of hydrodynamic characteristics of the contaminated gas flow has been done on the example of the wet dusting type machine, namely, the jet atomizing scrubber. The calculation is aimed at identifying of the most and the least active hydrodynamic zone, which will allow to draw the conclusions about the improvement of that equipment and the feasibility of such a gas-cleaning device installation for the marine engine.

Keywords: hydrodynamics, theoretical calculations, contaminated gas flow, scrubbing, disperse phase.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Останніми роками спостерігається підвищений інтерес до вивчення процесів гідродинаміки і тепломасопереносу в дисперсних двофазних газових середовищах. Як відомо, газові потоки характеризуються різноманітним форм руху, обміну енергією і масою. Робочі тіла теплових двигунів, що працюють за газовими, та паровим циклами, по суті є дисперсними двофазними газовими середовищами [6]. Формування газових робочих середовищ відбувається на початковій стадії робочих процесів безпосередньо в камерах згоряння при дисперсії палива, а потім у ході складних ланцюгових реакцій горіння з виникненням твердого вуглецю. У паротурбінних установках двофазні робочі середовища утворюються при розширенні пари в останніх ступенях турбін. У складі робочого тіла на виході з двигуна (випускних газів) знаходяться тверді частинки різної природи. Це свідчить про те, що випускні гази також належать до дисперсних двофазних середовищ [2].

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Останнім часом певних успіхів досягнуто у створенні газоочисного обладнання для енергетичних

установок. У багатьох роботах відзначається ефективність використання води як нейтралізатора з подачею її в зони горіння у складі паливо-водяної емульсії, у вигляді пари. Одночасно робляться спроби очищення випускних газів від оксидів азоту за допомогою селективних каталітичних фільтрів з попередньою обробкою газів аміаком. При досить високому ступені очищення такі фільтри дорогі, мають значні масогабаритні показники, складні і небезпечні в експлуатації використання аміаку. У роботі [3] підтверджено ефективність інтенсифікації очищення вискодисперсних частинок за рахунок сил термофорезу, які проявляються при русі дисперсних двофазних середовищ у неізотермічних умовах в каналах або при обтіканні поверхонь осадження.

Рух потоків у реальних газоочисниках, де мають місце значні градієнти швидкостей і концентрацій у поздовжньому і поперечному напрямках, описується еліптичними диференціальними рівняннями, які розв'язуються скінченно-різницею методом [1]. Моделі розроблені Сполдінгом, дозволяють виконувати розрахунки високотурбулентних потоків. Широко відомі роботи інституту технічної теплофізики Національної академії наук України, Центрального котлотурбінного інституту ім. І.І. Ползунова (Росія),

Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова та ін. Для практичних застосувань найбільш ефективними вважають методи, які ґрунтуються на усередненні системи рівнянь у частинних похідних, що описують універсальні закони збереження маси, енергії, імпульсу в турбулентній системі [5].

Ця система повинна бути доповнена рівняннями стану і зв'язку параметрів, а також початковими і граничними умовами. Найбільший прорив у цьому напрямку відбувся у зв'язку з розробкою сучасних пакетів прикладних програм типу FLUENT, які дозволили числовим методом розв'язувати складні практичні задачі гідродинаміки аерозольних середовищ [4].

МЕТА РОБОТИ – реалізація та вдосконалення нового підходу до покращення газоочисних пристроїв на основі моделювання і розрахунку робочих гідродинамічних процесів, а також створення на базі отриманих результатів високоефективних газоочисних пристроїв.

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Результати досліджень. Розрахунки гідродинамічних характеристик забрудненого потоку газу здійснювалися за допомогою сучасного пакета прикладних програм FLUENT на ЕОМ. Якість результатів, одержуваних на основі проведення обчислю-

вального експерименту, безпосередньо залежить від якості побудованої розрахункової сітки. Методика дослідження нового підходу в створенні та вдосконаленні газоочисних пристроїв на основі моделювання і розрахунку робочих гідродинамічних процесів проводилася на основі системного підходу.

Результати розрахунків. Для розрахунків гідродинамічних задач було розроблено сітку, побудовану в програмі GAMBIT. Ця програма дозволяє швидко створювати та обробляти геометрії досліджуваних процесів і має єдиний інтерфейс для розробки геометричних моделей та побудови сітки. Крім того, програма FLUENT краще підтримує сітки, генеровані саме в GAMBIT.

При моделюванні процесів використана рівномірна двовимірна різницєва сітка в декартовій системі координат (крок зміни по осях x та y відповідно дорівнює 0,25 і 0,10 мм, ширина сопла – 10 мм).

Початковими і граничними умовами для створення розрахункової сітки є розміри географічного об'єкта на основі їх масштабного моделювання. Розмір сітки варіювався відповідно за геометрією проєктованого об'єкта, а побудова здійснювалася методами прямокутного розбивання пристінного шару і трикутного сегментування. Площа прямокутних сегментів не перевищувала $S = 25 \cdot 10^{-10} \text{ м}^2$, площа трикутних сегментів не перевищувала $S = 25 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2$ (рис. 1).

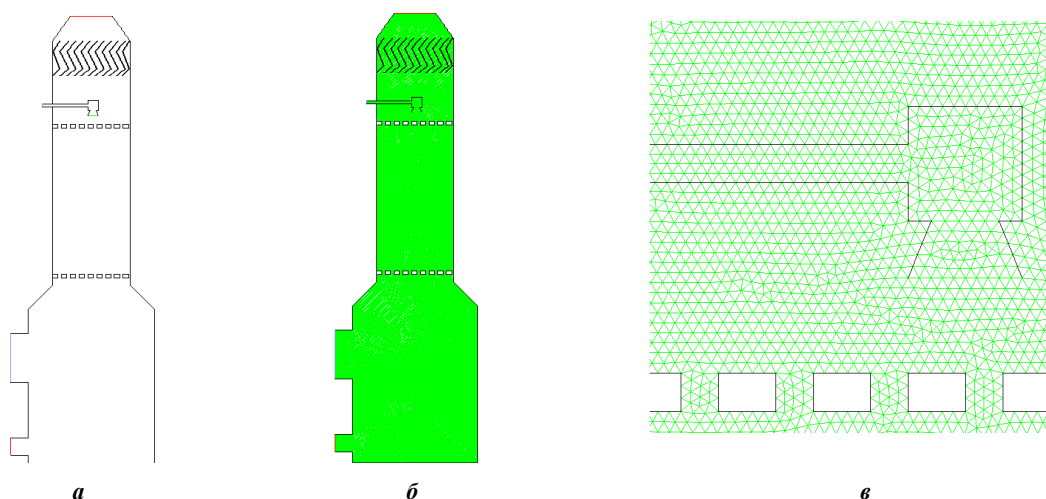


Рис. 1. Розрахункова сітка гідродинаміки потоку в проточній частині порожнистого скрубера: *a* – готова модель; *б* – розрахункова сітка; *в* – наглядне приближення

У ході досліджень був виконаний теоретичний розрахунок гідродинамічних характеристик забрудненого потоку газу в проточній частині порожнистого скрубера для трьох випадків і результати наведені на рис. 2–4, де *a* – розподіл векторів швидкості потоку газу; *б* – розподіл статичного тиску; *в* – розподіл швидкості потоку; *г* – розподіл кінетичної енергії турбулентності.

При моделюванні трьох випадків гідродинаміки потоку газу швидкості забрудненого потоку газу і робочої рідини для першого випадку початкові від-

повідно склали $V_1 = 9 \text{ м/с}$ і $V_2 = 5 \text{ м/с}$, для другого випадку – $V_1 = 15 \text{ м/с}$ і $V_2 = 1,5 \text{ м/с}$, для третього випадку – $V_1 = 4 \text{ м/с}$ і $V_2 = 3 \text{ м/с}$.

При моделюванні гідродинамічної обстановки проточної частини порожнистого форсуночного скрубера, а саме розподілу швидкості потоку у вигляді цифрової кольорової гами та розподілу векторів швидкості, спостерігаємо, що найбільший контакт робочої рідини та забрудненого газу буде відбуватися в центральній та верхній частинах апарата.

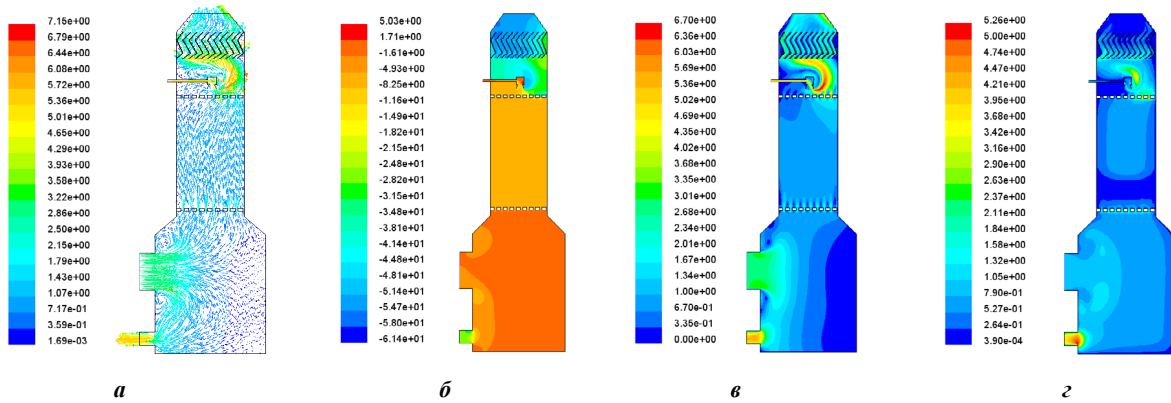


Рис. 2. Результати типового розрахунку гідродинаміки потоку в проточній частині порожнистого форсунокового скрубера у вигляді цифрової кольорової гами для першого випадку

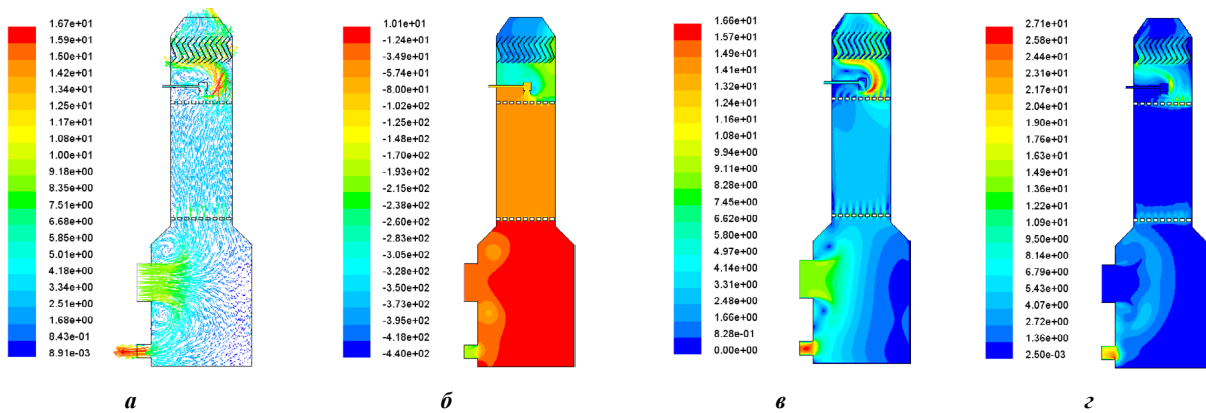


Рис. 3. Результати типового розрахунку гідродинаміки потоку в проточній частині порожнистого форсунокового скрубера у вигляді цифрової кольорової гами для другого випадку

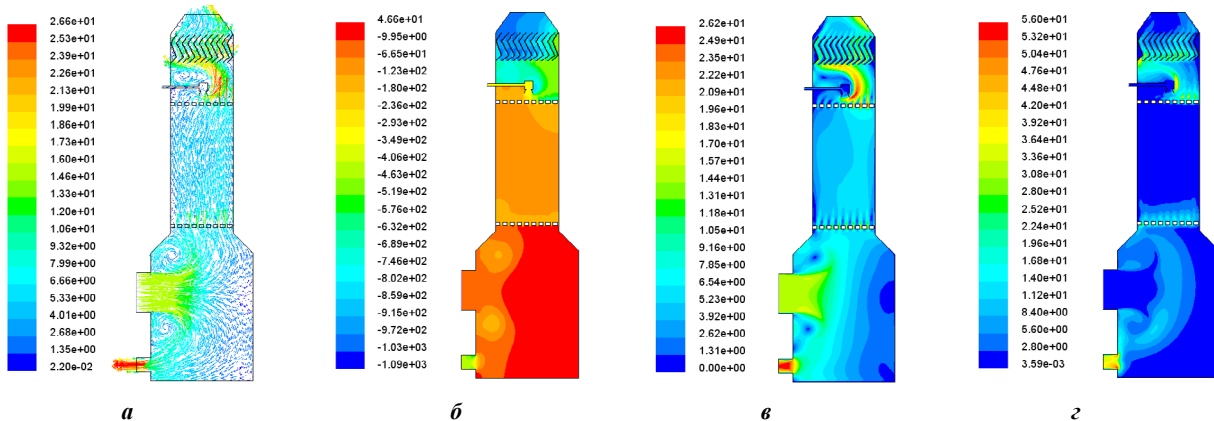


Рис. 4. Результати типового розрахунку гідродинаміки потоку в проточній частині порожнистого форсунокового скрубера у вигляді цифрової кольорової гами для третього випадку

За результатами моделювання статичного тиску потоку випускного газу в проточній частині даного скрубера у другого випадку виявили нерівномірне розподілення тиску на бризкоуловлювачах, що підтверджує доцільність конструювання очисного апарата.

У третьому випадку поперечні перешкоди в поперечній частині апарата позитивно впливають на процеси контакту забрудненого газу та робочої рідини. Однак результати показали ряд недоліків даної кон-

струкції, зумовлених гідродинамічно-мертвою зоною в правому боці нижньої частини апарата, що підтверджують розрахунки кінетичної енергії турбулентності.

ВИСНОВКИ

1. При дослідженні гідродинамічної обстановки проточної частини порожнистого форсунокового скрубера підтверджено високу ефективність роботи бризкоуловлювачів.

2. Результати кінетичної енергії турбулентності виявили зону зниженої гідродинамічної активності в центральній частині апарата в просторі між гідродинамічними перешкодами.

3. Показники моделювання статичного тиску потоку випускного газу доцільно використовувати при вдосконаленні даного очисного апарата для випускних газів суднових двигунів.

4. Результати розрахунку для другого і третього випадків підтверджують недоліки та переваги газоочисного обладнання для суднових двигунів, що були виявлені в першому розрахунку. Проте у другому випадку внаслідок підвищення швидкості випускного газу спостерігається зменшення гідродинамічно-мертвої зони в правій нижній частині апарата, але з'являються нові мертвої зони біля вхідного отвору для вхідних газів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] **Андреев, А. А.** Выбор оптимального уравнения состояния для моделирования термодинамических свойств гелий- и водородохлажденных смесей [Текст] / А. А. Андреев // Теплоэнергетика и хладотехника : сб. науч. тр. – Николаев : НКИ, 1989. – С. 8–12.
- [2] **Артемов, Г. А.** Суднові енергетичні установки [Текст] : навч. посіб. / Г. А. Артемов, В. М. Горбов. – Миколаїв : УДМТУ, 2002. – 356 с.
- [3] **Загоруйко, В. О.** Суднового холодильна техніка [Текст] / В. О. Загоруйко, О. А. Голиков. – К. : Наукова думка, 2002. – С. 254–268.
- [4] **Рыжков, А. С.** Исследование улавливания аэрозолей в неизотермических гидродинамических коагуляторах типа труба Вентури [Текст] / А. С. Рыжков // Промышленная теплотехника : междунар. науч.-прикл. журн. – 2004. – Т. 26, № 6. – С. 65–69.
- [5] Тепловые и конструктивные расчеты холодильных машин [Текст] : учеб. пособие / Е. М. Бамбушек, Н. Н. Бухарин, Е. Д. Герасимов [и др.] ; под общ. ред. И. А. Сакуна. – Л. : Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1987. – 423 с.
- [6] ANSWER. Version 4.00 [Text] : User's Manual / Analytic & Computational Research, Inc., 2000. – 364 p.

© О. С. Рижков, Р. С. Рижков, Ю. В. Качанова

Надійшла до редколегії 08.04.13

Статтю рекомендує до друку член редколегії Вісника НУК
д-р техн. наук, проф. *М. І. Радченко*

Статтю розміщено у Віснику НУК № 2, 2013