

## ВДГУК

офіційного опонента  
на дисертаційну роботу

**Букарос Валерій Миколайович**

### «УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМ ДІАГНОСТУВАННЯ ТА КОНТРОЛЮ ЗА ТЕХНІЧНИМ СТАНОМ СУДНОВОЇ ХОЛОДИЛЬНОЇ УСТАНОВКИ».

подану на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук  
за спеціальністю 05.22.20 – експлуатація та ремонт засобів транспорту

#### **1. Актуальність теми дослідження**

Актуальність теми "Удосконалення систем діагностування та контролю за технічним станом суднової холодильної установки" підтверджується тим фактом, що при експлуатації суднових механізмів і установок велика увага приділяється питанням діагностики та своєчасного виявлення несправностей технологічного обладнання, зокрема, суднових холодильних установок (СХУ), які є найбільш поширеними допоміжними судовими енергетичними установками і використовуються майже у всіх типах морських і річкових суден.

Затребуваними практикою і актуальними чинниками подальшого розвитку морського й річкового флоту України та, зокрема, необхідністю вирішення проблем підвищення ефективності експлуатації і ремонту СХУ у цілому, є висока точність регулювання температури в холодильних камерах (ХК), мінімальні витрати електроенергії на вироблення холоду, підвищена надійність функціонування при змінних режимах роботи. Означені вимоги до енергетичної ефективності та надійності СХУ викликають необхідність пошуку нових шляхів діагностування і контролю їх технічного стану.

Загальновідомо, що найбільший ефект діагностування несправностей досягається використанням імітаційних моделей діагностованих елементів СХУ, які дозволяють проводити достовірну оцінку основних параметрів функціонування у відповідності до підходу «fault detection and diagnostics» (FDD). При цьому, технічна складність ідентифікації параметрів технічного стану, невизначеність дії зовнішніх чинників та взаємного впливу елементів СХУ перешкоджає впровадженню підходу FDD в СХУ.

Дослідження переслідує вирішення актуального запиту практики – підвищення ефективності експлуатації СХУ, що досягається вдосконаленням засобів діагностики і контролю технічного стану на основі імітаційного моделювання окремих вузлів СХУ.

#### **2. Ступінь обґрунтованості і достовірності наукових положень, висновків і рекомендацій**

Обґрунтованість і достовірність запропонованих наукових положень підтверджується логічністю обрання методів та методик дослідження, показниками адекватності отриманих залежностей, задовільною відповідністю емпіричних та теоретичних результатів.

Обґрунтованість висновків та практичних рекомендацій, що запропоновані і наведені в дисертаційній роботі, підтверджуються отриманими результатами.

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЛОДЬКА	
КАНЦЕЛЯРІЯ	
Відомий №	553
Надійшло	08.04 2019 р.

тами практичних та теоретичних досліджень. Одержані наукові результати добре узгоджуються з даними раніше проведених досліджень, як здобувачем, так і іншими науковцями.

Все, що наведено вище, дозволяє стверджувати про обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій, що містяться у дисертації.

### **3. Наукова новизна одержаних результатів**

Здобувачем особисто отримані наступні нові наукові результати, де у рамках вирішення сформульованої науково-технічної проблеми, проведено аналіз існуючого стану і вперше визначені невіршені до сьогодні актуальні завдання розвитку теорії та практики забезпечення ефективної експлуатації СХУ, а саме:

- вперше запропонований алгоритм діагностування обмерзання випарника СХУ, який відрізняється обчисленням інтегрального критерію оцінки коефіцієнта теплопрохідності, що дозволяє своєчасно встановлювати факт обмерзання випарника, автоматизувати запуск процесу відтавання випарника та скоротити час простою СХУ;

- отримав подальший розвиток алгоритм оцінки енергетичної ефективності СХУ, який відрізняється застосуванням в складі системи діагностики і контролю технічного стану СХУ адаптивного спостерігача стану компресора, що дозволяє оцінювати енергетичну ефективність та клас енергоспоживання СХУ з використанням мінімально необхідної кількості датчиків;

- удосконалена імітаційна модель температурних режимів СХУ, яка відрізняється врахуванням зміни внутрішніх та зовнішніх параметрів функціонування, що дозволяє проводити достовірну оцінку динамічних властивостей СХУ;

- удосконалена система стабілізації тиску конденсації СХУ, яка відрізняється застосуванням додаткових зворотних зв'язків за каналами витрати і температури охолоджувальної води та наявністю логічного перемикаючого пристрою в колі регулятора тиску, що надає системі властивостей часткової інваріантності по відношенню до збурюючих дій, покращує її динамічні показники та енергетичну ефективність СХУ в цілому.

З отриманими науковими результатами слід погодитися і вони є безсумнівними.

### **4. Практичне значення одержаних результатів**

Практичне значення одержаних результатів полягає у тому, що вони можуть використовуватися при визначенні загальної архітектури систем діагностування і контролю технічного стану (СД і КТС), яка гарантує високу експлуатаційну ефективність СХУ, у тому числі – в змінних режимах роботи при невизначеності параметрів функціонування.

Основні результати застосовуються під час навчання студентів (курсантів) закладів вищої освіти, при підвищенні кваліфікації фахівців морського транспорту, суднових механіків і електромеханіків, зокрема – при використанні у навчальному процесі Військової академії (м. Одеса) запропонованих авторсь-

ких алгоритмів діагностування несправностей (акт впровадження від 19.06.2020 р.).

Практичні результати дисертаційного дослідження впроваджені у виробничу діяльність судноплавної компанії Bourbon Offshore, судно Bourbon Libeccio (акт впровадження від 22.01.2020 р.); судноплавної компанії Carisbrooke Shipping, судно Johanna C (акт впровадження від 25.06.2020 р.); судноплавної компанії Zeaborn Ship Management, судно Robert Rickmers (акт впровадження від 14.12.2020 р.), а також пройшли апробацію на наукових семінарах з проблеми "Наукові основи електроенергетики" Наукової Ради Інституту електродинаміки НАН України (Науковий семінар "Оптимальне управління та експлуатація електроприводів спеціальних установок", 2015-2020 р.р., довідка від 30.06.2020 р.), де встановлено, що результати дослідження мають актуальність, наукову новизну та практичну значущість при проектуванні, створенні та експлуатації СД і КТС СХУ.

## **5. Повнота викладу в опублікованих працях наукових положень, висновків, рекомендацій**

За результатами виконаних досліджень здобувачем опубліковано 11 наукових праць. Основних публікацій у наукових профільних виданнях 6, з них 2 публікації, що входять до науково-метричної бази Web of Science, 2 доповіді у збірниках матеріалів наукових конференцій, 3 патенти України на корисну модель.

В опублікованих працях у повному обсязі викладено основні отримані результати. Особистий внесок здобувача в сумісних публікаціях є підтвердженням. Рівень та кількість публікацій, рівень апробацій відповідають вимогам, що ставляться МОН України до кандидатських дисертацій.

## **6. Оцінка змісту дисертації у цілому**

Повний обсяг дисертації (153 сторінки) не перевищує встановлених МОН України вимог для дисертацій кандидатського рівня і є достатнім для пояснення основних отриманих наукових результатів. Дисертація складається з анотацій, переліку умовних скорочень, вступу, п'яти розділів, загальних висновків, списку використаних джерел і додатків.

**У вступі** наводиться обґрунтування актуальності тематики дослідження, вказано її зв'язок із державними та галузевими програмами, планами і темами. Сформульовано мету і задачі, методи дослідження, зазначено практичне значення та наукову новизну роботи. Наведені дані щодо апробації результатів дослідження. Зазначені публікації за темою дисертації та вказано особистий внесок здобувача у працях, опублікованих у співавторстві.

**У першому розділі** проведено аналіз існуючих рішень по діагностиці та контролю технічного стану СХУ, який дозволив виділити основні завдання ефективної експлуатації СХУ, зокрема: зниження питомого споживання енергії на виробництво одиниці холоду; удосконалення алгоритмів діагностування та упередження основних несправностей СХУ, особливо пов'язаних з викидами озоноруйнівних холодильних агентів (ХА) в атмосферу; контроль технічного стану та класу енергоспоживання СХУ; удосконалення алгоритмів регулювання

та автоматизація роботи конденсаторів СХУ; підвищення надійності та терміну служби основних елементів СХУ.

Доведено, що однією з найпоширеніших причин відмов СХУ є несправності компресора, які, в свою чергу, визначаються механічними параметрами такими, як швидкість обертання та навантаження на валу приводного двигуна. Обґрунтований вибір у якості об'єкту досліджень парокомпресійних СХУ малої холодопродуктивності з герметичними та безсальниковими компресорами.

Показано, що в рамках обраних напрямків досліджень найбільш перспективними є FDD підхід з використанням імітаційних моделей окремих вузлів СХУ.

**У другому розділі** визначені основні методологічні основи наукового дослідження, принципи і методи аналізу та синтезу СД і КТС СХУ, а саме:

- на основі експертного оцінювання завдань експлуатації СХУ по факторах: актуальності, наукової новизни, економічної ефективності, відповідності наукової спеціальності, можливості реалізації, обрана тема і сформульовані основні напрямки дисертаційного дослідження;

- за допомогою системного підходу сформульована мета дисертаційного дослідження, для досягнення якої висунута робоча гіпотеза, сформульована головне завдання дисертаційного дослідження, складена технологічна карта досліджень, яка передбачає декомпозицію головного завдання на чотири незалежні допоміжні задачі;

- показано, що найбільш ефективним підходом до діагностування та контролю технічного стану є метод FDD на основі імітаційних моделей елементів СХУ, який також може бути застосований для стабілізації окремих параметрів функціонування СХУ у відповідності до алгоритмів усунення несправностей;

- розроблена методика проведення досліджень, яка встановлює послідовність виконання чотирьох основних етапів дисертаційної роботи з використанням відповідних методів.

**У третьому розділі** проведено аналіз параметрів функціонування СХУ в змінних режимах роботи, а саме:

- на підставі термодинамічного аналізу циклу роботи СХУ встановлено, що одним з основних параметрів функціонування СХУ є температура охолоджуваного об'єкта та пов'язана з нею температура кипіння ХА, на які суттєво впливає низка параметрів, зокрема, температура навколишнього середовища та пов'язана з нею температура конденсації ХА, коефіцієнт теплопровідності випарника;

- отримані термодинамічні залежності параметрів функціонування СХУ, які створюють основу для побудови моделі температурних режимів з метою виявлення можливих симптомів порушення нормальної роботи;

- на підставі енергетичного аналізу холодильного циклу визначені показники енергетичної ефективності СХУ: загальний коефіцієнт холодопродуктивності TСОР та загальний коефіцієнт енергетичної ефективності TЕРF.

- показано, основою для обчислення TСОР та TЕРF є визначення параметрів ХА в характерних точках дійсного холодильного циклу СХУ та параметрів функціонування компресору;

- на підставі аналізу динаміки роботи поршневого компресору СХУ виявлені основні параметри функціонування компресору, які являються основою для визначення потужності стискування компресора в реальному часі;

- отримані рівняння динаміки кривошипно-шатунного механізму компресора СХУ, які є основою для обчислення середнього за один оборот валу моменту опору з метою виявлення можливих симптомів несправностей в роботі компресора.

**У четвертому розділі** розроблені імітаційні моделі основних складових СХУ, а саме:

- на підставі термодинамічного аналізу циклу роботи СХУ удосконалена імітаційна модель температурних режимів у випарнику та охолоджувальному об'єкті, яка дозволяє проводити аналіз основних властивостей СХУ, як об'єкта керування, в змінних режимах роботи і може бути основою для проектування систем керування холодопродуктивністю, діагностики та контролю технічного стану таких установок;

- на основі аналізу динаміки роботи поршневого компресору СХУ та теорії адаптивних спостерігачів стану повного порядку удосконалена модель електропривода компресора, яка спроможна в реальному часі визначати енергетичні та механічні показники з метою діагностування та контролю технічного стану компресора;

- удосконалені моделі стабілізації тиску конденсації конденсаторів з повітряним та водяним охолодженням, які побудовані на принципах часткової інваріантності до основних збурювань, дозволяють підвищити енергетичну ефективність СХУ та покращити якість перехідних процесів.

**У п'ятому розділі** розроблені алгоритми та побудована система стабілізації, контролю та діагностування основних параметрів функціонування СХУ на основі підходу FDD з урахуванням змінного характеру теплового навантаження, а саме:

- запропонована методика розрахунку параметрів дійсного холодильного циклу СХУ та проведено порівняння запропонованої методики з іншими джерелами з розбіжністю результатів не більше 5 %;

- удосконалений алгоритм та розроблена підсистема оцінки енергетичної ефективності СХУ, яка передбачає оцінку енергетичної ефективності не тільки СХУ в цілому, а й її окремих елементів: компресора, приводного електродвигуна тощо, що дає змогу застосувати підхід FDD при проектуванні системи діагностики з наданням конкретних рекомендацій для обслуговуючого персоналу;

- на основі моделі температурних режимів СХУ вперше розроблений алгоритм та підсистема оцінки коефіцієнта теплопровідності та прогнозованої діагностики обмерзання випарника СХУ, що дозволяє автоматизувати процес відтавання випарника та скоротити час простою установки;

- на основі діаграми відповідності симптомів та несправностей, рекомендованої компанією Wilhelmsen Ships Service, розроблена методика ідентифікації симптомів та виявлення несправностей СХУ засобами прогнозованої діагностики та FDD;

– на основі розроблених алгоритмів та підсистем запропонована загальна система діагностики та контролю технічного стану СХУ з використанням мінімально необхідного набору датчиків.

## 7. Оформлення дисертації та автореферату

Стиль викладу матеріалів досліджень, наукових положень, висновків і рекомендацій забезпечує їх добре сприйняття.

Оформлення дисертації проведено згідно вимог п. 11, п. 12, п. 14 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 р. № 567.

Автореферат обсягом 23 друковані сторінки добре оформлений. Оформлення автореферату за своїм обсягом, структурою та змістом відповідає чинним вимогам п. 13 «Порядку присудження наукових ступенів». Зміст автореферату повністю розкриває зміст основних наукових положень дисертаційної роботи.

Розсилка автореферату здійснена 19 березня 2021 року з розміщенням за адресою <http://www.onma.edu.ua/zakhist-dissertatsiy>.

Запозичень у тексті дисертації чужих праць і ідей без посилань на першоджерела та невідповідності змісту дисертації, автореферату і Паспорту спеціальності 05.22.20 не виявлено. Ознак плагіату або само плагіату не виявлено.

При загальній оцінці дисертаційної роботи, слід зазначити, що вона є завершеним і цілісним дослідженням з чіткою структурою і логічним викладом матеріалу. Зміст дисертації узагальнює опубліковані дослідження здобувача, а виклад математичних доведень здійснюється сучасним аналітичним апаратом.

## 9. Зауваження

1. На стор. 71, при дослідженні моделі температурних режимів СХУ, у якості параметрів холодильного агенту використовуються дані фреону R22, при цьому у підрозділі 1.2 наголошується на забороні застосування R22 і інших гідрохлорфторвуглеводів на нових суднах з 1 січня 2020 року.

2. На стор. 38 наведена функціональна схема СХУ з двохпозиційним регулюванням продуктивності компресора, яка є основою для складання моделей окремих вузлів установки. Проте в підрозділі 4.1, при складанні імітаційних моделей температурних режимів СХУ, розглядається, також, варіант повільного регулювання продуктивності компресора.

3. На стор. 47-48 у формулах 3.2-3.7, у підрозділах 4.1 та 5.3 використовується вираз  $k \cdot F$ , який представляє собою добуток коефіцієнта теплопередачі та площі поверхні теплообмінного апарату (конденсатора, випарника). При цьому вказаний вираз автор називає «коефіцієнтом теплопрохідності». Є сумніви в існуванні такого поняття в сучасній науковій літературі. Якщо автором вводиться поняття, то для нього необхідне і визначення?

4. На стор. 55 у виразі 3.15, стор. 109 у виразі 5.15 для визначення споживаної електричної енергії СХУ, використовуються електричні потужності електрообладнання лише компресора та конденсатора, але загальновідомо, що багато СХУ (наприклад, рефрижераторні контейнери) містять, наприклад, вентилятори для обдування випарника.

5. Невідомо, які припущення були зроблені автором при використанні спрощеної індикаторної діаграми (рис. 3.5, стор. 57) при аналізі динаміки роботи компресора.

6. Частота обертання двигуна компресора має різні позначення (див. наприклад, вирази 4.22 та 4.23).

7. Є сумніви у доцільності розробки та верифікації моделі компресора на стор. 73-76, оскільки на стор. 77 зазначається, що «... даній моделі притаманний один суттєвий недолік ...», після чого запропоноване зовсім інше технічне рішення для оцінки механічних параметрів компресора.

8. В підрозділі 4.2, для побудови спостерігача стану компресора, запропоновано у якості вимірювальної координати використати електромагнітний момент приводного електродвигуна. Потребує пояснень, яким чином автор пропонує вимірювати цей електромагнітний момент.

9. В списку використаних джерел автор посилається на неактуальну версію Регістру судноплавства України 2019 року видання.

Зазначені зауваження ніякою мірою не знижують наукову значущість дисертаційної роботи.

## 10. Висновок

Дисертація є закінченим науковим дослідженням, виконаним на високому науковому рівні з використанням сучасних засобів ведення наукових досліджень. Представлені результати є науково обґрунтованими, мають наукову новизну і практичне значення. Робота відповідає паспорту спеціальності 05.22.20 – експлуатація та ремонт засобів транспорту, зокрема наступним пунктам напрямків досліджень:

3. ... функціонування засобів транспорту в різних умовах експлуатації, ... розроблення засобів діагностики та прогнозування їх технічного стану;

7. ..., розробка методів підвищення ефективності експлуатації засобів транспорту та їх функціональних систем, обладнання та засобів забезпечення їх працездатності;

8. ..., розроблення методів і технічних засобів ... автоматизації і комп'ютеризації процесів експлуатації, технічного обслуговування...;

9. ..., розробка заходів, засобів та методів поліпшення якості експлуатації, технічного обслуговування ... засобів транспорту;

11. дослідження, розроблення ... методів удосконалення тактико-технічних та експлуатаційних характеристик засобів транспорту, ... , підвищення ефективності контролю технічного стану транспортної техніки, встановлення закономірностей змінювання параметрів технічного стану у процесі експлуатації, впровадження методів і засобів діагностування та прогнозування технічного стану засобів транспорту, що забезпечують високу ефективність їх використання та надійність роботи.

Актуальність теми, ступінь обґрунтованості, достовірність і новизна наукових положень, висновків та рекомендацій дають підстави стверджувати, що дисертаційне дослідження Букарос В. М. відповідає вимогам, які висуваються до дисертацій на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук, а також вимогам пунктів 9, 11, 12, 13, 14, 15 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 р. № 567 (із змінами, внесеними згідно з постановами КМУ № 656 від 19.08.2015, № 1159 від 30.12.2015, № 567 від 27.07.2016) та паспорту спеціальності 05.22.20 – експлуатація та ремонт засобів транспорту.

Вважаю, що Букарос Валерія Миколаївна заслуговує на присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.20 – експлуатація та ремонт засобів транспорту.

Офіційний опонент, доктор технічних наук,  
професор, завідувач кафедри інформаційних  
технологій Державного університету  
"Одеська політехніка"

В. В. Вичужанін

«06» квітня 2021 р.

Особистий підпис, *Вичужанін В.В.*  
засвідчує  
Ст. інспектор ВК *С. М. Наврухін*

