

ВІДГУК

офіційного опонента, професора кафедри автомобільного транспорту та галузевого машинобудування Національного Університету “Чернігівська політехніка” Міністерства освіти і науки України,
доктора технічних наук, професора **Грицука Ігора Валерійовича**
на дисертаційну роботу **Кузнецова Георгія Валерійовича «Підвищення ефективності енергетичних установок надводних кораблів застосуванням теплоакumuлюючих систем»**, подану на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 144 «Теплоенергетика» галузі знань 14 «Електрична інженерія»

Загальна характеристика дисертаційної роботи

Дисертаційна робота Кузнецова Георгія Валерійовича присвячена вирішенню актуального науково-прикладного завдання, що полягає у підвищенні ефективності енергетичних установок надводних кораблів шляхом застосування теплоакumuлюючих систем із використанням теплоакumuлюючих матеріалів з фазовим переходом. Дослідження виконано на сучасному науково-методичному рівні та характеризується комплексним підходом до вирішення поставлених завдань, який поєднує математичне моделювання, числові методи дослідження, фізичний експеримент та розроблення практичних рекомендацій щодо впровадження результатів у проєктування корабельних енергетичних установок.

Дисертація складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Загальний обсяг роботи становить 196 сторінок. Структура дисертації є логічною, послідовною та повністю відповідає поставленій меті дослідження.

Актуальність теми дослідження

Проблема підвищення ефективності суднових енергетичних установок належить до числа найбільш актуальних напрямів сучасної теплоенергетики

та суднової енергетики. Посилення міжнародних вимог щодо енергоефективності морського транспорту, необхідність скорочення витрат палива, зменшення шкідливих викидів та забезпечення високої експлуатаційної надійності корабельних енергетичних установок визначають потребу у впровадженні нових технічних рішень, заснованих на максимально повному використанні вторинних енергетичних ресурсів.

У сучасних суднових енергетичних установках значна частина енергії палива втрачається разом із відпрацьованими газами, мастилом та охолоджувальною рідиною. Саме тому використання теплоакumuлюючих систем, здатних накопичувати теплоту та повторно використовувати її для забезпечення потреб енергетичної установки, суднових систем і екіпажу, є одним із найбільш перспективних напрямів розвитку корабельної теплоенергетики.

Особливу актуальність дослідження обумовлює те, що більшість існуючих робіт присвячена окремим елементам теплоакumuляторів або дослідженню теплофізичних властивостей матеріалів, тоді як питання комплексної інтеграції теплоакumuлюючих систем до складу корабельних енергетичних установок залишаються недостатньо дослідженими. Автором зроблено спробу вирішити саме цю проблему шляхом поєднання математичного моделювання, фізичного експерименту та інженерного проєктування.

Важливо також відзначити, що тематика дисертаційного дослідження безпосередньо пов'язана із виконанням науково-дослідної роботи «Ефективність застосування теплоакumuлюючих систем в складі енергетичної установки надводних кораблів», що підтверджує її практичну спрямованість та відповідність пріоритетним напрямам розвитку науки і техніки України.

Таким чином, актуальність теми дисертаційної роботи не викликає сумнівів, а виконане дослідження своєчасно відповідає сучасним потребам розвитку корабельної теплоенергетики.

Оцінка структури та змісту дисертації

Логіка побудови дисертаційної роботи є достатньо вдалою та відповідає сучасним вимогам до кваліфікаційних наукових досліджень.

У вступі автором аргументовано актуальність теми, сформульовано мету та завдання дослідження, визначено об'єкт, предмет, методи дослідження, наведено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів. Вступ містить необхідні елементи, передбачені нормативними вимогами до дисертацій на здобуття ступеня доктора філософії, та створює цілісне уявлення про логіку подальшого дослідження.

У першому розділі виконано ґрунтовний аналіз сучасного стану проблеми використання теплоакumuлюючих систем у корабельній теплоенергетиці. Автором розглянуто сучасні тенденції розвитку морського флоту, проаналізовано існуючі способи утилізації скидної теплоти, узагальнено результати досліджень щодо використання теплоакumuлюючих систем у складі суднових енергетичних установок та проведено критичний аналіз їх переваг і недоліків. Важливою перевагою цього розділу є те, що літературний огляд не має описового характеру, а завершується чітким формулюванням невирішених наукових проблем і постановкою конкретних завдань дослідження. Саме це забезпечує логічний перехід до наступних розділів дисертації.

Другий розділ присвячено методології дослідження та побудові математичного апарату. На відміну від багатьох робіт аналогічної тематики, автор використовує комплексний підхід, що поєднує математичне моделювання процесів теплообміну, моделювання фазового переходу теплоакumuлюючих матеріалів, тривимірне моделювання процесів теплопереносу, а також фізичне моделювання. Особливо позитивно слід оцінити включення до структури дослідження окремого підрозділу, присвяченого верифікації та валідації математичної моделі. Це відповідає сучасним вимогам до розроблення математичних моделей складних

теплоенергетичних процесів і суттєво підвищує достовірність отриманих результатів.

Крім того, безумовною перевагою дисертації є використання багаторівневого об'єктно-орієнтованого моделювання, у межах якого взаємодія підсистем «Головний двигун», «Допоміжний двигун» та «Теплоакumuлююча система» розглядається як єдиний комплекс. Такий підхід істотно розширює сферу застосування математичної моделі та забезпечує її придатність для подальшого використання при проектуванні перспективних корабельних енергетичних установок.

Оцінка змісту другого, третього, четвертого та п'ятого розділів дисертації

Другий розділ дисертації є ключовим у методологічному відношенні та демонструє високий рівень володіння автором сучасними методами математичного моделювання теплоенергетичних процесів. Автором сформовано методичні засади побудови теплоакumuлюючих систем для корабельних енергетичних установок, запропоновано математичні моделі процесів накопичення та використання теплоти, а також виконано моделювання теплових процесів із застосуванням сучасних програмних засобів. Важливо, що математичний опис процесів базується на фундаментальних рівняннях теплопровідності, конвективного теплообміну та фазового переходу, що забезпечує фізичну обґрунтованість отриманих результатів.

Суттєвою перевагою дисертації є те, що автор не обмежився побудовою окремих математичних моделей теплообмінних процесів, а розробив багаторівневу об'єктно-орієнтовану модель функціонування корабельної енергетичної установки. Такий підхід дозволяє досліджувати взаємодію між головним дизельним двигуном, допоміжною енергетичною установкою та теплоакumuлюючою системою як єдиною інтегрованою системою. У сучасній теплоенергетиці саме системне моделювання дедалі більше визначає

ефективність прийнятих інженерних рішень, тому запропонований підхід має як наукову, так і практичну цінність.

Окремо слід позитивно оцінити виконану автором процедуру верифікації та валідації математичних моделей. У багатьох дисертаційних роботах моделювання завершується лише отриманням розрахункових результатів, тоді як у представленому дослідженні математичні моделі підтверджуються експериментальними даними. Саме така послідовність — побудова моделі, її числова реалізація, верифікація та подальша експериментальна перевірка — відповідає сучасним міжнародним вимогам до інженерних досліджень і значною мірою підвищує довіру до отриманих результатів.

Третій розділ присвячено числовим дослідженням теплоакumuлюючих систем та вибору матеріалів із фазовим переходом. Саме в цьому розділі найбільш повно розкривається авторський підхід до оптимізації роботи теплоакumuляторів.

Безумовною перевагою роботи є запропонована система інтегрального оцінювання теплоакumuлюючих матеріалів. На відміну від традиційних методик, які базуються переважно на аналізі окремих теплофізичних характеристик (теплота плавлення, температура фазового переходу, теплопровідність), автор здійснює комплексне оцінювання матеріалів із використанням системи взаємопов'язаних критеріїв. Такий підхід дозволяє врахувати не лише фізичні властивості матеріалів, а й особливості режимів роботи корабельних енергетичних установок, конструктивні параметри теплоакumuляторів та умови експлуатації.

Слід відзначити високий рівень математичної культури автора під час виконання оптимізаційних досліджень. Результати моделювання представлені системно, добре ілюструються графічним матеріалом та дозволяють простежити закономірності зміни теплових характеристик залежно від параметрів теплоакumuлюючої системи. Наведені результати не мають

характеру простого комп'ютерного експерименту, а демонструють отримання нових закономірностей функціонування досліджуваних систем.

Особливий інтерес становить запропонована автором система інтегральних показників ефективності теплоакumuлюючих систем, яка включає часово-енергетичний еквівалент, коефіцієнти ефективності використання накопиченої теплоти, показники теплової ефективності та узагальнені критерії оцінювання роботи системи. Саме такий комплексний підхід дозволяє перейти від оцінювання окремих теплофізичних процесів до аналізу ефективності всієї корабельної енергетичної установки.

Четвертий розділ дисертації присвячено експериментальним дослідженням та перевірці результатів математичного моделювання.

Позитивною особливістю роботи є те, що експериментальні дослідження не мають допоміжного характеру, а становлять самостійну складову наукового дослідження. Автором створено експериментальний зразок шумоглушника-теплоакumuлятора, досліджено особливості його функціонування та отримано експериментальні характеристики процесів накопичення і віддавання теплоти. Це дозволило підтвердити адекватність розроблених математичних моделей та оцінити можливість їх практичного використання.

Заслуговує позитивної оцінки порівняння результатів комп'ютерного моделювання із даними експериментальних досліджень. Автор демонструє достатній рівень збіжності результатів, що підтверджує коректність використаних математичних моделей та правильність прийнятих припущень.

П'ятий розділ має прикладний характер і присвячений впровадженню отриманих результатів у практику проектування корабельних енергетичних установок.

Автором запропоновано декілька варіантів конструктивного виконання теплоакumuлюючих систем для різних класів кораблів, розроблено рекомендації щодо інтеграції теплоакumuляторів до складу енергетичних установок, визначено можливі напрями використання накопиченої теплоти та

наведено рекомендації щодо вибору оптимальних режимів роботи системи. Особливо цінним є те, що наведені рекомендації можуть бути використані як під час модернізації існуючих кораблів, так і при проєктуванні перспективних морських платформ.

У цілому аналіз змісту дисертації свідчить про високий рівень виконаного дослідження. Автору вдалося поєднати сучасні методи математичного моделювання, числового аналізу, фізичного експерименту та інженерного проєктування в єдину методологічну систему. Робота характеризується внутрішньою логічною завершеністю, достатнім рівнем наукової аргументації та практичною спрямованістю отриманих результатів.

Наукова новизна отриманих результатів та особистий внесок здобувача

Одним із найважливіших критеріїв оцінювання дисертаційної роботи є рівень її наукової новизни. Аналіз змісту дисертації, наведених теоретичних положень, математичних моделей, результатів комп'ютерного моделювання та експериментальних досліджень свідчить, що автором отримано низку нових наукових результатів, які характеризуються достатнім ступенем оригінальності, логічною завершеністю та практичною спрямованістю.

Насамперед заслуговує позитивної оцінки запропонована автором комплексна концепція побудови теплоакumuлюючої системи як складової корабельної енергетичної установки. На відміну від більшості відомих досліджень, у яких теплоакumuлятор розглядається як окремий теплообмінний елемент, у дисертаційній роботі він інтегрується до загальної структури енергетичної установки із врахуванням режимів роботи головного та допоміжного двигунів, параметрів відпрацьованих газів, систем охолодження та особливостей експлуатаційних циклів корабля. Такий підхід значно розширює можливості використання теплоакumuлюючих систем і дозволяє оцінювати їх ефективність не ізольовано, а як складову єдиної енергетичної системи.

Наукову новизну становить також розроблена автором багаторівнева об'єктно-орієнтована математична модель корабельної енергетичної установки, яка забезпечує взаємозв'язок окремих підсистем та дозволяє досліджувати процеси утилізації теплоти у взаємодії з основними експлуатаційними режимами роботи енергетичної установки. Використання саме такого підходу є сучасним напрямом розвитку цифрового моделювання складних технічних систем і створює передумови для подальшого розвитку цифрових моделей корабельних енергетичних комплексів.

До безумовно нових результатів слід віднести запропоновану автором систему інтегрального вибору теплоакumuлюючих матеріалів із фазовим переходом. На відміну від існуючих підходів, що базуються переважно на аналізі окремих теплофізичних характеристик, автор використовує комплекс критеріїв, який дозволяє одночасно враховувати теплоту фазового переходу, температуру плавлення, теплопровідність, густину матеріалу, конструктивні параметри теплоакumuлятора та режими функціонування корабельної енергетичної установки. Саме комплексність такого оцінювання забезпечує можливість прийняття більш обґрунтованих інженерних рішень щодо вибору теплоакumuлюючих матеріалів.

Новим науковим результатом є також запропонована система інтегральних показників ефективності теплоакumuлюючих систем. Автор не обмежується традиційними коефіцієнтами теплової ефективності, а вводить узагальнений комплекс показників, який характеризує ефективність накопичення, збереження та використання теплоти в різних режимах експлуатації корабля. Такий підхід істотно розширює методичні можливості оцінювання ефективності теплоакumuлюючих систем і може бути використаний під час проєктування перспективних суднових енергетичних установок.

Окремого позитивного відзначення заслуговує поєднання математичного моделювання з експериментальними дослідженнями. У дисертації не лише розроблено математичні моделі, а й проведено їх

верифікацію та експериментальне підтвердження на спеціально створеному дослідному зразку. Саме комплексність такого підходу дозволяє говорити про достатньо високий рівень достовірності отриманих результатів.

Разом із тим окремі положення, які автор відносить до наукової новизни, на думку опонента, мають певною мірою методичний характер. Зокрема, використання числового моделювання процесів теплообміну, CFD-моделювання та застосування теплоакumuлюючих матеріалів із фазовим переходом уже достатньо широко представлені у сучасній міжнародній науковій літературі. Наукова новизна дисертації полягає не у використанні зазначених методів як таких, а саме у їх комплексній інтеграції в єдину систему дослідження корабельної енергетичної установки, що дозволило отримати нові результати прикладного характеру.

Особистий внесок здобувача не викликає сумнівів. Усі основні наукові положення, математичні моделі, результати числового моделювання, експериментальні дослідження, аналіз отриманих результатів та сформульовані висновки є логічно взаємопов'язаними та свідчать про самостійне виконання дослідження. Представлені у співавторстві наукові праці не знижують рівня особистого внеску автора, оскільки результати, винесені на захист, чітко конкретизовані та відповідають змісту виконаної дисертаційної роботи.

У цілому можна констатувати, що отримані автором результати відповідають вимогам, які висуваються до дисертацій на здобуття ступеня доктора філософії, а сформульовані положення наукової новизни мають достатній рівень обґрунтованості, практичної цінності та наукової значущості.

Обґрунтованість наукових положень, достовірність результатів, їх практичне значення, повнота оприлюднення та дотримання принципів академічної доброчесності

Важливою перевагою дисертаційної роботи є достатній рівень обґрунтованості сформульованих наукових положень і висновків. Під час

виконання дослідження автором використано комплекс взаємодоповнювальних методів, що охоплює теоретичний аналіз, математичне моделювання, числові методи дослідження, комп'ютерне моделювання теплових процесів, експериментальні дослідження та методи інженерного проєктування. Використання різних груп методів забезпечило взаємну перевірку отриманих результатів і підвищило ступінь їх достовірності.

Дисертаційна робота побудована за логікою послідовного переходу від аналізу сучасного стану проблеми до побудови математичних моделей, проведення числових досліджень, експериментальної перевірки отриманих результатів та розроблення практичних рекомендацій щодо впровадження теплоакумуючих систем у складі корабельних енергетичних установок. Така структура є методологічно правильною і відповідає сучасним вимогам до виконання інженерних дисертацій.

Особливо позитивно слід відзначити, що автор не обмежився виключно математичним моделюванням, а здійснив його верифікацію та валідацію шляхом проведення експериментальних досліджень. Саме зіставлення результатів комп'ютерного моделювання із результатами експериментів значною мірою підтверджує адекватність запропонованих моделей і забезпечує високий рівень довіри до сформульованих висновків.

Достовірність результатів також підтверджується використанням загальновизнаних положень теорії теплообміну, термодинаміки, тепломасообміну, числових методів моделювання та сучасних підходів до дослідження теплоакумуючих матеріалів із фазовим переходом. Автор коректно використовує математичний апарат, обґрунтовує прийняті припущення та послідовно аналізує отримані результати.

Практична цінність дисертації полягає у тому, що розроблені методичні підходи можуть бути використані під час проєктування нових та модернізації існуючих корабельних енергетичних установок. Запропоновані математичні моделі, рекомендації щодо вибору теплоакумуючих матеріалів, алгоритми

оцінювання ефективності та конструктивні рішення можуть бути використані проєктними організаціями, підприємствами суднобудівної галузі, а також закладами вищої освіти під час підготовки фахівців у сфері теплоенергетики та суднової енергетики.

Практична значущість роботи підтверджується також впровадженням окремих результатів дослідження у наукову та освітню діяльність, що свідчить про можливість їх реального використання при вирішенні інженерних задач.

Аналіз опублікованих наукових праць свідчить про достатню повноту апробації результатів дисертаційного дослідження. Основні положення роботи оприлюднено у фахових наукових виданнях України, виданнях, що індексуються міжнародними наукометричними базами даних, а також апробовано на міжнародних і всеукраїнських науково-практичних конференціях. Це свідчить про належний рівень наукової комунікації та відповідність результатів дисертації вимогам щодо їх публічного обговорення.

Ознайомлення зі змістом дисертації дає підстави стверджувати, що робота виконана з дотриманням принципів академічної доброчесності. У тексті дисертації простежується коректне використання результатів попередніх досліджень із відповідними бібліографічними посиланнями, чітко відокремлено власні результати автора від положень, запозичених із наукової літератури. Ознак академічного плагіату, фабрикації чи фальсифікації результатів під час ознайомлення з дисертаційною роботою не виявлено.

Дискусійні положення та зауваження до дисертаційної роботи

Попри загальну позитивну оцінку дисертації, окремі положення роботи потребують додаткового обговорення або уточнення.

1. У першому розділі автором здійснено ґрунтовний аналіз літературних джерел, однак доцільно було б ширше представити сучасні дослідження останніх років, присвячені використанню цифрових двійників (Digital Twin) у моделюванні корабельних енергетичних систем, оскільки саме цей напрям нині активно розвивається у світовій судновій енергетиці.

2. Запропонована математична модель побудована для визначених експлуатаційних режимів роботи корабельної енергетичної установки. Разом із тим у роботі недостатньо детально проаналізовано межі її застосування при різких змінах навантаження або аварійних режимах функціонування енергетичної установки.

3. При виборі теплоакumuлюючих матеріалів автор використовує систему інтегральних критеріїв оцінювання, однак потребує додаткового пояснення методика визначення вагових коефіцієнтів окремих критеріїв та оцінка їх впливу на остаточний результат оптимізації.

4. Дисертація містить значний обсяг результатів числового моделювання, однак доцільно було б доповнити їх аналізом чутливості математичної моделі до зміни основних вхідних параметрів, що дозволило б повніше оцінити її стійкість.

5. Під час експериментальних досліджень автор демонструє добру збіжність результатів із математичною моделлю, проте статистична обробка експериментальних даних могла б бути представлена більш детально із наведенням довірчих інтервалів та оцінкою похибок вимірювання.

6. Значна увага приділяється теплофізичним характеристикам матеріалів із фазовим переходом, однак недостатньо розглянуто питання зміни їх властивостей у процесі багаторазових циклів плавлення та кристалізації, що має важливе значення для тривалої експлуатації теплоакumuляторів.

7. Практичний інтерес викликає питання довговічності запропонованих конструктивних рішень. Доцільно було б більш детально проаналізувати вплив термоциклічного навантаження на ресурс теплоакumuлюючої системи.

8. У роботі досить детально досліджуються теплові процеси, однак економічна ефективність впровадження запропонованих технічних рішень представлена лише в загальному вигляді. Було б доцільно доповнити дослідження розрахунками строку окупності або оцінкою вартості життєвого циклу теплоакumuлюючої системи.

9. Запропоновані конструктивні рішення мають значний практичний потенціал, однак потребують подальших досліджень щодо їх адаптації до різних типів суднових енергетичних установок та умов експлуатації.

Указані зауваження мають переважно рекомендаційний і дискусійний характер, не впливають на загальну позитивну оцінку роботи та не знижують наукової цінності отриманих автором результатів.

Загальний висновок

Дисертаційна робота Кузнецова Георгія Валерійовича на тему «Підвищення ефективності енергетичних установок надводних кораблів застосуванням теплоакumuлюючих систем» є завершеним, самостійно виконаним науковим дослідженням, у якому вирішено актуальне науково-прикладне завдання, що має важливе значення для розвитку сучасної теплоенергетики та суднової енергетики.

У процесі виконання дисертаційного дослідження автором розроблено комплексний підхід до підвищення ефективності корабельних енергетичних установок шляхом використання теплоакumuлюючих систем із теплоакumuлюючими матеріалами фазового переходу, удосконалено математичне забезпечення дослідження процесів теплообміну, запропоновано багаторівневу модель функціонування енергетичної установки, виконано комплекс числових та експериментальних досліджень, а також сформульовано практичні рекомендації щодо впровадження отриманих результатів у проєктування суднових енергетичних систем.

Наукові результати, отримані автором, є достатньо обґрунтованими, підтверджені математичним моделюванням, результатами числових розрахунків та експериментальних досліджень, характеризуються внутрішньою логічною узгодженістю та мають наукову новизну і практичне значення.

Поставлена у дисертації мета досягнута, а сформульовані завдання повністю вирішені. Висновки роботи відповідають отриманим результатам, логічно випливають із проведених досліджень та достатньо аргументовані.

Практична цінність роботи полягає у можливості використання запропонованих математичних моделей, методики вибору теплоакumuлюючих матеріалів, алгоритмів оцінювання ефективності теплоакumuлюючих систем та конструктивних рішень під час модернізації існуючих і проектування перспективних корабельних енергетичних установок.

Основні результати дисертації достатньою мірою апробовані, опубліковані у фахових наукових виданнях та доповідалися на міжнародних і всеукраїнських наукових конференціях. Обсяг публікацій відповідає вимогам, установленим для дисертацій на здобуття ступеня доктора філософії.

Аналіз змісту дисертаційної роботи дає підстави стверджувати, що автором дотримано принципів академічної доброчесності. Поршень вимог академічної етики, ознак плагіату, фабрикації чи фальсифікації результатів дослідження під час ознайомлення з дисертаційною роботою не виявлено.

Висловлені у відгуку зауваження мають переважно рекомендаційний та дискусійний характер, стосуються окремих аспектів розвитку виконаного дослідження і не впливають на його загальну позитивну оцінку. Вони можуть бути враховані автором у подальшій науковій діяльності та під час розвитку запропонованих технічних рішень.

Загалом дисертаційна робота Кузнецова Георгія Валерійовича «Підвищення ефективності енергетичних установок надводних кораблів застосуванням теплоакumuлюючих систем» є завершеним самостійним науковим дослідженням, виконаним на високому науковому та методичному рівні, відповідає вимогам Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 року

№ 44 (зі змінами), а також вимогам Міністерства освіти і науки України до дисертацій на здобуття ступеня доктора філософії.

За актуальністю, ступенем наукової новизни, обґрунтованістю та достовірністю отриманих результатів, теоретичним і практичним значенням дисертаційна робота повністю відповідає вимогам, що ставляться до дисертацій на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 144 «Теплоенергетика», а її автор — Кузнецов Георгій Валерійович — заслуговує на присудження ступеня доктора філософії за спеціальністю 144 «Теплоенергетика».

Офіційний опонент:

професор кафедри автомобільного
транспорту та галузевого
машинобудування НУ «Чернігівська
політехніка» Міністерства освіти
науки України,
доктор технічних наук, професор

_____ **Ігор ГРИЦУК**

« ____ » _____ 2026 р.



Підпис _____
Відділ кадрів
Відділ кадрів
« _____ 20 ____ р.