

ВІДГУК
офіційного опонента
доктора технічних наук, професора Варбанця Романа Анатолійовича

на дисертаційну роботу Рижкова Ростислава Сергійовича
«Створення високоефективного турбоімпактного сепаратора стиснутих газів для
газотурбінних установок», що представлена на здобуття наукового ступеня кандидата
технічних наук за спеціальністю 05.05.03 – двигуни та енергетичні установки

1. Загальна характеристика роботи

1.1. Структура й обсяг дисертації. Дисертація складається із вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Обсяг дисертації становить 166 сторінок, у тому числі 150 сторінок основного машинописного тексту, що містить 53 рисунка і 14 таблиць. Бібліографічний список містить 126 найменувань.

1.2. Оформлення дисертації відповідає вимогам ДСТУ 3008-95 «Документація. Звіти в сфері науки й техніки. Структура й правила оформлення». Назва дисертації відповідає вибраній спеціальності й суті вирішеної науково-прикладної задачі. Матеріали роботи викладені в логічній послідовності відповідно до поставлених завдань дослідження, їх рішення розкрите повністю. Обсяг основного тексту відповідає встановленим вимогам. У дисертації використані тільки особисто розроблені автором ідеї й матеріали. Запозичені матеріали й результати досліджень інших авторів супроводжено необхідними посиланнями.

Зміст автореферату ідентичний змісту дисертації й дає повне уявлення про дисертацію. Вимоги до оформлення автореферату і його розсилання дотримані.

1.3. Зміст дисертації, її об'єкт і предмет дослідження відповідають паспорту спеціальності 05.05.03 – двигуни та енергетичні установки (за напрямками: п.2 – “Фізичне та математичне моделювання, системний аналіз і синтез термодинамічних, гідродинамічних, газодинамічних, електродинамічних, електрохімічних та інших процесів у двигунах, енергоустановках і їх елементах”; п.6 – “Системи й агрегати двигунів і енергетичних установок. Методи їх проектування та дослідження”; п. 12 – “Методи, технічні засоби та системи поліпшення характеристик двигунів і енергоустановок за екологічними властивостями, зокрема показниками шуму, вібрації та шкідливих викидів”).



1.4. Зміст роботи

У вступі обґрутовано актуальність теми, обрано об'єкт і предмет дослідження, сформульовано мета, головне й допоміжні завдання дисертаційної роботи, охарактеризовано методи дослідження, викладено наукова новизна й практичне значення наукових результатів, відображене повнота їх викладу в публікаціях і ступінь апробації на конференціях.

У першому розділі роботи на основі критичного аналізу сучасних тенденцій очищення стиснутих газів газотурбінних установок (ГТУ) автором обґрутована актуальність науково-прикладної задачі – створення високоефективного сепаратора стиснутих газів для ГТУ на основі запропонованих схемних рішень з очищення стиснутих газів і методів інтенсифікації процесів турбоімпактного переносу.

У другому розділі дисертації автором описана загальна методика досліджень процесів інтенсифікації очищення стиснутих газів в ГТУ. Наведені основні рівняння математичної моделі для розв'язання задач сепарації стиснутих газів на основі системи рівнянь в частинних похідних, що описують універсальні закони збереження маси, енергії, імпульсу в турбулентній багатофазній системі. Автор розкриває сутність використаних ним методів експериментальних досліджень, представляє описи експериментальних стендів для дослідження робочих процесів в сепараторах стиснутих газів, надає оцінку похибок вимірювання основних параметрів.

Третій розділ присвячено розробці схемних рішень турбоімпактних сепараторів стиснутих газів і теоретичним дослідженням їх основних гідродинамічних характеристик. Автором запропоновано узагальнену багатоступінчасту схему комплексної турбоімпактної інтенсифікації очищення стиснутих газів, що дозволяє враховувати і використовувати основні фізичні явища, що мають місце при очищенні: сили інерції, турбулентної дифузії, турбофорезу, діффузіофорезу, капілярні сили, силу тяжіння, тощо. На основі запропонованої схеми турбоімпактної інтенсифікації очищення стиснутих газів для проведено теоретичні дослідження розроблених конструктивних схем турбоімпактного сепаратора для ГТУ при витратах робочого тіла 500-2200 кг/год. Наведено результати теоретичного аналізу гідродинамічних особливостей струминного модуля попередньої очистки стиснутого газу, гофрованого сепараційного модуля та сепаратора для очистки

паливного газу ГТУ в цілому. Отримано розподіли швидкості та кінетичної енергії турбулентності у робочих ділянках сепаратора.

Четвертий розділ присвячено детальним теоретичним дослідженням основних гідродинамічних характеристик турбоімпактних сепараторів стиснутих газів для ГТУ, призначених для очищення робочого середовища від полідисперсної фази. Ці дослідження виконано з використанням сучасних тривимірних систем обчислювальної гідродинаміки. Автор розробив необхідні тривимірні моделі турбоімпактного струминного і гофрованого сепараційного модулів, а також сепаратора в цілому, і на їх базі провів детальні дослідження процесів турбоімпактної очистки. Автор привів необхідні графічні залежності, що дозволяють оцінити залежності ефективності очищення паливного газу від витрати робочого середовища. Сумарний коефіцієнт осадження полідисперсної фракції після всіх ступенів очистки сепаратора приймає значення від 85 до 99 %. Доведена можливість застосування уніфікованого сепаратора паливного газу ГТУ в широкому діапазоні витрат робочого тіла із збереженням невисоких значень перепадів тисків.

П'ятий розділ присвячено експериментальним дослідженням ефективності турбоімпактних сепараторів стиснутих газів та впровадженню результатів дисертаційної роботи. На основі виконаних досліджень автором розроблено конструкцію сепаратору паливного газу ГТУ, виготовлено дослідний зразок. Проведено його експериментальні випробування в стендових умовах, які показали, що ефективність очищення від аерозолів у турбоімпактному сепараторі з використанням гофрованого коагулятора становить 98-99,5 % при аеродинамічному опорі від 0,7 до 3,2 кПа. Розроблено конструкцію та виготовлено дослідний зразок турбоімпактного масловіддільника системи суфловання ГТУ замкнутого циклу. Його експериментальні дослідження показали, що сумарний коефіцієнт ефективності очищення становить 99,7-99,9 % при перепаді тиску 0,06 МПа. На основі отриманих теоретичних і експериментальних результатів для газотурбобудівного підприємства “Зоря”-“Машпроект” (м. Миколаїв) розроблено робочі креслення і виготовлено дослідні зразки турбоімпактного сепаратора паливних газів для ГТУ та турбоімпактного масловіддільника для очищення газу систем суфловання перспективних ГТУ замкнутого циклу.

У **висновках** узагальнено основні наукові положення й результати, що визначають наукову новизну й практичну цінність дисертації.

У результаті проведених автором досліджень вирішено актуальне для енергетичного машинобудування науково-прикладне завдання – створення високоефективного турбоімпактного сепаратора стиснутих газів для газотурбінних установок.

На підставі викладеного вище зроблено висновок про те, що дисертаційна робота Рижкова Р.С. є завершеною кваліфікаційною роботою, що містить всі необхідні розділи: оглядовий, теоретичний, експериментальний і розділ, що відображає узагальнення й впровадження результатів досліджень. Мета, поставлена в дисертаційній роботі, досягнута в результаті виконання всіх намічених завдань.

2. Актуальність обраної теми дисертаційного дослідження

В енергетичних газотурбінних установках нових поколінь гостро стоїть проблема очищення газоподібного палива від рідкої фази, оскільки при її підвищених концентраціях знижується економічність, довговічність, а також погіршуються експлуатаційні характеристики установок. Підвищення якості очищення стиснутих газів дозволить не тільки зменшити забруднення навколишнього середовища, а й знизити споживання палива за рахунок утилізації низькопотенційної енергії газових викидів. При експлуатації сучасних газотурбінних установок, що працюють на газоподібному паливі, виникають серйозні проблеми, пов'язані з попаданням газового конденсату в проточну частину двигуна. Найбільш інтенсивне утворення газового конденсату відбувається при тисках 2,0-4,0 МПа, характерних для сучасних газотурбінних двигунів. Все це приводить до необхідності удосконалювати систему підготовки паливного газу та підвищувати ефективність процесів очищення. Тому актуальність теми досліджень не викликає сумнівів.

Актуальність теми дисертації підтверджується її зв'язком з пріоритетними напрямками розвитку науки й техніки в Україні, напрямок З «Енергетика та енергоефективність», з тематичним планом фундаментальних науково-дослідних робіт Національного університету кораблебудування за держбюджетною темою № 1894 «Основи турбоімпактної інтенсифікації процесів переносу при очищенні багатофазних сумішей палив підвищеного тиску для енергетичних установок», номер держреєстрації № 0113U000241, та за госпрозрахунковою темою № 1875 «Розробка

сепаратора для первинної очищення паливних газів від твердої та рідкої фракцій», номер держреєстрації № 0111U009084, в яких автор брав участь в якості виконавця на посаді молодшого наукового співробітника.

3. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації

У дисертаційній роботі наведені наукові результати й висновки, для формулювання яких автором виконано значний за обсягом й науковим рівнем комплекс теоретичних і експериментальних досліджень. Обґрунтованість наведених положень забезпечується застосуванням сучасних розрахунково-експериментальних методів і засобів, адекватністю прийнятих припущень фізичної моделі і реальних процесів, які відтворювалися на спеціальних стендах і вивчалися за допомогою сучасних засобів вимірювання, задовільним узгодженням результатів розрахунків з експериментальними даними, а також результатами стендових і натурних випробувань. Отримані в роботі результати є логічними і не суперечать практиці проектування очисних пристройів для газотурбінних двигунів.

Методи дослідження.

Удосконалення характеристик сепараторів стиснутих газів для ГТУ забезпечене теоретико-експериментальним розв'язанням дослідницьких завдань. Розв'язання рівнянь математичних моделей турбулентного переносу здійснено за допомогою методу контрольного об'єму з використанням комплексів обчислювальної гідродинаміки. Експериментальні дослідження газоочисних апаратів енергетичних систем та установок проведено на спеціально створених стендах у вигляді аеродинамічних труб відкритого типу. При постановці дослідів використовувалася загальна теорія моделювання та планування експериментів, а при обробці даних та перевірці гіпотез – статистичний аналіз.

4. Наукова новизна результатів дисертаційної роботи

У дисертаційній роботі автором проведено комплекс теоретичних і експериментальних досліджень, що дозволив обґрунтувати стверджувати про ефективність турбоімпактної очистки стиснутих газів для ГТУ.

При цьому вперше:

- Розроблено узагальнену багатоступінчасту схему комплексної турбоімпактної інтенсифікації очищення стиснутих газів для газотурбінних установок, що дозволяє

підвищити ефективність уловлення аерозолів з використанням впливу сил інерції, турбулентної дифузії, турбофорезу, дифузіофорезу капілярних сил і сил тяжіння.

- Встановлено основні характеристики турбоімпактних сепараторів стиснутих газів різних конструктивних схем при варіюванні відстанню між поверхнями осадження та розмірами ступенів очищення: 0,25; 0,5 та 1,0 діаметра вхідного конфузору, які дозволяють визначати раціональну послідовність стадій очищення та геометричні й режимні параметри сепараторів.

- Виявлено розподіл швидкості та кінетичної енергії турбулентності у робочих каналах турбоімпактного струминного модуля та гофрованого сепараційного модуля сепаратора стиснутих газів для газотурбінних установок в діапазоні витрат робочого середовища 500–2200 кг/год.

- Доведено, що ефективність очищення від полідисперсних фракцій в турбоімпактному сепараторі паливних газів для ГТУ без використання гофрованого коагулятора в першому ступені очищення дорівнює 82–88 %, а з його використанням 98–99,5 % при аеродинамічному опорі 0,7-3,2 кПа.

На основі отриманих наукових результатів автор обґрунтовано сформулював наукове положення: інтенсифікація турбоімпактного переносу на плоских та розвинутих поверхнях осадження за рахунок сил інерції, турбулентної дифузії, турбофорезу й у відривних зонах в послідовно розташованих ступенях очищення з утворенням плівки рідини з вловлених крапель і подальшим її відведенням за рахунок капілярних сил і сил тяжіння забезпечує підвищення ефективності очищення стиснутих газів для газотурбінних установок від аерозольних часток.

5. Практичне значення отриманих результатів полягає в розробці та створенні ефективних, екологічно чистих турбоімпактних сепараторів паливних газів та масловіддільників систем суфлювання ГТУ замкнутого циклу, розрахованих на різні витрати газу, а також в розробці практичних рекомендацій з проектування їх проточних частин. Результати роботи впроваджені: в ДП НВКГ „Зоря-Машпроект” у вигляді дослідних зразків турбоімпактних сепараторів паливного газу та масловіддільників систем суфлювання ГТУ замкнутого циклу, а також рекомендацій з їх проектування, в Академії наук суднобудування України при проектуванні природоохоронних систем, а також в навчальному процесі і виконанні наукових досліджень в Національному університеті кораблебудування.

6. Рекомендації з подальшого розвитку робіт з тематики дисертаційного дослідження

Найбільш ефективною областю застосування отриманих результатів, технологій і рекомендацій можуть бути підприємства енергетичного машинобудування України, що займаються питаннями проектування та виготовлення газотурбінної техніки. Зокрема, результати досліджень можуть бути рекомендовані до користування таким підприємствам, як ДП НВКГ “Зоря”-”Машпроект”, АТ “Мотор-Січ” та ДП “Запорізьке машинобудівне конструкторське бюро “Прогрес”.

Вважаю, що результати дисертаційної роботи можуть бути науково-методичним підґрунтям подальших досліджень на інших підприємствах України, що займаються технічним удосконаленням систем паливопідготовки різних теплових двигунів, у тому числі дизельних, за напрямком підвищення їх екологічної та енергетичної ефективності.

Подальший розвиток досліджень за тематикою дисертації пов'язаний з розробкою положень щодо підвищення ефективності використання турбоімпактних сепараторів на різних режимах роботи енергетичної установки при зміні параметрів, що характеризують полідисперсне середовище.

7. Повнота викладу результатів.

За матеріалами дисертації опубліковано 33 наукові роботи, із них 7 статей в спеціалізованих наукових виданнях по технічним наукам, які входять в перечень, затверджених ДАК України, а також до наукометричних баз, 1 патент України на корисну модель, 24 матеріали в збірниках міжнародних конференцій, 1 наукова робота, що отримала Премію Верховної Ради України.

Основні результати роботи доповідалися й обговорювалися на науково-технічних конференціях: 3 і 4 міжнародних науково-технічних конференціях „Проблеми промислової теплотехніки”, м. Київ; 2 та 4 міжнародних науково-технічних конференціях „Інновації в суднобудуванні та океанотехніці”, м. Миколаїв, 2011 та 2013 р.; 7-10 міжнародних науково-технічних конференціях „Проблеми екології та енергозбереження в суднобудуванні”, м. Миколаїв, 2012-2015 р.

8. Зауваження до роботи, що рецензується

Як зауваження відзначаю наступне.

1. В розділі 1.1 автор детально розглядає джерела забруднення стиснутих газів для газотурбінних установок, підкреслює негативний вплив газового конденсату в природному газі на робочі процеси в камері згоряння, але не розкриває особливостей експлуатації сучасних низькоемісійних паливоспалюючих пристройів при наявності таких забруднень.

2. В розділі 2.3 запропоновано для визначення основних гідродинамічних характеристик турбоімпактних сепараторів для ГТУ використовувати узагальнену математичну модель, засновану на усередненні системи рівнянь в часткових похідних, що описують універсальні закони збереження маси, енергії, імпульсу в турбулентній системі. Однак докладно не вказано на числовий метод, за допомогою якого ця система рівнянь розв'язується.

3. З опису експериментальних стендів (рис. 2.4 та 2.4) не зовсім зрозуміло, на якому з них проводилися модельні (низький тиск середовища), а на якому натурні (високий тиск середовища) випробування дослідних зразків турбоімпактних сепараторів газу для ГТУ.

4. В висновках до розділу 2 автор наводить похиби прямих і непрямих вимірювань на експериментальних стендах, але не визначає похибку вимірювання втрати повного тиску в сепараторі, яка є дуже важливим показником ефективності його роботи.

5. Автор в розділі 3 пропонує узагальнену технологічну послідовність турбоімпактної інтенсифікації очищення стиснутих газів з використанням чотирьох ступенів послідовної очистки, а потім у розділі 5 дещо спрощує конструктивну схему дослідного зразка сепаратора. Це потребує пояснень стосовно потенційного зменшення ефективності очищення при вибраній послідовності стадій очистки.

6. В розділі 3 дисертації наведено розрахункові кінцево-різницеві сітки для розрахунків сепаратору паливного газу, але не зроблено пояснень за допомогою яких програмних засобів вони були побудовані. Розрахунки сепаратору стиснутого газу для ГТУ проведені при фіксованих значеннях витрати газу через проточну частину: 500; 1000; 1500; 2200 кг/год. Не зрозуміло, яким чином ці величини були визначені.

7. Для дослідження аеродинамічних властивостей сепаратору для очистки стиснутих газів приводяться розподіли кінетичної енергії турбулентності в характерних дільницях сепаратора. Для більш повної оцінки турбулентних потоків

потрібно було б прослідити характер зміни рівня дисипації турбулентної енергії, тим паче, що ця величина розраховується в використаній узагальненій математичній моделі.

8. В таблицях розділу 4 не надано пояснень стосовно кількості частинок (1080), які попадають в проточну частину сепаратора і використовуються при обчисленні коефіцієнту осадження. Також недостатньо описано характер розподілу цих частинок за розмірами.

9. З даних розділу 5 не ясно, чи були проведені експериментальні дослідження дослідних зразків сепаратора паливних газів та масловіддільника системи суфлювання ГТД на реальному двигуні, в умовах експлуатації відповідних об'єктів.

10. В розділі 5 встановлено, що сумарний коефіцієнт ефективності очищення розробленого турбоімпактного масловіддільника становить біля 99,9 %, але не ясно, чи розповсюджуються ці результати тільки на номінальний режим роботи ГТД, чи також і на режимах часткових навантажень.

Зауваження по дисертаційній роботі ні в якій мірі не знижують науковий рівень дисертації і значимість отриманих автором результатів.

9. Висновок

У результаті вивчення представлених Рижковим Ростиславом Сергійовичем дисертаційної роботи, автoreферату й наукових праць можна зробити наступний висновок:

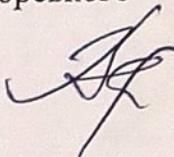
1. Дисертація на тему «Створення високоефективного турбоімпактного сепаратора стиснутих газів для газотурбінних установок» є завершеною кваліфікаційною роботою, у якій отримані нові науково обґрунтовані результати, що у цілому забезпечують рішення науково-прикладного завдання створення високоефективного сепаратора стиснутих газів для газотурбінних установок на основі запропонованих схемних рішень з очищення стиснутих газів і методів інтенсифікації

2. Дисертаційна робота відповідає паспорту спеціальності 05.05.03 «Двигуни та енергетичні установки» за напрямками 2, 6, 12.

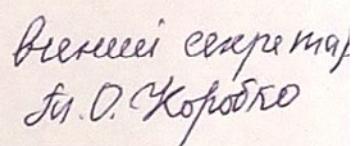
3. Відповідно до пункту 13 «Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вчених звань», затвердженого Постановою Кабінету міністрів України, робота відповідає вимогам, пропонованим до дисертацій на здобуття наукового

ступеня кандидата технічних наук, а її автор (Рижков Ростислав Сергійович) заслуговує присудження цього ступеня.

Завідувач кафедри суднових енергетичних установок
і технічної експлуатації Одеського національного морського
університету МОН України, д.т.н., професор


Р.А. Варбанець

Підпис завідувача кафедри суднових енергетичних
установок і технічної експлуатації,
д.т.н., проф. Варбанця Р.А. завіряю.


Відмінної кафедри
д.т.н. О. Коробко

