

ВІДГУК

офіційного опонента доктора технічних наук, старшого наукового співробітника Білеки Б.Д. на дисертаційну роботу Рижкова Сергія Сергійовича "Сепараційні градієнтні аерозольні технології в енергетичних установках", подану 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. Дисертація складається з анотації, вступу, 5 розділів, висновків, додатків. Загальний обсяг дисертації 434 сторінки, у тому числі 270 сторінок основного тексту, 120 рисунків на 108 сторінках, 56 таблиць, список використаних джерел інформації з 179 найменувань на 21 сторінці, додатки на 77 сторінках.

1.2. Оформлення дисертації. Дисертаційна робота оформлена відповідно до стандарту ДСТУ 3008-95 "Документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура і правила оформлення".

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

Обсяг і структура роботи відповідають вимогам, встановленим МОН України для дисертацій на здобуття наукових ступенів.

Зміст автореферату ідентичний змістові дисертації і відображає її основні положення.

1.3. Зміст дисертації, об'єкт і предмет дослідження відповідають паспорту спеціальності 05.05.03 – Двигуни та енергетичні установки за формулою спеціальності та напрямами досліджень (2, 4, 6, 12).

Зміст роботи.

В анотації стисло викладено основні кваліфікаційні показники і зміст роботи, подано список опублікованих праць за темою дисертації із зазначенням особистого внеску здобувача.

У вступі обґрунтовано актуальність теми та її зв'язок з науковими програмами і планами, сформульовано мету та завдання наукового дослідження, об'єкт і предмет дослідження, стисло викладено методологічні основи досліджень, сформульовано наукову новизну, теоретичне та практичне значення одержаних результатів, відображені ступінь їх апробації на конференціях та повноту викладення в публікаціях.

У першому розділі проаналізовано стан проблеми очищення робочих тіл двигунів та енергетичних установок від частинок менше 10 мкм. Показано, що для її вирішення необхідна розробка очисного обладнання на принципово нових теоретично-прикладних засадах, і передусім **комбінованим** **«ОДЕСЬКА МОРСЬКА АКАДЕМІЯ»**

КАНЦЕЛЯРІЯ

Вхідний № 580 1
Надійшло 23.08.2014 р.

застосуванням різних механізмів сепарації з використанням градієнтів потенціалів фізичних полів різної природи та енергії самих робочих тіл. За результатами аналітичного дослідження визначено мету і виконано постановку завдань наукового дослідження.

У другому розділі обґрунтовані методи дослідження багаторівневих систем очищення з комбінованим застосуванням різних механізмів сепарації відповідно до робочих тіл, стану та складу аерозольних сумішей.

Наведена математична модель процесів їх сепарації при комбінованій дії сил у вигляді системи диференційних рівнянь у частинних похідних, що відповідають законам збереження імпульсу, енергії та маси при турбулентному русі в'язкої рідини з умовами однозначності. Для розв'язання тривимірних завдань і врахування анізотропності турбулентної в'язкості в систему рівнянь Навье–Стокса введено індивідуальні рівняння транспорту напружень Рейнольдса та рівняння для коефіцієнта дисипації.

Наведені методи експериментального дослідження процесів сепарації аерозольних середовищ, зокрема голографічної інтерферометрії при дослідженні аерозольних потоків, поверхневої індикації потоку, розрахунок концентрації дисперсної фази здійснювався ваговим методом, а також із застосуванням фотоелектричних лічильників і фотометрів аерозолів.

Розроблені експериментальні стенді для дослідження сепарації аерозолів з підвищеною концентрацією рідкої фази, високодисперсних аерозольних середовищ. Наведені методика проведення вимірювань та оцінка похиби вимірювань. Вимірювання витрати повітря здійснено непрямим методом з відносною похибкою 3,5%, а швидкості осадження частинок – з похибкою 4,5%, концентрації частинок – 3%.

Виконане узагальнення результатів дослідження градієнтних процесів перенесення при очищенні аерозольних середовищ.

Результати фізичного моделювання та візуалізації процесів обтікання струминним потоком поверхонь та обтікання струменями багатофункціональних поверхонь осадження методом голографічної інтерферометрії наведено у третьому розділі.

Визначені перспективні варіативні схеми інерційних сопел, комбінування яких дозволяє створювати високоефективні інерційні ступені очищення для градієнтних технологій сепарації аерозольних сумішей. Аналіз результатів математичного моделювання показав, що наявність поперечних пульсацій сіток, відносно руху потоку з аерозолями, дозволяє інтенсифіковати процес осадження частинок і підвищити коефіцієнт уловлювання від 5 до 5,9 % при вихідній швидкості потоку 1 м/с та від 42,5 до 46,5 % при швидкості 20 м/с.

Четвертий розділ присвячено встановленню особливостей сумісного застосування градієнтних технологій неізотермічної та акустофоретичної сепарації аерозольних сумішей. Наведені результати дослідження характеристик акустофоретичної та акустиконеізотермічної сепарації в багатофункціональних поверхнях каналів.

Досліджені структури потоку. Порівняння результатів кінозйомки їх термограми з розрахунками даними показало їх задовільне узгодження. При

цьому розбіжність не перевищувала 12 %, що підтверджує достовірність прийнятої фізичної моделі процесу сепарації.

Встановлено, що для діапазону перепаду температур 0...80 °C і швидкостей потоку 0,5...7,0 м/с розподіл основних гідродинамічних характеристик потоку (швидкості, кінетичної енергії турбулентності та статичного тиску) в сітковому коагуляторі практично однаковий, що свідчить про відсутність впливу неізотермічності на гідродинамічні характеристики потоку.

Теоретичне дослідження характеристик акустофоретичної сепарації в багатофункціональних поверхнях каналів проведено у тривимірній постановці задачі. При цьому похибка розрахунків з використанням програмного пакету не перевищувала 10^{-3} для швидкості потоку, умови нерозривності, кінетичної енергії турбулентності та напруження Рейнольдса.

У п'ятому розділі шляхом дослідження сепараторів на основі багаторівневих градієнтних аерозольних технологій та упровадження результатів роботи в енергетичних установках. На підставі результатів моделювання розроблено конструктивні схеми та рекомендації з побудови пристройів очищення дисперсних середовищ для екологічних і економічних енергетичних установок: сепараторів для пневмосистем і картерних газів двигунів внутрішнього згоряння, односекційного та багатосекційного неізотермічного сепараторів для енергетичних установок, багатоступінчатих плоских акустофоретичних сепараторів, акустофоретичного модуля сепаратора та ін.

Дослідження комбінованих градієнтних технологій сепарації аерозолів здійснено 3D моделюванням, за результатами якого запропонована модель багаторівневої системи очищення, розроблено конструктивні схеми та рекомендації зі створення сепараторів дисперсних середовищ для еколого-економічних енергетичних установок, зокрема сепараторів для пневмосистем і картерних газів двигунів внутрішнього згоряння, багатосекційних неізотермічних сепараторів, багатоступінчатих плоских акустофоретичних сепараторів та інших.

Наведено висновки по дисертаційній роботі.

II. АНАЛІЗ ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Актуальність теми дисертації

Погіршення техніко-економічних і екологічних показників двигунів та енергетичних установок, зумовлене падінням інтенсивності теплопередачі в елементах газоповітряного тракту через їх забруднення, шкідливими викидами в атмосферу з відпрацьованими газами, а також незворотні втрати мастил, води тощо гостро ставлять проблему очищення їх робочих тіл, основу яких становить навколоишне повітря, від різноманітних дисперсних включень рідкої та твердої фаз, а також продуктів згоряння рідких і газоподібних палив.

Вирішення проблеми очищення газоподібних продуктів згоряння

двигунів забезпечує підвищення ресурсу елементів їх газоповітряного тракту, зменшення споживання палива завдяки більш глибокій утилізації низькопотенційної енергії газопарових викидів, скорочення втрати цінних матеріалів і забруднення навколошнього середовища енергетичними установками.

Сучасні сепараційні технології здатні очищувати газові та рідкі середовища від частинок розміром більше 10 мкм з ефективністю не менше 0,99. Їх якісне більш глибоке очищення потребує розробки сепараційного обладнання, здатного уловлювати частинки розміром менше 10 мкм з високою ефективністю, причому з реалізацією ресурсозберігаючого потенціалу самих установок шляхом використання енергії їх робочих тіл, зокрема градієнту полів різної фізичної природи.

Науково-прикладною проблемою, що вирішується в дисертаційній роботі, є створення інноваційних технологій сепарації аерозольних середовищ під дією рушійних сил різної фізичної природи, що викликані градієнтами їх потенціалів з використанням енергії робочих тіл двигунів та їх імплементація в ресурсозберігаючому екологічному обладнанні енергетичних установок.

Наведені в дисертації матеріали узагальнюють результати робіт, виконаних автором у відповідності до тематичного плану фундаментальних науково-дослідницьких держбюджетних і господарських робіт Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова в рамках пріоритетних напрямів розвитку науки і техніки в Україні.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій

Методологічну основу дослідження становить підхід до вдосконалення технологій очищення робочих тіл двигунів сепарацією аерозольних середовищ під дією градієнтів потенціалів фізичних полів різної природи (тиску, температури, густини тощо) з використанням для його підвищення енергії самих робочих тіл двигунів та застосуванням багатофункціональних поверхонь у газоповітряних каналах.

Теоретико-експериментальне розв'язання завдань дослідження проведено на єдиній методологічній основі. Розв'язання рівнянь турбулентного перенесення в математичних моделях осадження здійснене за допомогою методу контрольного об'єму з використанням сучасного комплексу обчислювальної гідродинаміки. При постановці дослідів використовувалася загальна теорія моделювання та планування експериментів, а при обробці даних і перевірці гіпотез – статистичний аналіз.

Експериментальні дослідження сепараторів для енергетичних систем проведено на спеціально створених стендах у вигляді аеродинамічних труб відкритого типу із застосуванням лічильників частинок і фотометрів аерозолів; розрахунок концентрації дисперсної фази здійснено ваговим методом за допомогою аналітичних фільтрів.

Фізичну основу дослідження становлять моделі процесів гідроаеродинаміки та тепломасообміну в градієнтних полях аерозольних

середовищ у вигляді системи диференційних рівнянь у частинних похідних, що описують закони збереження імпульсу, енергії і маси при турбулентному русі в'язкої рідини з умовами однозначності. Введення в систему рівнянь Нав'є-Стокса індивідуальних рівнянь транспорту напружені Рейнольдса і рівняння для коефіцієнта дисипації дало змогу враховувати анізотропність турбулентної в'язкості та застосовувати додаткові транспортні рівняння для розв'язання тривимірних завдань. Рівняння турбулентного масоперенесення отримано на основі рівнянні енергії шляхом заміни ентальпії на концентрацію частинок.

Достовірність наукових результатів роботи

Достовірність наукових результатів забезпечена коректною фізичною та математичною постановкою завдань дослідження, застосуванням для розрахунку фундаментальних законів збереження енергії, маси та імпульсу газових потоків, сучасних методів 3D-моделювання та експериментальних досліджень з високоточними системами вимірювань, задовільним узгодженням результатів моделювання з експериментальними даними з теплообміну та гідродинаміки повітряного потоку, збереженням встановлених закономірностей в діапазоні режимів експериментальних досліджень, а також результатами натурних досліджень.

Новизна наукових результатів роботи

Нові наукові результати, отримані автором, полягають у наступному:

В результаті виконаних наукових досліджень отримав подальший розвиток напрям створення інноваційного ресурсо- й екологозберігаючого обладнання енергетичних установок на основі градієнтних технологій очищення робочих тіл теплових двигунів від аерозольних домішок та розроблена концепція сепарації аерозольних середовищ шляхом комбінованого використання різних механізмів сепарації: інерційної, турбофоретичної, неізотермічної та акустофоретичної, яка покладена в його основу і реалізація якої забезпечує підвищення ефективності очищення робочих тіл двигунів понад 99 % від аерозольних домішок розміром менше 10 мкм та, як наслідок, поліпшення техніко-економічних і екологічних показників двигунів та енергетичних установок.

1. Вперше методами фізичного та математичного моделювання термоаеродинамічних і акустичних процесів багатофазних середовищ обґрунтовано підвищення інтенсивності очищення робочого тіла двигунів у градієнтних технологіях сепарації аерозольних середовищ і, як наслідок, поліпшення техніко-економічних показників двигунів та енергетичних установок за рахунок зменшення термічного й аеродинамічного опору на поверхнях елементів їх проточних частин при осадженні аерозолю, а також скорочення викидів пари і мастила в навколошнє середовище.

2. Вперше обґрунтовано й реалізовано принцип комбінованої сепарації частинок твердого і рідинного аерозолів робочих тіл двигунів та енергетичних

установок з розміром частинок 1...10 мкм застосуванням різних способів градієнтної сепарації залежно від складу робочого тіла й відповідного енергетичного обладнання.

3. Вперше розроблено і реалізовано в комбінованих технологіях очищення робочих тіл двигунів та енергетичних установок способи раціональної організації процесів з різними механізмами сепарації аерозольних середовищ, а також визначено параметри та умови ефективного застосування способів, зокрема швидкість і дисперсність дво- та багатофазних потоків робочих тіл, форма, розміри й орієнтація поверхонь осадження, потенціали термоаеродинамічних і акустичних полів тощо, умови формування ділянок осадження, за яких відбувається укрупнення частинок уловленої рідкої фази та її відвedenня без вторинного винесення в потік і які забезпечують збільшення коефіцієнта уловлювання від 50 до 80 % за рахунок інтенсифікації процесів сепарації шляхом використання різних її механізмів: інерційного, турбофоретичного, неізотермічного та акустофоретичного.

4. Отримав подальший розвиток метод 3D-проектування та дослідження систем і агрегатів двигунів та енергетичних установок: пневмосистем і систем картерних газів двигунів внутрішнього згоряння, одно- та багатосекційних неізотермічних сепараторів газопаротурбінних установок, акустофоретичних сепараторів і масловіддільників систем суфлювання газотурбінних двигунів, стиснутих газів енергосистем, суднових систем очищення повітря від краплинної вологи, які використовують технології інерційної і градієнтної турбофоретичної, неізотермічної та акустофоретичної сепарації.

На основі отриманих наукових результатів сформульовано **наукові положення:**

– створення інноваційних енергетичних установок для суден, газоперекачувальних і теплоелектричних станцій з поліпшеними техніко-економічними, екологічними та експлуатаційними показниками в широкому діапазоні зміни навантаження можливе шляхом імплементації сепараційного обладнання, в якому використовуються комбіновані технології градієнтної сепарації аерозольних середовищ, які завдяки комбінації різних способів як сукупності процесів та умов сепарації забезпечують гнучку адаптацію до режимів експлуатації, робочих тіл і відповідного енергетичного обладнання;

– підвищення ефективності очищення робочих тіл енергетичних установок і фракційних та інтегральних показників їх сепараційного обладнання досягається комбінованим очищенням аерозольних середовищ шляхом застосування різних механізмів сепарації з використанням енергетичного потенціалу самих потоків робочого тіла (інерційна, турбо- та дифузіофоретична сепарація) та зовнішніх джерел (неізотермічно- та акустофоретична сепарація);

– необхідний рівень ефективності очищення робочих тіл енергетичних установок залежно від режимів їх експлуатації, дисперсного складу робочого тіла і відповідного обладнання досягається сумісним застосуванням

градієнтних технологій з різними механізмами сепарації: інерційного, турбофоретичного, неізотермічного та акустофоретичного при швидкостях газу до 20 м/с, розмірах частинок аерозолю 1...10 мкм, а також ефективності очищення не нижче 0,99.

Значення отриманих в роботі результатів для теорії та практики

Теоретичне значення мають наступні результати дослідження:

- концепція технології градієнтної сепарації аерозольних середовищ робочих тіл двигунів та енергетичних установок шляхом комбінованого використання різних механізмів сепарації: інерційного, турбофоретичного, неізотермічного та акустофоретичного, яка покладена в основу напряму створення інноваційного ресурсо- й екологозберігаючого обладнання енергетичних установок і реалізація якої забезпечує підвищення ефективності очищення робочих тіл двигунів понад 99 % від аерозольних домішок розміром менше 10 мкм та, як наслідок, поліпшення техніко-економічних і екологічних показників двигунів та енергетичних установок;
- принцип очищення робочих тіл двигунів та енергетичних установок від аерозолів з розміром частинок 1...10 мкм за технологіями градієнтної сепарації та способи раціональної організації процесів очищення з різними механізмами сепарації залежно від складу робочого тіла й відповідного енергетичного обладнання, параметри та умови формування ділянок осадження, за яких відбувається укрупнення частинок уловленої рідкої фази та її відведення без вторинного винесення в потік і які забезпечують збільшення коефіцієнта уловлювання з 50 до 80 %;
- вдосконалений метод 3D-проектування та дослідження суднових систем очищення циклового повітря двигунів від краплинної вологи, які використовують технології інерційної і градієнтної турбофоретичної, неізотермічної та акустофоретичної сепарації.

Практична цінність результатів дослідження полягає у створенні ефективних, екологічно чистих і ресурсозберігаючих сепараторів на основі градієнтних технологій сепарації аерозольних середовищ, рекомендації з проектування їх проточних частин, схемні та конструктивні рішення з комплексного збереження енергетичних і матеріальних ресурсів в газотурбінних двигунах, двигунах внутрішнього згоряння та системах кондиціювання, які забезпечують поліпшення їх екологічних показників і принципова новизна яких підтверджена патентами та заявками на винаходи. Результати дослідження та запропоновані зразки сепараторів можуть бути використаними також в технологічному обладнанні.

Новизна одержаних автором наукових результатів, їх значення для теорії і практики свідчать про достатньо високий науковий рівень дисертації.

Шляхи використання результатів досліджень

Результати роботи впроваджені в ДП НВКГ "Зоря"- "Машпроект" (м. Миколаїв) – сепаратор для первинного очищення паливних газів від твердої та рідкої фракцій; ПАТ "Завод "Екватор" (м. Миколаїв) – система очищення повітря від краплинної вологи; "Batumi Navigation Teaching University LTD" (Грузія) – судновий сепаратор для очищення повітря в машинному відділені; "Georgian Veritas LTD", "Marine technical service LTD", "Sea service LTD" (Грузія) – сепаратор для очищення стисненого повітря від рідких та твердих частинок для суднового обладнання з високим тиском; ДП ПКБ "Чорноморсуднопроект" (м. Миколаїв) – система очищення повітря від краплинної вологи для технічного кондиціонування приміщень машинного відділення; "China-Ukraine (Jiangsu) Transnational Transfer Center of Shipbuilding and Marine Engineering" (Китай) – система контролю та розділення різноманітних рідких речовин (вода, масло та інші)"

Пропонується подальше впровадження результатів в організаціях–розробниках газотурбінних установок: "Мотор-Січ", м.Запоріжжя; Сумське ВО ім. М.В.Фрунзе.

Результати роботи пропонується також використовувати у спецкурсах у вищих навчальних закладах.

Оцінка змісту дисертаційної роботи

Зміст дисертації відповідає напряму дослідження спеціальності 05.05.03 – двигуни та енергетичні установки, пов’язаному з удосконаленням систем транспортних та промислових енергетичних установок, відбиває одержані автором теоретичні та прикладні результати, які у сукупності вирішують поставлену науково-прикладну проблему, 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 наукові результати внесено на захист вперше, вони не перебігаються з результатами кандидатської дисертації, відзначаються новизною, одержані автором особисто, теоретично обґрунтовані й підтвердженні експериментально, пройшли широку апробацію на авторитетних міжнародних конференціях, достатньо повно викладені у фахових вітчизняних та закордонних, інших науково-технічних виданнях.

Автореферат адекватно відображає зміст і основні положення роботи.

Повнота викладення результатів роботи в опублікованих працях

Результати роботи викладені в 31 публікації, з них 19 у фахових наукових виданнях, рекомендованих МОН України для публікації результатів дисертаційних досліджень (8 без співавторів), 1 у міжнародних журналах (без співавторів); 42 доповідях на міжнародних конференціях (10 без співавторів); 4 авторських свідоцтвах (3 без співавторів). У зазначених роботах повністю розкриті основні наукові результати, що становлять суть дисертаційної

роботи.

ІІІ. ЗАГАЛЬНІ ЗАУВАЖЕННЯ І ПОБАЖАННЯ

1. Більш уточненими можуть бути такі формулювання об'єкту та предмету дослідження: "Об'єктом дослідження є технології очищення робочих тіл двигунів і енергетичних установок, а предметом – процеси градієнтної сепарації аерозольних середовищ, фракційні й інтегральні показники сепараторів".

2. Відповідно до скоригованих об'єкта та предмета дослідження (див. зауваження 1) формулювання назви теми дисертації бажано було б теж скоригувати як "Технології градієнтної сепарації аерозольних середовищ робочих тіл енергетичних установок"

3. Зміст праць [3-4] не дає підстав для детального дослідження окремих способів сепарації багатофазних потоків.

4. Наведена на рис. 2.1 схема відображає не рівні як ступені послідовного очищення робочого тіла від аерозольних домішок (ступені грубого, тонкого очищення тощо), а комбінації різних механізмів сепарації.

5. Умови візуалізації відривних потоків потребують додаткового обґрунтування при реєстрації швидкісною фотоз'йомкою температурних неоднорідних полів.

6. Автором отриманий велими значний обсяг експериментальних і теоретичних (за результатами 3D-моделювання) даних з характеристик аерозольних потоків як у ядрі, так і у пристінних пограничних шарах. На їх основі доцільно було б навести також дані з розподілу енергії турбулентності та тепло- і масообміну, як визначальних факторів термічного та гіdraulічного опору елементів газоповітряних трактів двигунів і енергетичних установок і значною мірою – їх ресурсу. Для цього було б бажано залучити до експериментальної частини дослідження термоанемометричні методи вимірювання степені турбулентності і з урахуванням отриманих результатів проводити верифікацію фізичної та розрахункової моделей процесів.

7. Зміст підрозділу 4.1 присвячено здебільшого методу оптичних вимірювань. Більш доцільним було б розмістити його в підрозділі 2.3.

8. Не ясно, за якими критеріями порівнювалися розрахункові та експериментальні результати в таблицях 5.1 і 5.2, якщо похибка становить 10 %.

9. Для розроблених сепараторів відсутні техніко-економічні показники, що обмежує можливості їх аналізу шляхом порівняння з існуючим обладнанням.

Втім зазначені зауваження не впливають на загальну позитивну оцінку роботи.

IV. ВИСНОВКИ ОПОНЕНТА

Відповідність дисертаційної роботи встановленим вимогам МОН України

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

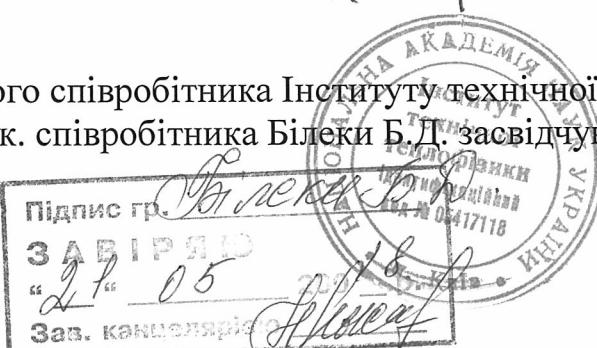
1. Дослідження на тему "Сепараційні градієнтні аерозольні технології в енергетичних установках" є завершеною науковою роботою, в якій отримано нові науково обґрунтовані результати, що дають змогу підвищити ефективність суднових енергетичних установок за рахунок очищення робочих тіл від аерозолів.

2. Дисертаційна робота відповідає паспорту спеціальності 05.05.03 "Двигуни та енергетичні установки" за напрямами досліджень: п. 2 – Фізичне та математичне моделювання, системний аналіз і синтез термодинамічних, гідродинамічних, газодинамічних, електродинамічних, електрохімічних та інших процесів у двигунах, енергоустановках та їх елементах; п. 4 – Конструкції двигунів і енергоустановок. Розробка деталей, вузлів, агрегатів; п. 6 – Системи і агрегати двигунів та 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 і шкідливих викидів.

3. Відповідно до пп. 9, 10, 13 та 14 "Порядку присудження наукових ступенів" робота відповідає вимогам, що пред'являються до дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук, а її автор Рижков Сергій Сергійович заслуговує присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.05.03 - двигуни та енергетичні установки.

Провідний науковий співробітник
Інституту технічної теплофізики НАН України
доктор технічних наук, старший науковий співробітник
Лауреат Державної премії України
в галузі науки і техніки

Б.Д.Білека



Підпис провідного наукового співробітника Інституту технічної теплофізики НАН України д.т.н., ст.наук. співробітника Білеки Б.Д. засвідчує: