



УДК 681.518.5; 621.565:621.59

РОЗРОБКА СИСТЕМИ ДІАГНОСТУВАННЯ СУДНОВИХ ХОЛОДИЛЬНИХ УСТАНОВОК

Очеретяний Ю. О.

Національний університет «Одеська морська академія», вул. Дідріхсона 8, Одеса, 65029, Україна
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8239-7587>
E-mail: och2008@ukr.net

Copyright © 2022 by author and the journal “Automation of technological and business – processes”.
This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).
<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>



DOI: 10.15673/atbp.v14i4.2434

Анотація. Надійність та енергоефективність технічної експлуатації СХУ багато в чому залежить від своєчасного виявлення недоліків у роботі механізмів, та прийняття своєчасних об'єктивних рішень на підставі отриманих у режимі реального часу та оброблених термодинамічних параметрів за допомогою програмовано-логічних контролерів (ПЛК)

Abstract. The reliability and energy efficiency of the technical operation of the ships refrigerant plants largely depends on the timely detection of shortcomings in the operation of the mechanisms, and the adoption of timely objective decisions based on the received in real time and processed thermodynamic parameters using programmable logic controllers (PLC)

Ключові слова: суднова холодильна установка; система керування; енергоефективність; програмовані логічні контролери

Keywords: ship refrigeration plant; control system; energy efficiency; programmable logic controllers

1. Вступ

З метою створення системи технічної діагностики суднової холодильної установки (СХУ) на базі програмовано-логічних контролерів (ПЛК), необхідно вирішити наступні взаємопов'язані завдання: розробити математичну модель функціонування об'єкта діагностування, що дозволяє перевіряти працездатність і правильність функціонування за сукупністю діагностичних параметрів; створити продукційні моделі пошкоджень і відмов, що дають можливість виявляти пошкодження і відмови, виявляти причини їх виникнення. Далі слід побудувати самі алгоритми діагностування, які повинні включати в себе такий набір елементарних перевірок, за результатами яких можна буде у задачах виявлення пошкоджень і відмов чітко відрізнити справний і працездатний стан суднової холодильної установки від несправного.

Для побудови моделей пошкоджень і відмов слід використовувати продукційні та топологічні моделі у вигляді дерев відмов і графіків причинно-наслідкових зв'язків між технічними станами та діагностичними параметрами. Моделі об'єктів діагностування є основою для побудови самих алгоритмів діагностування. Таким чином побудова алгоритмів діагностування полягає у виборі такої сукупності перевірок, за результатами яких можна з упевненістю надійно відрізнити справне, працездатний стан від несправного, а також розрізнити види дефектів між собою. Також з технічним діагностуванням пов'язане завдання подальшого прогнозування технічного ресурсу об'єкта, що є не менш важливим фактором економічного чинника з експлуатації СХУ.

2. Аналіз проблеми та постановка завдання

Таким чином метою даної роботи є створення системи, загального алгоритма та відповідної програми-прототипа діагностування суднових холодильних установок для подальшого їх використання при програмуванні програмуємо-логічних контролерів.

Для досягнення поставленої мети використовуються вже напрацьовані та опубліковані в наукових працях [1-5] матеріали, а також особистий досвід автора з технічної експлуатації СХУ у якості рефрижераторного механіка пасажирських суден.

3. Опис системи діагностики

Для створення системи діагностування на базі ПЛК треба створити алгоритм дій та систему датчиків, котрі будуть зчитувати контролером і в залежності від отриманих результатів видавати на вихідний пристрій причину несправності чи відхилення робочого процесу холодильної установки.

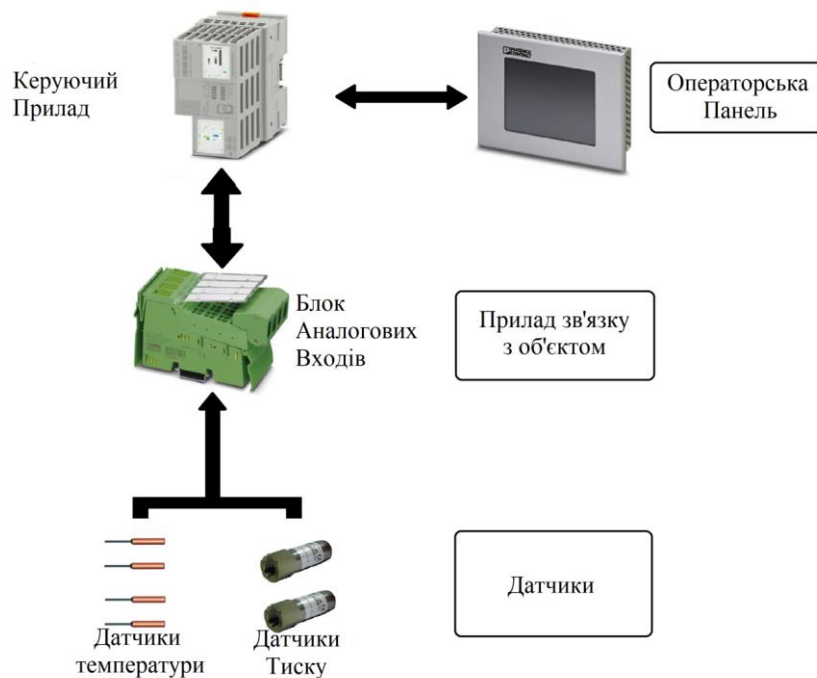


Рис. 1 – Загальний вид системи діагностування

Для отримання інформації з датчиків підходить модуль на 8 аналогових входів IB IL AI 8/SF-PAC фірми Phoenix Contact. Цей модуль дозволяє підключати датчики з токовими виходами чи з виходами по напруженню по двохдрітній схемі.

Технічна частина складається з контролера Phoenix Contact AXC F 1152



Рис. 2 – Контролер Phoenix Contact AXC F

Технічні характеристики:

- Процесор - Arm Cortex-A9 1x 800 МГц
- Оперативна пам'ять - 512 Мбайт DDR3 SDRAM
- Спосіб підключення – провідний
- Тип підключення – цокольний модуль
- Блок пам'яті – 4 Мбайт
- Пам'ять для програм – 8 Мбайт
- Пам'ять для даних – 16 Мбайт
- Ethernet, Локальна шина Axioline F
- Швидкість передачі даних – 10/100 Мбит/с
- Живлення - 24 В DC

Контролер обладнаний ступеню захисту IP20, що забезпечує його стабільну роботу при температурі від -25°C до 55°C та відносній вологості повітря від 10% до 95%, витримує тиск повітря від 70 кПа до 106 кПа.

**Рис. 3 – Модуль UCO IB IL AI 8/SF-PAC**

Блок-модуль аналогових входів має такі властивості:

- Висока точність вимірювання;
- Висока швидкість вимірювання;
- Добра фільтрація шумів;
- Розрядність АЦП 16 біт;
- Підтримує наступні значення вхідних сигналів: 0 – 20 мА, 4 – 20 мА, -20 – 20 мА, 0 – 40 мА, -40 – 40 мА;

Для керування холодильною установкою та отримання інформації стосовно стану її робочого процесу підходить панель оператора WP 04T фірми Phoenix Contact

**Рис. 4 – Операторська панель WP 04T от Phoenix Contact**

Фронтальна сторона панелі має ступень захисту IP65, а тильна – IP20. Панель здатна функціонувати при наступних умовах зовнішнього середовища:

- Температура повітря (експлуатаційна) 0 – 50°C;
- Вологість повітря (експлуатаційна) 20% – 80%;
- Температура повітря (збереження/транспортування) -25 – 50°C;
- Вологість повітря (збереження/транспортування) 10% - 95%.

Таблиця 1 – Технічні характеристики панелі WP 04T

Екран	8,9 cm / 3,5"-TFT
Розширення екрану	320 x 240 Pixel (QVGA)
Підсвічування	LED
Кількість кольорів	65,536
Процесор	RISC ARM9™ CPU; 200 MHz
RAM	64 MByte SDRAM
Пам'ять	32 MByte flash memory
Інтерфейси	2x USB Host 2.0
Сіть	1x Ethernet (10/100 MBit/s), RJ45
Операційна система	Windows CE 5.0

Для вимірювання тиску у різноманітних частинах системи підходять датчики EWPA030 фірми Eliwell Controls srl, До основних характеристик відносять:

- Діапазон вимірювання 0 – 30 бар;
- Вихідний сигнал 4 – 20 мА;
- Напруження живлення датчика 8 – 28В;
- Схема підключення дводрітова;
- Робоча температура -20 – 80°C ;
- Похибка вимірювання тиску 1% при 0 – 50°C та 2,5% при температурі нижче 0 і вище 50°C;
- Ступінь захисту IP65.



Датчики температури

Для отримання інформації о температурі в просторі, що охолоджується та у різноманітних точках циклу холодильної машини підходять NTC – термістори фірми Semitec.

Ця модель термістору відноситься до розряду високоточних датчиків температури. Аббревіатура NTC (Negative temperature coefficient) означає те, що опір термістору буде зменшуватися при збільшенні температури і збільшуватися при її зменшенні.

Опір термістору при температурі 25°C дорівнює 5 кОм.

Діапазон вимірювання температури термісторів становить -50 – 150°C

4. Опис програмного забезпечення

У якості програмного забезпечення використовується PLCnext Engineer.

PLCnext Engineer - прикладне програмне забезпечення для всіх пристроїв управління PhoenixContact, що характеризується широкими можливостями програмування і відкритістю по відношенню до різних протоколів передачі даних.

Контролер підтримує можливість програмування згідно з МЕК 61131 та на мовах високого рівня, таких як: C/C++, C#, Matlab Simulink.

Програмування згідно МЕК 61131 підтримує наступні мови:

- Instruction List (IL) - текстова мова. Апаратно-незалежна низькорівнева асемблероподібна мова.
- LadderDiagram (LD) - графічна мова. Являє собою програмну реалізацію електричних схем на базі електромагнітних реле.
- Function Block Diagram (FBD) - графічна мова. Функціональний блок (ФБ) висловлює якусь підпрограму. Кожен ФБ має входи (зліва) і виходи (праворуч). Програма створюється шляхом з'єднання безлічі ФБ.
- SequentialFunctionChart (SFC) - графічний високорівнева мова. Створено на базі математичного апарату мереж Петрі. Описи-кількість послідовність станів і умов переходів.
- StructuredText (ST) - текстовий Паскалеподібна мова програмування.

5. Розробка блок-схем діагностування

Для створення блок – схеми та розробки програмного коду контролера, перш за все, треба розробити систему аналізу та діагностування проблем, які можуть бути причиною виникнення несправності холодильної установки та порушення циклу роботи. Для цього окремо розберемо кожну проблему, яка може виникнути при зниженні холодопродуктивності холодильної установки та запропонуємо шляхи автоматичного діагностування відхилення робочих параметрів.

Аналіз діагностування тиску випарювання.

Встановлюємо датчик тиску на вихід з випарника. Тобто для тиску після випарника повинні бути заданні ліміти, при подоланні якого контролер бути розуміти, що трапився відхил параметрів робочого процесу. Для коректної роботи, перед застосуванням треба відкалібрувати датчики.

Аналіз діагностування величини перегріву.

Перегрів – це різниця між температурою кипіння холодильного агенту в випарнику та температури після випарника. Розмір випарника вибирають таким чином, щоб рідкий холодильний агент повністю випарився у випарнику. Тому температура пару на виході з випарника буде вище температури кипіння. Це дозволяє запобігти потрапляння навіть маленьких крапель рідини у компресор. Для визначення перепаду температури перегріву холодильного агенту встановлюємо датчик температури після випарника.

Аналіз діагностування рівня переохолодження.

Переохолодження – різниця температур холодильного агенту між температурою після конденсатору та температурою конденсації. На виході з конденсатору холодильний агент знаходиться у рідкому стані при високому тиску. Розмір конденсатору вибирають таким чином, щоб холодильний агент повністю сконденсувався у конденсаторі. Тому температура рідини на виході з конденсатору нижче температури конденсації. Встановлюємо датчик температури на вихід після конденсатору. Перепад температур на рідинній магістралі доцільно заміряти двома датчиками температур, де один встановлюємо після конденсатору, а другий до терморегулюючого вентиля. Якщо різниця цих даних буде відхилюватись за встановлену границю, то це буде вказувати про перепад температур на рідинній магістралі.

Аналіз діагностування тиску конденсації.

Встановлюємо датчик тиску на вихід з конденсатору. Для коректної роботи треба задати оптимальний тиск конденсації, для того щоб система могла порівняти отримане значення з уставкою. Таким чином система зможе розуміти, що трапився відхил параметрів робочого процесу.

Аналіз перевірки на наявність домішок, що не конденсуються.

Згідно з законом Дальтона повний тиск газів у замкнутому об'ємі дорівнює сумі парціальних тисків кожного окремого газу. Тому, якщо всередині холодильного контуру знаходяться несконденсовані домішки, то парціальний тиск цих домішок буде додаватися до нормального тиску холодильного агенту, призводячи до аномального збільшення тиску. Таким чином, аномальне збільшення тиску конденсації є однією з причин наявності несконденсованих домішок у холодильному контурі.



Симптоми наявності домішок мають багато спільного з симптомами занадто великої кількості холодильного агенту у системі. Тому зробимо перевірку деяких параметрів робочого процесу:

1. Перш за все заміряємо тиск компресії. Для цього встановлюємо датчик на магістралі високого тиску після компресора. При наявності домішок тиск компресії збільшиться.

2. Перевіримо величину переохолодження. В обох випадках система буде мати добре переохолодження. Якщо переохолодження відсутнє, то це вказує на наявність іншої проблеми.

3. Перевіримо величину перегріву. Якщо перегрів у межах норми, то це каже що проблема у наявності домішок. У випадку перезаправки системи холодильним агентом перегрів буде відсутній зовсім.

Побудова загальної блок-схеми діагностування

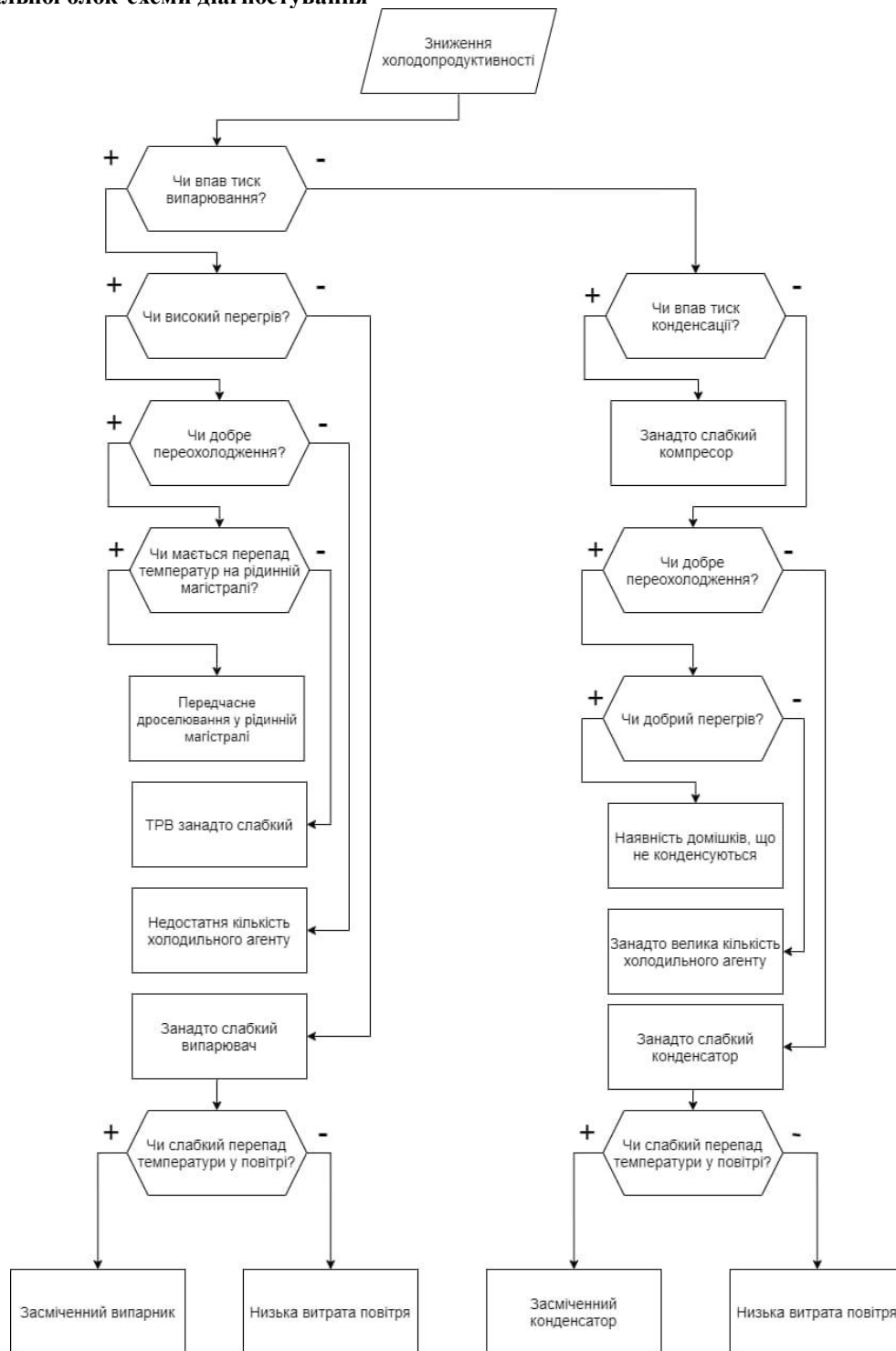


Рис. 5 – Загальна блок – схема алгоритму діагностування



6. Розробка програми – прототипу.

Розробка програми здійснюється на мові C++ у середовищі Dev C++. Для побудови програми – прототипу встановимо робочі діапазони на різних ділянках системи.

1. Тиск випарювання від 0.5 до 9 бар;
2. Величина перегріву від 5 до 20 градусів;
3. Величина переохолодження від 3 до 5 градусів;
4. Тиск конденсації від 7 до 20 бар;
5. Перепад температур повітря у випарнику від 3 до 5 градусів;
6. Перепад температур повітря у конденсаторі від 5 до 10 градусів.

```
#include <iostream>
#include <windows.h>
#include <cmath>
using namespace std;
/* run this program using the console pauser or add your own getch, system("pause") or input Loop */

int main(int argc, char** argv) {
    int t1 , t2 , t3 , t4 , t5 , t6 , t7 , t8 , t9 ;
    float d1 , d2 ;
    SetConsoleCP(1251);
    SetConsoleOutputCP(1251);
    cout << "Датчик тиску на виході з випарника: ";
    cin >> d1 ;
    cout << "Датчик тиску на виході з конденсатора: ";
    cin >> d2 ;
    cout << "Температурний датчик в випарнику в кінці процесу випарювання: ";
    cin >> t1 ;
    cout << "Температурний датчик на виході з випарника: ";
    cin >> t2 ;

    cout << "Температурний датчик в конденсаторі в кінці процесу конденсації: ";
    cin >> t3 ;
    cout << "Температурний датчик на виході з конденсатора: ";
    cin >> t4 ;
    cout << "Температурний датчик перед терморегулюючим вентилем: ";
    cin >> t5 ;
    cout << "Температурний датчик на вході повітряного потоку в випарник: ";
    cin >> t6 ;
    cout << "Температурний датчик на виході повітряного потоку з випарника: ";
    cin >> t7 ;
    cout << "Температурний датчик на вході повітряного потоку в конденсатор: ";
    cin >> t8 ;
    cout << "Температурний датчик на виході повітряного потоку з конденсатора: ";
    cin >> t9 ;
```

Рис. 6 – Програма – прототип, частина перша

```
if (d1 < 1.5 || d1 > 2){
    if ( abs(t1-t2) >= 8 && abs(t1-t2) <= 12){
        if ( abs(t3-t4) >= 8 && abs (t3-t4) <=12){
            if (abs (t4-t5) < 0 || abs (t4-t5) > 2){
                cout << "Передчасне дроселювання у рідинній магістралі" ;
            } else {
                cout << "ТРВ занадто слабкий" ;
            }
        } else {
            cout << "Недостатня кількість холодильного агенту" ;
        }
    } else {
        if (abs(t6-t7) < 3 || abs(t6-t7) > 5){
            cout << "Засмічений випарник" ;
        } else {
            cout << "Низька витрата повітря" ;
        }
    }
} else if (d2 < 7 || d2 > 7.2){
    cout << "Занадто слабкий компресор" ;
} else if (abs (t3-t4) >= 8 && abs (t3-t4) <= 12){
    if (abs(t1-t2) >= 8 && abs(t1-t2) <= 12){
        cout << "Наявність домішок що не конденсуються" ;
    } else {
        cout << "Занадто велика кількість холодильного агенту" ;
    }
} else {
    if (abs(t8-t9) < 5 || abs(t8-t9) > 10 ){
        cout << "Засмічений конденсатор" ;
    } else {
        cout << "Низька витрата повітря" ;
    }
}
cout << "\n" ;
cin.get();
```

Рис. 7 – Програма – прототип, частина друга



```
    } else {  
        if (abs(t8-t9) < 5 || abs(t8-t9) > 10 ) {  
            cout << "Засмічений конденсатор" ;  
        } else {  
            cout << "Низька витрата повітря" ;  
        }  
    }  
    cout << "\n" ;  
    cin.get();  
    system("PAUSE");  
}
```

Рис. 8 – Програма – прототип, частина третя

```
Датчик тиску на виході з випарника: 1.6  
Датчик тиску на виході з конденсатору: 7.1  
Температурний датчик в випарнику в кінці процесу випарювання: -10  
Температурний датчик на виході з випарника: 0  
Температурний датчик в конденсаторі в кінці процесу конденсування: 30  
Температурний датчик на виході з конденсатору: 20  
Температурний датчик перед терморегулюючим вентиляем: 20  
Температурний датчик на вході повітряного потоку в випарник: -10  
Температурний датчик на виході повітряного потоку з випарника: -14  
Температурний датчик на вході повітряного потоку в конденсатор: 30  
Температурний датчик на виході повітряного потоку з конденсатору: 36  
Наявність домішок що не конденсуються
```

Рис. 9 – Симуляція програми з ручним вводом даних датчиків

4. Висновок

Завдяки створеній системі аналізу параметрів робочого процесу суднової холодильної установки і діагностування проблеми «Зниження холодопродуктивності», була розроблена блок – схема поступової перевірки різноманітних відхилень і показані можливі причини виникнення даної проблеми. Був розроблений машинний код на мові C++, який дозволяє аналізувати робочі параметри, виявляти несправності та виводити їх на екран. У практичній реалізації можна замінити ручне введення на зчитування даних з встановлених датчиків та зробити вивід на екран для механіка – оператора.

Список використаних джерел

- [1]. Очеретяный Ю.А. Техническая эксплуатация судовых холодильных установок и систем кондиционирования // Учебное пособие для курсантов и студентов высших морских учебных заведений 2014. - Одеса: Изд. ОНМА, 204 с.
- [2]. Очеретяный Ю.А. Определение изменений теплотехнических характеристик судовых холодильных установок в процессе эксплуатации // Холодильна техніка і технологія. – 2013. – Вып. 2 (142). – С. 15-19.
- [3]. Очеретяный Ю.А., Живица В.И., Белый В.Н., Онищенко О.А., Вайнфельд Э.Й. Концепция системы компьютерного мониторинга и технической диагностики рефрижераторной установки судна // Судовые энергетические установки: науч.-техн. сб. - 2011. - Вып. 28. Одесса: ОНМА - С. 5 - 11.
- [4]. Очеретяный Ю.А. Определение термодинамических показателей судовой холодильной установки в процессе эксплуатации // Проблемы техники. - 2013. – Вып. 2. – С. 119 - 125.
- [5]. Никольский В.В., Очеретяный Ю.А., Танасийчук М.И. Мониторинг судовой холодильной техники с использованием программируемых логических контроллеров (ПЛК). Судовые энергетические установки.- 2014.- №34. С.41-52.

References

- [1]. Ocheretyanyu Y. Technical operation of ship refrigeration units and air conditioning systems. Textbook for cadets and students of higher marine educational institutions, 2014. Odessa: ONMA Publishing House, 204 p.
- [2]. Ocheretyanyu Y. Determination of changes in the thermal characteristics of ship refrigeration units during operation. Refrigeration Engineering and technology. 2013. No. 2(142). Pp. 15-19.
- [3]. Ocheretyany Y.A., Zhivitsa V.I., Belyi V.N., Onishchenko O.A., Weinfeld E.Y. The concept of a system for computer monitoring and technical diagnostics of a refrigerator installation of a ship. Ship power plants, 2011. Issue. 28. Pp. 5-11.
- [4]. Ocheretyany Y. Determination of thermodynamic indicators of a ship refrigeration unit during operation. Problems of technology. 2013. No. 2. Pp. 119-125.
- [5]. Nikolsky V, Ocheretyany Y., Tanasiychuk M Monitoring of marine refrigeration equipment using programmable logic controllers (PLC). Ship power plants. - 2014. - No. 34. pp.41-52.

Отримана в редакції 02.11.2022. Прийнята до друку 11.11.2022. Received 02 November 2022. Approved 11 November 2022. Available in Internet 30 December 2022.