

## ВІДГУК

офіційного опонента

завідувача кафедри суднових енергетичних установок

Національного університету «Одеська морська академія»

доктора технічних наук, професора Сагіна Сергія Вікторовича

на дисертаційну роботу Мальчевського Валентина Павловича

**«Основи забезпечення еколого-енергетичної ефективності суднових дизелів стабілізацією температури палива сумішами холодоагентів»,**  
що подана на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.05.03 – двигуни та енергетичні установки

Робота виконана в Одеському національному морському університеті Міністерства освіти і науки України.

### **Актуальність теми дисертації, зв'язок з науковими програмами**

Двигуни внутрішнього згоряння займають домінуюче положення на судах морського та внутрішнього водного транспорту, де вони забезпечують рух судна та постачання електроенергією суднових механізмів та приладів. Експлуатація двигунів енергетичних установок морських та річкових суден неможлива без викидів в атмосферу забруднюючих речовин, які утворюються під час згоряння палива та входять до складу випускних газів. Найбільших збитків довіллю завдається незгорілими вуглеводнями, твердими частинки, оксидами азоту, парниковими газами та оксидами сірки. У той час як на утворення ряду небезпечних компонентів, що входять до складу випускних газів, вдається впливати за рахунок спеціальної організації процесів в циліндрі двигуна, емісія сірковмісних компонентів цілком і повністю визначається вмістом сірки у паливі.

Даній проблемі присвячено увагу міжнародних організацій: IMO (International Maritime Organization – Міжнародна морська організація), ICS (International Chamber of Shipping – Міжнародна палата судноплавства), ISO (International Standard Organization – Міжнародна організація зі стандартизації), які розробляють та впроваджують конвенції, правила та резолюції, спрямовані на захист довкілля, та великої кількості класифікаційних товариств: Det Norske Veritas та Germanischer Lloyd (DNV GL), Регістр Ллойда (Lloyd's Register of Shipping), Бюро Верітас (Bureau Veritas), Американське бюро судноплавства (The American bureau of shipping), Регістр судноплавства України та інші, які виконують огляд за енергетичними установками морських суден.

З 2020 р. набули чинності нові правила щодо обмеження до 0,5 % та в до 0,1 % в спеціальних екологічних районах вмісту сірки у паливі, що використовується на судах. Нові вимоги діють у всіх міжнародних водах. Принциповим питанням є те, що досягнення нормативних показників викидів оксидів сірки може бути отримано в результаті використання спеціальних видів

низькосірчистого палива або шляхом очищення у спеціальних периферійних пристроях випускних газів двигунів на традиційних високосірчистих сортах палива.

У відповідності із постійним посиленням вимог міжнародних організацій щодо зменшення негативного впливу довкілля під час експлуатації суднових енергетичних установок відбувається активне впровадження у суднову енергетику нових екологічно чистих технологій. Одним із важливих напрямків такої діяльності є використання для роботи дизельних двигунів транспортних суден палив із наднизьким вмістом сірки (на рівні 0,03...0,08 % за масою), які мають ряд особливостей у порівнянні із паливами, вміст сірки в яких досягає 0,5 %. При цьому найбільш вагомим особливістю є низькі значення в'язкості палива під час його знаходженні в паливних елементах високого тиску, що призводить до виникнення протічок палива та зменшує тиск нагнітання та впорскування палива.

Забезпечення та підтримка необхідного значення в'язкості палива виконується шляхом його охолодження, що змушує використовувати холодоагенти, деякі з яких сприяють глобальному потепленню. Тому для забезпечення ефективної роботи холодильної установки необхідно використовувати робочі речовини, які з одного боку відповідають вимогам Монреальського та Кіотського протоколів щодо руйнування озонового шару Землі та впливу на процес глобального потеплення, а з іншого забезпечують ефективність холодильної установки не гіршу, ніж заборонені вказаними міжнародними угодами холодоагенти. Як альтернативні в роботі пропонується використовувати перспективні суміші озонобезпечних та природних холодоагентів, для яких накопичено достатню кількість експериментальних даних.

Вище вказане підтверджує актуальність розв'язання проблеми поліпшення еколого-енергетичної ефективності суднових дизелів за допомогою використання еколого-безпечних холодоагентів як робочих речовин системи стабілізації температури палива.

Важливість розв'язання вказаної проблеми також підкреслюється Постановами Кабінету Міністрів України № 624 від 16.05.2002 р. «Про посилення державного регулювання ввозу і вивозу з України озоноруйнівних речовин» та № 256 від 04.03.2004 р. «Про затвердження Програми припинення в Україні виробництва та використання озоноруйнівних речовин на 2004-2030 роки», а також «Основними положеннями енергетичної стратегії України на період до 2035 р.», прийнятими розпорядженням КМУ № 497-р від 06.06.2018 р.

Актуальність дисертаційної роботи та обраного **Мальчевським В.П.** напрямку досліджень також підтверджується держбюджетними науково-дослідними роботами Одеського національного морського університету «Суміші озонобезпечних та природних холодоагентів R125/R290, R134a/R290, R23/R744 і R41/R744. Рівняння стану та таблиці термодинамічних властивостей» ДР № 0110U006239, що виконувалась на протязі 2011-2013 рр., та «Підвищення ефективності експлуатації суднової енергетичної установки»

ДР № 0122U001539, що виконувалась з 2021 по 2023 рр. у яких автор був безпосереднім виконавцем.

### **Ступінь обґрунтованості та достовірності наукових положень, висновків і рекомендацій**

Наукові результати досліджень, висновків і рекомендації є повністю обґрунтованими і достовірними, оскільки підтверджуються коректністю постановки мети та завдань досліджень, а також вдалим застосуванням математичного апарату, результати розрахунків збігаються з результатами статистичного моделювання.

Новизну результатів дослідження та їх цінність підтверджують публікації здобувача за темою дисертації в рецензованих наукових виданнях, у тому числі включених до міжнародних наукометричних баз Scopus та Web of Science Core Collection.

Матеріали дисертації доповідалися на чисельних науково-практичних конференціях та конгресах, які проводились в провідних вишах України, основними з них є

XI Міжнародна науково-технічна конференція «Інновації в суднобудуванні та океанотехніці», Миколаїв, Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, 2020 р.;

II та III Міжнародна науково-практична морська конференція кафедри «Суднові енергетичні установки та технічна експлуатація» Одеського національного морського університету, Одеса, ОНМУ, 2020 та 2021 рр.;

XI Міжнародна науково-практична конференція «Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті», Херсон, ХДМА, 2021 р.;

XXVI та XXVII Міжнародний конгрес двигунобудівників, Харків, НАУ ім. М.Є. Жуковського «ХАІ», НТУ «ХПІ», 2021 та 2022 рр.;

XIII Міжнародна науково-практична конференція «Сучасні підходи до високоефективного використання засобів транспорту», Ізмаїл, Дунайський інститут Національного університету «Одеська морська академія», 2022 р.;

II Міжнародна науково-технічна конференція «Сучасний стан та проблеми двигунобудування», Миколаїв, Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, 2022 р.;

а також

Nineteenth Symposium on Thermophysical Properties, USA, Boulder, National Institute of Standards and Technology, 2015.

**Наукова новизна** дисертаційної роботи Мальчевського В.П. полягає у наступному.

**Вперше:**

- запропоновано розв'язання проблеми поліпшення еколого-енергетичної ефективності судових дизелів та їх систем під час роботи на паливах із наднизьким вмістом сірки шляхом використання у системі стабілізації

температури палива перспективних сумішей озонобезпечних та природних холодоагентів, потенціал глобального потепління яких на 30...40 % менший, ніж для більшості чистих та сумішеподібних фторвуглеводнів;

- розроблено методику складання моделей стану сумішей на базі процедури покрокового регресійного аналізу, яка дозволяє виконувати надійну апроксимацію дослідних даних за помірних обсягах розрахунків. Запропонована методика, на відміну від більшості попередніх, дозволяє більш ефективно формувати структуру та кількість коефіцієнтів моделі стану;

- розроблено метод розрахунку термодинамічних властивостей сумішей з використанням функції взаємодії компонентів, який на відміну від класичного методу комбінування коефіцієнтів моделей стану компонентів, дозволяє у 1,5...2 рази підвищити точність розрахунку термодинамічних властивостей речовин у надкритичній області за умовою високих значеннях густини, що є достатнім для розрахунку теплообмінних процесів підтримання температури палива для суднових дизелів з метою підвищення їх екологічних показників в умовах експлуатації;

- створені науково-методичні основи щодо розробці автоматизованих систем розрахунку теплофізичних властивостей нових перспективних холодоагентів та їх сумішей, для яких вперше отримані моделі стану, які забезпечують необхідні значення властивостей холодоагентів для їх використання у системах стабілізації температури палива з метою дотримання міжнародних вимог з охорони довкілля, зокрема емісії оксидів сірки з випускними газами суднових дизелів;

- виявлені закономірності термодинамічної поведінки сумішей озонобезпечних та природних холодоагентів у стані фазової рівноваги, які полягають у наявності для них азеотропних складів; при цьому встановлено, що під час використання азеотропних сумішей як холодоагентів вдається на 20...30 % зменшити втрати від зовнішньої необерненості процесів теплообміну у порівнянні з неазеотропними сумішами та значно збільшити енергетичну ефективність циклу холодильних установок та енергетичну ефективність морського судна;

- створено математичну модель для здійснення еколого-термoeкономічного аналізу холодильних установок систем стабілізації температури палива дизельних двигунів транспортних суден, який на відміну від існуючих методів термодинамічного та ексергетичного аналізу дозволяє оцінити повну еквівалентну емісію парникових газів, які потрапляють в довкілля від двигунів енергетичних установок за весь строк їх експлуатації.

#### **Отримало подальший розвиток та вдосконалено:**

- метод визначення коефіцієнтів моделей стану сумішей холодоагентів шляхом покрокового регресійного аналізу для розрахунку їх термодинамічних властивостей, який, на відміну від попередніх методів, дозволяє серед повного масиву коефіцієнтів послідовно відбирати найбільш значущі, відхилити несуттєві та малозначущі, а також визначати кореляційні зв'язки між коефіцієнтами;

- метод урахування ваги експериментальних даних про тиск та густину сумішей шляхом додавання до виразу для розрахунку дисперсії коефіцієнта стисливості, який урахує погрішність отримання експериментальних значень складу суміші;

- методику розрахунку термодинамічних властивостей холодоагентів у автоматизованій інформаційній системі шляхом введення до її програмного тексту отриманих моделей стану нових сумішей холодоагентів та використання оновлених програмних алгоритмів, складених з урахуванням запропонованих та удосконалених у роботі методів дослідження термодинамічної поведінки сумішей холодоагентів;

- методика визначення термодинамічних та термохімічних показників робочого циклу двигунів внутрішнього згорання (зокрема тиску наприкінці стиснення, максимального тиску згорання, кількості згорілого палива та швидкості його згорання) під час моделювання процесів стиснення, згорання та розширення;

- методика розрахунку показників процесу впорскування палива що характеризується стратифікацією в'язкості.

### **Наукове і практичне значення дисертаційної роботи**

Розроблені у дисертації моделі стану та таблиці термодинамічних властивостей сумішей R32/R125 R125/R290 та R134a/R290 визнані Державним стандартом України стандартними довідковими даними, рекомендованими для використання під час проектування та експлуатації холодильних установок систем охолодження та кондиціонування, що поширює можливість їх впровадження та застосування в енергетичних установках будь-якого призначення.

Запропонований метод складання моделей стану на базі покрокового регресійного аналізу, який на відміну від більшості існуючих методів дозволяє в процесі виконання регресійної процедури з метою підвищення точності моделі ефективно регулювати структуру та кількість її коефіцієнтів.

Автоматизована інформаційна система, що розроблена автором, дозволяє розраховувати термодинамічні властивості сумішей холодоагентів при різних комбінаціях незалежних змінних, а також визначати параметри ефективності циклів холодильних установок.

Автоматизована інформаційна система та таблиці термодинамічних властивостей трьох сумішей впроваджені у підприємства «Сістемар» і «Трансшип» під час проведення модернізації холодильних установок систем комфортного кондиціонування суден. Розроблена автоматизована система використовується в Одеському національному морському університеті у наукових дослідженнях та навчальному процесі.

## **Повнота викладення основних результатів дисертації в наукових виданнях**

За темою дисертації опубліковано 43 наукових роботи. З них 1 монографія, 1 Таблиці стандартних довідкових даних, 4 публікації в наукових виданнях, що індексуються наукометричними базами Scopus та Web of Science, 17 у наукових періодичних фахових виданнях України, що входять до переліку наукових фахових видань України, які рекомендовані Міністерством освіти і науки України для публікації результатів дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук, (більшість з яких має вільний доступ в мережі Інтернет) та 20 публікацій у збірниках матеріалів науково-технічних конференцій міжнародного та всеукраїнського рівня.

Зміст публікацій відповідає матеріалам, що викладено у дисертаційній роботі.

Особистий внесок здобувача в сумісних публікаціях є підтвердженим.

Використання чужих результатів та ідей без посилань, а також невідповідності змісту дисертації та автореферату Паспорту спеціальності 05.05.03 – двигуни та енергетичні установки у тексті дисертації та автореферату не виявлено.

Результати наукових досліджень, за якими здобувач захистив кандидатську дисертацію до результатів докторської дисертації не включені.

## **Структура та зміст дисертації**

Дисертаційна робота складається зі вступу, основного змісту (який містить шість розділів), списку використаних джерел, висновків та чотирьох додатків. Загальний обсяг дисертаційної роботи без додатків складає 311 сторінок.

У **вступі** дисертаційної роботи обґрунтовані актуальність теми дисертації, показаний її зв'язок з існуючими науковими програмами та темами. Сформульовано мету та завдання дослідження. Визначені наукова новизна та практичне значення одержаних результатів. Наведені дані про практичне значення результатів, особистий внесок здобувача, апробацію роботи, публікації, структуру та обсяг роботи.

У **першому розділі** виконано аналіз існуючих способів зменшення шкідливих викидів від суднових енергетичних установок і аргументовано, чому серед них надано перевагу саме охолодженню палива. Наведено класифікацію існуючих холодоагентів та їх сумішей, які використовуються в суднових холодильних установках та описані основні системи критеріїв, за якими відбувається вибір оптимального холодоагенту. Серед речовин-замінників визначено три перспективні суміші ознобезпечних та природних холодоагентів для суднових холодильних установок. Також виконано аналіз світових тенденцій переведення суднових холодильних установок на нові екологічно безпечні холодоагенти через заборону виробництва та використання

озоноруйнівних холодоагентів та речовин з підвищеним парниковим ефектом, та огляд експериментальних даних для досліджуваних сумішей холодоагентів. Розроблено загальну методологію дисертаційного дослідження, складено технологічну карту для забезпечення розв'язання науково-прикладної проблеми, яка полягає у необхідності охорони довкілля від шкідливого впливу з боку суднових енергетичних установок.

У **другому розділі** відбувається вибір форми рівняння стану, яка найбільш підходить для розрахунку термодинамічних властивостей сумішей озонобезпечних та природних холодоагентів. У розділі докладно описано основні існуючі форми моделей стану для цих сумішей. Їх поділено на дві групи: такі, що забезпечують розрахунок термодинамічних властивостей сумішей шляхом комбінування коефіцієнтів рівнянь стану компонентів та моделі, в яких крім рівнянь стану також використовується функція взаємодії компонентів.

Показано, що найбільш простими моделями стану для сумішей є рівняння Ван-Дер-Ваальсівського типу, коефіцієнти яких визначаються комбінацією коефіцієнтів рівнянь стану компонентів. При цьому доведено, що точність розрахунку за цими моделями термодинамічних властивостей густих газів та рідин на відповідає сучасним вимогам. У процесі зробленого у роботі докладного огляду показано, що для сумішей хладонів найбільш ефективно використовувати модель, у якій комбінуються вільні енергії Гельмгольца компонентів суміші із додаванням функції взаємодії між компонентами.

Проаналізовані найбільш відомі способи складання моделей стану речовин шляхом визначення коефіцієнтів обраної аналітичної залежності коефіцієнту стисливості або вільної енергії Гельмгольца на підставі експериментальних даних щодо термодинамічних властивостей за допомогою методу найменших квадратів. За результатом виконаного аналізу для складання моделей стану досліджуваних сумішей обрано метод покрокового регресійного аналізу на основі алгоритму, який здійснює мінімізацію квадратичного функціоналу та вибір у процесі регресійної процедури найбільш статистично значущих коефіцієнтів.

У **третьому розділі** на базі експериментальних та додатково отриманих опорних даних складені єдині моделі стану для розрахунку термодинамічних властивостей сумішей R32/R125, R125/R290 та R134a/R290. У зв'язку із відсутністю експериментальних даних про густину пари при температурах, що відповідають роботі суднового обладнання яке забезпечує охолодження палива з наднизьким вмістом сірки, було отримано опорні значення густини в інтервалах температури 255...340 K та тиску 0,3...3,5 МПа для суміші хладонів R125/R290 та суміші хладонів R134a/R290 за додатковими рівняннями шляхом екстраполяції.

Детальне порівняння показало, що отримані моделі стану описують вихідні експериментальні показники, що визначають комплекс тиск-густина-температура-сухість для перегрітої пари, а також насичених пари та рідини сумішей з відхиленням, яке не перебільшує 0,3 %. Моделі стану введені в автоматизовану інформаційну систему для розрахунку теплофізичних

властивостей технічно важливих речовин, яку детально описано у четвертому розділі.

У **четвертому розділі** зроблено огляд основних існуючих банків даних щодо теплофізичних властивостей важливих речовин та автоматизованих інформаційних систем. Банки даних в електронній формі містять архіви наявних даних, а в автоматизованих інформаційних системах теплофізичні властивості розраховуються за допомогою рівнянь стану та рівнянь для властивостей переносу.

На відміну від банків даних автоматизовані інформаційні системи за допомогою введених у них моделей стану генерують необмежений обсяг інформації при різних комбінаціях незалежних змінних і тому є більш зручними для отримання необхідних даних з термодинамічних властивостей речовин. Тому у роботі було розроблено автоматизовану інформаційну систему яка, розраховує властивості 21-ї речовини в газоподібному та рідкому станах. Серед цих речовин: одноатомні гази, повітря і його основні компоненти, діоксид вуглецю, аміак, п'ять вуглеводнів, шість альтернативних холодоагентів, а також одинадцять сумішей (включаючи досліджувані у роботі речовини). Властивості можуть бути розраховані у однофазній та двофазній області, а також на лінії фазової рівноваги для дванадцяти комбінацій незалежних змінних.

У **п'ятому розділі** досліджено особливості термодинамічної поведінки сумішей R32/R125, R125/R290 та R134a/R290 у стані фазової рівноваги та розраховані показники ефективності циклу холодильної установки системи стабілізації температури палива суднового дизельного двигуна. Для аналізу термодинамічної поведінки сумішей побудовано діаграми залежності тиску насичених пари та рідини цих сумішей від складу. На діаграмах можна бачити, що всі три досліджені суміші мають азеотропні склади.

У вигляді окремого блоку автоматизованої інформаційної системи розроблено програму для розрахунку циклів парокompресорних холодильних установок. За цією програмою розраховані значення ефективного коефіцієнту корисної дії, холодопродуктивності та холодильного коефіцієнту холодильної установки системи стабілізації температури палива. За результатами розрахунків встановлено, що за холодопродуктивністю та ефективним коефіцієнтом корисної дії холодильна установка на базі досліджуваних сумішей працює ефективніше, ніж з базовим холодоагентом.

За допомогою розробленої автоматизованої системи отримані таблиці значень густини, ентальпії та ентропії досліджуваних сумішей на кривих насичення та у однофазній області у діапазонах параметрів, характерних для роботи холодильних установок. На підставі порівняння з експериментальними даними та даними, отриманими за допомогою визнаної системи REFPROP встановлено, що розраховані властивості мають цілком задовільну точність на рівні 99,7...99,8 %. Отримані таблиці властивостей були атестовані Держстандартом як стандартні довідкових даних, що є ознакою визнання виконаних досліджень.

**Шостий розділ** присвячено дослідженню робочого процесу судових

дизелів під час їх роботи на паливах із наднизьким вмістом сірки, які останнім часом отримали досить широке використання в зв'язку з постійною або періодичною експлуатацією морських суден в особливих екологічних районах. За допомогою онлайн-комплексу Blitz-PRO було виконано дослідження впливу в'язкості палива, поверхневого натягу палива та діаметру крапель палива на параметри робочого процесу двигуна внутрішнього згорання. Було доведено, що під час збільшення тривалості упорскування палива (яке виникає через протічки через збільшення температури палива та відповідне зменшення його в'язкості) перебіг процесів згорання та розширення суттєво погіршується, що знижує ефективність робочого циклу. Це додатково підтверджує необхідність контролю, стабілізації та підтримки температури палив із наднизьким вмістом сірки перед спрямуванням їх до паливної апаратури високого тиску.

Розраховані значення еколого-термoeкономічних індикаторів (які виконувались разом з визначенням енергетичних та економічних показників робочого циклу дизеля) показали, що найбільш прийнятною альтернативою базовому холодоагенту R134a серед досліджуваних речовин є суміш R134a/R290, яка має значно менший вплив на парниковий ефект та забезпечує більшу холодопродуктивність установки з одночасним підтриманням температурного діапазону палива з наднизьким вмістом сірки.

У висновках наведено основні результати, отримані автором.

### **Відповідність автореферату основним положення дисертації**

Автореферат обсягом 44 друкованих сторінок якісно оформлений. Зміст автореферату повністю розкриває зміст основних наукових положень представленої дисертаційної роботи.

Дисертація і автореферат викладені логічно, послідовно, грамотно, методично коректно, оформлені згідно з вимогами МОН України.

### **Відповідність дисертаційної роботи спеціальності**

Дисертаційна робота Мальчевського В.П. відповідає паспорту спеціальності 05.05.03 – двигуни та енергетичні установки за пунктами 1, 2, 3, 6, 7, 12.

### **Зауваження по дисертаційній роботі**

1. Більшість інформації, що наведена в п. 1.1 «Шляхи зменшення шкідливих викидів під час роботи судових дизелів з метою виконання необхідних міжнародних екологічних вимог» присвячена огляду методів, що знижують емісію оксидів азоту. З урахуванням наукової спрямованості

дисертації доцільно було поширити огляд методів, що сприяють зменшенню викидів оксидів сірки. Наприклад, додаткової обробки палива за допомогою ультразвуку, використання додаткового гідродинамічного очищення палива, використання хімічної обробки та деякі інші.

2. В Розділі 1 «Сучасний стан та проблеми поліпшення еколого-енергетичної ефективності суднових дизелів і задачі дослідження» залишилась невизначеною позиція автора щодо використання запропонованих рішень відносно палива з вмістом сірки що не перевищує 0,1 %, а саме їх використання під час експлуатації дизелів суднових енергетичних для будь яких районів Світового океану чи лише для таких, які віднесені Міжнародною морською організацією до спеціальних.

3. Перелічені на стор. 35 речовини не можуть «мати низький потенціал глобального потепління та забезпечувати високу енергоефективність обладнання». Імовірно автор мав на увазі, що ці речовини, відповідно, негативно та позитивно впливають на глобальне потепління та енергоефективність обладнання.

4 В п. 2.1 «Розрахунки термодинамічних властивостей сумішей шляхом комбінування коефіцієнтів моделей стану компонентів» автором розглянута велика кількість моделей. Деякі з них більш доцільно використовувати для холодоагентів, які не розглядаються в дисертаційному дослідженні. Наприклад, моделі Редліха-Квонга, Пательта-Тейя, Пенга-Робинсона, Карнахана-Старлінга, Бітті-Бріджмена, які розроблялись для холодоагентів, що руйнують озоновий шар; моделі Стюарта-Джекобсена для розрахунку властивостей азоту та кисню та модель Мак-Карті для метану. Найбільш доцільними для сумішей холодоагентів, що запропоновані автором є моделі Бенедикта-Вебба-Рубіна, Стробріджа та Стюарта-Джекобсена, але їм під час огляду приділено такої ж інформаційний та математичний огляд як іншим.

5. На стор. 72 для обґрунтування виразів (2.70) та (2.72) автор ототожнює поняття «калоричні дані» та «калоричні параметри» з точки зору точності рівнянь, тому що їх вплив «може оказатися суттєвим лише у критичній області, оскільки температура звичайно вимірюється з великою точністю». Це обґрунтування є не переконливим, оскільки ці вирази відносяться до визначення параметрів калоричних величин (властивостей).

6. В п. 3.1 «Складання моделі стану для сумішей R32/R125» автором розглянути характеристики холодоагенту для діапазону температур 200...400 К та тиску 0,02...39 МПа, що суттєво перебільшує діапазон використання запропонованих в дисертаційному дослідженні сумішей для умов експлуатації систем стабілізації температури палива суднових дизелів. Також в таблиці 3.2 цього пункту значення коефіцієнтів функції взаємодії суміші, що складається з холодоагентів R32 та R125 наведені з зайвою точністю, на рисунках 3.4 та 3.6 цього пункту наведені дані, що відповідають тиску 16, 20, 30 та 40 МПа – величинам, досягнення яких неможливо в запропонованих автором системах стабілізації температури палива суднових дизелів. Аналогічні зауваження стосуються п. 3.2 «Складання моделі стану для сумішей R125/R290», а саме до рисунку 3.7 (на якому наведені значення для температур більш ніж 400 К), та

таблиця 3.5, а також до п. 3.3. «Складання моделі стану для сумішей R134a/R290» відносно рисунку 3.17 та таблиці 3.10.

7. В п. 4.1 під час огляду відомих автоматизованих інформаційних систем для більшості з них не вказано, для яких речовин та в якому діапазоні температур та тиску вони забезпечують розрахунок теплофізичних властивостей.

8. В п. 5.1 «Аналіз термодинамічної поведінки досліджуваних сумішей у стані фазової рівноваги» автором запропоновані показники, що характеризують термодинамічну поведінку сумішей R32/R125, R125/R290 та R134a/R290, які отримані за допомогою розробленої автоматизованої інформаційної системи. При цьому не визначено раціональних вміст окремих складових в сумішах, а також не виконано ранжування запропонованих сумішей з позицій можливостей та доцільності їх використання в системах стабілізації температури палива суднових дизелів.

9. В п. 6.1 «Використання малов'язких палив на морських суднах та аналіз впливу в'язкості палива на параметри робочого процесу» наведені в тому числі результати моделювання для умов, в яких температура палива приймалась рівною 10°C. Для реальних умов експлуатації суднових дизелів таке можливо лише в окремих випадках, наприклад під час аварійного пуску холодного двигуна з невідготовленою до пуску паливною системою в умовах мінусових температур повітря навколишнього середовища. Виникнення подібних ситуацій практично неможливо, тому моделювання таких умов є недоцільним.

10. Під час аналізу ефективності холодильної установки системи стабілізації температури палива дизельного двигуна транспортного судна не розглянутий її життєвий цикл, а саме не виконано розрахунок затрат на її виробництво та збільшення затрат на електроенергію, пов'язаних з її експлуатацією, рівень яких може знижувати загальну еколого-енергетичну ефективність суднових дизелів.

11. Розробленого та запропонований автором варіант забезпечення стабілізації температури палива суднових дизелів вимагає встановлення та налагодження додаткового допоміжного обладнання. В дисертації не наведено технології погодження цих робіт з кваліфікаційними органами, що здійснюють контроль за судном та його енергетичною установкою.

### **Загальні висновки**

Представлена дисертаційна робота Мальчевського Валентина Павловича «**Основи забезпечення еколого-енергетичної ефективності суднових дизелів стабілізацією температури палива сумішами холодоагентів**» є цілісним та завершеним науковим дослідженням, що присвячено розв'язанню актуальної науково-прикладної проблеми – поліпшення еколого-енергетичної ефективності суднових дизелів за допомогою використання еколого-безпечних холодоагентів як робочих речовин системи стабілізації температури палива.

Дослідження містить нові науково-обґрунтовані результати; не захищені раніше наукові положення та висновки, які мають суттєво значення щодо забезпечення надійності та безвідмовності дизелів морських суден під час їх експлуатації на паливах з наднизьким вмістом сірки.

Дисертація виконана на достатньо високому рівні. Її результати не співпадають з результатами кандидатської дисертації автора, що була виконана за темою «Термодинамічні властивості сумішей ознобезпечних та природних холодоагентів» та захищена у 2007 р.

Результати, що досягнути при розв'язанні проблем, розглянутих у дисертації, рекомендуються до використання експлуатаційними підрозділами, а також державними та приватними організаціями, що виконують обслуговування, експлуатацію та ремонт двигунів внутрішнього згорання.

Вважаю, що дисертаційна робота відповідає вимогам пунктів 9, 10, 12, 13, 14 «Порядку присудження наукових ступенів» (затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 24.07.13 р. № 567 зі змінами) та іншим чинним вимогам які висуваються до дисертаційних робіт на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук, а її автор, **Мальчевський Валентин Павлович**, заслуговує присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.05.03 – двигуни та енергетичні установки.

Офіційний опонент,  
доктор технічних наук, професор,  
завідувач кафедри  
суднових енергетичних установок  
Національного університету  
«Одеська морська академія» МОН України

  
Сергій САГІН  
23.05.2023 р.

