

<http://dx.doi.org/10.15589/jnn20140506>

УДК 532.529

Р 93

RESEARCH OF EFFICIENCY OF THREE STAGES OF OIL-CATCHING DEVICE

РОЗРАХУНОК ЕФЕКТИВНОСТІ ТРЬОХ СТУПЕНІВ ПРИСТРОЮ МАСЛОВІДДІЛЕННЯ

Oleksandr S. Ryzhkov

oleksandr.ryzhkov@nuos.edu.ua

ORCID: 0000-0003-0535-7722

Rostyslav S. Ryzhkov

rostyslav.ryzhkov@gmail.com

ORCID: 0000-0002-0296-3738

Anastasiia V. Popova

122417@nuos.edu.ua

ORCID: 0000-0001-9214-2070

О. С. РИЖКОВ,

канд. техн. наук, доц.;

Р. С. РИЖКОВ,

асп.;

А. В. ПОПОВА,

спеціаліст

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolayiv

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв

Abstract. The article considers the issue of increase of efficiency of three stages of the oil-catching device for gas turbine engines in general and improvement of the equipment operation in general. The research was based on the general scheme of the comprehensive intensification of gas purification using hydrodynamic methods. The theoretical calculation was conducted in three stages of purification: the effluent stage, the high cleaning stage and the output stage. The modeling was performed on the basis of the developed computational grids created using the triangular segmentation method. The calculation was performed using the finite volume method. The parameters on which the calculation analysis was based are as follows: the gas flow rate in the flow part of the device, the distribution of static pressure and turbulent kinetic energy.

Keywords: hydrodynamics; theoretical calculations; contaminated gas stream; the disperse phase.

Анотація. Розглянуто питання щодо підвищення ефективності першого ступеня масловіддільного апарата для ГТД та вдосконалення роботи обладнання.

Ключові слова: гідродинаміка; теоретичні розрахунки; забруднений потік газу; дисперсна фаза.

Аннотация. Рассмотрен вопрос относительно повышения эффективности первой ступени маслоулавливающего аппарата для ГТД и совершенствования работы оборудования.

Ключевые слова: гидродинамика; теоретические расчеты; загрязненный поток газа; дисперсная фаза.

REFERENCES

- [1] Dolidovich A.F. Munitsipalnye tekhnologii gazoочистki, predotvrashchayushchie zagryaznenie okruzhayushchey sredy teplom i CO₂ [Municipal gas purification technologies that prevent environmental pollution with heat and CO₂]. *Promyshlennaya teplotekhnika Mezhdunarodnyy nauchno-prikladnoy zhurnal* [Industrial Heat Engineering. International Scientific and Applied Journal], 2003, no. 4, vol. 25, p. 31–33.
- [2] Romanovsky H.F., Serbin S.I., Patlaychuk V.M. *Suchasni hazoturbinni ahrehaty* [Modern gas turbine devices]. Mykolaiv, NUK Publ., 2005. 344 p.
- [3] Ryzhkov A.S. Issledovanie ulavlivaniya aerorozley v neizotermicheskikh gidrodinamicheskikh koagulyatorakh tipa truba Venturi [Study of aerosol entrapment in non-isothermal hydrodynamic coagulators of the Venturi tube type]. *Promyshlennaya teplotekhnika Mezhdunarodnyy nauchno-prikladnoy zhurnal* [Industrial Heat Engineering. International Scientific and Applied Journal], 2004, no. 6, vol. 26, pp. 65–69.
- [4] Ryzhkov A.S. Raschet gidrodinamicheskikh kharakteristik potoka v apparatakh na osnove trub Venturi [Calculation of hydrodynamic flow characteristics in devices based on the Venturi tubes]. *Zb. nauk. prats NUK* [Collection of scientific papers NUS], 2006, no. 6, issue 411, pp. 121–130.
- [5] Ryzhkov A.S. *Sovershenstvovanie gazoочистnykh ustroystv energeticheskikh ustanovok na osnove modelirovaniya gidrodinamicheskikh protsessov* Cand. Diss. [Improvement of gas purification devices of power systems on the basis of hydrodynamic processes simulation. Cand. Diss.]. Mykolayiv, 2010.

- [6] Serbin S.I., Ryzhkov A.S. Sovershenstvovanie gazoочистnykh ustroystv na osnove modelirovaniya gazodinamicheskikh protsessov [Improvement of gas purification devices on the basis of hydrodynamic processes simulation]. *Zb. nauk. prats NUK* [Collection of scientific papers NUS], 2008, no. 5, pp. 72–81.
- [7] Caporaloni M., Tampieri F. Transfer of Particles in Nonisotropic Air Turbulence. *J. Atmos. Sci.*, 1975, 32, no. 3, pp. 565–568.
- [8] Dennis R. et al. Fabric Filters Model Format Change: Volume II. *User's Guide Report* No. PB 297755/AS, April 1979.
- [9] Brooks J.M., Shiroma G.A., Anies D.J., Venturini P.D. *Report to Air Resources Board on the proposed identification of diesel exhaust as toxic air contaminant. Part A: Exposure assessment*. California EPA, Office of Environmental Health Hazard Assessment, Air Toxicology and Epidemiology Section, 1998, Jan. p. 103.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Суднобудування є однією з найдавніших галузей промисловості. Морський транспорт – одне із джерел хронічного забруднення морського середовища і підвищеної загрози розливів нафти, які можуть завдати непоправної шкоди природі.

Енергетичні установки суден забруднюють відпрацьованими газами передусім атмосферу, звідки токсичні речовини частково або майже повністю потрапляють у води морів, річок, океанів [2]. Нині переважна кількість суден вітчизняного (і світового) флоту обладнана дизельними двигунами. Невелику частку складають судна з паротурбінними установками, число яких за останні роки скорочується у зв'язку з меншою економічністю порівняно з дизелями. І поки що газотурбінних установок налічують одиниці.

У сучасних суднових та авіаційних газотурбінних двигунах застосовуються масловіддільники, засновані на інерційній очистці та очищенні в полі відцентрових сил.

Створення новітніх суднових газотурбінних двигунів четвертого покоління з коефіцієнтом корисної дії більше 35 % (таких, як ГТД ДН 80 і ДГ 90, ДП 73) призвело до зміни витрат маслоповітряного середовища та форсування двигунів [6]. Заміна лабіринтових ущільнень на контактні у двигунах ДГ 90 і ДН 80 знизилася витрати маслоповітряної суміші більш ніж у два рази і зробила актуальною проблему створення малогабаритних статичних масловіддільників, що володіють підвищеною ефективністю уловлювання мікрокрапель (менше 4 мкм). Вирішення нових завдань можливе за рахунок розробки підходів удосконалення газоочисних пристроїв.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ПУБЛІКАЦІЙ

В останні роки досягнуто певних успіхів у створенні газоочисного обладнання для енергетичних установок. У цій галузі широко відомі роботи Центрального котлотурбінного інституту ім. І.І. Ползунова (Росія), Науково-дослідного інституту очищення газів (Росія), Інституту тепломасообміну АН Білорусі, Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова (м. Миколаїв) [1–5], а також

зарубіжних дослідників [7–9]. Проте питання мінімізації затрат на проектування та виготовлення масловіддільних пристроїв вирішено не повною мірою.

МЕТОЮ РОБОТИ є проведення розрахунків ефективності трьох ступенів масловіддільного пристрою для ГТД та формування пропозицій щодо покращення технологічного процесу його виготовлення.

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Для аналізу процесів осадження частинок у неізо-термічному дисперсному двофазному турбулентному газовому потоці в апаратах на основі труб Вентурі застосовано системний підхід. Надзвичайна складність перебігу процесів у цих середовищах пояснює той факт, що розроблено й описано складні моделі руху, перенесення енергії і маси. Рух потоків у реальних умовах, де мають місце значні градієнти швидкостей і концентрацій у поздовжньому та поперечному напрямках, описується рівняннями еліптичного типу.

Для числового розв'язання диференціальних рівнянь системи використано метод центрального інтегрування, що полягає в часовій і просторовій дискретизації кожного контрольного об'єму (елемента) фізичної області. Це приводить до автоматичного задоволення рівнянь збереження і перенесення імпульсу, теплоти та маси всередині всіх різницевих елементів і всієї області потоку.

Для проведення теоретичних розрахунків гідродинаміки потоку в первинному елементі маслороздільного пристрою було здійснено низку розрахунків у пакеті прикладних програм ANSYS FLUENT при швидкості потоку вхідних сопел від 1 до 7 м/с, що відповідає практичним значенням робочих умов у проточній частині масловіддільного апарата.

Початковими і граничними умовами для створення розрахункової сітки є геометричні розміри на основі їх масштабного моделювання. Розмір сітки варіювався відповідно до геометрії проєктованого елемента маслороздільного пристрою, і побудова здійснювалася методом трикутного сегментування (рис. 1).

Виконаний розрахунок було проаналізовано за трьома показниками: 1) швидкістю потоку в проточній частині; 2) розподілом статичного тиску; 3) розподілом кінетичної і турбулентної енергії.

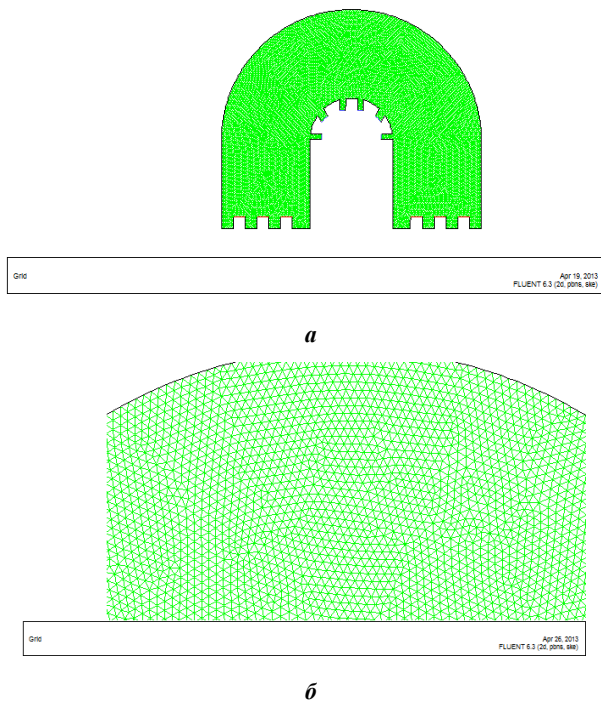


Рис. 1. Розрахункова сітка для первинного елемента маслоочисного пристрою: *a* – готова модель; *б* – наочне наближення

Результати теоретичного розрахунку швидкості потоку газу (рис. 2, 3) в елементі маслоочисного пристрою з заданою геометрією підтвердили існування зон вихроутворення, які будуть сприяти осадженню низькодисперсних крапель масла. Але також це може призводити до випадків повторного виносу уловлених частинок, здебільшого високодисперсних. Також спостерігаються зони найменшої гідродинамічної ефективності, через які процес осадження забруднених речовин буде здійснюватися не повною мірою. Розподіл статичного тиску (рис. 4) підтверджує наявність цих зон та вказує на ділянки елемента маслоочищення, що потребують подальшого вивчення. Розподіл кінетичної турбулентної енергії (рис. 5) виявляє зони найбільшої турбулентної активності в елементі, в яких буде проходити осадження високодисперсних частинок шляхом турбофорезу та турбулентної дифузії. Як бачимо, для другого випадку розрахунку при збільшенні швидкості підвищується турбулентна активність потоку, що треба враховувати для проектування маслоочисного обладнання.

Розподіл векторів швидкості потоку підтверджує наявність гідродинамічно ефективної частини в тепломасообміннику типу труба Вентурі. У цій частині тепломасообмін між робочою рідиною та забрудненим газом буде відбуватися найбільш ефективно, що підвищує ефективність скидного ступеня очищення в масловіддільному пристрої.

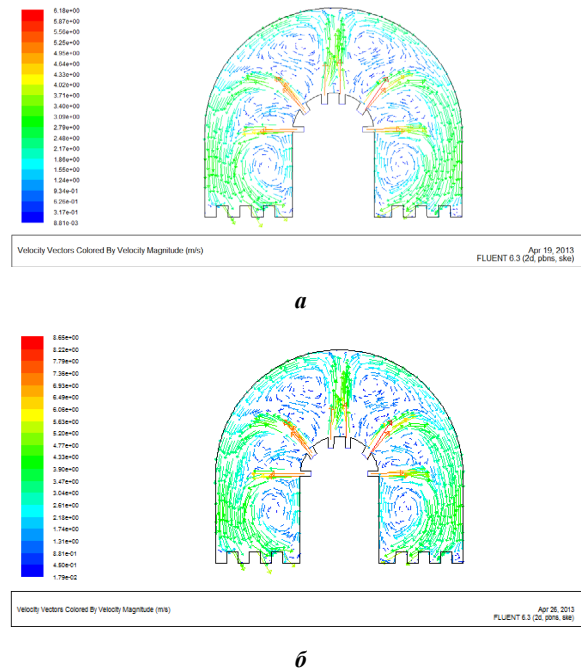


Рис. 2. Результат теоретичного розрахунку розподілу векторів швидкості потоку: *a* – $V = 5$ м/с; *б* – $V = 7$ м/с

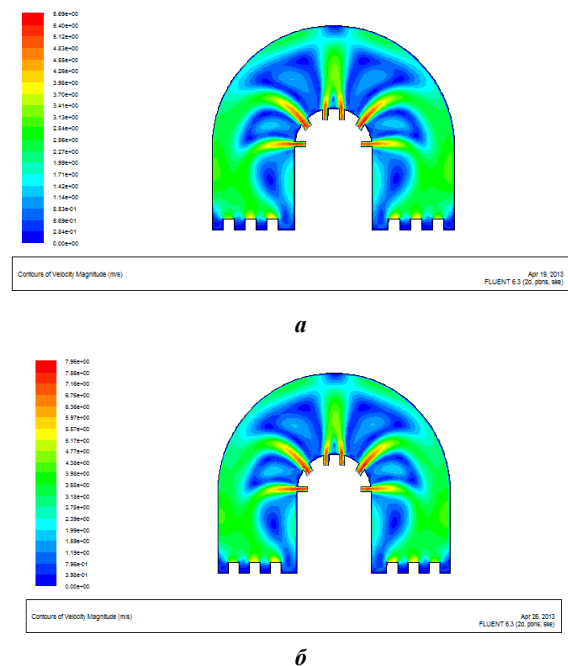


Рис. 3. Швидкість газу в елементі масловіддільника у вигляді цифрової кольорової гама: *a* – $V = 5$ м/с; *б* – $V = 7$ м/с

Результат теоретичного розрахунку кінетичної енергії підтверджує виявлену зону та звертає увагу на наявність двох схожих, але значно менших зон у лівій верхній та нижній частинах скидного ступеня масловіддільника. У цих зонах скоріш за все буде відбуватися інерційне осадження частинок, але очищення за рахунок сил турбофорезу та турбулентної дифузії майже не відбувається.

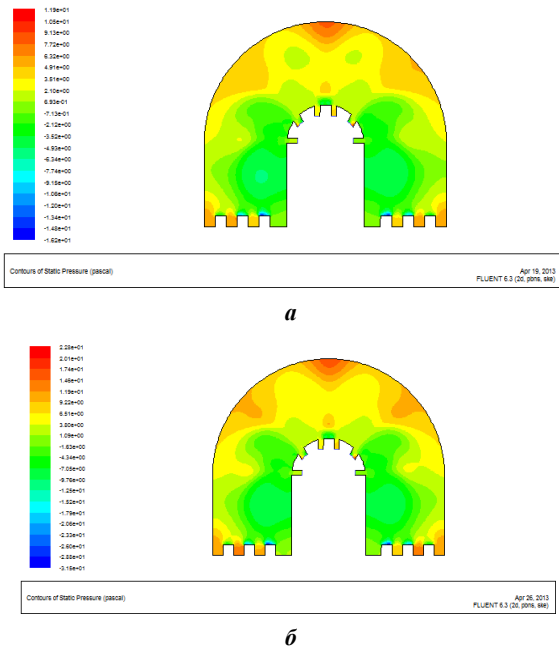


Рис. 4. Розподіл статичного тиску у вигляді цифрової кольорової гами для швидкості потоку вхідних сопел: *a* – $V = 5$ м/с; *б* – $V = 7$ м/с

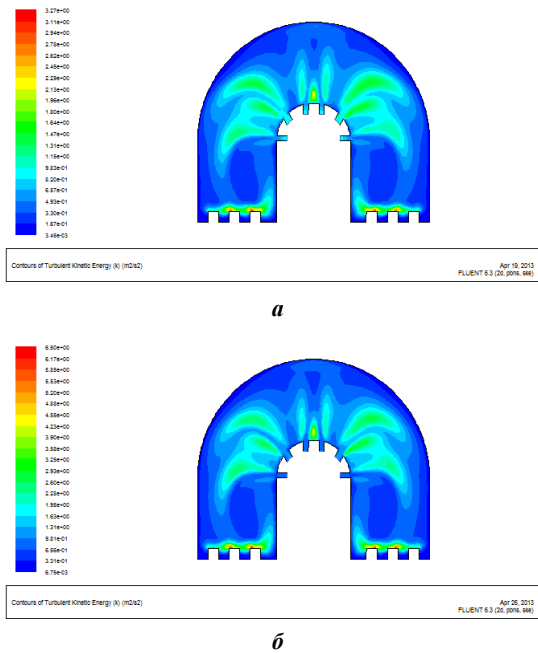


Рис. 5. Розподіл кінетичної турбулентної енергії у вигляді цифрової кольорової гами для швидкості потоку вхідних сопел: *a* – $V = 5$ м/с; *б* – $V = 7$ м/с

У цілому розрахунок підтверджує високу ефективність роботи скидної частини масловіддільного пристрою, в якій буде відбуватися значне очищення грубодисперсних частинок, але спостерігаються і зони з низьким показником очищення. Це треба врахувати при вдосконаленні геометричних характеристик даного ступеня.

У ході роботи проведено розрахунок бокового розрізу ступеня тонкого очищення маслоочисного

пристрою. На рис. 6 зображена розрахункова сітка для проведення даного розрахунку.

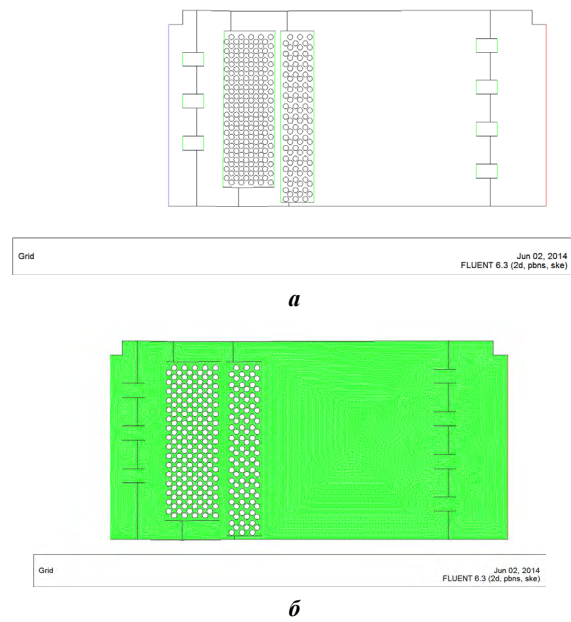


Рис. 6. Боковий розріз ступеня тонкого очищення у вигляді розрахункової сітки: *a* – попередня модель; *б* – готова модель

На рис. 7–10 показано боковий розріз ступеня тонкого очищення з результатами теоретичного розрахунку при швидкості потоку $V = 5$ м/с.

Як показали розрахунки розподілу швидкості у векторному вигляді та у вигляді кольорової гами (див. рис. 7, 8), процеси тонкого очищення відбуваються достатньо ефективно. У незначній кількості спостерігаються гідродинамічні неефективні зони. У коагуляційних касетах відбувається суттєва фаза гідродинамічної активності, здійснюється коагуляція високодисперсних частинок у грубодисперсні, які в подальшому більш ефективно осаджуються на пакеті профілів МКІ.

Розрахунок статичного тиску (див. рис. 9) виявив зони підвищення напруження у зв'язку з використанням коагуляційних касет та відвідних отворів. Здебільшого відвідні отвори розподілені досить ефективно, для того щоб формувати рівномірний потік маслоповітряної суміші.

Розрахунок кінетичної енергії турбулентності (див. рис. 10) виявив підвищену турбулентну активність у нижньому шарі і первинних направляючих отворах.

У цілому ступінь тонкого очищення масловіддільного пристрою виконує поставлене для нього завдання. Проте, для того щоб масловіддільні пристрої відповідали умовам роботи, які постійно змінюються, та модифікаціям газотурбінного обладнання, треба приділяти більшу увагу розподілу тиску в апараті. Цього можна досягнути зміненням геометрії направляючих отворів та проведенням модифікації коагуляційних касет.

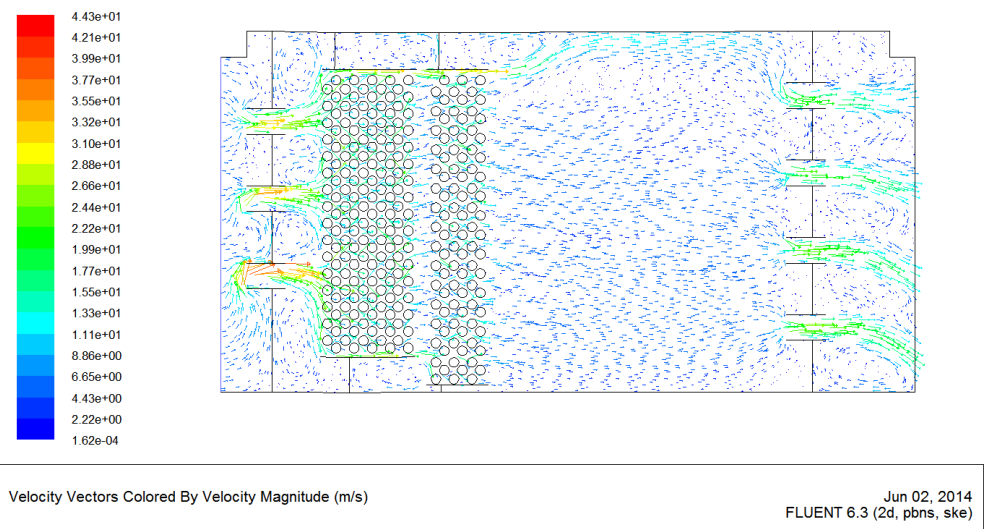


Рис. 7. Результат теоретичного розрахунку розподілу векторів швидкості потоку

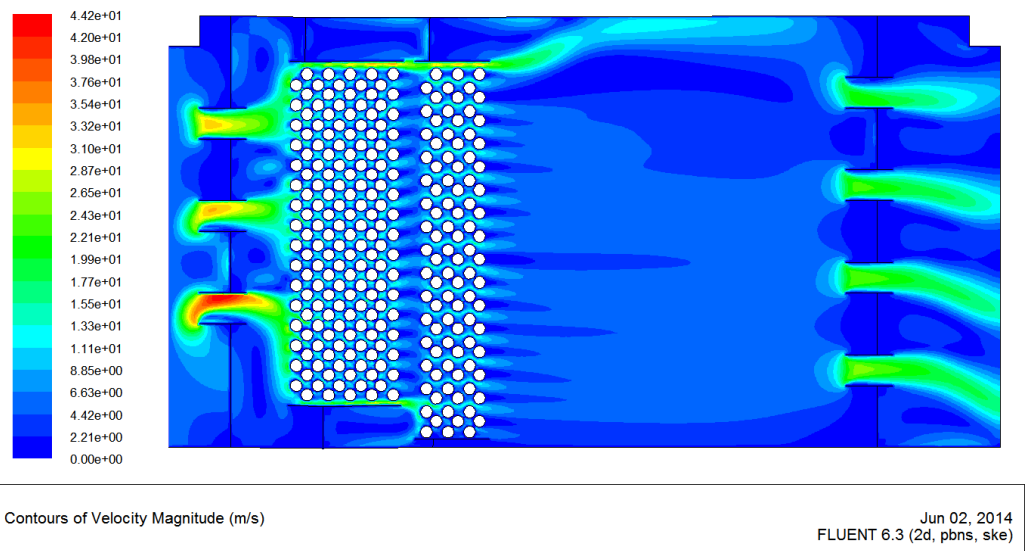


Рис. 8. Результат розрахунку швидкості потоку газу в елементі маслоочисного пристрою у вигляді цифрової кольорової гама

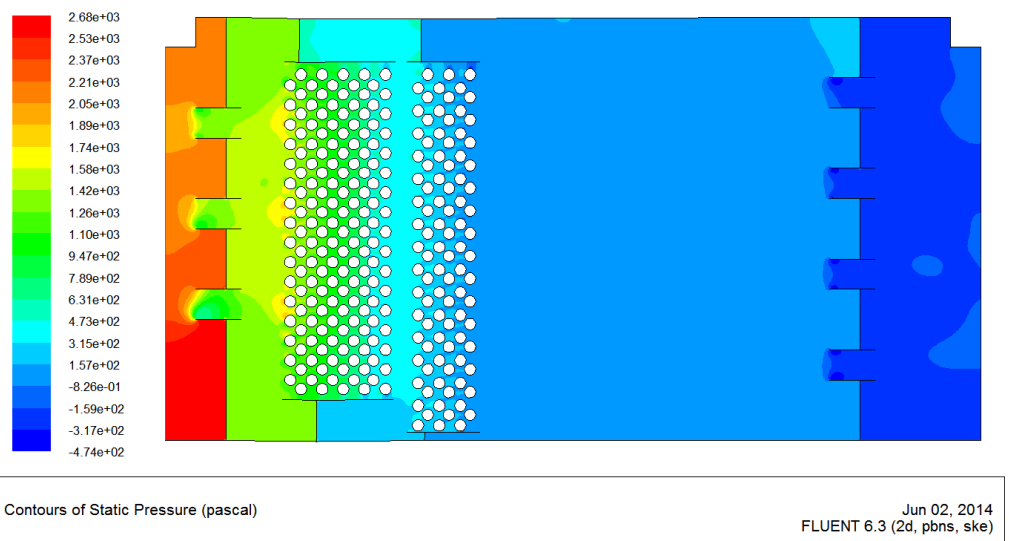


Рис. 9. Результат теоретичного розрахунку розподілу статичного тиску у вигляді цифрової кольорової гама

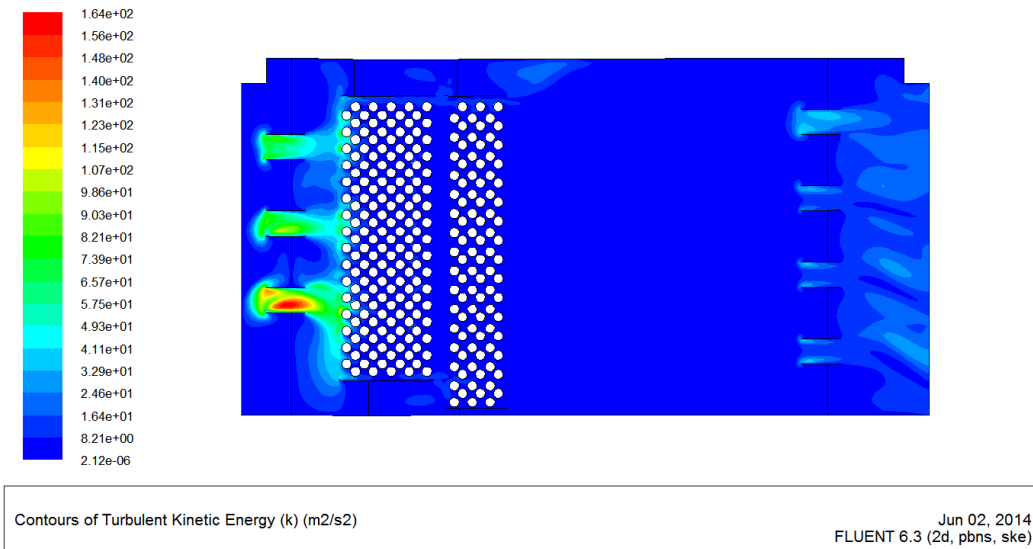


Рис. 10. Результат теоретичного розрахунку розподілу кінетичної турбулентної енергії у вигляді цифрової кольорової гами

Розрахунок для вихідного ступеня очищення маслоочисного пристрою проведено за стандартною методикою комп'ютерного моделювання.

Як показали розрахунки швидкості потоку робочого газу у вигляді векторів швидкості та цифрової кольорової гами, гідродинамічні процеси в проточній частині даного ступеня відбуваються досить ефективно. Спостерігаються значні вихроутворення, а зони недостатньо високої активності припадають на частини внутрішньої стінки відповідного елемента, що знаходяться між отворами для проникнення в нього очищеного газу. Розрахунки статичного тиску та турбулентної кінетичної енергії показали, що процес відведення газу відбувається достатньо ефективно та не спричиняє значного перепаду тиску.

ВИСНОВКИ

1. У ході роботи виконано розрахунок та системний аналіз гідродинаміки потоку в трьох ступенях маслоочисного пристрою.

2. Результати розрахунку виявили як ефективні ділянки очищення, так і ділянки недостатнього очищення. Зокрема, в скидному ступені очищення спостерігається зона, в якій уловлення частинок за рахунок сил турбофорезу та турбулентної дифузії буде відбуватися малоефективно. Значних недоліків у гідродинамічній ефективності ступеня тонкого очищення та вихідного ступеня не виявлено.

3. Отримані результати дають підстави для рекомендацій щодо варіювання геометричних параметрів направляючих кілець та коагуляційних касет у ступені тонкого очищення при збереженні загальної геометрії, для того щоб відповідати широкому спектру варіацій газотурбінних двигунів. Це мінімізує налаштування технологічного процесу виготовлення масловіддільних пристроїв для різних характеристик, що істотно мірою скоротить часові та матеріальні затрати.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

[1] Долидович, А. Ф. Муниципальные технологии газоочистки, предотвращающие загрязнение окружающей среды теплом и CO₂ [Текст] / А. Ф. Долидович // Промышленная теплотехника : междунар. науч.-прикл. журнал. – 2003. – № 4, т. 25. – С. 31–33.

[2] Романовський, Г. Ф. Сучасні газотурбінні агрегати [Текст] / Г. Ф. Романовський, С. І. Сербін, В. М. Патлайчук. – Миколаїв : НУК, 2005. – 344 с.

[3] Рыжков, А. С. Исследование улавливания аэрозолей в неизотермических гидродинамических коагуляторах типа труба Вентури [Текст] / А. С. Рыжков // Промышленная теплотехника : междунар. науч.-прикл. журнал. – 2004. – № 6, т. 26. – С. 65–69.

[4] Рыжков, А. С. Расчет гидродинамических характеристик потока в аппаратах на основе труб Вентури [Текст] / А. С. Рыжков // Зб. наук. праць НУК. – Миколаїв : НУК, 2006. – № 6 (411). – С. 121–130.

[5] Рыжков, А. С. Совершенствование газоочистных устройств энергетических установок на основе моделирования гидродинамических процессов [Текст] : дис. ... канд. техн. наук : 05.05.03 : утв. 24.04.10 / Рыжков А. С. – Николаев, 2010.

- [6] **Сербин, С. И.** Совершенствование газоочистных устройств на основе моделирования газодинамических процессов [Текст] / С. И. Сербин, А. С. Рыжков // Зб. наук. праць НУК. – Миколаїв : НУК, 2008. – № 5. – С. 72–81.
- [7] **Caporali, M.** Transfer of Particles in Nonisotropic Air Turbulence [Text] / M. Caporali, F. Tampieri // J. Atmos. Sci. – 1975. – № 3. – P. 565–568.
- [8] Fabric Filters Model Format Change : Vol. II. User's Guide [Text] / R. Dennis [et al.] // Report No. PB 297755/AS, April 1979.
- [9] Report to Air Resources Board on the proposed identification of diesel exhaust as toxic air contaminant. Part A: Exposure assessment [Text] / J. M. Brooks, G. A. Shiroma, D. J. Anies, P. D. Venturini. – California EPA : Office of Environmental Health Hazard Assessment, Air Toxicology and Epidemiology Section, 1998. – P. 103.

© О. С. Рижков, Р. С. Рижков, А. В. Попова

Надійшла до редколегії 25.06.2014

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