

## **В І Д Г У К**

офіційного опонента на дисертаційну роботу

**Константинова Олега Ігоровича**

на тему: «Метод підвищення ефективності експлуатації суднової енергетичної установки шляхом утилізації теплоти охолодження

головного чотиритактного двигуна»,

представлену на здобуття наукового ступеня доктора філософії

в галузі знань 27 «Транспорт»

за спеціальністю 271 «Морський та внутрішній транспорт»

### **Актуальність теми дисертаційної роботи**

Дисертаційна робота Константинова О.І. присвячена вирішенню актуального науково-прикладного завдання підвищення енергетичної ефективності суднових енергетичних установок шляхом використання низькопотенційної теплоти систем охолодження головних двигунів для виробництва електричної енергії при реалізації органічного циклу Ренкіна.

У сучасних умовах розвитку морського транспорту питання раціонального використання паливно-енергетичних ресурсів набувають особливого значення. Посилення міжнародних вимог щодо скорочення викидів парникових газів, необхідність підвищення енергетичної ефективності суден та зниження експлуатаційних витрат стимулюють розвиток технологій утилізації вторинних енергетичних ресурсів.

Одним із найбільш перспективних напрямів є використання низькопотенційної теплоти систем охолодження суднових двигунів.

Особливістю таких джерел теплоти є відносно невисокий температурний рівень, що вимагає застосування спеціалізованих циклів перетворення енергії. Саме тому органічний цикл Ренкіна (ОЦР) сьогодні розглядається як один із найбільш перспективних способів утилізації низькопотенційної теплоти як в стаціонарних умовах, так й на засобах водного транспорту.

Науковий інтерес до даної тематики обумовлений не лише можливістю підвищення паливної ефективності суден, але й перспективами створення комплексних теплоутилізаційних, холодильних та теплонасосних систем нового покоління.

Саме тому тематика дисертаційної роботи повністю відповідає сучасним тенденціям розвитку енергозберігаючих технологій та є актуальною як з наукової, так і з практичної точки зору.

## **Оцінка обґрунтованості наукових результатів, їх достовірності та новизни**

Найбільш суттєвою перевагою дисертаційної роботи є комплексний підхід до оцінки ефективності використання низькопотенційної теплоти охолоджувальної води суднових двигунів. Автором використано сучасні методи термодинамічного аналізу, математичного моделювання та оптимізації параметрів систем, що реалізує ОЦР. В основу досліджень покладено характеристики реального суднового двигуна Wärtsilä 12V46F та промислової установки Climeon HeatPower 300 Marine, що забезпечує практичну спрямованість отриманих результатів.

Обґрунтованість результатів підтверджується використанням фундаментальних положень технічної термодинаміки, теорії теплообміну та сучасних методів аналізу низькотемпературних енергетичних циклів. Особливо позитивно слід оцінити те, що автор відмовився від поширеного підходу до оцінки енергетичних систем лише за номінальних режимів роботи та перейшов до аналізу річних профілів навантаження двигуна, який є джерелом низькопотенційної теплоти. Це дозволило оцінити не тільки миттєву ефективність циклу, але й його реальний внесок у підвищення енергетичної ефективності судна протягом експлуатаційного циклу.

На думку опонента до елементів наукової новизни слід віднести:

- розроблення методичного підходу до оцінки доцільності впровадження суднових систем, що реалізують ОЦР, з урахуванням режимів роботи головного двигуна, температури забортної води та обмежень встановленої потужності;
- встановлення закономірностей впливу температури забортної води на річну ефективність суднових систем, що реалізують ОЦР;
- обґрунтування підходу до вибору встановленої потужності судової системи, що реалізує ОЦР, на основі реальних профілів навантаження двигуна;
- комплексну оцінку енергетичної та екологічної ефективності систем утилізації теплоти охолодження суднових двигунів.

Разом з тим доцільно відокремити результати, що мають ознаки наукової новизни, від результатів параметричного дослідження.

На думку опонента, визначення конкретного робочого тіла, отримання конкретних значень виробітку електроенергії або встановлення переваги певної схеми циклу для розглянутого випадку слід розглядати як результат виконаних розрахункових досліджень, а не як самостійні елементи наукової новизни.

Такий підхід не зменшує цінності роботи, але дозволяє більш чітко визначити науковий внесок автора.

Достовірність отриманих результатів забезпечується використанням сучасних програмних засобів моделювання та баз даних з теплофізичних властивостей робочих тіл, узгодженням отриманих залежностей із фундаментальними положеннями термодинаміки та відповідністю результатів сучасним дослідженням у сфері технологій утилізації вторинної теплоти.

### **Практичне значення результатів дослідження**

Практична цінність роботи полягає у створенні інженерного інструментарію для оцінки доцільності впровадження систем утилізації низькопотенційної теплоти на морських суднах. Запропонована методика дозволяє визначати раціональні параметри суднової систем, що реалізує ОЦР, залежно від типу судна, режимів експлуатації двигуна та умов навколишнього середовища.

Особливу цінність становить можливість використання отриманих результатів під час створення перспективних теплоутилізаційних, холодильних та теплонасосних систем морського призначення.

Запропоновані підходи можуть бути використані не лише для систем, що реалізують ОЦР, але й для інших систем трансформації низькопотенційної теплоти.

### **Оцінка змісту дисертації, її завершеність та дотримання принципів академічної доброчесності**

Структура дисертації є логічною та повністю відповідає поставленій меті дослідження.

У першому розділі проведено аналіз сучасного стану проблеми, розглянуто сучасні підходи до утилізації теплоти та застосування ОЦР в суднової енергетиці.

У другому розділі сформовано методичну основу досліджень та обґрунтовано вибір об'єктів моделювання.

У третьому розділі виконано термодинамічний аналіз суднової системи, що реалізує ОЦР, та досліджено вплив робочого тіла та параметрів циклу на його ефективність.

У четвертому розділі проведено комплексну оцінку ефективності установки в умовах реальної експлуатації судна.

Дисертація є завершеним самостійним дослідженням, результати якого логічно взаємопов'язані між собою.

Під час аналізу дисертації, наукових публікацій та інших матеріалів не виявлено ознак академічного плагіату, фабрикації або фальсифікації результатів

дослідження. Автор належним чином посилається на використані джерела інформації та коректно відображає результати інших дослідників.

### **Повнота викладення результатів у наукових публікаціях**

Основні результати дисертаційної роботи достатньо повно відображені у наукових працях автора. За темою дисертації опубліковано три статті у виданнях, що індексуються базою Scopus, чотири статті у фахових наукових виданнях України категорії Б, матеріали міжнародних конференцій. Публікації повною мірою відображають основний зміст дисертації та підтверджують достатній рівень апробації результатів дослідження.

### **Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи**

Незважаючи на загальне позитивне враження від дисертаційної роботи, вона містить окремі недоліки та дискусійні положення, які наведено нижче.

1. В роботі не наведено технологічну схему установки-прототипу (тільки спрощену принципову схему), тому не зрозуміло, чи наявний регенеративний теплообмінник. Додатково доцільно було б навести схему підключення розглянутої установки до системи охолодження головного двигуна.

2. В роботі приділяється увагу тільки зниженню емісії парникових газів за рахунок економії палива. Однак робочі тіла для суднових систем, що реалізують ОЦР, самі є парниковими газами. Їх емісія в роботі не враховувалася.

3. Не наведено комплексного порівняння різних робочих тіл за критеріями безпеки, екологічності та експлуатаційної надійності. Аналіз перспектив застосування сучасних робочих тіл з низьким потенціалом глобального потепління, на думку опонента, не повний. Для дослідження обрано тільки два «нових» робочих тіла.

4. Не розглядаються споживачі теплоти на судні, які можуть конкурувати з системою утилізації вторинної теплоти. Не розглядалися варіанти, коли вся теплота охолодження двигуна витрачається на технологічні нужди, наприклад, на підігрів сирої нафти при її транспортуванні танкерами.

5. Недостатньо уваги приділено процесам теплообміну у випарнику та конденсаторі установки. Для більш коректного аналізу потрібно було б оцінити площу теплообмінної поверхні при використанні різних робочих тіл та при змінних швидкостях води, щоб гарантувати, що теплообмінники будуть забезпечувати необхідні теплові потоки.

6. У роботі доцільно було б більш детально обґрунтувати масогабаритні обмеження, особливості розміщення обладнання та вплив додаткового обладнання на компоновку машинного відділення судна.

7. У роботі показано вплив температури забортної води на ефективність установки, однак не розглянуті питання географії експлуатації суден, сезонності рейсів і реальних маршрутів. Для практичного впровадження суднової систем, що реалізує ОЦР, ці фактори можуть суттєво впливати на очікувану річну генерацію електроенергії.

8. В тексті дисертації використовується аббревіатура ОЦР, а на рисунках - ORC. Також зустрічається аббревіатура без розшифровки та англомовні терміни.

Наведені зауваження мають рекомендаційний характер та не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи.

### **Загальний висновок про дисертаційну роботу**

Дисертаційна робота **Константинова Олега Ігоровича** на тему «Метод підвищення ефективності експлуатації суднової енергетичної установки шляхом утилізації теплоти охолодження головного чотиритактного двигуна» є завершеним самостійним науковим дослідженням, у якому вирішено актуальне науково-прикладне завдання підвищення ефективності використання низькопотенційної теплоти суднових енергетичних установок шляхом застосування установки, що реалізує органічний цикл Ренкіна.

Отримані результати мають наукове та практичне значення для розвитку теплоутилізаційних технологій морського призначення, систем енергозбереження та раціонального використання вторинних енергетичних ресурсів.

За актуальністю, науковою новизною, обґрунтованістю та достовірністю результатів, практичним значенням і рівнем виконання дисертаційна робота відповідає вимогам Постанови Кабінету Міністрів України № 44 від 12 січня 2022 року «Про затвердження Порядку присудження ступеня доктора філософії», а її автор – **Константинов Олег Ігорович** – заслуговує на присудження ступеня доктора філософії за спеціальністю 271 – Морський та внутрішній водний транспорт.

Опонент

д.т.н., професор, завідувач кафедри нафтогазових технологій, інженерії та теплоенергетики  
Одеського національного технологічного університету

Олександр ТІТЛОВ