

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ОДЕСЬКА МОРСЬКА АКАДЕМІЯ»
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

Букарос Валерія Миколаївна

УДК 629.5.064: 621.565.9

ДИСЕРТАЦІЯ

**УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМ ДІАГНОСТУВАННЯ ТА КОНТРОЛЮ ЗА
ТЕХНІЧНИМ СТАНОМ СУДНОВОЇ ХОЛОДИЛЬНОЇ УСТАНОВКИ**

05.22.20 – Експлуатація та ремонт засобів транспорту

Технічні науки

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук.

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело


В.М. Букарос

Науковий керівник:

Онищенко Олег Анатолійович, доктор технічних наук, професор

Одесса – 2021

АНОТАЦІЯ

Букарос В.М. Удосконалення систем діагностування та контролю за технічним станом суднової холодильної установки. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.20 «Експлуатація та ремонт засобів транспорту». – Національний університет «Одеська морська академія», Одеса, 2021.

У дисертаційній роботі розв’язується актуальна науково-технічна задача підвищення ефективності експлуатації суднових холодильних установок (СХУ), що досягається вдосконаленням засобів діагностики і контролю технічного стану на основі імітаційного моделювання окремих вузлів СХУ.

Проведений аналіз проблем та тенденцій розвитку суднової холодильної техніки дозволив виділити основні завдання діагностування і контролю технічного стану основних вузлів СХУ. Обґрунтований вибір у якості об’єкту досліджень парокомпресійних СХУ малої холодопродуктивності з герметичними та безсальниковими компресорами. Порівняльний аналіз літературних джерел показав, що в рамках обраних напрямків досліджень найбільш перспективними є підхід «fault detection and diagnostics» (FDD) з використанням математичного моделювання окремих вузлів СХУ.

На основі системного підходу сформульована мета дисертаційного дослідження, для досягнення якої висунута робоча гіпотеза. Показано, що найбільш ефективним підходом до діагностування та контролю технічного стану СХУ є метод FDD на основі імітаційних моделей системи. На підставі висунутої робочої гіпотези сформульована головна задача дисертаційного дослідження та здійснена її декомпозиція на чотири незалежні допоміжні задачі. Визначені наукові результати для кожної із задач, на підставі яких знайдений розв’язок головної задачі дослідження, показана наукова значущість та практична цінність результатів досліджень, сформульовані наукові положення.

На підставі термодинамічного аналізу циклу роботи СХУ виявлені основні параметри функціонування СХУ та удосконалена імітаційна модель

температурних режимів СХУ, яка відрізняється врахуванням зміни внутрішніх та зовнішніх параметрів функціонування, що дозволяє проводити достовірну оцінку її динамічних властивостей. На основі моделі температурних режимів СХУ розроблений алгоритм і підсистема оцінки коефіцієнта теплопрохідності та прогнозованої діагностики обмерзання випарника СХУ. Проведена перевірка алгоритму засобами імітаційного моделювання.

Проведений аналіз динаміки роботи поршневого компресору СХУ, який дозволив виявити основні параметри функціонування компресору. На основі аналізу динаміки роботи поршневого компресору СХУ та теорії адаптивних спостерігачів стану повного порядку розроблена модель електропривода компресора, яка спроможна в реальному часі визначати енергетичні та механічні показники з метою діагностування та контролю технічного стану компресора.

Проведений енергетичний аналіз холодильного циклу СХУ, який дозволив визначити показники досконалості холодильного циклу. Основою для обчислення цих показників є визначення параметрів холодильного агента в характерних точках дійсного холодильного циклу СХУ та параметрів функціонування компресору. Розроблена методика розрахунку параметрів дійсного холодильного циклу та проведено її порівняння з іншими джерелами. На основі зазначеної методики уперше запропонований загальний алгоритм та підсистема оцінки енергетичної ефективності СХУ, які відрізняються застосуванням в складі системи діагностики і контролю параметрів функціонування СХУ адаптивного спостерігача стану компресора. Алгоритм передбачає оцінку енергетичної ефективності не тільки СХУ в цілому, а й її окремих елементів: компресора, приводного електродвигуна тощо.

Розроблені та досліджені імітаційні моделі процесів стабілізації тиску конденсації конденсаторів з повітряним та водяним охолодженням. На основі розроблених моделей 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

робастності по відношенню до збурюючих дій, покращує її динамічні показники та дозволяє підвищити енергетичну ефективність СХУ в цілому.

На основі діаграми відповідності симптомів та несправностей, рекомендованої компанією Wilhelmsen Ships Service, запропонована методика ідентифікації симптомів та виявлення несправностей СХУ засобами прогнозованої діагностики та FDD. Методика базується на побудові дійсного холодильного циклу з подальшим порівнянням з «еталонним» холодильним циклом та виявленням типових відхилень. На основі розроблених алгоритмів та підсистем запропонована загальна система діагностики та контролю технічного стану СХУ з використанням мінімально необхідного набору датчиків.

Ключові слова: суднова холодильна установка, поршневий компресор, енергетична ефективність, діагностика, контроль технічного стану, спостерігач стану.

ABSTRACT

Bukaros V.M. Improvement of systems of diagnostics and control of technical condition of ship refrigeration unit. – Qualification scientific work on the rights of manuscripts.

Dissertation for the PhD degree in Technical Sciences (Doctor of Philosophy) in the specialty 05.22.20 “Operation and maintenance of transport facilities”. – National University "Odessa Maritime Academy", Odessa, 2021.

In the dissertation the actual scientific and technical task of increasing operation efficiency of ship refrigeration units (SRU) which is reached by improvement of means of diagnostics and control of a technical condition on the basis of simulation modeling of separate knots of SRU was solved.

The conducted analysis of problems and trends in the development of ship refrigeration equipment allowed identifying the main tasks of diagnosing and monitoring the technical condition of the main components of the SRU. Choice as the object of research of steam compression low refrigeration capacity SRU with hermetic and semihermetic compressors was justified. A comparative analysis of the literature

has shown that in the selected areas of research the most promising approach is "fault detection and diagnostics" (FDD) using mathematical modeling of individual nodes of the SRU.

On the basis of the system approach the purpose of dissertation research was formulated and the working hypothesis was put forward. It was shown that the most effective approach to diagnosing and monitoring the technical condition of SRU is the FDD method based on simulation models of the system. Based on the proposed working hypothesis the main task of the dissertation research was formulated and its decomposition into four independent auxiliary tasks was carried out. The scientific results for each of the tasks were determined on the basis of which the solving of the main task of the research was found, the scientific significance and practical value of the research results were shown, the scientific positions were formulated.

Based on the thermodynamic analysis of the SRU operation cycle the main parameters of the SRU operation were revealed and the simulation model of the SRU temperature modes was improved. This model differs taking into account changes in internal and external operating parameters that allows a reliable assessment of its dynamic properties. Based on the model of SRU temperature modes an algorithm and a subsystem for estimating the heat transfer coefficient and the predicted diagnostics of SRU evaporator icing was developed. The algorithm was tested by means of simulation.

The analysis of the SRU reciprocating compressor dynamics was carried out and allowed to reveal the main parameters of the compressor operation. Based on the analysis of the SRU reciprocating compressor dynamics and the theory of adaptive full order state observers a model of the compressor electric drive which is able to determine energy and mechanical parameters in real time to diagnosing and monitoring the technical condition of the compressor was developed.

The energy analysis of the SRU refrigeration cycle was carried out and allowed to determine the perfection indicators of the refrigeration cycle. The basis for calculating these indicators is to determine the parameters of the refrigerant at the characteristic points of the actual SRU refrigeration cycle and the parameters of the compressor. A method for calculating the parameters of the actual refrigeration cycle was developed

and compared with other sources. On the basis of the specified technique the general algorithm and a subsystem of an estimation of SRU energy efficiency which differ in application as a part of SRU diagnostics and control of functioning parameters system of the adaptive state observer of the compressor are offered for the first time. The algorithm provides an assessment of the energy efficiency not only of the SRU as a whole, but also of its individual elements: compressor, drive motor, etc.

Simulation models of condensing pressure stabilization processes of air- and water-cooled condensers were developed and studied. Based on the developed models the SRU condensing pressure stabilization system was improved. It differs in using of additional feedback on the cooling water flow and temperature channels and the presence of a logic switching device in the pressure regulator circuit which gives the system the properties of robustness in relation to disturbing actions, improves its dynamic performance and allows to increase the energy efficiency of the SRU as a whole.

Based on the symptom and fault correlation chart recommended by Wilhelmsen Ships Service Company a method for identifying symptoms and detecting SRU faults using predictive diagnostics and FDD was proposed. The method is based on the construction of an actual refrigeration cycle with subsequent comparison with the "reference" refrigeration cycle and the detection of typical deviations. On the basis of the developed algorithms and subsystems the general system of diagnostics and control of a technical condition of SRU with use of the minimum necessary set of sensors was offered.

Keywords: ship refrigeration unit, reciprocating compressor, energy efficiency, diagnostics, technical condition monitoring, state observer.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

LIST OF PUBLICATIONS OF THE APPLICANT

Праці, у яких опубліковані основні наукові результати дисертації

Works, in which the main scientific results of the dissertation are published

1. **Букарос В. М.** Адаптивна система керування електроприводом компресора / В. М. Букарос, А. Ю. Букарос, М. О. Ромчук // Автоматизація технологічних і бізнес-процесів. - 2014. - № 6 (4). - С. 84-90.
2. **Букарос В. Н.** Моделирование момента сопротивления однопоршневого компрессора судовой холодильной установки / В. Н. Букарос, А. Ю. Букарос, О. А. Онищенко // Технологический аудит и резервы производства. - 2015. - № 4/1(24). - С. 46-50.
3. Automation of the control processes of the refrigeration units condensers / [V. Bukaros, O. Onishchenko et al.] // Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies. – 2017. – Vol. 23 (1245). – P. 76–83.
4. Букарос А. Ю. Структурная модель судовой холодильной установки / [А. Ю. Букарос, О. А. Онищенко **В. Н. Букарос** и др.] // Морские интеллектуальные технологии. - 2018. - № 4 (42). - С. 229-235. (**Web of Science**)
5. Modernization of luenberger observer for control system of hermetic compressor electric drive / [V. Bukaros, O. Onishchenko et al.] // Radio Electronics, Computer Science, Control. – 2019. – Vol. 1. – P. 230-237 (**Web of Science**)
6. Algorithm for estimation of ship refrigeration unit energy efficiency using full order observers / [A. Bukaros, **V. Bukaros** et al.] // Applied Aspects of Information Technology. – 2020. – Vol. 3. – No. 1. – P. 418-430.

Праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації

Proceedings certifying approbation of the materials of the dissertation

7. **Букарос В. М.** Аналіз роботи механізму однопоршневого холодильного компресора суднової холодильної установки / В. М. Букарос, О. А. Онищенко // Матеріали науково-технічної конференції «Морський і річковий флот: експлуатація й ремонт», 17-18 березня 2016 р. – Одеса: НУ «ОМА», 2016. – С. 100-108.

8. Bukaros A. Development of the luenberger observer for the automated electric drive of hermetic compressor / A. Bukaros, V. Malyshev, **V. Bukaros** // Technology Transfer: fundamental principles and innovative technical solutions : annual scientific conference, Tallinn, 23 November 2018 : proceeding. – Tallinn: Scientific Route, 2018. – P. 40-42.

Праці, які додатково відображають наукові результати дисертації

Proceedings which additionally reflect the scientific results of the dissertation

9. Патент України, UA 100304, МПК H02P 23/00. Тиристорний регулятор напруги для електропривода герметичного компресора / **В. М. Букарос**, А. Ю. Букарос, Н.О. Ромчук. № u201413129; заявл. 08.12.2014; опубл. 27.07.2015. Бюл. №14.

10. Патент України, UA 117180, МПК F25B 49/00. Пристрій регулювання тиску конденсації суднової холодильної установки / **В. М. Букарос**, А. Ю. Букарос, О.А. Онищенко. № u201609878; заявл. 26/09/2016; опубл. 26.06.2017. Бюл. №12.

11. Патент України, МПК F25B49/00. Система регулювання тиску конденсації суднової холодильної установки / **В. М. Букарос**, А. Ю. Букарос, О.А. Онищенко. № u201705994; заявл. 15.06.2017; опубл. 11.12.2017. Бюл. №23.