

10.31653/smf343.2021.109-117

Коровайченко Є.Ю., Афтанюк В.В., Даниленко Д.В.
Національний університет «Одеська морська академія»

МОДЕЛЮВАННЯ ДОДАТКОВИХ МІСЦЕВИХ ОПОРІВ ДЛЯ СУДНОВОГО СКРУБЕРА

Постановка проблеми і її зв'язок із важливими науковими та практичними завданнями.

Сучасні судна повинні відповідати вимогам МАРПОЛ (Міжнародна конвенція про запобігання забрудненню з суден, Додаток VI) щодо викидів NO_x та SO_x [1].

Провідними виробниками суднових енергетичних установок (Wartsila, MAN та ін.) [1, 2, 3] пропонується використання двох типів заходів щодо зменшення викидів (табл. 1).

Таблиця 4.1 – Шляхи зменшення викидів NO_x та SO_x [3]

Забруднююча речовина	Захід №1, щодо зменшення викиду	Захід №2, щодо зменшення викиду
Оксиди сірки SO_x	Паливо з низьким вмістом сірки	Скрубер
Оксиди азоту NO_x	Селективне каталітичне відновлення SCR	

З розгляду табл. 1 видно, що для знешкодження викидів NO_x та SO_x необхідно використовувати додаткове обладнання, а саме:

- для знешкодження NO_x – установка селективного каталітичного відновлення (SCR);
- для знешкодження SO_x – використання палива з низьким вмістом сірки або скрубера.

В багатьох випадках для зменшення викидів SO_x використовується скрубера.

Скрубери виготовляють декілька компаній, принцип дії скрубера складається з пропускання відпрацьованих газів суднових двигунів крізь рідинний шар. Ефективність очистки SO_x залежить від взаємодії в системі газ-рідина, що досягається шляхом забезпечення сталого гідродинамічного режиму роботи скрубера.

Аналіз досліджень і публікацій. В якості прикладу суднової системи очистки SO_x на базі скрубера розглянемо систему компанії «Harris Pye Engineering» (рис. 1) [4].

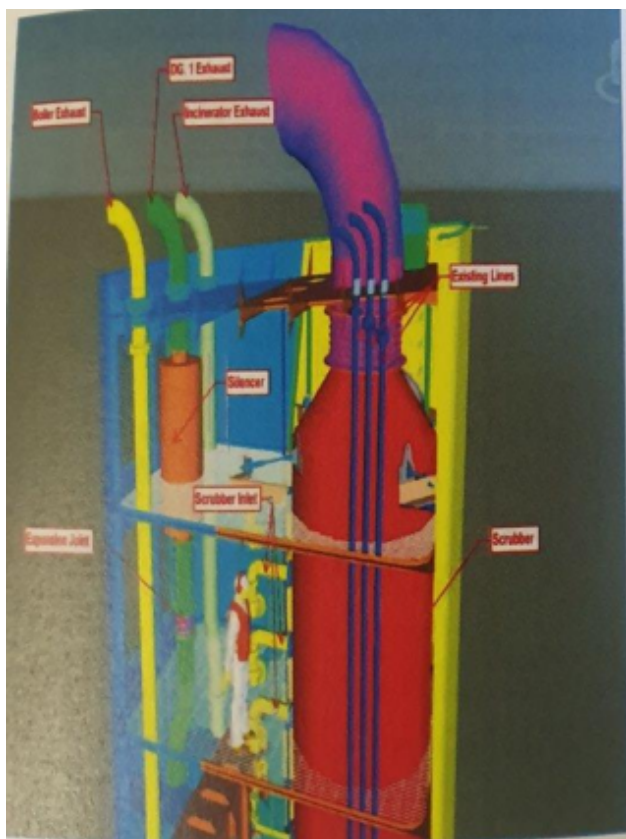


Рисунок 1 – Модель скрубера «Harris Pye Engineering» [4].

Суднова система очистки виконана компанією «Harris Pye Engineering», яка пропонує клієнтам морського сектору унікальні та інноваційні рішення, в той же час підтримуючи ефективність, якість та безпеку. Склад системи наведений на рис. 2. [4].

Принцип роботи скрубера полягає в наступному (рис. 2): забруднений газ, що видаляється від головного двигуна надходить на очищення, де реагує з рідиною що розпорощується, 4 рядами зрошувачів.

В цілому до недоліків експлуатації скрубєрів такого типу можна віднести чутливість до гідродинамічного режиму, що викликає необхідність обов'язкового переходу на дизельне паливо та нівелює економічну доцільність використання скрубєра, що формує основну мету роботи.

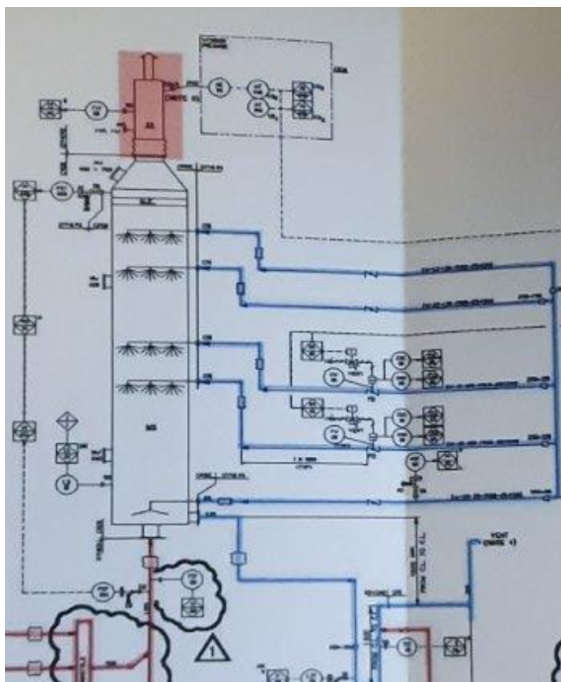


Рисунок 2 – Фрагмент системи «Harris Pye Engineering» [4]

Метою роботи є оптимізація гідродинамічного режиму роботи скрубера за допомогою додаткових штучних місцевих опорів для забезпечення максимально можливого рівномірного розподілу швидкостей в перерізі апарату.

Викладення основного матеріалу дослідження. Для досягнення поставленої мети необхідно змінити конструкцію апарату так щоб забезпечити найбільш рівномірний гідродинамічний режим роботи апарату та перевірити ефективність внесених змін шляхом моделювання течії газового потоку в скрубері.

Для проведення числового моделювання роботи скрубера об'єкт дослідження був розбитий на ряд взаємопов'язаних окремих моделювальних блоків:

1. На першому етапі розроблено твердотільну модель апарату.
2. Розроблена модель додаткового «внутрішнього місцевого опору», одношарового, двохшарового та трьохшарового.
3. На третьому етапі розрахована гідродинаміка потоку повітря в апараті.

На наступному етапі роботи проведено дослідження конструкції скрубера шляхом створення за допомогою SolidWorks та Flow Simulation [5] тривимірної твердо-тільної моделі і комп'ютерне моделювання течій газу в ній.

Комп'ютерне моделювання конструктивного виконання та гідродинамічного режиму роботи скрубера містить наступні модельні блоки:

1. Створення твердотільних моделей елементів апарату.
2. Моделювання гідродинаміки скрубера з різними типами «внутрішніх» місцевих опорів.
7. Візуалізація течій в апараті.

Розділення моделі на ряд перерахованих блоків дозволяє зробити окремий аналіз роботи скрубера, причому аналіз гідродинамічних режимів можна проводити в міру створення твердо-тільних моделей елементів апарату.

На першому етапі моделювання була створена твердотільна модель типового апарату аналогічна конструкції «Harris Puc Engineering» (рис. 1).

Наступними кроками є створення у вигляді окремих твердотільних моделей апарату з одношаровим, двошаровим та трьохшаровим внутрішнім «місцевим» опором (рис. 3 - 5).

Оптимізація конструкцій та проектування скрубера проводиться з твердотільними комп'ютерними моделями. Адекватність і точність математичних моделей визначає сукупність врахованих факторів і прийнятих допущень.

Математична модель потоку газу в скрубери базується на рівняннях Нав'є - Стокса, рівняння нерозривності, закону збереження енергії.

Сучасні числові методи рішення рівнянь Нав'є - Стокса дозволяють обчислювати тривимірні завдання в розрахункових областях, точно відтворюють геометрію об'єкта дослідження, при досить точній установці всіх вхідних параметрів [5].

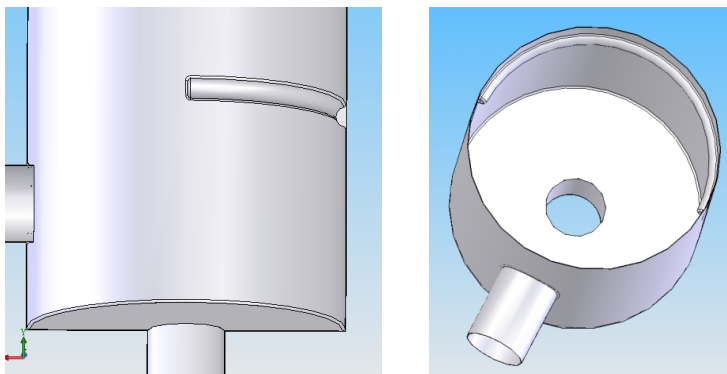


Рисунок 3 – Модель скрубера з одношаровим внутрішнім «місцевим» опором

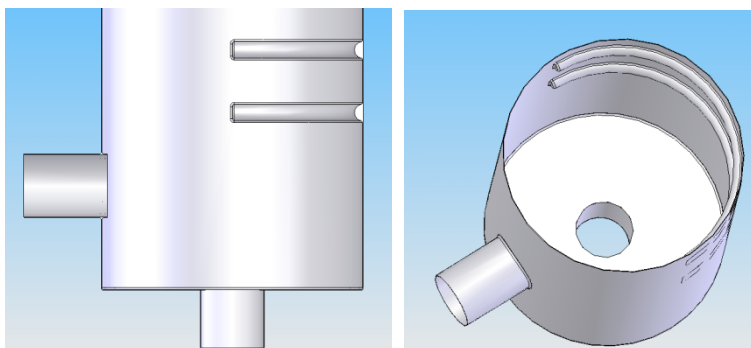


Рисунок 4 – Модель скрубера з двохшаровим внутрішнім «місцевим» опором

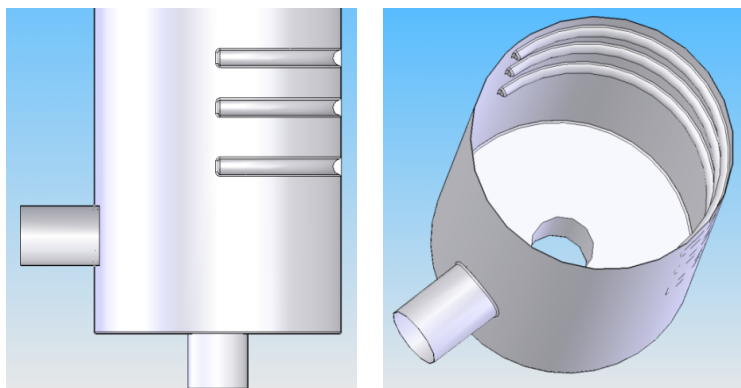


Рисунок 5 – Модель скрубера трьохшаровим внутрішнім «місцевим» опором

Проведення чисельних розрахунків в Flow Simulation включало в себе наступні основні етапи:

- завантаження геометричної моделі;
- побудова сіткової моделі розрахункової області;
- завдання початкових і граничних умов;
- настройка вирішувача (вибір і настройка моделі, завантаження і компіляція UDF- функцій);
- настройка параметрів рішення;
- запуск розрахунку і отримання результатів обчислень;
- візуалізація та аналіз результатів чисельного розрахунку.

Чисельні розрахунки проводилися на 2-х ядерному процесорі ПЕОМ з 8 Гб оперативної пам'яті. Час отримання результату рішення становило від 0,5 до 1 години.

Моделювання руху газу у апараті проводилось окремо для кожної моделі.

Дані математичні моделі дозволяють шляхом побудови полів швидкостей виявити раціональний режим роботи скрубера. Візуалізація розподілу швидкостей в моделях наведена на рис. 6 – 9.

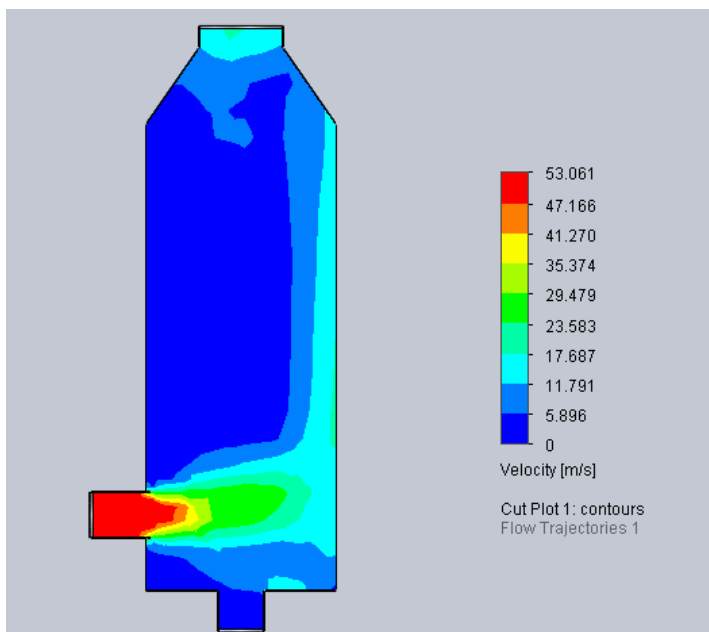


Рисунок 6 – Модель руху потоку повітря в полому апараті

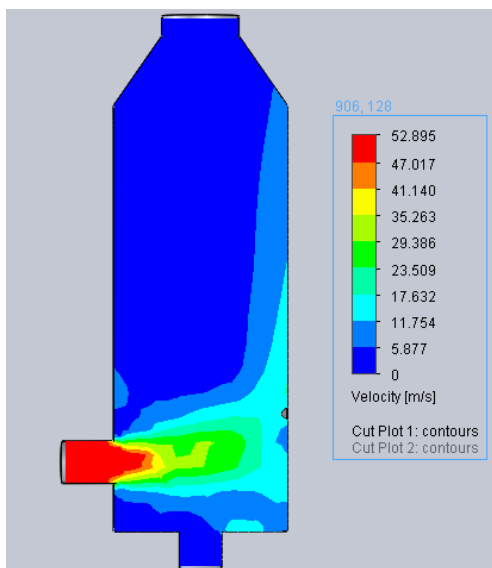


Рисунок 7 – Модель руху потоку повітря в полому апараті з одношаровим внутрішнім «місцевим» опором

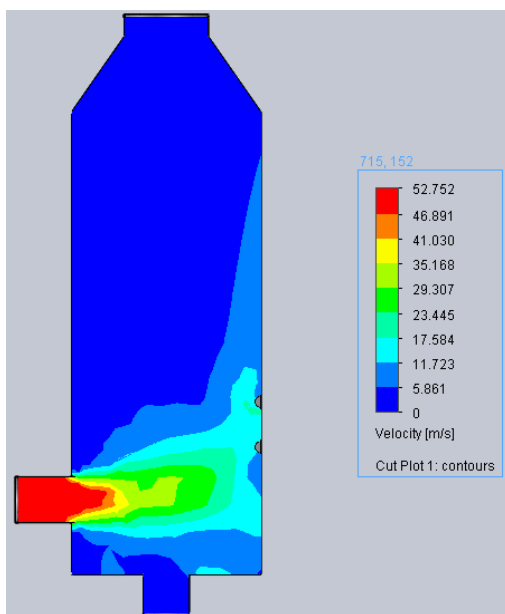


Рисунок 8 – Модель руху потоку повітря в полому апараті з двохшаровим внутрішнім «місцевим» опором

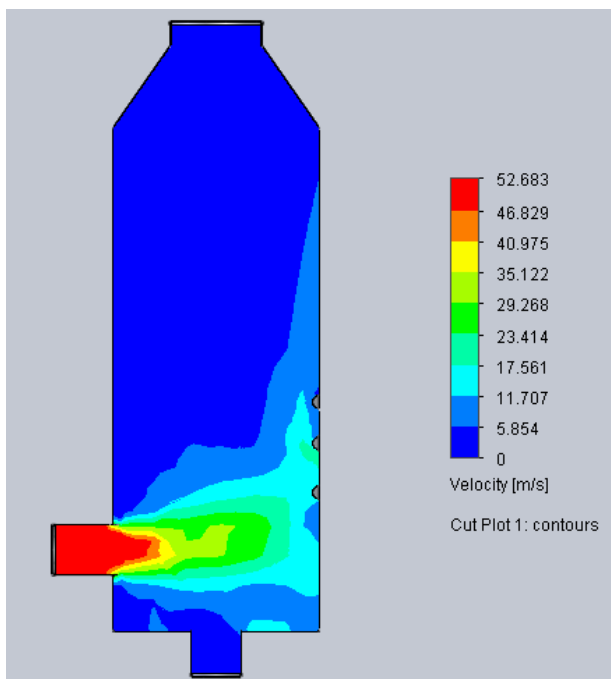


Рисунок 9 – Модель руху потоку повітря в полому апараті з трьохшаровим внутрішнім «місцевим» опором

Аналіз траєкторій руху повітря показує, що найбільш рівномірне поле швидкостей спостерігається при використанні трьохшарового внутрішнього «місцевого» опору.

Однак для зменшення загального коефіцієнту місцевого опору апарату більш доцільно використати конструкцію з двохшаровим внутрішнім «місцевим» опором, яка забезпечує добре розподілення швидкостей та менший загальний опір апарату чим при використанні трьохшарового «місцевого» опору.

Висновки

1. Для дослідження течій газу в полому скрубєрі розроблені чотири твердо-тільні моделі апарату (полий апарат, та апарат з додатковими одно- двох- та тришаровим місцевим опором).

2. Числове моделювання течій газу в полому апараті показало наявність зони підвищеної швидкості на протилежній стінці від вхідно-

го патрубка (рис. 6), що сприяє проскакуванню шкідливих речовин крізь апарат(без ефективного очищення).

3. Візуалізація течій газу в апараті показує значно меншу зону підвищеної швидкості при установці в апараті додаткового «місцевого» опору (рис. 7-9).

4. Для забезпечення одночасно рівномірного розподілу швидкостей в перерізі апарату та не високого загального коефіцієнту опору апарату раціонально використати двохшаровий місцевий опір.

Результати проведеного дослідження дозволяють вважати доцільним більш детальне дослідження моделей двох- та трьохшаровим місцевим опором з моделюванням зрошення в апараті.

Розроблені моделі скрубера можуть бути використані при проведенні науково-дослідних, дисертаційних робіт магістрантів, аспірантів, наукових працівників для порівняльної оцінки ефективності роботи судових скрубєрів.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Руководство по средствам защиты окружающей среды компании Wärtsilä. Режим доступа: www.wartsila.com.
2. Emission Project Guide MAN B&W Two-stroke Marine Engines. 8 th Edition, 2017. , branch of MAN Diesel & Turbo SE. - 108 p.
3. WinGD. Low-speed Engines 2021. Режим доступа: <https://www.wingd.com/en/documents/general/brochures/wingd-low-speed-engines-booklet-2021.pdf>.
4. Marine technology Harris Pye. Available from: <https://www.harrispye.com/marine>.
5. SolidWorks. Компьютерное моделирование в инженерной практике / Алямовский А.А., Собачкин А.А., Одинцов Е.В., Харитонович А.И., Пономарев Н.Б. – СПб.: БХВ - Петербург, 2005. – 800 с.