

ВІДГУК

офіційного опонента д.т.н., професора Варбанця Р.А.
на дисертаційну роботу Рижкова Сергія Сергійовича
"Сепараційні градієнтні аерозольні технології в енергетичних установках",
поданої на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук
за спеціальністю 05.05.03 – двигуни та енергетичні установки

1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

1.1. Структура та обсяг дисертації.

Робота виконана в Національному університеті кораблебудування імені адмірала Макарова Міністерства освіти і науки України. Дисертація складається з анотації, переліку умовних позначень та скорочень, вступу, п'яти розділів, висновків, переліку джерел посилання та сімох додатків. Обсяг основного тексту дисертаційної роботи становить 295 сторінок, рисунків – 120, таблиць – 50. Список використаних джерел містить 179 найменування. У додатках наведені результати розрахунків в елементах сепарації аерозолі, ілюстрації інтерферограф та розподілу температур і швидкостей в каналах, результати допоміжних розрахунків, документи, що підтверджують патентний захист і впровадження результатів дослідження та список опублікованих праць за темою дисертації.

1.2. Оформлення дисертації. Дисертаційна робота оформлена відповідно Вимогам до оформлення дисертації за Наказом Міністерства освіти і науки України 12.01.2017 № 40 та стандарту ДСТУ 3008-95 "Документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура і правила оформлення".

Матеріал дисертації подано в логічній послідовності відповідно до поставлених задач дослідження, їх рішення розкрито повністю, матеріал викладено грамотною технічною мовою.

Обсяг роботи, що рецензується, відповідає вимогам, встановленим Порядком присудження наукових ступенів затверджених постановою Кабінету Міністрів України від 24.07.2013 року № 567 із змінами і доповненнями.

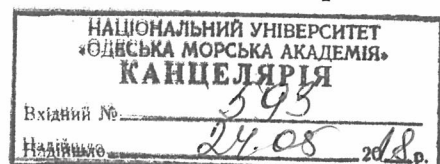
Зміст автореферату дисертації обсягом 1,9 авторських аркуша ідентичний змістові дисертації і відображає основні положення роботи.

Автореферат дисертації розісланий 4 травня 2018 року.

1.3. Зміст дисертації, об'єкт і предмет дослідження відповідають паспорту спеціальності 05.05.03 – двигуни та енергетичні установки як за формулою спеціальності, так і за напрямками досліджень – 2, 4, 6 та 12.

1.4. Зміст роботи.

В анотації стисло викладено основні кваліфікаційні показники та зміст роботи, а саме: науково-технічна проблема, що вирішується у роботі, об'єкт та предмет дослідження, основні задачі наукового дослідження, наукова новизна результатів та три наукових положення, що сформулював автор за результатами дослідження, наукове та практичне значення роботи, результати впровадження та список опублікованих праць за темою дисертації з обґрунтуванням особистого внеску.



У вступі обґрунтовано актуальність теми і стан попередніх досліджень, сформульовано мету та основні завдання дисертаційної роботи, її зв'язок з науковими програмами, планами та темами, об'єкт і предмет дослідження, стисло викладено методологічні основи досліджень, визначено наукову новизну, теоретичне та практичне значення одержаних результатів, результати впровадження та особистий внесок здобувача, відображено їх апробацію на наукових конференціях та повноту їх викладення в публікаціях.

У першому розділі виконано аналіз стану проблеми інтенсифікації теплообміну в каналах, у рамках якого дано аналітичний огляд способів і систем, що пов'язані з закруткою потоку, проаналізовано залежності ефективності застосування інтегральних і локальних параметрів закрутки, розглянуто існуючі способи досліджень теплообміну та гідродинаміки закручених потоків в каналах. За результатами аналізу досягнутих результатів попередніх досліджень визначено резерви подальшого вдосконалення інтенсифікації теплообміну в каналах за рахунок похило-тангенційної закрутки потоку та додаткового формування входу і виходу потоку з каналу, визначено мету та завдання дослідження.

Загальний обсяг аналізу літературних джерел не перевищує 20 % обсягу основної частини дисертації.

У другому розділі обґрунтовано основні показники експериментального стенду і його окремих елементів для дослідження характеристик і параметрів закручених потоків в циліндричних каналах.

Для гідродинамічних досліджень без теплообміну використаний канал з органічного скла, що дало змогу при дослідженні механіки закручених потоків використовувати метод візуалізації. Дослідний канал для дослідження теплообміну виготовлений мідним щоб забезпечити граничні умови першого роду.

Основна увага в розділі присвячена обґрунтуванню припущень при розгляді фізичної моделі закручених потоків, методики проведення експериментальних досліджень та обробки отриманих баз даних з гідродинамічних і теплообмінних закономірностей таких потоків.

За результатами визначення похибок прямих і опосередкованих вимірювань доведено, що похибки коефіцієнтів гідравлічного опору не перевищують 3,8 %, а коефіцієнтів теплообміну – 7 %.

Результати тестових випробувань показників теплообміну прямолінійного потоку в гладкому каналі, що виконані на експериментальному стенді, добре збігаються з даними інших дослідників.

У третьому розділі наведено результати експериментальних досліджень гідродинамічних закономірностей трьох варіантів повітряного потоку в циліндричному каналі з похило-тангенційною закруткою та з подачею додаткового супутньо-закрученого потоку крізь торцеву поверхню каналу і розроблену автором фізичну модель цих процесів. Для цього досліджені наступні моделі каналів: з одним завихрювачем і відкритим виходом; з одним завихрювачем та поворотом потоку на виході; з двома завихрювачами та поворотом потоку на виході. Надано критеріальні залежності факторів закрутки потоку та підвищення гідравлічного опору в каналі для їх узагальнення. Дано

залежності коефіцієнтів гідравлічного опору завихрювачів від долі витрати додаткового потоку до сумарної витрати крізь канал.

Особливістю фізичної моделі похило-тангенційної закрутки повітряного потоку за відсутністю додаткового супутньо-закрученого потоку крізь торцеву поверхню каналу є автомодельність відносної величини локального параметра закрутки $\text{tg}\varphi_w / \text{tg}\varphi_{w0}$ від числа Рейнольдса в інтервалі його значень 65000 - 94000.

Завдяки вказаній особливості фізичної моделі стало можливим отримати апроксимуючу залежність відносної величини локального параметра закрутки по довжині каналу в дослідженому інтервалі значень чисел Рейнольдса з відхиленням не більше 8%.

Це також підтверджує адекватність фізичної моделі зробленим припущенням.

За результатами фізичного моделювання виявлено закономірності процесів течії в каналі з додатковим супутньо-закрученим потоком. При умові відкритого виходу потоку з каналу має місце максимум локального параметра закрутки, який відповідає рівності швидкостей через додатковий отвір та завихрювач. За умов повороту потоку на виході з каналу, підвищення долі витрати додаткового супутньо-закрученого потоку призводить до трансформації залежності з максимумом в залежність з мінімумом локального параметра закрутки.

У четвертому розділі наведено результати експериментального дослідження теплообміну в циліндричному каналі і в області тангенційних завихрювачів. За фактор інтенсифікації теплообміну прийняте відношення чисел Нусельта для тангенціального і осевого потоків. Визначним розміром чисел Нусельта є діаметр каналу.

В інтервалі значень числа Рейнольдса 77000 – 104000 фактор інтенсифікації теплообміну не залежить від цього числа для каналу з одним завихрювачем і відкритим виходом потоку.

За допомогою фізичного моделювання визначено залежності фактору інтенсифікації теплообміну для поздовжнього розподілення та від локального параметра закрутки.

При цьому як для умов з відкритим виходом потоку з каналу, так і з поворотом потоку на виході каналу числа Рейнольдса практично не впливають на характер поздовжнього розподілення фактору інтенсифікації теплообміну в каналі.

Досліджено і проаналізовано вплив належності двох завихрювачів на фактор інтенсифікації теплообміну в каналі. За результатами дослідження отримані узагальнюючі залежності фактору інтенсифікації теплообміну в формі критеріальних рівнянь між завихрювачами та після другого завихрювача.

Виявлено, що при однакових числах Рейнольдса інтенсивність теплообміну в каналі з одним завихрювачем вище по всій довжині каналу, за винятком невеликої ділянки після другого завихрювача, майже на 20%.

Визначено значення середньої інтенсивності тепловіддачі у області завихрювачів. Показано, що критеріальні залежності для усереднених чисел

Нусельта з похибкою не вище 9% апроксимуються ступеневими рівняннями від числа Рейнольдса.

У п'ятому розділі проаналізовано теплогідрравлічну ефективність досліджених способів течії повітря у круглому каналі з результатами досліджень способів інтенсифікації теплообміну інших авторів. Аналіз виконаний шляхом співставлення фактору аналогії Рейнольдса в залежності від фактора підвищення опору. Показано, що характеристики теплогідрравлічної ефективності при похило-тангенційній закрутці з одним завіхрювачем та ребрами-турбулізаторами приблизно однакові. При цьому більш проста технологія виготовлення та можливість подальшої раціоналізації способу похило-тангенційної закрутки дозволяє отримати більш високі значення теплогідрравлічної ефективності.

У висновках наведено основні результати дисертаційної роботи, які вирішують важливу для технічної теплофізики науково-прикладну задачу обґрунтування наукових засад підвищення теплогідрравлічної ефективності тепловіддачі на початковій ділянці у круглій трубі при похило-тангенційній закрутці повітряного потоку з урахуванням граничних умов на вході та виході з каналу, що забезпечує підвищення інтенсивності теплопередачі вцілому при спрощенні технології виготовлення.

Далі в роботі подано додатки і список використаних літературних джерел.

2. АКТУАЛЬНІСТЬ ТЕМИ ДИСЕРТАЦІЇ

Інтенсифікація теплопередачі є основою підвищення ресурсо- та енергозбереження в багатьох енергетичних установках і технологічному обладнанні. Інтенсифікація тепловіддачі, як однієї зі складових теплопередачі за рахунок закрутки потоку теплоносія вимагає вирішення двоєдиної задачі – зниження витрати теплоносія із одночасним спрощенням технології виготовлення засобів підвищення ефективності теплообміну. Отже використання похило-тангенційних закруток потоку з додатковим супутньо-закрученим потоком є перспективним напрямом інтенсифікації теплопередачі на початковій ділянці у круглій трубі, а тема дисертаційної роботи Дашевського Ю.Я., присвячена реалізації цього напрямку, актуальною.

Наведені в дисертації матеріали узагальнюють результати робіт, виконаних автором у рамках наукового напрямку відділу «Високотемпературної термогазодинаміки» Інституту технічної теплофізики Національної академії наук України за держбюджетною темою 1.7.1.817 «Термогазодинаміка вихрових та закручених потоків і її додаток до систем охолодження і регенераторів теплоти промислових газотурбінних установок» 0109U001510; плану науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт ЦНДДКР «Машпроект» Державного підприємства науково-виробничий комплекс газотурбобудування «Зоря»-«Машпроект» за темами «Повышение ресурса и надежности двигателей типа ДН80», «Внедрение системы внутреннего циклонного охлаждения рабочих лопаток турбины ГТД».

3. СТУПІНЬ ОБҐРУНТОВАНOSTІ НАУКОВИХ ПОЛОЖЕНЬ, ВИСНОВКІВ І РЕКОМЕНДАЦІЙ

3.1. Методологія та фізична основа досліджень.

За результатами аналізу існуючих способів та систем охолодження

лопаток газових турбін, результатів досліджень теплообміну та гідродинаміки закручених потоків в каналах, проведених у провідних наукових центрах країни і за кордоном, автор сформулював мету дослідження, а також задачі, вирішення яких забезпечує досягнення поставленої мети.

Дослідження включає аналіз залежності ефективності теплообміну від інтегральних і локальних параметрів закрутки потоку, розробку фізичної моделі процесів похило-тангенційної закрутки потоку в круглому каналі за умов підведення додаткового супутньо-закрученого потоку на вході та поворотом потоку на виході з каналу, фізичне моделювання гідродинамічних та теплообмінних процесів, що відбуваються при русі повітря в циліндричному каналі за таких умов, перевірку адекватності отриманих експериментальних даних результатам розрахунків і їх погодження з експериментальними результатами інших дослідників, виявлення закономірностей досліджених процесів в вигляді критеріальних залежностей середнього фактору підвищення опору та числа Нусельта, визначення раціональних параметрів процесів, розробку способів раціональної організації процесів охолодження лопаток турбін.

Методологічну основу дослідження з підвищення ефективності теплообміну в циліндричному каналі з похило-тангенційною закруткою потоку, становить експериментальний підхід візуалізації траєкторії руху повітря в каналі з урахуванням застосування впливу додаткового потоку супутньо-закрученого повітря на вході в канал та повороту потоку на виході з каналу для вилучення застійної зони у початковій ділянці каналу з малою інтенсивністю теплообміну.

Такий методологічний підхід забезпечує врахування взаємних зв'язків і впливів механічної енергії руху і процесів конвективного теплообміну, які проявляються в умовах реального охолодження лопаток турбін газотурбінних двигунів.

Фізичну модель дослідження становлять взаємно пов'язані процеси гідродинаміки та теплообміну в циліндричному каналі з похило-тангенційною закруткою потоку, які визначають їхнє функціонування як єдиного технологічного вузла і ефективність переносу теплоти від повітря до поверхні, а відтак і ефективність обладнання, де ці процеси використовуються. Фізична модель процесів ґрунтується на трьох припущеннях, які раніше були обґрунтовані для тангенційної та аксиально-лопаткової закрутки потоку в трубах.

Математична модель процесів гідродинаміки та теплообміну в циліндричному каналі з похило-тангенційною закруткою потоку відповідає інтегральним рівнянням руху та енергії в циліндричних координатах з азимутальною симетрією локальних параметрів.

В такій постановці задача дослідження забезпечує одержання кращих за цільовою функцією - фактору аналогії Рейнольдса параметрів процесів теплообміну, відповідно зниження середнього фактору підвищення опору повітря та підвищення середнього фактору інтенсифікації теплообміну в каналі. Граничні умови для математичної моделі, обмеження на змінні та припустимі області застосування її використання для турбулентних режимів руху

визначено достатньо коректно з урахуванням процесів охолодження лопаток турбін.

3.2. Математичний апарат дисертації.

Взаємно пов'язані процеси теплообміну й гідродинаміки, які становлять основу фізичної моделі повітряного потоку у круглій трубі при похило-тангенційній закрутці потоку, описані критеріальними алгебраїчними рівняннями. Нелінійні рівняння визначення локальних і середніх параметрів повітряного потоку апроксимовані у ступеневі рівняння, які використовувались у комп'ютерних програмах при розрахунках чисельних параметрів охолодження лопаток турбін.

Граничні умови, обмеження та використання відповідних рівнянь визначено достатньо коректно, а подальше їх узагальнення у вигляді закономірностей забезпечили достовірність результатів у реальних умовах застосування.

Коректні фізична та математична постановки дослідження забезпечують достатній рівень обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій.

4. ДОСТОВІРНІСТЬ НАУКОВИХ РЕЗУЛЬТАТІВ РОБОТИ

Достовірність наукових результатів підтверджена експериментальними даними з локальних і середніх параметрів теплообміну та гідродинаміки повітряного потоку; збереженням встановлених закономірностей у експериментально визначеному діапазоні режимів дослідження; результатами порівняння з результатами досліджень теплообміну осьового потоку повітря в циліндричному каналі, а також забезпечена коректною фізичною та математичною постановкою завдань дослідження; застосуванням для розрахунку похибок вимірювання коректних фундаментальних законів збереження енергії, маси, та щільності газових потоків.

Апробація фізичної моделі процесів теплообміну виконана із використанням експериментальних даних із теплообміну осьового потоку повітря в циліндричному каналі, одержаних іншими авторами, оброблених здобувачем шляхом визначення залежності осереднених чисел Нуссельта від чисел Рейнольдса для початкової ділянки каналу та стабілізованого турбулентного потоку. При цьому експериментальні дані з локальних та осереднених коефіцієнтів теплообміну, що відповідають значенням чисел Нуссельта, були отримані методами прямих та опосередкованих вимірів із припустимими розбіжностями між ними. Це забезпечувало високу їх точність: з урахуванням похибки замірів окремих параметрів (тиску – не більше 4 %; температури – 4,4 %; витрати робочого тіла – не більше 2,8 %), числа Рейнольдса 2,8 %, коефіцієнта гідравлічного опору 3,8 %, теплового потоку 6%, коефіцієнта тепловіддачі 7 % та числа Нуссельта 7,1.

Усе наведене обумовлює достовірність одержаних автором результатів, що пройшли відповідну апробацію, опубліковані в спеціалізованих наукових виданнях і обговорювалися в колах фахівців, що займаються даною проблемою.

5. НОВИЗНА НАУКОВИХ РЕЗУЛЬТАТІВ РОБОТИ

5.1. Нові наукові результати, отримані в області технічної теплофізики, полягають в наступному:

- вперше для умов похило-тангенційної закрутки повітряного потоку та умов впливу додаткового потоку супутньо-закрученого повітря на вході в канал та повороту потоку на виході з каналу для вилучення застійної зони у початковій ділянці каналу з малою інтенсивністю теплообміну одержані узагальнюючі критеріальні рівняння факторів інтенсивності теплообміну та гідравлічного опору від локального фактору закрутки потоку (тангенсу кута закрутки на стінці) на ділянках завіхрювачів, циліндричного каналу та вихідного повороту для наступних областей визначення параметрів потоку: за числами Рейнольдса 40000 – 110000, відносної витрати крізь додатковий канал до 0,3 та кутів закрутки до осі завіхрювача 60° , до осі каналу 45° і повороту на 90° ;
- вперше визначено, що при витратах додаткового потоку супутньо-закрученого повітря на вході в канал в межах до 0,12 від сумарної масової витрати повітря, коефіцієнт гідравлічного опору вихідного повороту зворотно пропорційно залежить від інтенсивності закрутки потоку і до двох разів нижче, ніж для осьового потоку при практично сталому факторі інтенсивності теплообміну в каналі;
- вперше експериментально доведено, що для отримання більш високого фактору інтенсифікації теплообміну в циліндричному каналі достатньо використання одного завіхрювача, а не двох;
- отримала подальший розвиток наукова гіпотеза однозначної залежності факторів конвективного теплообміну та гідродинаміки від локального фактору закрутки для умов похило-тангенційної закрутки повітря в циліндричному каналі.

6. ЗНАЧЕННЯ ОТРИМАНИХ В РОБОТІ РЕЗУЛЬТАТІВ ДЛЯ ТЕОРІЇ ТА ПРАКТИКИ

Теоретичне значення мають наступні результати дослідження:

- методологічний підхід до підвищення ефективності теплообміну повітрям внутрішньої поверхні циліндричного гладкого каналу, який відрізняється урахуванням умов похило-тангенційної закрутки повітряного потоку та умов впливу додаткового потоку супутньо-закрученого повітря на вході в канал та повороту потоку на виході з каналу для зменшення застійної зони у початковій ділянці каналу з малою інтенсивністю теплообміну та енергетичних втрат, на витрати енергії на рух повітря в каналі за відповідної різниці тисків і температур, що дозволяє раціонально організувати процеси теплообміну;
- закономірності процесів руху і теплообміну повітряного потоку в вигляді однозначних залежностей критеріальних рівнянь факторів конвективного теплообміну та гідродинаміки від локального фактору закрутки для умов похило-тангенційної закрутки повітря в циліндричному каналі;
- принципи та способи раціональної організації процесів руху та теплообміну охолоджуючого повітря в гладкому циліндричному каналі, які враховують особливості початкової ділянки його похило-тангенційної закрутки та умов впливу додаткового потоку супутньо-закрученого повітря на вході в канал та завершальної стадії процесів повороту потоку на виході з каналу.

Практичну цінність становлять результати дослідження:

- методика розрахунку параметрів процесів циклонного охолодження повітрям лопаток газових турбін, яка враховує змінність закономірностей теплообміну і

гідродинаміки вздовж корневих ділянок завіхрювачів, циліндричного гладкого каналу та його вихідної кромки з поворотом;

– схемно-конструктивні рішення охолодження повітрям лопаток газових турбін, що забезпечують спрощення та здешевлення технології виготовлення, яка не потребує виготовлення поверхні з мікротурбулізаторами, та ефективну їх експлуатацію в складі газотурбінних двигунів при підвищених температурах газів на вході в газову турбіну;

Новизна одержаних автором наукових результатів, їх значення для теорії конвективного теплообміну та гідродинаміки закручених потоків в каналі та методології проектування систем охолодження високотемпературних поверхонь свідчать про достатньо високий науковий рівень дисертації. Принципова новизна запропонованих автором методів і способів теплообміну при охолодженні лопаток турбін підтверджена двома патентами України на винаходи.

7. ШЛЯХИ ВИКОРИСТАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

Пропонується подальше впровадження методів і способів теплообміну при похило-тангенційної закрутці потоку в гладкому каналі з додатковим потоком супутньо-закрученого повітря на вході в канал та завершальної стадії процесів повороту потоку на виході з каналу в теплообмінних апаратах енергетичних установках та технологічному обладнанні:

– при проектуванні та будівництві промислових і транспортних газотурбінних двигунів з повітряним охолодженням соплових та робочих лопаток турбін;
– при модернізації газотурбінних установок вітчизняного виробництва, що знаходяться в експлуатації на території України і за її межами.

Пропонується використовувати результати роботи у спецкурсах для викладання в вищих навчальних закладах.

8. ОЦІНКА ЗМІСТУ ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Зміст дисертації відповідає напряму дослідження у спеціальності технічна теплофізика та промислова теплоенергетика, пов'язаному з удосконаленням систем охолодження й теплового захисту елементів промислових енергетичних установок, відбиває одержані автором теоретичні та прикладні результати, які у сукупності вирішують поставлену науково-прикладну задачу, що свідчить про завершеність наукового дослідження. Подання матеріалу в логічній послідовності з обґрунтуванням і узагальненням результатів у вигляді висновків по розділах і загальних висновків по роботі сприяє її сприйняттю як цілісного дослідження.

Наведені в роботі результати одержані автором особисто.

9. ПОВНОТА ВИКЛАДЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ РОБОТИ В ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЯХ

Результати дисертації опубліковано в одній монографії, 11 статтях у наукових спеціалізованих виданнях (без співавторів 1), 1 тези доповіді на міжнародній конференції (1), двох патентах України на винаходи.

У перерахованих вище роботах, опублікованих у відкритому друку, повністю розкриті основні наукові результати, що становлять суть дисертаційної роботи.

10. ЗАУВАЖЕННЯ ДО ЗМІСТУ ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Сучасні технології інтенсифікації теплопередачі являють собою комбіновані способи, які включають підвищення ефективності теплообміну та площі поверхні з сторони меншого з коефіцієнтів теплообміну.

Автором пропонується використати способи теплообміну при похило-тангенційної закрутці потоку в гладкому каналі з додатковим потоком супутньо-закрученого повітря на вході в канал та завершальної стадії процесів повороту потоку на виході з каналу. Така пропозиція заслуговує уваги і можливо в сучасних енергетичних установках та технологічному обладнанні буде реалізована. Тому при обговоренні варто відзначити, що при реалізації запропонованого рішення дійсно досягається удосконалення систем охолодження й теплового захисту лопаток турбін промислових газотурбінних установок та аналогічних високотемпературних поверхонь енергетичних установок та технологічних апаратів.

Проте при знайомстві зі змістом дисертації виникають наступні зауваження.

1. У вихідних даних відсутня інформація про розподіл часток за розмірами і швидкостям в просторі в початковий момент часу для різних елементів енергетичних установок.
2. Не обґрунтовано вплив вторинних процесів дроблення і злиття рідких частинок при їх русі в елементах енергетичних установок.
3. Не враховується форма твердих частинок при їх русі, що може викликати додаткові сили, які значно змінять траєкторію руху частинок і вплинуть на остаточний результат їх осадження. Наприклад, форма з викривленим профілем, викликає підйомну силу, яка в нестационарних умовах призводить до складних траєкторій, що не піддаються розрахунку.
4. Немає метрологічних оцінок дисперсності багатофазних потоків, дисперсійної і інтегральної ефективності сепарації при проведенні модельних і натурних випробувань в окремих елементах енергетичних установок.
5. Не зовсім коректно вважати розробку схеми багаторівневих технологій як напрямок дослідження, а результат розробки науковим. Більш коректна постановка дослідження повинна відображати або класифікацію, або схемне рішення, результатом яких є варіанти приватних технологій в залежності від потреб експлуатації різних енергетичних установок.
6. При формулюванні науково – технічної проблеми дослідження автором не показано зв'язок з розвитком стаціонарних і морських транспортних двигунів. У той же час відомо, що в даний час набуло широкого розвитку використання двопаливних двигунів на морському транспорті (DUAL FUEL DIESELS). При використанні на них газового палива буде актуальна постановка і рішення задач аерозольного очищення, що є предметом дослідження автора.

Втім зроблені зауваження не впливають на загальну позитивну оцінку роботи.

11. ВІДПОВІДНІСТЬ ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ ВИМОГАМ ДАК МОН УКРАЇНИ

В результаті вивчення представленої дисертаційної роботи, автореферату і наукових праць можна зробити наступний висновок.

1. Робота на тему "Сепараційні градієнтні аерозольні технології в енергетичних установках" є завершеною науковою роботою, в якій отримано нові науково обґрунтовані результати, що дають змогу створення енергетичних установок для суден, газоперекачувальних і теплоелектричних станцій з поліпшеними техніко-економічними, екологічними та експлуатаційними показниками в широкому діапазоні зміни навантаження шляхом впровадження сепараційного обладнання, в якому використовуються багаторівневі градієнтні аерозольні технології.

2. Дисертаційна робота відповідає паспорту спеціальності 05.05.03 - двигуни та енергетичні установки за напрямками досліджень 2, 4, 6 та 12.

3. Відповідно до пунктів 9, 10, 13 та 14 Порядку присудження наукових ступенів робота відповідає вимогам, що пред'являються до дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора наук, а її автор, Рижков Сергій Сергійович, заслуговує присудження наукового ступеня доктора технічних наук.

Завідуючий кафедрою суднових
енергетичних установок і технічної
експлуатації
Одеського національного морського
університету
доктор технічних наук, професор

Р.А. Варбанець

Фахівець відділу кадрів
ОДМУ



Директор *підписано*
Відділ кадрів