

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ОДЕСЬКА МОРСЬКА АКАДЕМІЯ»
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ АВТОМАТИКИ ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІКИ

Кафедра: «Електричної інженерії та електроніки»

ДИПЛОМНА РОБОТА МАГІСТРА

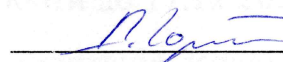
на тему:

**«УДОСКОНАЛЕННЯ КОНТУРУ РЕГУЛЮВАННЯ
ВПРИСКУ НЕЙТРАЛІЗАТОРА
У СИСТЕМІ ОЧИЩЕННЯ БАЛАСТНИХ ВОД
ТАНКЕРУ ВОДОЗМІЩЕННЯМ 112000 ТОН»**

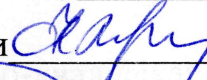
Виконав студент 2 курсу, групи 3601
спеціальності:

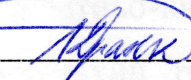
271 – Річковий та морський транспорт

Спеціалізація: «Експлуатація суднового
електрообладнання і засобів автоматики»

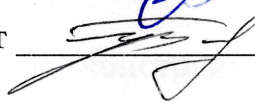
 Горбунов Д.А.

допущений до захисту 17.12.2021

Завідувач кафедри  М.Й. Муха

Керівник  Дранкова А.О.

Нормоконтроль  Самонов С.Ф.

Рецензент  Гвоздева У.М.

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ОДЕСЬКА МОРСЬКА АКАДЕМІЯ»

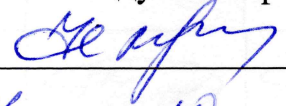
Навчально-науковий інститут автоматики та електромеханіки

Кафедра електричної інженерії та електроніки

Спеціальність: Експлуатація суднового електрообладнання і засобів автоматики

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ЕІ та Е


М.Й. Муха
« 01 » 10 2021 р.**ЗАВДАННЯ**

на дипломну роботу магістра

ГОРБУНОВА ДАНИІЛА АНДРІЙОВИЧА

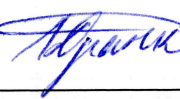
за темою:

1. **«Удосконалення контуру регулювання вприску нейтралізатора у системі очищення баластних вод танкеру водозміщенням 112000 тон»** затверджена наказом ректора академії від 07 12 2021 р. № 1913.
2. Термін здачі курсантом закінченої роботи до 17.12.2021 р.
3. Вихідні дані до роботи: технічна документація танкеру водозміщенням 112000 тон.
4. Змістовна частина розділів дипломної роботи освітньо-кваліфікаційного рівня «магістр» спеціальності 271 «Річковий та морський транспорт» зазначено нижче:
 - 4.1 Техніко-експлуатаційні характеристики та конструктивні особливості судна, головної енергетичної установки, допоміжних механізмів і систем.
 - 4.2 Опис системи очищення баластних вод.
 - 4.3 Алгоритми роботи баластної системи.

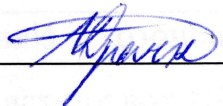
4.4 Опис засобів моніторингу та управління системи NK-O3.

4.5 Обробка та аналіз експериментальних даних.

5. Консультанти з дипломної роботи магістра, у відповідності з розділами роботи.

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис і дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Англійська мова	Дранкова А.О.		
Ділова українська мова	Дранкова А.О.		

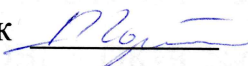
Дата видачі завдання: 01.03.21 р.

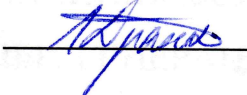
Керівник  Дранкова А.О.

Завдання прийняв до виконання  Горбунов Д.А.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітки
1.	Аналітичний огляд науково-технічної та суднової літератури по темі дослідження, аналіз ефективності роботи електро-устаткування. Обґрунтування теми дослідження, її актуальності.	01.03.21- 03.05.21	виконано
2.	Збір експериментальних даних на судні.	30.05.21-30.06.21	виконано
3.	Огляд основних суднових систем знезараження баластних вод.	04.05.21-19.09.21	виконано
4.	Аналіз озонової системи очищення баластних вод НК-ОЗ.	20.09.21-01.10.21	виконано
5.	Підготовка тез та виступ на міжнародній науково-технічній конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика»	02.10.21-21.11.21	виконано
6.	Систематизація та аналіз експериментальних даних.	01.12.21-10.12.21	виконано
7.	Оформлення дипломної роботи. Підготовка презентації та плакатів.	10.10.21-17.12.21	виконано

Курсант-дипломник  Горбунов Д.А.

Керівник роботи  Дранкова А.О.

РЕФЕРАТ

Дипломна робота магістра містить: ____ с., ____ рис., ____ табл.,
____ додатки, ____ джерел, ____ креслення, мова українська.

Мета роботи полягає в удосконаленні контуру регулювання вприску нейтралізатора у баластну воду в системі очищення баластних вод НК-ОЗ шляхом заміни хімічного датчика концентрації загальних залишкових окиснювачів на електронний датчик.

Об'єкт дослідження – контур управління та контролю в системі очищення баластних вод.

Предмет дослідження – точність та час вимірювання датчиків загальних залишкових окиснювачів різного типу.

У роботі оглянуті основні типи систем знезараження баластних вод. Описані основні модулі озонної системи очищення баластних вод та принцип їх роботи.

Розглянуті основні алгоритми роботи системи: алгоритм у режимі баластування, викачки баласту та алгоритм самоперевірки системи.

Було зроблено опис основних засобів моніторингу та управління системи НК-ОЗ. Наведено техніко-конструктивні особливості хімічного датчика ТРО.

У роботі було запропоновано використання електронного датчика концентрації загальних залишкових окиснювачів замість хімічного датчика. Були проаналізовані та систематизовані данні, отримані з експерименту, проведеного на танкері «Minerva Baltica». Побудовані графіки вимірювань датчиків різних типів та проведено їх порівняльний аналіз.

Ключові слова: СИСТЕМА ЗНЕЗАРАЖЕННЯ БАЛАСТНИХ ВОД, ЗАГАЛЬНІ ЗАЛИШКОВІ ОКИСНЮВАЧІ, ОЗОН, ІНВАЗІЙНІ ВИДИ, ЗАБРУДНЕННЯ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА, ПРОГРАМОВАНИЙ ЛОГІЧНИЙ КОНТРОЛЕР, ГЕНЕРАЦІЯ КИСНЮ, ТІОСУЛЬФАТ, ГІПОБРОМНА КИСЛОТА, ХЛОР.

ABSTRACT

Master degree project contains: ____ p., ____ fig., ____ tab., ____ applications, ____ sources, ____ drawings, language is Ukrainian.

The aim of the work is to improve the control circuit of the neutralizer injection into ballast water in the NK-O3 ballast water treatment system by replacing the chemical sensor of the concentration of total residual oxidants with an electronic sensor.

The object of research is the control and monitoring circuit in the ballast water treatment system.

The subject of research are accuracy and measurement time TRO sensors different types.

The main types of ballast water treatment systems are considered in the project. The main modules of the ozone system for ballast water treatment and the principle of their operation are described.

The main algorithms of the system operation are considered: ballasting mode, de-ballast and system leaking test.

The main devices of monitoring and control of the NK-O3 system were described. Technical and design features of the TRO chemical sensor are given.

Using of an electronic sensor of the concentration of total residual oxidants instead of a chemical sensor was proposed in the project. The data obtained from the experiment made on the tanker "Minerva Baltica" were analyzed and systematized. Graphs of measurements of sensors of different types are constructed. A comparative analysis of two types of sensors was performed.

Keywords: BALLST WATER TREATMENT SYSTEM, TOTAL RESIDUAL OXIDANTS, OZONE, INVASIVE SPECIES, WATER POLLUTION, PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLER, GENERATION OF OXYGEN, THIOSULFATE, HYPOBROMIC ACID, CHLORINE.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ	8
ВСТУП.....	9
1. ТЕХНІКО-ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТА КОНСТРУКТИВНІ ОСОБЛИВОСТІ СУДНА, ГОЛОВНОЇ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ УСТАНОВКИ, ДОПОМІЖНИХ МЕХАНІЗМІВ І СИСТЕМ.....	15
2. ОПИС СИСТЕМИ ОЧИЩЕННЯ БАЛАСТНИХ ВОД	17
3. АЛГОРИТМИ РОБОТИ БАЛАСТНОЇ СИСТЕМИ	29
4. ОПИС ЗАСОБІВ МОНІТОРИНГУ ТА УПРАВЛІННЯ СИСТЕМИ НК-ОЗ	35
4.1 Загальний опис ПЛК та датчиків контролю	35
4.2 Технічні характеристики хімічного датчика TRO	40
5. ОБРОБКА ТА АНАЛІЗ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДАНИХ	45
ВИСНОВКИ.....	51
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	52
Додаток А: Данні вимірювань електронним датчиком TRO під час операції взяття баласту.....	55
Додаток Б: Данні вимірювань електронним датчиком TRO під час операції скидання баласту.....	57
Додаток В: Данні вимірювань хімічним датчиком TRO під час операції взяття баласту.....	59
Додаток Г: Данні вимірювань хімічним датчиком TRO під час операції скидання баласту.....	61
Додаток Д: Графіки динамічних процесів у системі очищення баластних вод з електронним датчиком TRO.....	63
Додаток Е: Графіки динамічних процесів у системі очищення баластних вод з хімічним датчиком TRO.....	64

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

АЦП	– аналого-цифровий перетворювач
ЦП	– центральний процесор
УФ	– ультрафіолет
ПЛК	– програмований логічний контролер
PLC	– programmable logic controller
TRO	– total residual oxidants (загальні залишкові окиснвачі)
DPD	– N-diethyl-p-phenylenediaminesulfate
HMI	– human-machine interface (людино-машинний інтерфейс)
MCP	– main control panel (головна панель управління)
DW	– deadweight (водозміщення)
RPM	– rotation per minute (оберти за хвилину)
DPT	– dew point transmitter (датчик точки роси)
LI	– instruction list (список інструкцій)
LD	– ladder diagram (сходові діаграми)
FBD	– functional block diagram (мова функціональних блоків)
SFB	– structure functional block (мова структурованих послідовних блоків)
ST	– structure text (мова структурованого тексту)

ВСТУП

Судновласники несуть велику відповідальність кожного разу, коли судно покидає порт. По-перше, судновласник повинен забезпечити якісне та швидке транспортування вантажу і доставку товарів для клієнтів по всьому світу. По-друге, судноплавні компанії повинні враховувати екологічний вплив своїх транспортних суден. Глобальні судноплавні канали зв'язали усі континенти, та забезпечили постійний доступ до будь-якого товару в усіх частинах світу, але це також піддає ризику різні екосистеми по всьому світу. Це пов'язано з мікроорганізмами, які подорожують у баластній воді судна і можуть забруднити або вторгнутися в морську екологію нового регіону, завдаючи великої шкоди цьому району. Метою очищення баластних вод є знищення інвазивних морських видів. Міністерство сільського господарства США повідомляє, що баластна вода є «одним із основних шляхів інтродукції некорінних морських видів» [1].

У відповідь на ці екологічні ризики Міжнародна морська організація (ІМО) у 2004 році прийняла Міжнародну конвенцію про контроль суднового баластної води та опадів і управління ними [2, 3]. Ця Конвенція мала на меті зупинити поширення інвазійних водних видів шляхом виконання вимог щодо судноплавства. промисловості для очищення їх баластної води [3].

Щоб забезпечити відповідність суден правилам і нормам, встановленим ІМО щодо управління баластною водою, кілька судноплавних операторів почали впроваджувати системи очищення баластних вод на своїх судах [4, 5].

На ринку доступні різноманітні технології для очищення баластної води на судах. Однак такі обмеження, як наявність простору, вартість реалізації та рівень екологічності, відіграють важливу роль у використанні конкретного типу системи очищення баластних вод.

На даний момент найбільш використовувані типи систем для очищення баластних вод з'єднують у собі високу ефективність в очищенні баластних вод, доступність простору на судні, простота використання та безпека для екіпажу [6]. Існують 4 знезараження баластних вод, які відповідають цим характеристикам [7]:

- Знезараження за допомогою електролізу.
- Знезараження за допомогою ультрафіолетових ламп.
- Знезараження за допомогою хімікатів.
- Знезараження за допомогою озону.

Принцип роботи системи очищення баластних вод методом електролізу являє собою перш за все очищення води від організмів та опадів (діаметр яких більш ніж 40 мкм) за допомогою фільтра. Відфільтрована вода надходить до електролітичного резервуару. З хлоридів води в процесі електролізу утворюється вільний хлор у дуже низькій концентрації (близько 4-6 мг/л). Потім оброблена вода надходить у баластні резервуари, у якій хлор протягом деякого часу знищує усі живі організми[8].

Принцип роботи системи очищення баластних вод методом знезараження за допомогою ультрафіолетових ламп являє собою вплив на ДНК організмів, методом оброблення їх ультрафіолетовими променями за допомогою амальгамними лампами. Після впливу на ДНК, організми втрачають здатність до розмноження та стають безпечними для екосистеми приймальних вод. УФ дезинфекція ефективна при довжинах хвиль від 200 нм до 300 нм. Випромінювання УФ-випромінювання має сильну бактерицидну дію. Воно поглинається ДНК, руйнує її структуру та інактивує живі клітини [9]. Мікроорганізми, такі як віруси, бактерії, дріжджі та грибки знешкоджуються за лічені секунди під дією УФ-випромінювання. При досить високому рівні опромінення, УФ-дезінфекція є надійним та екологічно чистим методом, що виключає необхідність використання хімічних речовин. Більше того, мікроорганізми не можуть стати стійкими до УФ-випромінювання[9].

Принцип роботи системи очищення баластних вод методом вприску хімії являє собою використання речовинами, що містять хлор. Хімію, яку використовують для очищення баластних вод, перевозять у спеціальних резервуарах. Мінуси даного методу є велика періодичність поповнення хлору, тобто під час затяжних рейсів, може виникнути неможливість використання системи. Також екіпаж, що використовує таку систему, має бути спеціально навчений працювати з такою хімією[6].

Переміщення шкідливих водних видів у баластних водах, які перевозить судна, осідання та розвиток цих видів - є великою глобальною екологічною проблемою, яка спричиняє серйозний вплив на морські екосистеми, рибальство та інші морські ресурси та навіть на здоров'я людей у багатьох частинах світу. У рамках глобальних зусиль по боротьбі з цією загрозою NK-O3 BlueBallast System була розроблена, відповідно до стандартів, встановлених Міжнародною морською організацією (ІМО), як суднова система очищення баластних вод методом вприску озону у баластну воду [4, 5]. Озон – це природний газ, який утворюється в атмосфері, коли атом кисню (O) з'єднується з молекулою кисню (O₂), утворюючи озон (O₃). Ця реакція вимагає введення енергії (наприклад, удару блискавки), щоб з'єднати атом кисню з молекулою кисню [9]. Як тільки джерело енергії видалено, озон відразу ж розкладається. Озон є безбарвним газом, але має дуже різкий запах. Багато людей можуть бути знайомі з сильним запахом, коли іскрять кабелі, підключенні до акумуляторної батареї автомобіля – цей запах озонового газу – утворюється точно так само, як коли блискавка утворює озон з кисню в атмосфері. Хоча озон має надзвичайно короткий термін служби, він є одним із найпотужніших утворюваних окиснювачів, який надзвичайно швидко нейтралізує ендотоксини, віруси, бактерії, грибки та органічні речовини. У системі NK-O3, судновий генератор озону забирає навколишнє повітря і видаляє азот, концентруючи вміст кисню, який потім пропускається через електричне поле високої напруги для отримання озону. Потім озон вводять у баластну воду, що надходить для окислення та нейтралізації будь-яких шкідливих водних видів. Відсоток водних видів, особливо бактерій і вірусів у баластній воді, гине при прямому контакті з озоном. Решта гинуть або нейтралізуються, коли озон реагує з іншими хімічними речовинами, які зустрічаються в морській воді, утворюючи гіпобромну кислоту, високоефективний сам по собі дезінфікуючий засіб. І озон, і гіпобромна кислота розпадаються надзвичайно швидко, що гарантує відсутність пошкодження приймальних вод, в які скидається очищена баластна вода. Активна речовина озон утворюється на борту, як це потрібно під час роботи баласту. У випадках, коли судна беруть морську воду як баласт, коли озон (O₃) вводять у баластну воду, він

реагує з бромідом, який природним чином зустрічається в морській воді, з утворенням іонів броміду. У цьому процесі озон руйнується надзвичайно швидко, і TRO стає основною і високоефективною активною речовиною, вбиваючи або нейтралізуючи будь-які захоплені водні організми.

Крім того, утворені у морській воді бромідні іони швидко утворюють гіпобромну кислоту та гіпоброміт-іон, і він також може реагувати з будь-якою органічною речовиною, яка може бути присутнім у морській воді/баластній воді, утворюючи бромформ. Інші можливі побічні продукти, пов'язані з бромідом, включають бромат-іони, дибромоцтову кислоту та бромохлороцтову кислоту [10]. Як зазначено вище, у випадках, коли судна беруть на себе прісноводний баласт, бромовані сполуки не утворюються, а активною речовиною є лише озон. Більш детальне дослідження хімії озону/броміду в морській воді міститься в матеріалі GESAMP-BWWG, а також у посиланнях (Crecelius 1979, Oemcke and van Leeuwen, 1998, Salhi and von Gunten, 1999 і von Gunten; von Gunten, 1999). Hoigne, 1992; von Gunten et al., 1996; von Gunten and Oliveras, 1997; Pinkernell et al., 2000; Pinkernell and von Gunten, 2001; von Gunten et al., 2001, Hofman and Andrews, 2000)[11]. Строго кажучи, для баласту морської води озон і TRO є двома активними речовинами, які мають відношення до системи НК-ОЗ. Побічні продукти бромформ, дибромоцтова кислота і бромохлороцтова кислота спільно називаються дезінфекцією шляхом виробництва (DBPs) і можуть розглядатися як відповідні хімічні речовини. Проте WET-тестування, яке було проведено для його підтримки, цей підхід «повних стоків» був прийнятий для інших BWMS на основі окислювача, які отримали остаточне схвалення ІМО МЕРС [12, 13].

Актуальність теми. Випуск баластної води в різних водах океану створює ризик запровадити в нього чужорідні види, від дрібної риби до мікроорганізмів. Європейське агентство морської безпеки вважає, що інвазійні морські види впливають на екосистему, що приймає баластну воду, тим самим знижують якість середовища проживання для живих організмів, що знаходились у приймальних водах раніше. Це у кінцевому підсумку може зашкодити рибальству та охоронюваним видам у регіоні.

Мета роботи. Мета роботи полягає в удосконаленні контуру регулювання вприску нейтралізатора у баластну воду в системі очищення баластних вод.

Основні завдання дослідження:

- огляд методів знезараження баластних вод;
- опис та аналіз компонентів озонової системи очищення баластних вод;
- збір експериментальних даних при роботі системи очищення баластних вод з різними датчиками загальних залишкових окиснювачів;
- систематизація даних роботи системи очищення баластних вод з різними датчиками;
- аналіз результатів роботи електронного датчика та його порівняння з хімічним у системі очищення баластних вод.

Методи, засоби: в роботі використані класичні методи теорії електричних кіл, методи теорії автоматичного управління, методи математичної статистики, а також методи теорії планування експерименту.

Робоча гіпотеза: удосконалення контуру регулювання вприску нейтралізатора у системі очищення баластних вод, шляхом заміни хімічного датчика TRO на електронний.

Об'єкт дослідження: контур управління та контролю в системі очищення баластних вод.

Предмет дослідження: точність та час вимірювання датчиків загальних залишкових окиснювачів різного типу.

Вперше наукові результати було опубліковано в матеріалах науково-методичної конференції ФЕМ і РЕ, яка проводилася на кафедрі суднової електромеханіки і електротехніки НУ «ОМА» у грудні 2018 року: А.О. Дранкова, І.І. Красовський, В.Е. Волков, Д.А. Горбунов. Оцінка показників якості електроенергії суднової електромережі з впровадженням системи знезараження баластних вод.

Результати експериментальних досліджень магістерської роботи було опубліковано в матеріалах міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», яка проводилась 23-24 листопада

2021 року у НУ «ОМА»: А.О. Дранкова, Д.А. Горбунов. Удосконалення контуру регулювання вприску нейтралізатора у системі очищення баластних вод танкеру водозміщенням 112000 тон.

Також наукові роботи «Means of Wireless Data Interchange Automation with Using of PLC`s» Шапо. В.Ф., Химчак М.С., Горбунов Д.А., Цибух А.О. та «Means of Separate Cable Industrial Data Transfer Network Segments Integration» Шапо. В.Ф., Химчак М.С., Горбунов Д.А., Цибух А.О. були опубліковані на міжнародній науковій конференції для студентів «Cadetnav 2020».

Результати магістерської роботи можуть бути використані для проведення практичних та лабораторних занять з наступних дисциплін електромеханічної спеціальності:

- безпека людини та охорона навколишнього середовища;
- суднові допоміжні установки, палубні та вантажні механізми;
- елементи суднової автоматики;
- програмовані логічні контролери;
- суднові автоматизовані електроприводи.

1. ТЕХНІКО-ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТА КОНСТРУКТИВНІ ОСОБЛИВОСТІ СУДНА, ГОЛОВНОЇ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ УСТАНОВКИ, ДОПОМІЖНИХ МЕХАНІЗМІВ І СИСТЕМ

1.1. Загальні відомості про судно

У дипломній роботі розглядається танкер водомісткістю 112000 тон, призначений для перевезення сирої нафти.

Загальні характеристики танкеру:

- Назва судна – «Minerva Baltica»
- Порт приписки – Malta
- Довжина найбільша: $L_{нб} = 249,9$ метри
- Ширина: $B=44$ метри
- Осадка середня у вантажу: $d = 15,0$ метрів
- Водозміщення у повному вантажу: $\Delta = 133071,9$ тон
- Дедвейт: $DW= 112948.4$ тон
- Кількість екіпажу – 28 чоловік (макс.- 36)
- Швидкість судна (RPM 86) – 14 вузлів
- Клас автоматизації – A1
- Район плавання: необмежений.

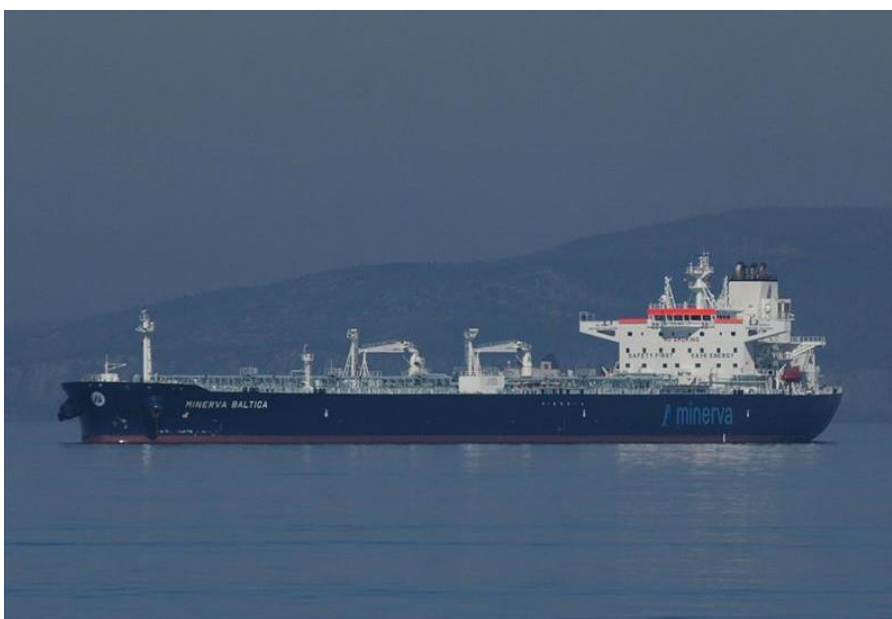


Рисунок 1.1 – Загальний вид судна

Головний двигун – Hyundai MAN B&W 6G60ME-C9.5, двотактний дизельний двигун з електронним керуванням потужністю 11820 кВт. Двигун має турбонаддув постійного тиску. Прямий тип передачі на гребний вал. Гребний гвинт фіксованого шагу та має 3 лопасті.

Допоміжні двигуни на судні: чотиритактні дизельні двигуни, виробник STX Engine, модель 6L23/30H. Це шестициліндрові двигуни з водяним охолодженням, потужністю 960 кВт при 900 об/хв. Генератори безщіткові, синхронні, трифазні. Коефіцієнт потужності 0,8.

Напруга силової мережі – 440 В, напруга мережі освітлення – 220 В, частота змінного струму – 60 Гц.

Потужність аварійного дизель генератора – 250 кВт.

2. ОПИС СИСТЕМИ ОЧИЩЕННЯ БАЛАСТНИХ ВОД

Система НК-ОЗ призначена для введення озону з щільністю 2,5 мг/л у баластну воду пропорційно, відповідно до потужності баластного насоса [14].

Система НК-ОЗ складається з чотирьох інтегрованих модулів:

- Система подачі газу (повітряний компресор, накопичувачі повітря та кисню, генератор кисню).
- Озонова система (генератор озону, деструктор озону, водяний охолоджувач, інжектор озону).
- Система нейтралізатора.
- Система моніторингу та управління.

Система подачі газу виробляє стиснене повітря з навколишнього повітря, концентрує кисень і забезпечує сировину для виробництва озону. Озонова система виробляє озон і забезпечує баластну воду за допомогою інжектора озону. Система нейтралізації використовується в системі НК-ОЗ для видалення залишків TRO (Total Residual Oxidant) при скиданні баластної води. Система моніторингу та управління використовує стандартну, готову технологію, і включає в себе різноманітні датчики, сигналізатори, лічильники, клапани та перемикачі, підключені до програмного забезпечення центрального керування та інтегровані із загальною системою керування баластом судна.

Система подачі газу

Повітряний компресор

Повітряний компресор виробляє від 5 до 8 бар стисненого повітря шляхом вдихання повітря атмосфери та подає стиснене повітря до генератора кисню через повітряний накопичувач, як сировина для генератора кисню (рис. 2.1). Повітряні компресори - це одноступінчасті гвинтові компресори з масляним впорскуванням, які приводяться в дію від електродвигуна. Компресори мають повітряне або водяне охолодження. Повітряні компресори закриті в звукоізований кузов.

Компресорами управляє електронний модуль управління. Передбачено конденсатовловлювач з автоматичною системою зливу.

Осушувач повітря (типу холодоагенту) вбудований у повітряний компресор або окремо. Повітряний осушувач забезпечує необхідний стан повітря, охолоджуючи та осушуючи стиснене повітря, підвищуючи ефективність виробництва кисню та витривалість цеоліту.

Потік повітря: повітря, що проходить через фільтр і відкритий впускний клапан в елемент компресора, стискається. Стиснене повітря та потік масла надходять у повітряний ресивер/масляний сепаратор. Повітря випускається через впускний клапан через клапан мінімального тиску, повітроохолоджувач і осушувач.

Масляна система: У повітряному ресивері більша частина масла видаляється з повітряно-масляної суміші відцентрово. Решта видаляється масловідділювачем. Масло збирається в нижній частині повітряного ресивера/масляного сепаратора.

Система охолодження: Система охолодження включає повітряний і масляний радіатор. У компресорах з повітряним охолодженням потік охолоджуючого повітря створюється вентилятором.

Система відведення конденсату: Сифон оснащений клапаном для автоматичного зливу під час роботи та клапаном з ручним керуванням для зливу після зупинки компресора.

Система регулювання: якщо витрата повітря менше, ніж вихід повітря компресора, чистий тиск збільшується. Коли чистий тиск досягає тиску розвантаження, вихід повітря припиняється (0%), компресор працює без навантаження. Коли чистий тиск знизиться до тиску навантаження, подача повітря відновлюється (100%), компресор працює під навантаженням.

Електронний модуль керування: Загалом, електронний модуль керування має функції; контроль і захист компресора, моніторинг компонентів, які підлягають обслуговуванню, і автоматичний перезапуск після збою напруги (можна відключити).

Технічні характеристики повітряного компресора:

- Тиск на вході повітря (абсолютний): 1 бар .
- Температура повітря на вході: 20 °C (0 ~ 50 °C).
- Відносна вологість: 0 % .
- Робочий тиск: 4 ~ 8,6 бар.
- Температура охолоджуючої води на вході: 30 °C.

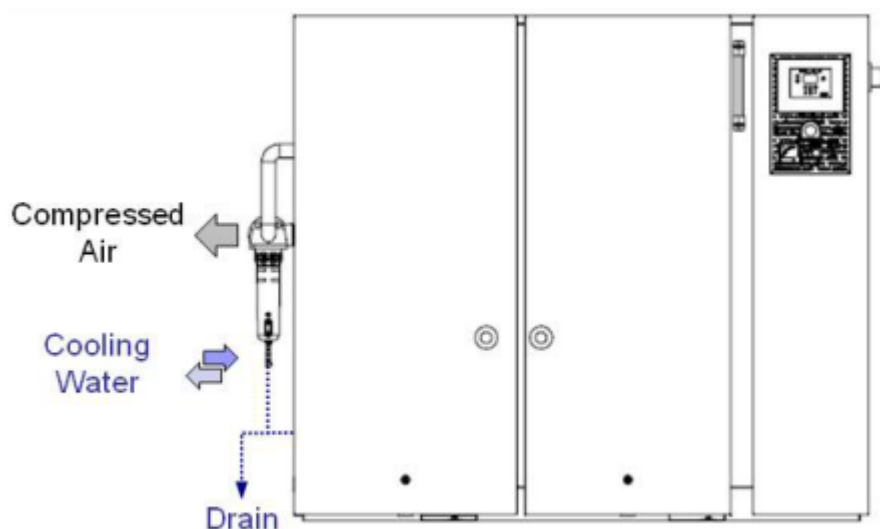


Рисунок 2.1 – Загальний вид повітряного компресора

Генератор кисню

Генератор кисню забирає стиснене повітря з повітряного компресора і видаляє азот, концентруючи кисень і забезпечуючи сировину для виробництва озону (рис. 2.2). Повітря містить 21% кисню, 78% азоту, 0,9% аргону і 0,1% інших газів. Генератори кисню відокремлюють кисень від стисненого повітря за допомогою унікального процесу адсорбції зі зміною тиску (PSA). У процесі PSA використовуються дві посудини, заповнені молекулярним ситом (синтетичний цеоліт). Коли стиснене повітря проходить через один із судин, молекулярне сито адсорбує азот. Кисень, що залишився, проходить через посудину і виходить у вигляді газу. До того, як абсорбер насититься азотом, повітря відводиться до другої ємності. У цей момент сито в першій посудині відновлюється шляхом десорбції азоту шляхом розгерметизації та очищення його киснем з другої посудини. Потім цей процес повторюється в другій посудині для завершення циклу, який дозволяє

генератору кисню забезпечувати постійний потік продукту кисню з мінімальною чистотою 90%. За нормальних умов експлуатації молекулярне сито повністю відновлюється і прослужить невизначений час. Для належної роботи генератора, що забезпечує очікуваний термін служби, а також виконання умов гарантії, необхідне належне обслуговування коалесцюючого фільтра. Повітря від компресора регулюється на 4,5 ~ 6,6 бар на регуляторі.

Технічні характеристики генератора кисню:

- Вхідне повітря відфільтровано до 0,01 мікрон, 2 °C тиск точки роси (PDP), 0,01 ppm вміст масла.
- Вхідний тиск повітря: 7,0 ~ 10,5 бар .
- Тиск продукту: 3,2 бар номінальний.
- Температура вхідного повітря: 4 ~ 38 °C .
- Чистота продукту: 93 % номінальної.
- Робоча температура: 0 ~ 50 °C .
- Точка роси продукту: -60 °C.

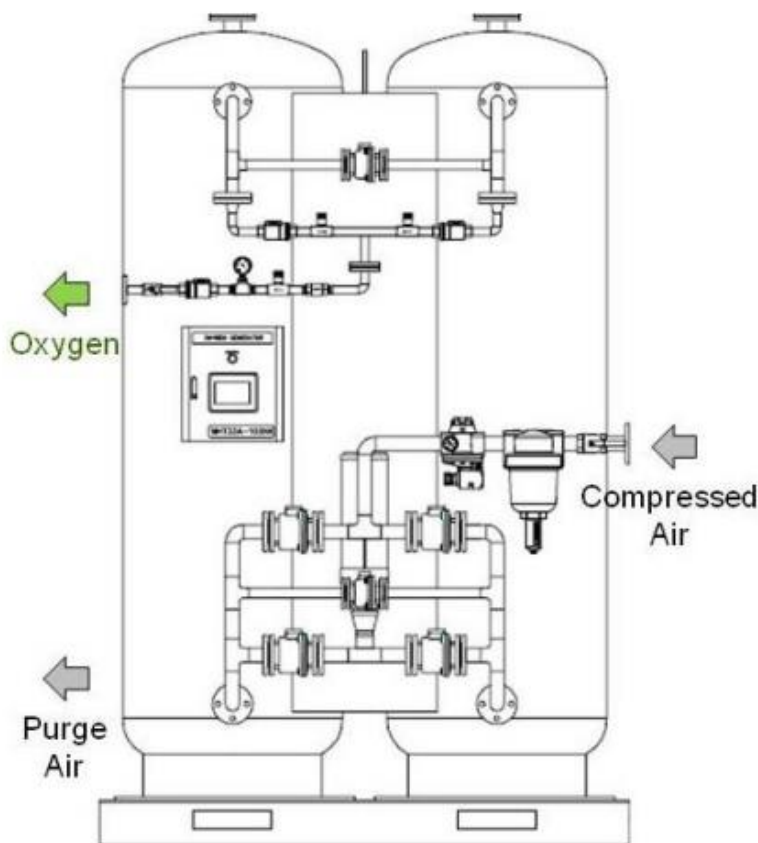


Рисунок 2.2 – Загальний вид генератору кисню

Накопичувач повітря і кисню

Накопичувач повітря та кисню (рис. 2.3) забезпечують стабілізований потік і тиск до генераторів кисню та озону за рахунок зменшення пульсації відповідно. Повітряний ресивер зберігає стиснене повітря для досягнення пікової потреби, що перевищує швидкість потоку компресора. Повітряний ресивер збільшує охолодження стисненого повітря і збирає можливий залишковий конденсат і краплі масла. Зміни тиску в повітряній сітці будуть вирівняні, а короткоциклове навантаження та розвантаження компресора зведені до мінімуму.

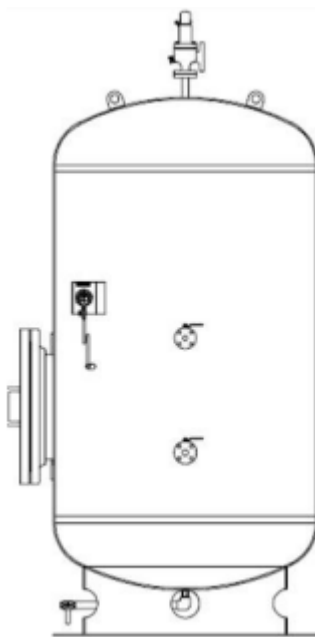


Рисунок 2.3 – Загальний вид приймачу повітря і кисню

Озонова система

Генератор озону

Поряд з фтором, озон є найсильнішим окислювачем, і при правильному застосуванні здатний внести величезний внесок у покращення стану нашого життя та навколишнього середовища. Озон відомий більше 100 років і зарекомендував себе як екологічно чистий окислювач у багатьох сферах застосування. Озон утворюється шляхом перетворення частини молекул газу кисню O_2 в проміжку, утвореному між двома електродами. При подачі змінної високої напруги на високовольтний електрод, у розрядному проміжку будуть відбуватися

мікророзряди, які будуть дисоціювати молекули кисню. Частина звільнених атомів кисню O рекомбінується з рештою молекул кисню O₂, утворюючи озон O₃ (рис 2.4). Цей принцип зазвичай називають «Тихий електричний розряд».

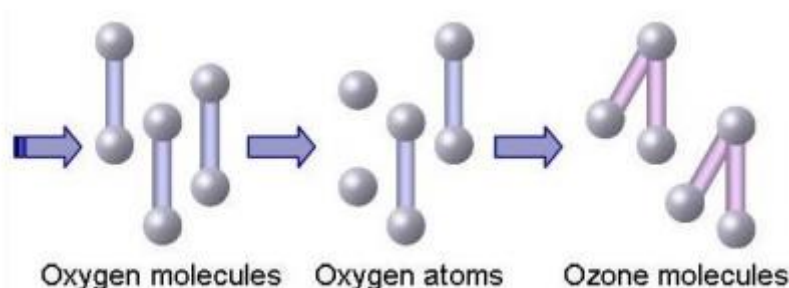


Рисунок 2.4 – Загальний вид рекомбінації O з O₂

Концентрація озону в газі на виході з генератора виражається відношенням маси виробленого озону, поділеного на загальну масу газу на виході (% за вагою) або масу озону, виробленого на об'єм вихідного газу (г/Нм³). Модулі генерації озону охолоджуються водою, щоб ефективно відводити все тепло, що виділяється в процесі. Утворення озону дуже чутливе до температури охолоджуючої води та якості газу. Чим нижче температура, тим вищою буде ефективність озону.

Генератори озону (рис. 2.5) оснащені одним або кількома специфічними діелектричними модулями, які є ударостійкими діелектриками, що забезпечують високу витривалість і оптимізовані властивості для генерації озону в діапазоні від 6 до 12 масового % концентрації озону. Вищі концентрації озону можуть бути досягнуті за певних умов експлуатації, але їх не рекомендується використовувати для безперервної роботи, оскільки може виникнути нестабільний вихід озону.

Подача кисню: подача газу повинна відповідати визначеній специфікації. Регулятор тиску знижує тиск газу на вході до 1,2 бар, робочого тиску генератора озону. Фільтр захищає газову систему від дрібних частинок пилу. Реле тиску перевіряє тиск на вході для генератора озону. Якщо тиск підвищується вище максимального, генератор озону автоматично вимикається, і всі клапани негайно закриваються. Запобіжний скидний клапан запобігає підвищенню тиску всередині генератора озону протягом періоду простою озонової установки.

Генерація озону: стиснений кисень проходить через генератор через тонкі кільцеві проміжки між діелектричними трубками, а також простір між високовольтними електродами та діелектриками. Частина електричної енергії, необхідної для цього виробництва озону, перетворюється в тепло. Це тепло відводиться охолодженою водою, що проходить через посудину.

Система охолодження води: для отримання достатньої кількості озону при низькій енергії потрібна якісна система охолодження з температурою води на вході $15 \sim 30^{\circ}\text{C}$. Система охолодження розрахована на напрямок зустрічного потоку. Якщо температура підвищується вище 40°C , система зупиняється автоматично. Конвертор також охолоджується водою (тип водяного охолодження). Якщо температура конвертера підвищується, вода буде протікати через конвертер.

Експлуатаційні дані газу, що подається до генератору озону наступні:

- Чистота кисню: 93 % ($\pm 3\%$).
- Точка роси при 1 бар: $\leq - 65^{\circ}\text{C}$.
- Вміст олії: $\leq 0,1 \text{ ppm}$.
- Розмір частинок: $\leq 0,01 \text{ мкм}$.
- Вуглеводні: $\leq 20 \text{ ppm}$.
- Вхідний тиск: $3 \sim 6 \text{ бар}$.
- Температура: $5 \sim 40^{\circ}\text{C}$.
- Експлуатаційні дані озону.
- Концентрація озону: $9 \sim 11 \text{ масовий \%}$ ($133 \sim 163 \text{ г/Нм}^3$).
- Виробництво озону: $10 \sim 100 \%$.
- Робочий тиск: $1,2 \pm 0,1 \text{ бар}$.
- Експлуатаційні дані охолоджуючої води.
- Робочий тиск: $2 \sim 6 \text{ бар}$.
- Температура на вході: $4 \sim 30^{\circ}\text{C}$.
- Підвищення температури, ΔT : 5°C .

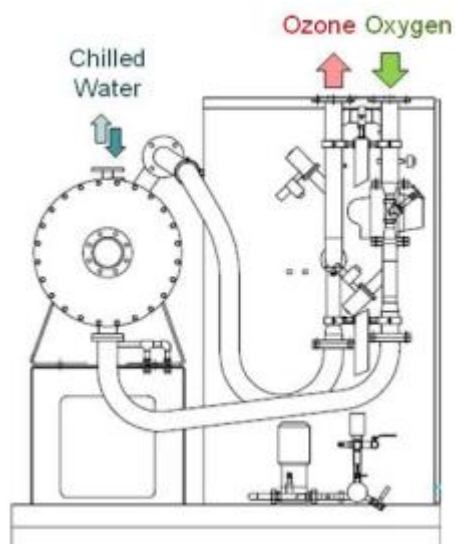


Рисунок 2.5 – Загальний вид генератора озону та охолоджувача

Деструктор озону

Деструктор озону (рис. 2.6) використовується для перетворення будь-якого невикористаного озону назад у кисень перед викидом в атмосферу. Деструктор озону використовується для роботи озонової системи без введення озону в баластну воду. Це допоможе оцінити хорошу роботу озонової системи. Через небезпечну та корозійну природу озону навіть у низьких концентраціях не слід викидати в атмосферу газ, що містить озон. Залишкова концентрація озону відповідно до вимог безпеки буде нижче 0,2 ppm. Пристрій містить зварений корпус з нержавіючої сталі та каталізатор. Деструктор працює за принципом каталітичного руйнування озону. Потік газу, що підлягає обробці, буде пропущений через каталізатор. Залишковий озон у відпрацьованому газі буде перетворюватися на кисень на поверхні композиції металевого каталізатора. Потік відпрацьованого газу повинен бути виведений на відкрите повітря. Під час цього процесу виділяється теплота реакції. При низьких концентраціях озону це не викликає значного підвищення температури. Лише при високих концентраціях озону температура реакції може підвищуватися до 250°C.

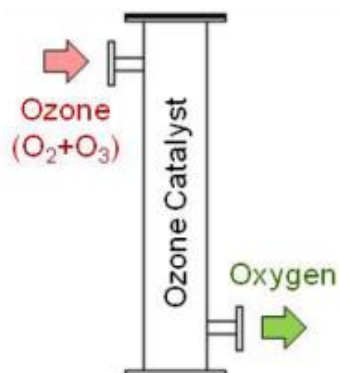


Рисунок 2.6 – Загальний вид деструктора озону

Водяний охолоджувач

Система охолодження генератора озону заснована на замкнутій системі охолодження з використанням водяного чилера (рис. 2.7). Управління холодильною машиною буде здійснюватися через LCP чилера на основі температури.

Охолоджувач: компресор стискає холодоагент до тиску, при якому він може конденсуватися, і забирає холодоагент, як насос. Конденсатор поглинає тепло від холодоагенту, перетворюючись на рідину. Холодильний газ при температурі вище 40°C стає рідким. Він відводить тепло не тільки від випарника, але і від компресора.

Резервуар для води та насос: Резервуар для води отримує воду високої температури від генератора та пускає воду у водяний насос. Резервуар має датчик для контролю рівня води. Водяний насос циркулює воду від резервуара для води до генератора. Якщо насос не працює, а електричний перемикач, що реагує на потік води не виявляє жодних сигналів, блок водяного охолодження не працюватиме.

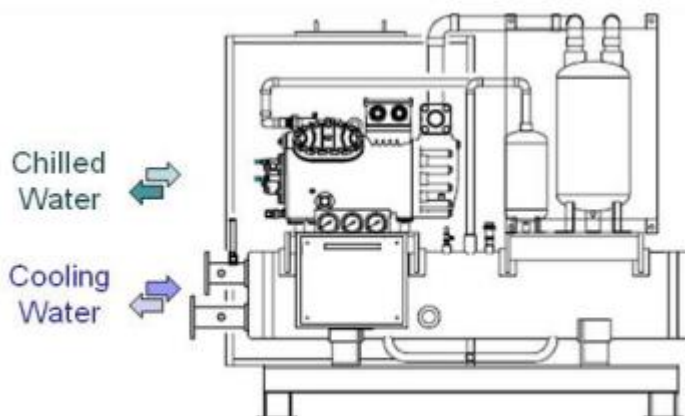


Рисунок 2.7 – Загальний вид водяного охолоджувача

Інжектор озону

Озоновий інжектор (рис. 2.8) є дуже важливим обладнанням для системи очищення баластних вод з використанням озону як дезінфекційного матеріалу. Для підвищення ефекту дезінфекції та зменшення токсичних побічних продуктів озон слід дуже швидко та рівномірно вводити в баластну воду.

Хороша ефективність очищення досягається за рахунок:

- Розсіювання дуже дрібних бульбашок газу у воді.
- Забезпечення раціонального співвідношення вода/газ.
- Забезпечення рівномірного розподілу бульбашок газу по всьому об'єму води.
- Введення озону в головну трубу менш ніж за 0,25 секунди.

Циркуляційний насос створює відповідний тиск на вході в інжектор. Енергія тиску на вході інжектора переноситься на енергію швидкості в інжекторі, що створює невелике розрідження на газовому з'єднанні.

Ежектор широко використовується для всмоктування газу, а також може використовуватися для озону. Система впорскування бічного потоку може дуже швидко і рівномірно вводити озон у сиру баластну воду з дуже низькою ймовірністю утворення токсичних побічних продуктів і дуже високою продуктивністю.

Суміш газу та води впорскується в основну трубу баластної води через форсунку. Основна труба баластної води дасть відповідний час контакту. Головна труба має один або кілька аналізаторів TRO, які дозволяють контролювати рівень TRO.

Циркуляційний насос підвищує тиск у водопровідній трубі настільки, що виникає ризик виштовхнути воду назад у газопровід. Зворотний клапан є основним захистом. Сепаратор рідкого газу буде вторинним захистом і затримає будь-яку воду, що йде назад у газову трубу.

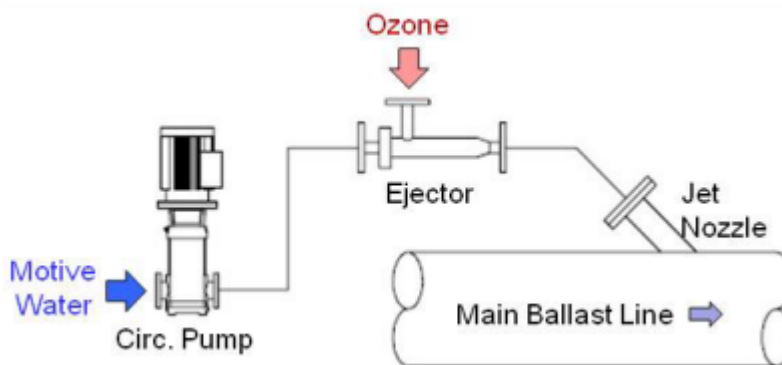
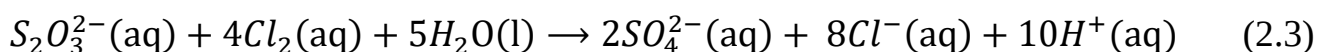
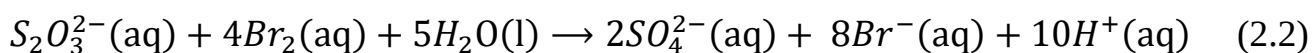


Рисунок 2.8 – Загальний вид інжектора озону

Система нейтралізації

Нейтралізатор призначений для видалення загальних залишкових окислювачів (TRO) з баластної води суден, яка була оброблена системою НК-ОЗ. Нейтралізатор знижує концентрацію TRO нижче 0,4 мг/л шляхом автоматичного дозування нейтралізатора перед скиданням обробленої баластної води. Система НК-ОЗ буде вводити нейтралізатор, лише якщо концентрація TRO в очищеній баластній воді перевищує 0,2 мг/л. Тіосульфат використовується в нейтралізаторі TRO в системі НК-ОЗ. Тіосульфат реагує з галогенами по-різному, що можна пояснити зниженням окисної сили вниз по групі галогенів [15].



У системі скидання баласту є два набору резервованих пар датчиків TRO, одна пара в трубі відведення баласту відразу після баластної цистерни і перед подачею нейтралізатора, і одна пара після інжектора нейтралізатора і перед скиданням баластної води за борт.

Бак нейтралізатора (рис. 2.9) використовується для зберігання нейтралізатора. Бак оснащений пристроєм для перемішування нейтралізатора, датчиком рівня рідини та оглядовим склом. Він також оснащений роз'ємом для наповнення нейтралізатора, люком і сходами.

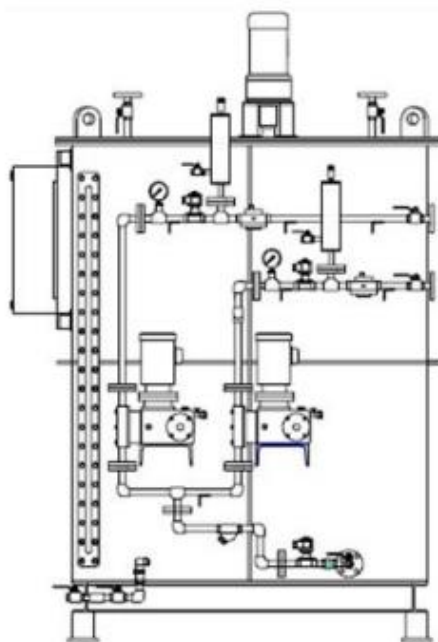


Рисунок 2.9 – Загальний вид нейтралізатора

Насос нейтралізатора використовується для впорскування нейтралізатора в баластну трубу судна. Швидкість скидання регулюється з точки зору концентрації нейтралізатора і TPO, а також витрати баластної води.

Технічні характеристики:

- Час викачки баласту: 12 годин x 2 рази.
- Концентрація TPO: 5,0 мг/л.
- Коефіцієнт дози нейтралізатора: 0,50.
- Концентрація нейтралізатора: 100 г/л.

3. АЛГОРИТМИ РОБОТИ БАЛАСТНОЇ СИСТЕМИ

Система очищення баластних за допомогою озону НК-ОЗ має декілька режимів роботи. Кожен режим роботи потребує свій процес підготовки. Основні алгоритми роботи системи та їх опис представлені нижче (рис. 3.1, 3.2, 3.3).

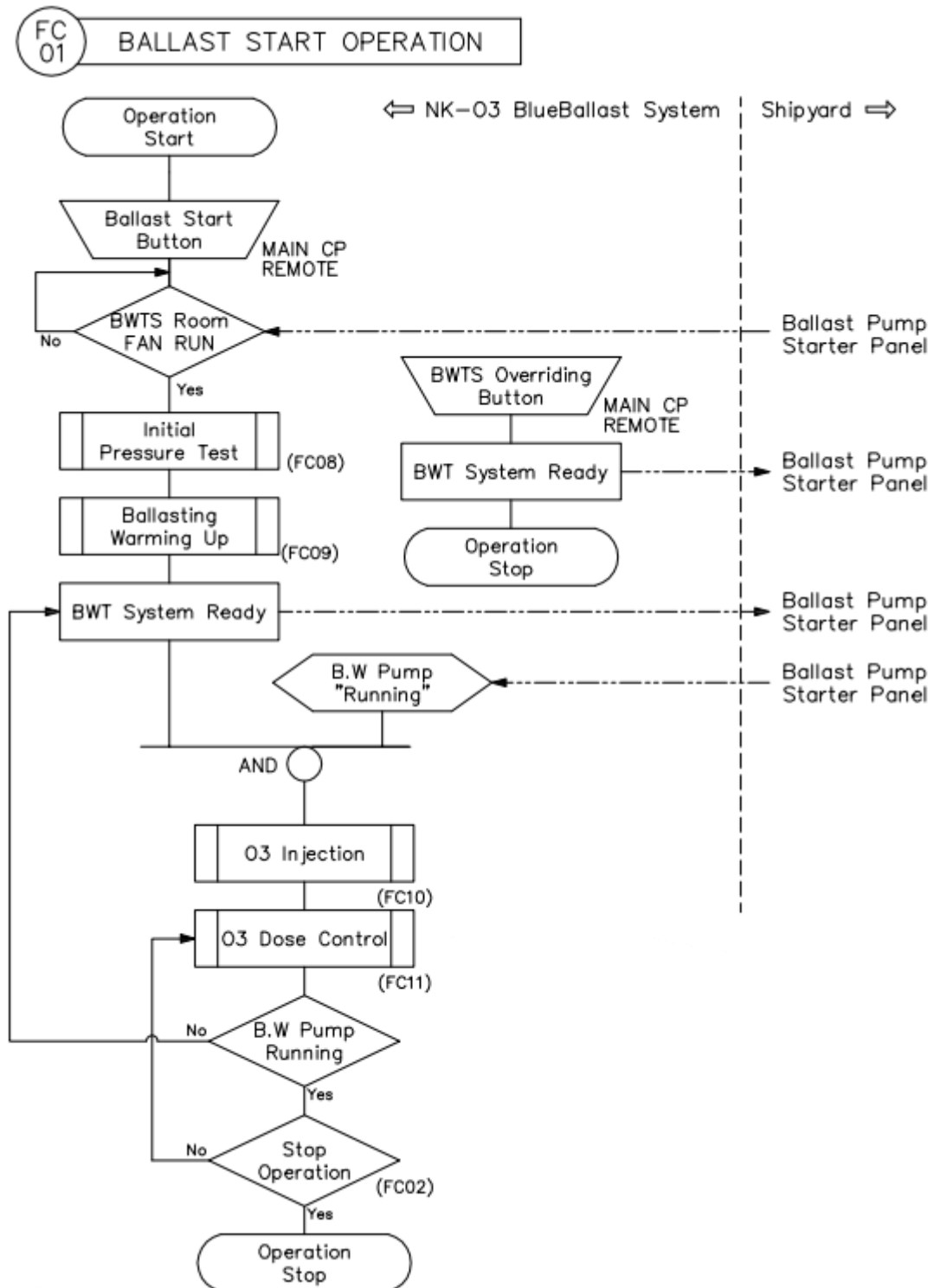


Рисунок 3.1 – Алгоритм старту системи для взяття баласту

Для пуску системи у режимі «Ballasting mode», тобто у режимі взяття баласту, оператор повинен обрати цей режим на основній панелі управління. Після цього система перевіряє сигнал роботи вентилятора для провітрювання кімнати, де встановлена система та створюється озон. Якщо перевірка пройшла успішно, то система починає перевірку усієї системи на коректне відпрацювання усіх клапанів, зворотних сигналів та перевірка на витік у трубах. Більш детальний опис цієї перевірки буде наведено нижче (рис. 3.2).

Після перевірки, система переходить у режим підготовки. Процес підготовки являє собою процес розігріву генератору озону. Цей процес триває приблизно 30 хвилин [14].

Після закінчення підготовки, система готова для запуску баластного насосу. Якщо система знаходиться у стані готовності і оператор запускає баластний насос, тоді система починає виробляти озон. Кількість озону залежить від навантаження генератору озону, яке в свою чергу залежить від продуктивності баластного насосу. Після генератору озону, газ прямує до інжектора і вприскується у морську воду.

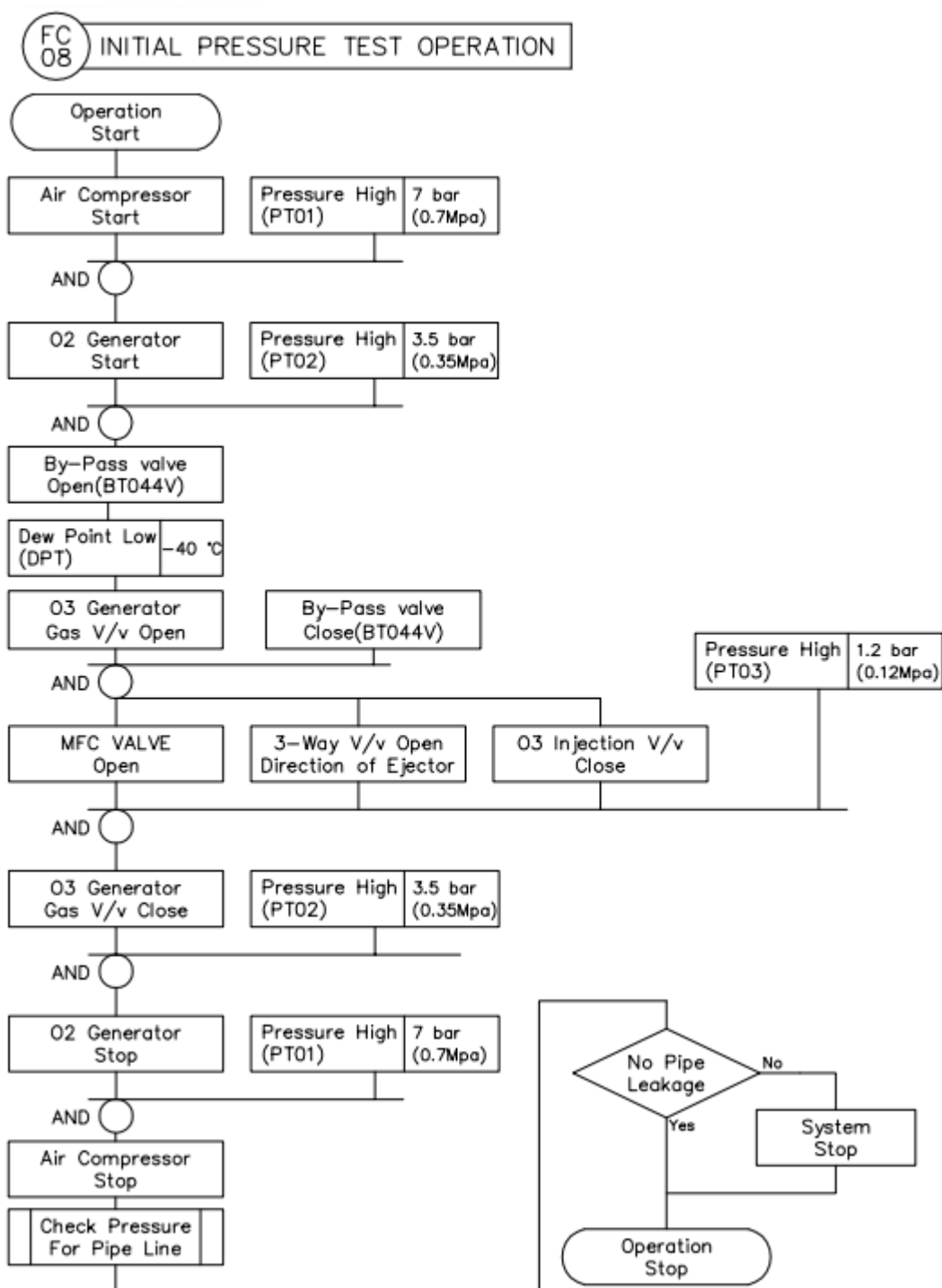


Рисунок 3.2 – Алгоритм перевірки системи

Процес перевірки системи на коректне відпрацювання усіх клапанів, зворотних сигналів та перевірка на витік газу з труб має наступний вигляд.

Перш за все від головного контролера подається сигнал на старт повітряного компресора. Першу хвилину роботи, компресор працює без навантаження, а потім подається сигнал на електромагнітні клапани на закриття, тоді компресор починає

працювати під навантаженням та нагнітати повітря до повітряного накопичувача. Також перед накопичувачем, повітря проходить через осушувач повітря, де він відділяється від частинок масла та вологи.

Для того, щоб перейти до наступного кроку, тиск повітря у накопичувачі повинно бути не менше ніж 7 бар. Після цього подається сигнал на старт генератору кисню. Генератор кисню відокремлює кисень від стисненого повітря за допомогою унікального процесу адсорбції зі зміною тиску (PSA) [14]. У процесі PSA використовуються дві посудини, заповнені молекулярним ситом (синтетичний цеоліт). Коли стиснене повітря проходить через один із судин, молекулярне сито адсорбує азот. Кисень, що залишився, проходить через посудину і виходить у вигляді газу. До того, як абсорбер насититься азотом, повітря відводиться до другої ємності. У цей момент сито в першій посудині відновлюється шляхом десорбції азоту шляхом розгерметизації та очищення його киснем з другої посудини. Потім цей процес повторюється в другій посудині для завершення циклу, який дозволяє генератору кисню забезпечувати постійний потік продукту кисню з мінімальною чистотою 90%.

Після того, як генератор кисню заповнив накопичувач кисню на 3,5 бар тиску, подається невелика кількість кисню під тиском до датчику точки роси, щоб виміряти рівень вологи у кисні. Якщо температура точки роси досягає значення -40°C або нижче, то процес перевірки системи переходить до наступного кроку, тобто відкриття пневматичних клапанів до генератору озону.

Після цього активуються електронні клапани регулювання потоку. Процес перевірки цих клапанів передбачає поступове відкриття клапанів від 5% до 100% та контроль потоку, який повинен бути не менш ніж 32 куб метри в годину [14].

Після цього усі озонові труби наповнюються киснем до тиску 1,2 бар. Коли в усіх точках системи тиск відповідає заданим значенням, система закриває усі клапани і вимикає компресор разом з генератором кисню. Протягом двох хвилин, система заміряє тиск, щоб його втрата не більше ніж 10% за 2 хвилини. Якщо тиск залишився у межах норми, то перевірка пройшла успішно і система переодить у режим розігріву генератору озону.

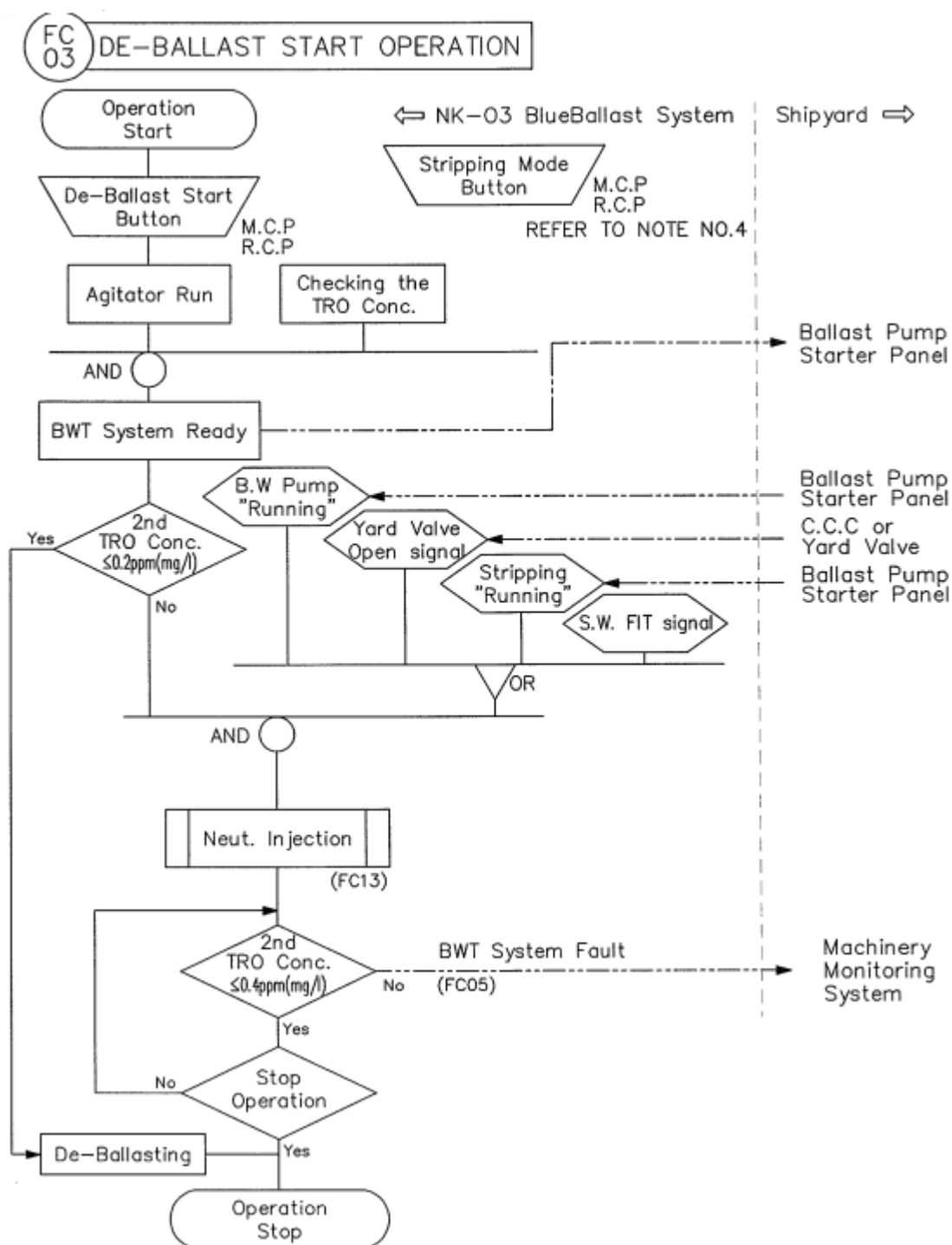


Рисунок 3.3 – Алгоритм роботи системи у режимі викачки баласту

Для роботи системи у режимі викачки баластної води з танків, оператор повинен обрати відповідний режим роботи для підготовки системи. Тоді система подає сигнал на підготовку хімії для вприску у баластну воду.

Подається сигнал до агітатору, який протягом 2 хвилин перемішую хімію після довгої стоянки і можливе осідання хімічних сполук. Також перевіряється

живлення а зворотній сигнал датчика TRO. Після цього система знаходиться у режимі готовності для викачки баластної води.

Коли система знаходиться у режимі готовності, оператор має дозвіл на старт баластного насосу. У баластній трубі знаходиться датчик потоку води. Коли система виявляє воду, то активую пневматичний клапан, який подає повітря до пневматичного насосу. Цей насос бере пробу води та подає її до датчику TRO.

Якщо показник TRO менше ніж 0,2 ppm, то система працює на викачку баластної води без вприску нейтралізатора. Якщо показник TRO лежить у межах від 0,2 до 0,4 ppm, то відкриваються клапани і активується насос для подачі хімії до баластної води. Залежно від рівня TRO, регулюється кількість хімії, яка подається. Якщо рівень TRO більше ніж 0,4 ppm, активується сигналізація, яка повідомляє про великий рівень TRO [14].

4. ОПИС ЗАСОБІВ МОНІТОРИНГУ ТА УПРАВЛІННЯ СИСТЕМИ НК-ОЗ

4.1 Загальний опис ПЛК та датчиків контролю

Загальна логіка управління системою НК-ОЗ знаходиться у ЦП програмованого логічного контролера (PLC) Modicon M340 від Schneider electric (рис. 4.1), розташованого на головній панелі керування системи НК-ОЗ (MCP). Усі функції моніторингу та керування системою НК-ОЗ можна виконувати через людино-машинний інтерфейс (HMI), розташований на передній панелі MCP. Активація та робота системи НК-ОЗ пов'язані із загальною системою керування баластними водами судна, тому забір і скидання баластної води не розпочнеться, поки система НК-ОЗ не запрацює [18, 19, 21].

ПЛК M340 за своїми можливостями та продуктивністю займає нішу в середині модельного ряду між контролерами Twido та Premium. Загалом архітектура M340 успадковує старші контролери: згаданий Premium та найпотужнішого контролера в лінійці Schneider Electric – Quantum. Більш того, M340 програмується за допомогою того ж програмного пакета, що й старші контролери – системи Unity Pro. Це програмне середовище підтримує всі стандартні мови МЕК 61131-3: список інструкцій (LI), мова сходових діаграм (LD), мова функціональних блок-схем (FBD), мова послідовних функціональних блоків (SFB) та мова структурованого тексту (ST) [16, 17, 20].



Рисунок 4.1 – Загальний вид ПЛК Modicon M340

Механічною основою системи є монтажна шина (корзина), на яку встановлюються блок живлення, процесорний модуль та модулі розширення. Архітектура дозволяє з'єднувати до чотирьох таких монтажних кошиків у єдину систему з одним головним процесором, а самі корзини можна винести на довжину до 30 метрів. Таким чином, віддалене введення/виведення реалізовано «всередині» контролера і не потрібне впровадження додаткових польових шин. Крім блоку живлення всі модулі мають однакову ширину, тому займають тільки одне установче місце на кошику. Максимальна місткість кошика – 12 місць, що з урахуванням блоку живлення та процесора дозволяє встановити ще 11 модулів розширення. Така конфігурація займе в шафі трохи більше 100x500x160 мм (ВxШxГ) [18].

Для контролера M340 доступні такі комунікаційні протоколи: Modbus RTU/ASCII, Ethernet Modbus TCP/IP, Modbus Plus, CANopen master, Profibus DP, AS-interface V3 master. Для підключення панелі оператора типу XBT GT можна використовувати інтерфейс USB, таким чином немає необхідності в додатковому модулі Modbus [16].

Процесорні модулі поділяються на дві групи: до першої належить процесор BMX P34 1000 із вбудованим портом RS-485 Modbus RTU. До другої відносяться чотири більш продуктивні процесори BMX P34 2xxx, які відрізняються між собою типом вбудованих інтерфейсів - це може бути CANopen master, Ethernet TCP/IP або Modbus RTU, при цьому один процесор може містити до двох перерахованих портів. Кожен процесор комплектується Flash-картою пам'яті типу SD (Secure Digital), яка використовується для резервного копіювання двох областей пам'яті контролера: області програм, символів, коментарів та область констант. У контролерів із вбудованим Modbus TCP/IP може бути встановлена картка пам'яті, що зберігає Web-сервіси, зокрема Web-сервер [16, 18].

Типова продуктивність для контролера P34 1000 - 5400 булевих інструкцій за мілісекунду, для контролерів P34 2xxx - 8100 булевих інструкцій за мілісекунду. Модулі дискретного введення/виводу можуть мати до 64 каналів. Для введення можна використовувати сигнали 24, 48, 110 як постійного, так і змінного струму, а

також 220 перем. струму. Для модулів виведення доступні як транзисторні виходи 24 пост. струму, і релейні виходи 220 У перем. струму. Модулі аналогового введення підтримують стандартні уніфіковані діапазони (4-20 мА, 0-10 В різних варіаціях), а також всі види датчиків температури. Модулі аналогового виведення доступні щільністю до 8 каналів із вихідним сигналом 4-20 мА. Розрядність АЦП модулів аналогового введення-виводу - 16 біт, або 15 біт плюс знак. До спеціалізованих каналів відносяться лічильні модулі, що підтримують підключення енкодерів з push-pull виходом, модулі підключення SSI-енкодера та модулі контролю руху з РТО-виходом для управління сервоприводами [18].

Процесорні модулі, блоки живлення та основні типи модулів розширення можуть бути виготовлені з поліуретановим покриттям електронних плат для роботи в умовах агресивного довкілля. Крім того, у такому виконанні розширений діапазон робочих температур, з 0...+60°C для стандартного виконання до -25...+70°C для покритого поліуретаном.

Система складається з багатьох датчиків, вимірювання яких впливає на зміни в контурі регулювання виробництва озону, його вприску та нейтралізації. Нижче наведені основні датчики які використовуються у системі.

Датчик точки роси

Якісна робота озонової системи та її надійність залежать від якості газу, що подається, в основному, від точки роси. Точка роси повинна бути нижче -60 °С. Точка роси в діапазоні -60 ~ -20 °С при кімнатній температурі відповідає значенням відносної вологості 0,08 ~ 5,37% RH [22].

Онлайн-датчик точки роси встановлюється на вході генератору озону і активує сигнали тривоги, якщо волога перевищує задану уставку.

Технічні характеристики:

- Принцип вимірювання: монолітна вимірювальна комірка.
- Діапазон вимірювання: -80 ~ 60 °С.
- Точність: $\pm 2^\circ\text{C}$.
- Інтерфейс сигналу: аналогові виходи 4 ~ 20 мА і вихід сигналізації (NC).

Аналізатор кисню

Ефективність генерації озону буде пропорційна концентрації кисню у вихідному газі. Концентрація кисню має бути вище 90 % для номінального виробництва озону [23]. Аналізатор кисню встановлюється на вході генератора озону і якщо концентрація кисню знижується нижче заданого значення, то активується сигналізація.

Технічні характеристики:

- Принцип вимірювання: подвійний цирконієвий елемент (датчик обмеження струму).
- Діапазон вимірювання: 0,1 ~ 100 %.
- Точність (внутрішня похибка) при постійній температурі: діапазон $\pm 2\%$.
- Інтерфейс сигналу: аналогові виходи 4 ~ 20 мА.

Аналізатор озону

Концентрація озону контролюється через контур управління блоку живлення. Концентрація озону безпосередньо пов'язана з електричною потужністю, що вводиться в резервуар генератора для даного потоку кисню [24]. Аналізатор озону встановлений на виході з генератору озону.

Технічні характеристики:

- Принцип вимірювання: двопроменевий УФ-фотометр.
- Діапазон вимірювання: 2 ~ 400 г/Нм³.
- Точність: 0,4% від вимірювання + 0,1% від шкали.
- Інтерфейс сигналу: 4~20 мА.

Клапан контролю озону, інтегрований з датчиком виміру протоку озону

Потік через генератор озону буде керуватися контуром регулювання потоку за допомогою клапана регулювання потоку. На виході з генератору озону встановлений регулюючий клапан, інтегрований з датчиком вимірювання потоку.

Технічні характеристики:

- Принцип вимірювання: тепловий датчик масового витрати.
- Точність: $\pm 5\%$ повної шкали.
- Інтерфейс сигналу: 4~20 мА і 0~5 В постійного струму.

Детектор кисню

Детектори кисню можуть спрацювати через витік кисню або несправну роботу озонОВОЇ системи. Після подачі сигналу тривоги весь персонал повинен бути евакуйований із забрудненої зони в безпечну зону. Сигнал тривоги активується, якщо концентрація кисню в повітрі вище 25 об.% або нижче 17 об.%.

Технічні характеристики:

- Принцип вимірювання: електрохімічний газодифузійний тип.
- Діапазон вимірювання: 0 ~ 25 об.%.
- Точність: $\pm 5\%$ від значення, але обмежена доступним калібруванням.
- Інтерфейс сигналу: 4 ~ 20 мА, три призначаються реле сигналізації, 10 А, 120 В змінного струму (5 А, 250 В змінного струму).

Детектор озону

Детектори озону можуть спрацювати через витік озону в озонОВІЙ системі. Після подачі сигналу тривоги, виробництво озону має бути припинено. Весь персонал має бути евакуйований із забрудненої зони. У приміщення, де міститься озон, можна входити лише з відповідним дихальним апаратом.

Технічні характеристики:

- Принцип вимірювання: електрохімічний датчик, дифузійного типу.
- Діапазон вимірювання: 0 ~ 3 (5) ppm.
- Інтерфейс сигналу: 4 ~ 20 мА.

Датчик потоку баластної води

Щоб контролювати дозу озону та вприск нейтралізатора, необхідно виміряти витрату баластної води. Це датчик швидкості потоку, який використовується для вимірювання об'ємного потоку рідин. Тиск, температура, щільність і в'язкість не впливають на вимірювання об'єму. Слід уникати твердих частинок і невеликих газових кишень.

Технічні характеристики:

- Принцип вимірювання: магнітно-індуктивний.
- Діапазон вимірювання; швидкість потоку: 0,5 ~ 5 м/с (або 1,0 ~ 10,0 м/с).
- Точність: $\pm 1,5\%$ від показання.

4.2. Технічні характеристики хімічного датчика TRO

Основним компонентом системи очищення баластних вод є датчик, що вимірює концентрацію загальних залишкових окиснювачів (TRO). У системі NK-O3, виробник використовує хімічний тип датчику – Hach 1735 TRO Analyzer.

Аналізатор 1735 TRO вимірює концентрацію загального залишкового окислювача (TRO) у воді, яка може бути представлена як хлор, так і бром (коефіцієнт перетворення = 2,2538). Це вимірювання найчастіше використовується для контролю дозування дезінфікуючого засобу, доданого для обробки баластної води [25]. Оскільки середовищем найчастіше є морська вода, а морська вода, як правило, містить високі концентрації бромідів, будь-який звичайний дезінфікуючий засіб (хлор, озон тощо) створить TRO шляхом реакції з іонами броміду. Метод визначення TRO заснований на хімічному аналізі загального хлору Hach DPD. Аналізатор 1735 TRO містить відсіки для електроніки та рідини, розділені корпусом. Частини електроніки (об'єднані в друковані плати) і частини рідини (об'єднані в блоки) які можна видалити для обслуговування або заміни [26].

Загальний вид Hach 1735 DPD TRO Analyzer зображено на рис. 4.2.

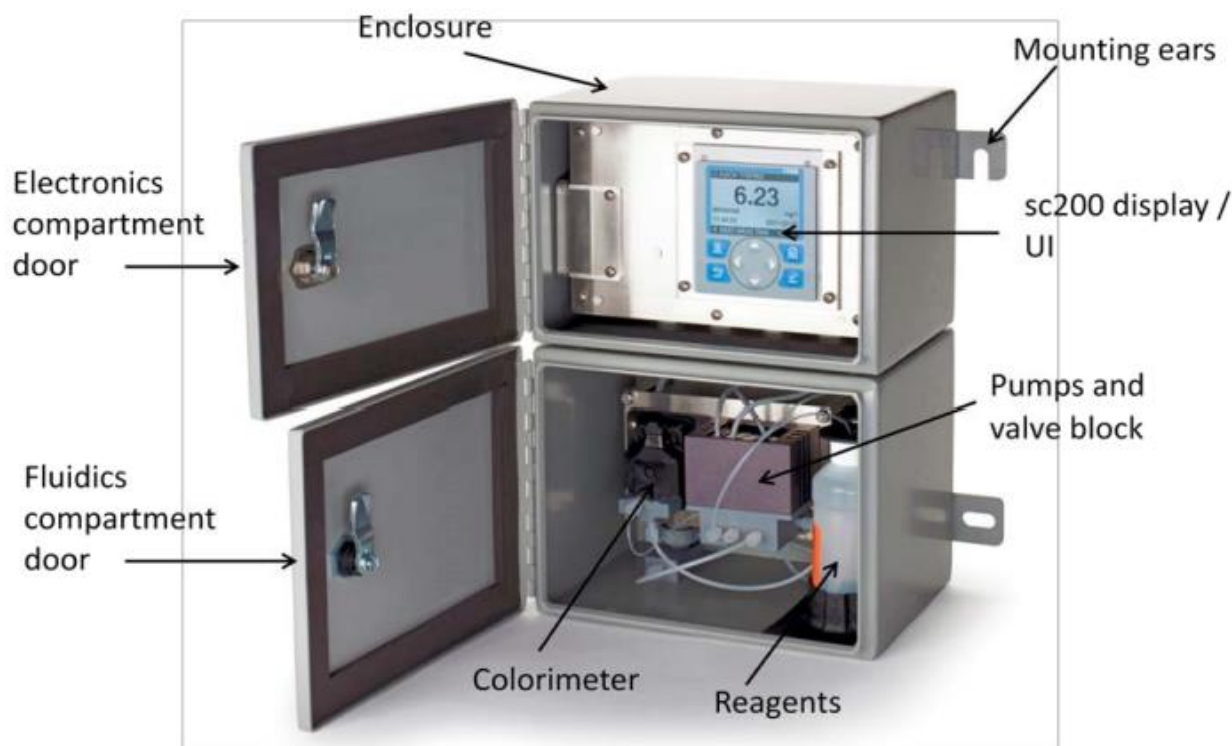


Рисунок 4.2 – Загальний вид Hach 1735 DPD TRO Analyzer

1735 TRO використовує пробірний клапан і два реагентні насоси, з'єднані в один блок. Клапан відкриває і закриває потік зразка, а насоси подають реагенти в колориметр зі швидкістю 8-10 ударів за 2 секунди, доставляючи ~25 мкл кожного реагенту за цикл. Цей темп може змінюватися від насоса до насоса в межах ~15%, тому витрата реагенту може бути нерівним між двома реагентами. Об'єм подачі реагенту, а також кількість ударів можна регулюватися для кожного насоса через захищене паролем сервісне меню.

Загальна схема Nach 1735 DPD TRO Analyzer зображена на рис. 4.3.

1735 TRO має функцію усереднення цифрового сигналу для компенсації коливань зразка, включаючи вплив бульбашок повітря, які можуть спричинити стрибки/пропади показань [27]. Алгоритм відкидання бульбашок є вбудованою функцією і використовується під час кожного циклу вимірювання.

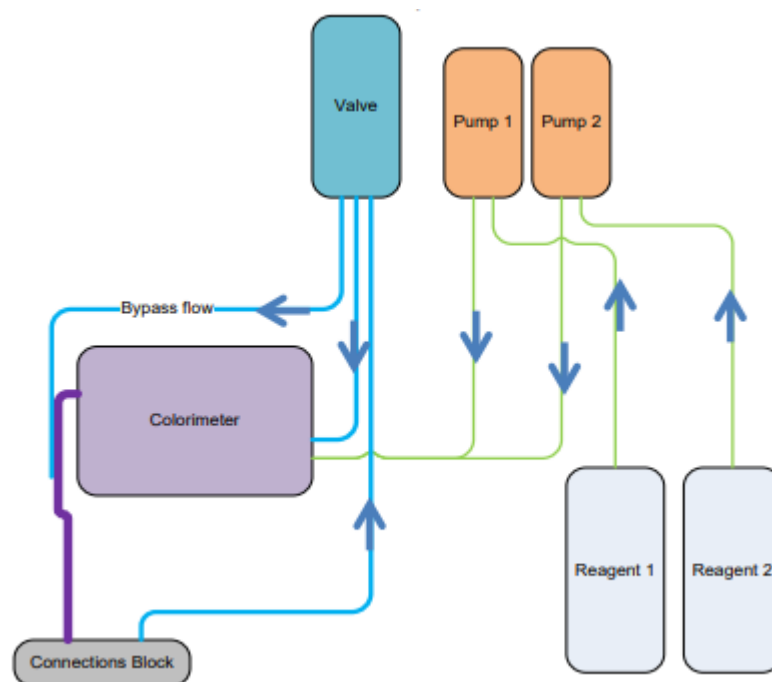


Рисунок 4.3 – Загальна схема Nach 1735 DPD TRO Analyzer

Цей алгоритм використовується як для вимірювання еталонних значень, так і для вимірювання кількості зразків і відхиляє помилкові показання. Усереднення сигналу має 4 попередньо встановлені конфігурації:

- 1 точка показує поточне вимірювання.
- 2 точка відображає середнє значення двох останніх вимірювань.

- 3 точка відображає середнє значення трьох останніх вимірювань.
- 4 точка відображає середнє значення чотирьох останніх вимірювань.

Таблиця 1 – 1735 TRO детальний цикл вимірювань

Крок	Тривалість кроку	Витрачений час	Коментар
Полоскання та наповнення	30 секунд	30 секунд	Клапан відкриває лінію колориметра і впускає пробу води
Стабілізація проби води	3 секунди	33 секунди	Витримка часу для очищення проби від бульбашок
Еталонне вимірювання	5 секунд	38 секунд	Вимірювання проводиться кожну секунду, перше і останнє вимірювання відкидаються, решта усереднюються
Додавання реагенту	2 секунди	40 секунд	Номінальний час на 10 циклів подачі реагенту 0,5 секунди
Змішування	15 секунд	55 секунд	Подача живлення до змішувачого присторою
Час реакції барвника	15 секунд	70 секунд	Очікування прояви кольору
Вимірювання проби води	5 секунд	75 секунд	Вимірювання проводиться кожну секунду, перше і останнє вимірювання відкидаються, решта усереднюються

Система має систему діагностики, яка допомагає визначити несправність. У програмі запускається процес діагностики, який в свою чергу запускає цикл вимірювання і будує графік вимірювання (рис 4.4). По графіку можна визначити причину несправності, приклади змін графіку наведено на рис. 4.5, 4.6, 4.7.

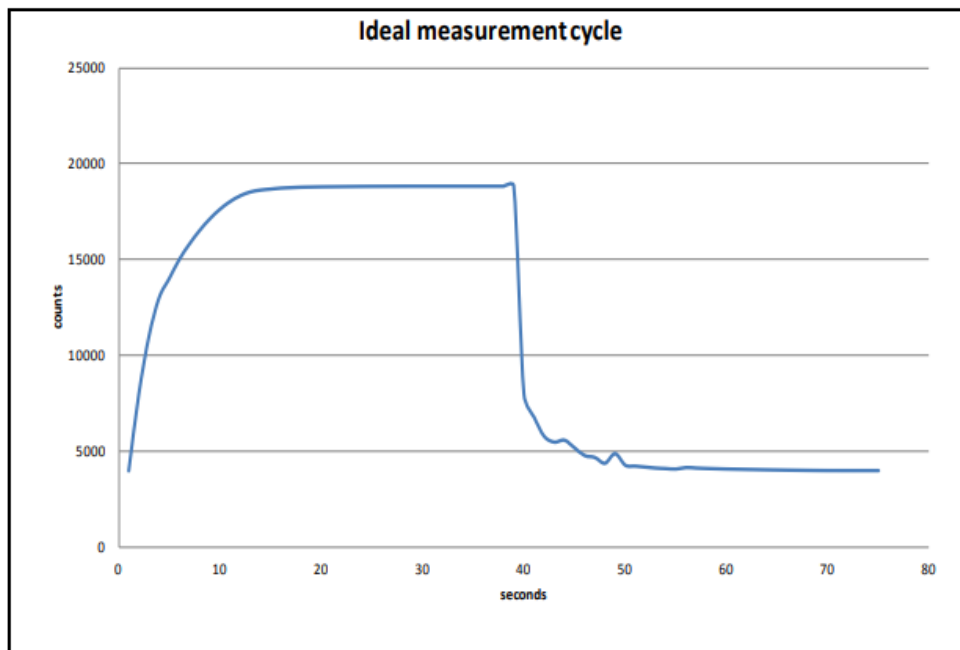


Рисунок 4.4 – Графік ідеального циклу вимірювання

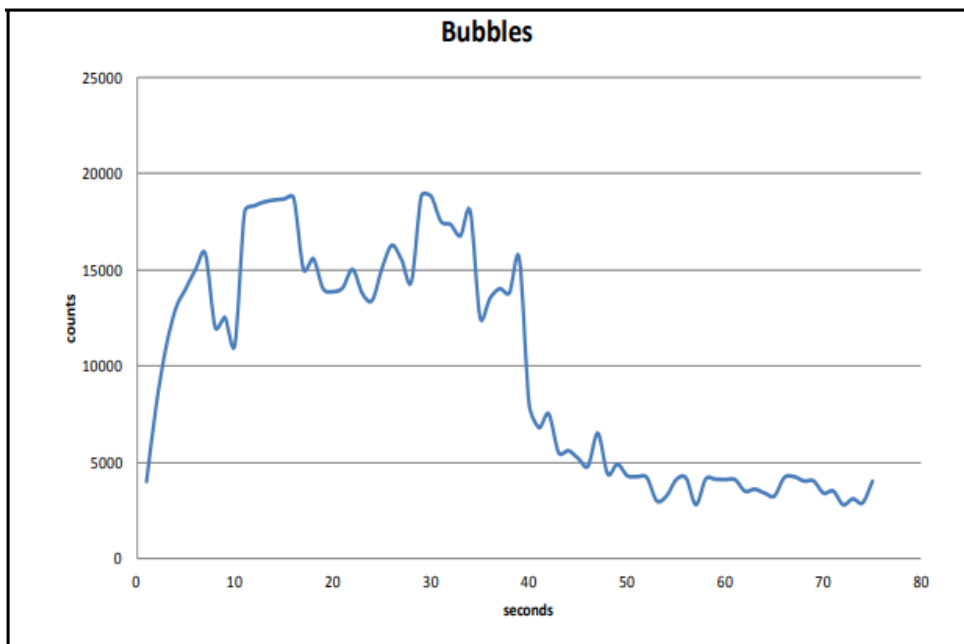


Рисунок 4.5 – Графік вимірювання при надлишку бульбашок у пробі води

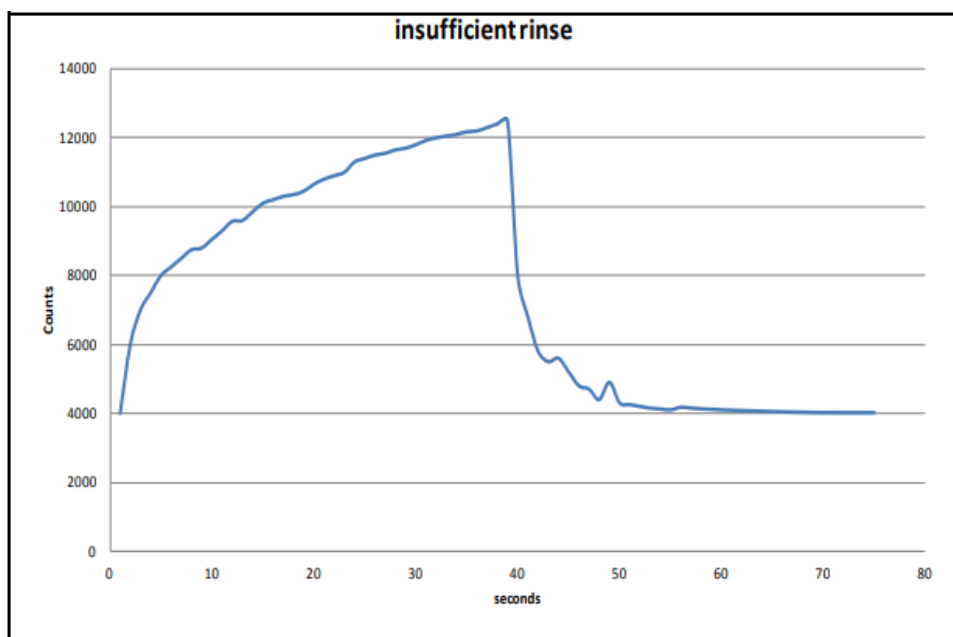


Рисунок 4.6 – Графік при недостатньому полосканні

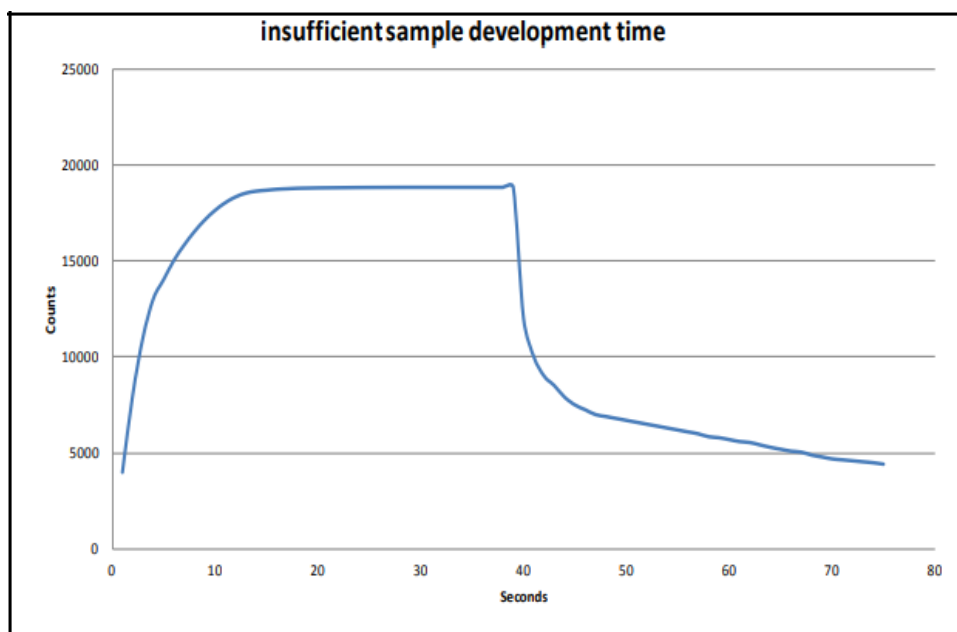


Рисунок 4.6 – Графік при недостатньому часу реакції барвника

5. ОБРОБКА ТА АНАЛІЗ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДАНИХ

У дипломній роботі пропонується використання електронного датчика TRO SWN-P-HT2 Sensor (рис. 5.1). Датчик працює без використання реагентів, мембран або електролітів, тим самим вимірювання проходить за менший час і з більшою точністю. Датчик складається з сенсору, додаткового кріплення та дистанційного дисплея.

Технічні характеристики:

- Тиск: від -0,7 до 10 бар
- Температура: від -5 (без замерзання) до 50°C
- Максимальний потік: 5 м/сек
- Провідність проби: >50 мкСм/см при 25°C
- Діапазон TRO: від 0 до 15 ppm як Cl₂
- Напруга: 24 VDC
- Протокол передачі сигналу: RS485

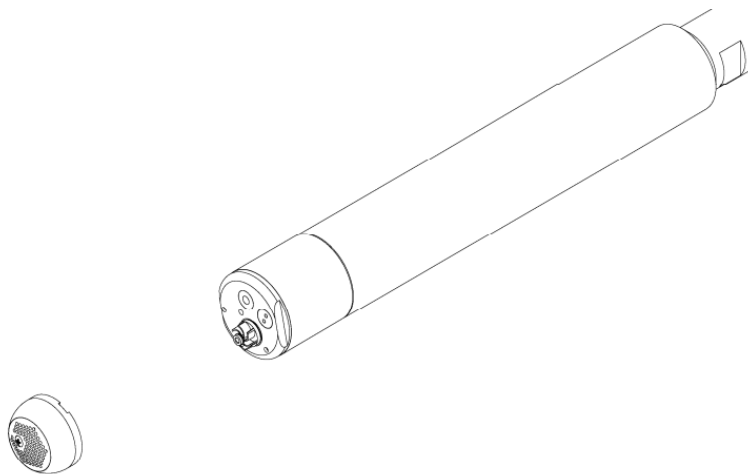


Рисунок 5.1 – Загальний вид сенсору

Датчик вимірює хлор за допомогою амперометрії, в аналітичній хімії — метод визначення концентрації речовини у зразкові за допомогою вимірювання електричного струму при фіксованому робочому потенціалі в розчинах або при використанні обертового робочого електрода [28]. Струм виникає в результаті

електрохімічного окиснення або відновлення електроактивної сполуки після прикладання імпульсу потенціалу до робочого й допоміжного електродів.

Для передачі даних отриманих при вимірюванні, використовується протокол RS485.

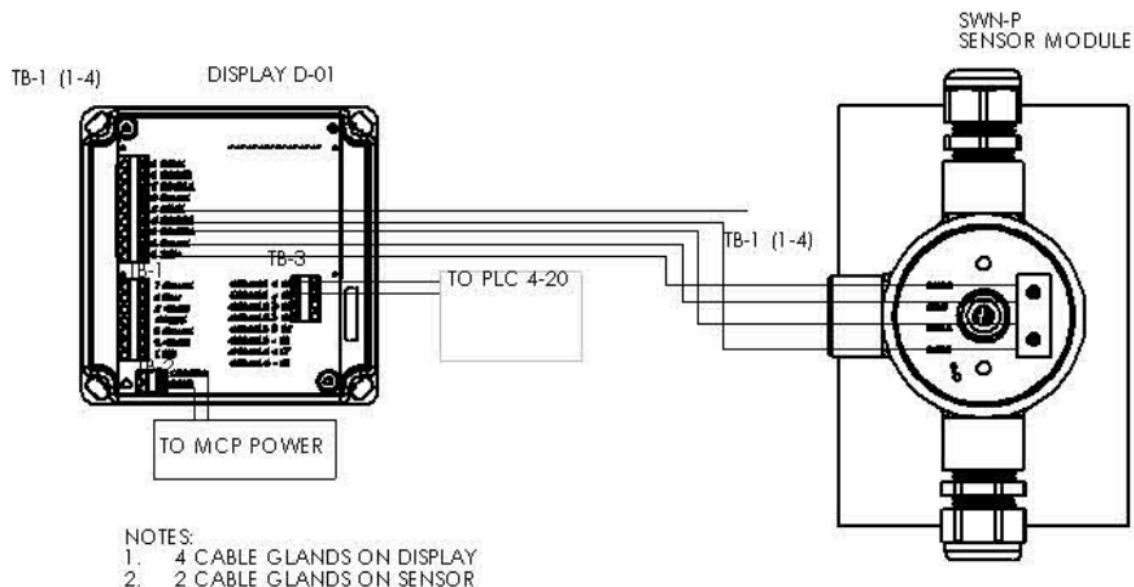


Рисунок 5.2 – Загальний вид підключення сенсору і дистанційного дисплея

Процес збору даних для аналізу роботи електронного датчика TRO був проведений на танкері «Minerva Baltica» у проміжку з 31.05.2021 по 30.06.2021. Вимірювання проводилися у максимально рівних умовах, тобто солоність та температура води були не значні для аналізу розбіжності. Потужність баластного насосу, кількість вприску озону та проміжок між операціями взяття та скидання баласту – однакові. Еталонним значенням загальної залишкової оксидації було прийнято доза вприску озону, яка розрахована самою програмою, спираючись на потужність баластного насосу та генератору озону, а також потоку озону через автоматичний клапан регулювання потоку. Експериментальні данні досліджень наведені у Додатках А, Б, В, Г, Д, Е.

Графік залежності вимірювань електронним датчиком від дози вприску озону наведено на рис. 5.3.

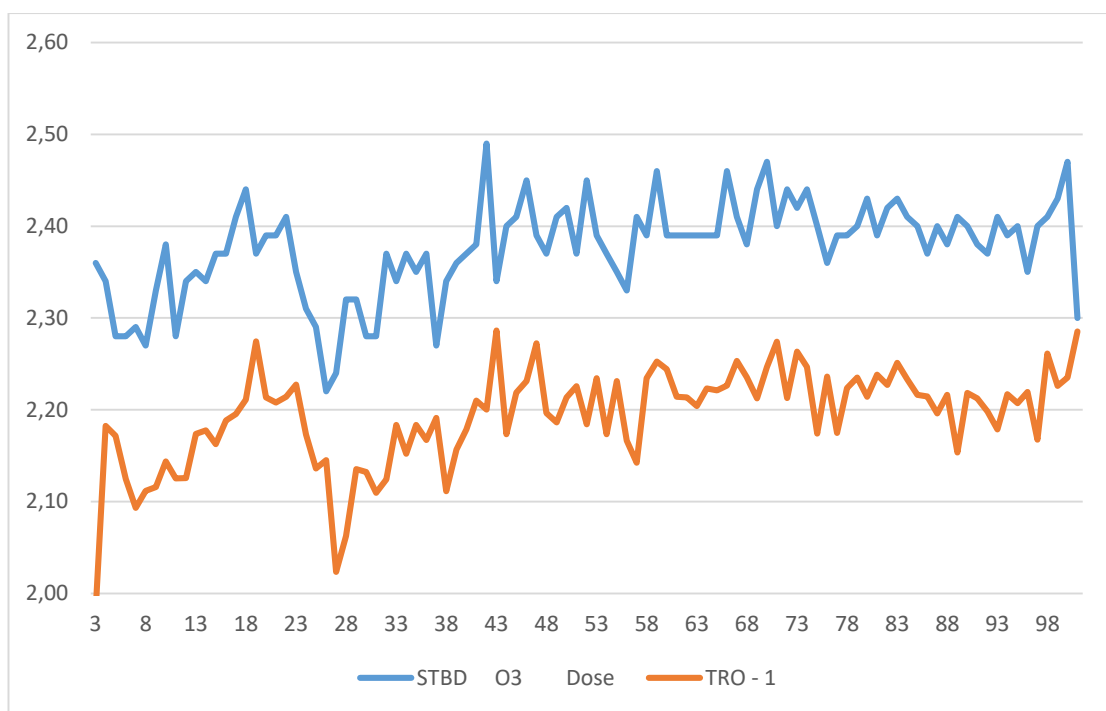


Рисунок 5.3 – Графік залежності вимірювань електронним датчиком від дози вприску озону

Як показує графік, значення, виміряні електронним датчиком не співпадають з показниками дози вприску озону, але приблизно повторює форму еталонного графіка зі зміщенням у часі приблизно на 1 хвилину. Це обумовлюється тим, що вприск озону відбувається на початку баластної труби, а відгалуження трубопроводу до датчику TRO, знаходиться вже перед подачею баластної води до баластних танків. Приблизний час проходження рідини від вприску озону до датчику разом з циклом вимірювання дорівнює 1 хвилині. Було проаналізовано середня помилка вимірювань з урахуванням зсуву по часу на 1 хвилину. Результат обробки експериментальних даних показав, що середнє відхилення вимірювання електронним датчиком від еталонного дорівнює 7,619%. Згідно з технічною документацією на систему знезараження баластних вод [14] допустиме відхилення дорівнює 10%, так як озон має короткий час розпаду.

Графік залежності вимірювань хімічним датчиком TRO від дози вприску озону наведено на рис. 5.4.

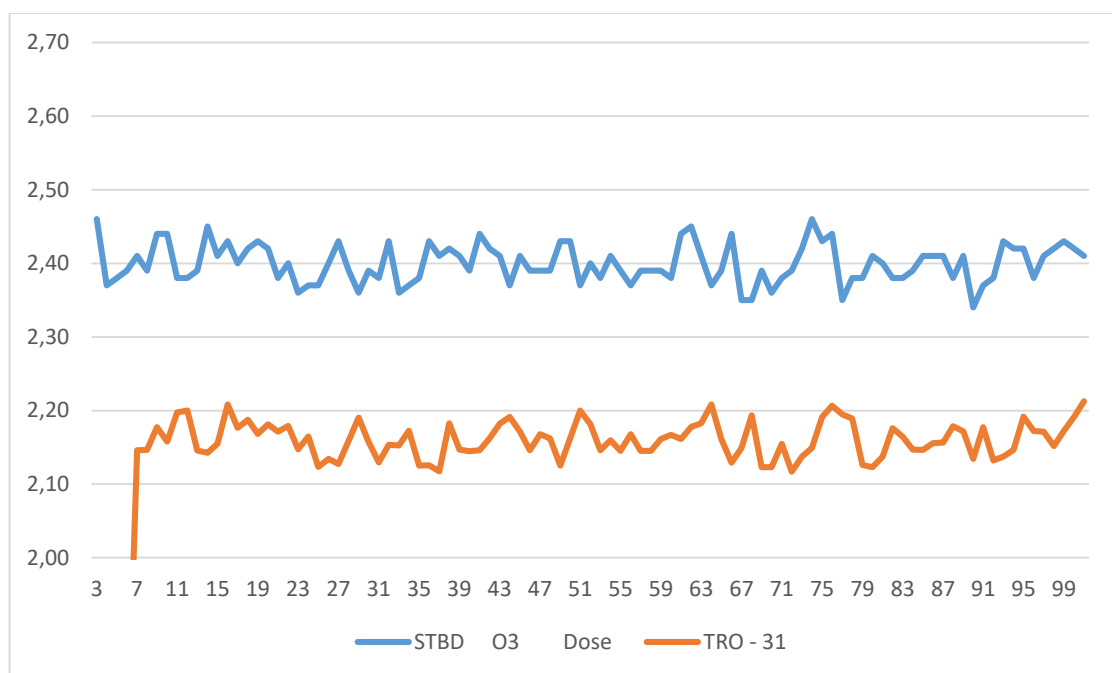


Рисунок 5.4 – Графік залежності вимірювань хімічним датчиком TRO від дози вприску озону

З графіку можна побачити, що вимірювання хімічним датчиком TRO відрізняється від еталонного значення, але також повторює його форму. Треба зауважити, що повторювання форми графіка вимірюваних значень до еталонних виконується зі зміщенням у часі на 2 хвилини. Як зазначено у попередньому розділі, цикл вимірювання хімічного датчика дорівнює 75 секунд, також потрібно враховувати час проходження рідини від моменту вприску озону до моменту доходження води з озоном до самого датчика. Помилка при вимірюванні загальних залишкових окиснювачів за допомогою хімічного датчику TRO становить у середньому 10,118%. Також у порівнянні з електронним датчиком, повний цикл вимірювання проходить на 1 хвилину довше.

При скиданні баластної води після обробки її озоном за допомогою системи очищення баластних вод НК-ОЗ, необхідно виміряти рівень загальних залишкових окиснювачів. Так як утворений хлор та гіпобромна кислота можуть не встигнути розпастися повністю, скидання води з їх вмістом являє собою забруднення навколишнього середовища, тобто світового океану. Необхідний контроль у системі виконується хімічним датчиком TRO і при вимірюваннях більше 0.2 ppm,

система подає відповідну дозу нейтралізатора (тіосульфату) до води, яка скидається в океан.

Графік зміни рівня нейтралізатора та вимірювання TRO за допомогою хімічного датчика наведено на рис. 5.5.

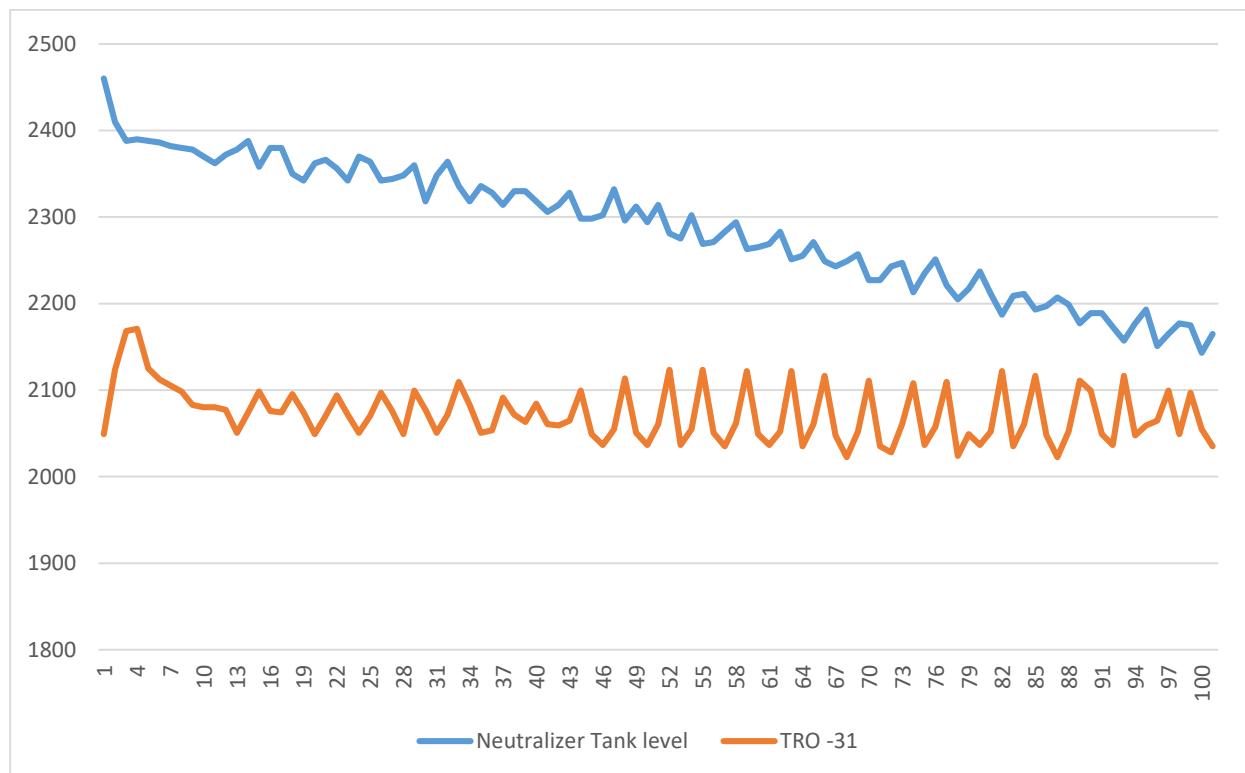


Рисунок 5.5 – Графік зміни рівня нейтралізатора та вимірювання TRO за допомогою хімічного датчика

На даному графіку можна побачити зміну показань TRO протягом 100 хвилин. Так як повний цикл вимірювання становить 2 хвилини, то при показнику TRO більше 0,2 ppm активується подача нейтралізатору протягом 2 хвилини, що в свою чергу не завжди потрібна така кількість хімії. При надлишку тіосульфатів, ця хімія не може вступити в реакцію повністю з залишковими хімічними окиснювачами, тому можна сприймати надлишкове скидання нейтралізатору являє собою забруднення світового океану. Також при довгому циклі вимірювання, також існує проблема, що при різкому підвищенні рівня TRO, система перші 2 хвилини не вприскує нейтралізатор, тим самим забруднює світовий океан. За 100 хвилин роботи системи нейтралізації з контролем, який виконує хімічний датчик, було витрачено приблизно 300 літрів тіосульфатів (рис. 5.5).

Графік зміни рівня нейтралізатора та вимірювання TRO за допомогою електронного датчика наведено на рис. 5.6.

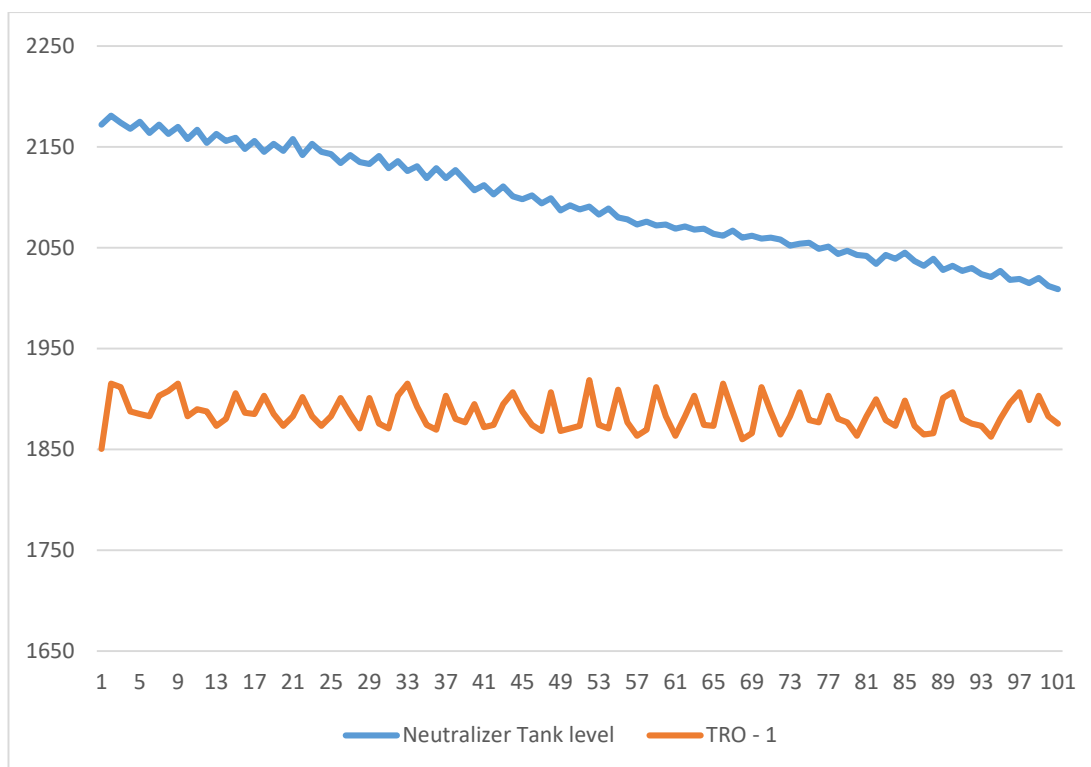


Рисунок 5.6 – Графік зміни рівня нейтралізатора та вимірювання TRO за допомогою електронного датчика

Згідно з цим графіком, на відміну від попереднього, можна побачити, що за той же час було витрачено лише 150 літрів тіосульфатів. Звісно, неможливо утримувати усі змінні параметри повністю відповідними, але при проведенні експерименту, усі параметри були максимально наближені один до одного. Також цей графік демонструє більш рівномірну зміну значення TRO. Це обумовлено зменшенню повного часу вимірювання одного циклу. Одна хвилина дає змогу швидше відреагувати системі, тим самим запобігти забрудненню світового океану тіосульфатами або загальними залишковими окиснювачами.

ВИСНОВКИ

В магістерській роботі було запропоновано використання електронного датчика вимірювання концентрації загальних залишкових окиснювачів. Після проведення натурних експериментів на судні та аналізу експериментальних даних, було виявлено, що при використанні датчика електронного типу для вимірювання TRO можна вирішити проблему витрати великої кількості нейтралізуючої хімії, тим самим зменшити забруднення навколишнього середовища [29, 30]. Однією з причин цього забруднення - є дуже довгий час циклу вимірювання хімічного датчику TRO, який становить 2 хвилини.

У роботі були систематизовані наступні основні параметри роботи системи у режимах баластування тадебаластування: температура навколишнього середовища, концентрація кисню, навантаження генератору озону, протока баластної води у трубі, доза вприску озону, протока дози озону, позиція автоматичного регулюючого клапану озону, показання датчику TRO, рівень нейтралізуючої речовини. На основі цих вимірювань побудовані графіки, які показують залежність роботи системи очищення баластних вод від процесу взяття та скидання баласту.

Також було розраховано похибку вимірювань хімічного та електронного датчиків до еталонних значень. Еталонне значення було виведене за допомогою формули, яка показує кількість вприснутого озону у баластну воду, а саме доза вприснутого озону прямо-пропорційно протоки баластної води у головній трубі. На основі цього було вираховано, що середня похибка вимірювань електронного датчика дорівнює 7,619%, в той час як похибка вимірювань хімічного датчику дорівнює 10,118%. Більш того повний цикл вимірювання електронного датчику проходить на 1 хвилину швидше, тим самим зменшує час реакції систему на зміну умов роботи.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Hallegraeff, G.M. "Transport of toxic dinoflagellates via ships' ballast water: Bioeconomic risk assessment and efficacy of possible ballast water management strategies". Marine Ecology Progress Series. 1998, p. 168: 297–309.
2. BWM Convention. International Maritime Organization. July 7, 2017. – p. 4-9.
3. The International Convention for the Control and Management of Ships' Ballast Water and Sediments, 2004 (BWM Convention). Chapter 2.3, 2.4, 2.6-2.9.
4. Міжнародний кодекс по управлінню безпечною експлуатацією суден та запобіганням забруднення / International Management Code for the Safe Operation of Ships and for Pollution Prevention (International Safety Management (ISM) Code) (Резолюція А.741(18) 04.11.1993) з поправками. Міністерство інфраструктури України: веб-сайт. URL: <https://docs.google.com/viewer?embedded=true&url=https://mtu.gov.ua/files/%D0%86MO%20act%208%2007%2018.docx>.
5. Міжнародна конвенція по запобіганню забрудненню з суден 1973 року змінена Протоколом 1978, International Convention for the Prevention of Pollution from Ships, 1973, as modified by the Protocol of 1978 relating thereto (MARPOL) з поправками. Міністерство інфраструктури України: веб-сайт. URL: <https://docs.google.com/viewer?embedded=true&url=https://mtu.gov.ua/files/%D0%86MO%20act%208%2007%2018.docx>
6. Парменова Д.Г., Крайнова В.І. Безпека людини та охорона навколишнього середовища. Електробезпека на борту судна: методичні вказівки до виконання практичних робіт / Укл. Д. Г. Парменова, В. І. Крайнова. Одеса: НУ«ОМА», 2017. 41 с
7. Veldhuis, M., ten Hallers, C., de la Rivière, E.B., Fuhr, F., Finke, J., Stehouwer, P.P., van de Star, I., van Slooten, C. (2010). "Ballast water treatment systems: "Old" and "New" ones". In: Emerging ballast water management systems. Proceedings of the IMO-WMU Research and Development Forum, Malmö, Sweden. – p. 27-35.
8. Ballast water treatment technologies and current system availability (2015). Part of Lloyd's Register's Understanding Ballast Water Management Series – p. 131-162.

9. Weschler, Charles J. (2000). "Ozone in indoor environments: concentration and chemistry" p. 269-288.
10. Housecroft & Sharpe, «Inorganic Chemistry». — 2005. — P. 439
11. Global Pollution Trends: Coastal Ecosystem Assessment for the Past Century, (2020) – p. 43-46.
12. Правила Регистра України для морських і речних судів. Київ. – 2003.
13. Правила технической эксплуатации судовых технических средств. – М.: В/О Мортехинформреклама, 1984. – 388 с.
14. Суднова технічна документація – BWTS NK-O3. Blue-Ballast System – p. 11-1115.
15. Павло Павлович Нечипуренко, Тетяна Олексіївна Шенаєва. Об'ємний метод хімічного аналізу. 2018. – 55 с.
16. https://download.schneider-electric.com/files?p_enDocType=Catalog&p_File_Name=DIA6ED2110104EN.pdf&p_Doc_Ref=DIA6ED2110104EN
17. https://download.schneider-electric.com/files?p_enDocType=User+guide&p_File_Name=35012474_K01_000_18.pdf&p_Doc_Ref=35012474K01000
18. https://download.schneider-electric.com/files?p_enDocType=Catalog&p_File_Name=Modicon_M340_2017-web.pdf&p_Doc_Ref=UAM-CAT-M340-YY
19. Daniel Kandray, Programmable Automation Technologies, Industrial Press, 2010 ISBN 978-0-8311-3346-7, Chapter 8 Introduction to Programmable Logic Controllers. – p. 231-237.
20. Kenney, Muirae. "The Basics of Ladder Logic". Automation Industrial. Retrieved 2020. – p. 187-211.
21. "PLC Programming Basics Part I". Control Systems & Automation. 2020. – p. 53-58.
22. "Observed Dew Point Temperature". Department of Atmospheric Sciences (DAS) at the University of Illinois at Urbana-Champaign. 2018. – p. 19.
23. Douglas O. J. deSa. Instrumentation Fundamentals for Process Control. 2019. – p. 108-121.

24. Jr., James P. Lodge. *Methods of Air Sampling and Analysis*. 2017. – p. 424-451.
25. Amity Gayle Zimmer-Faust. *Evaluation of Approaches to Quantify Total Residual Oxidants for Use in Monitoring Ballast Water Management Systems* 2012. – p. 121.
26. Barbara Hauser. *Practical Manual of Wastewater Chemistry*. 2018. – p. 261
27. Colin Osborne. *Classic Chemistry Experiments*. 2000. – p. 37.
28. Глосарій термінів з хімії // Й.Опейда, О.Швайка. Ін-т фізико-органічної хімії та вуглехімії ім. Л. М. Литвиненка НАН України, Донецький національний університет — Донецьк: «Вебер», 2008. — 758 с.
29. Правила по запобіганню забруднення з суден. Бюлетень №1 змін і доповнень. Офіційне видання. Київ: Регістр судноплавства України, 2014. 52 с. 44.
30. Правила по запобіганню забруднення з суден. Офіційне видання. Київ: Регістр судноплавства України, 2011. 288 с.