

Міністерство освіти і науки України  
Національний університет «Одеська морська академія»  
Навчально-науковий інститут інженерії  
Кафедра безпеки життєдіяльності та захисту довкілля

## ДИПЛОМНА РОБОТА МАГІСТРА

на тему:

### УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕСАМИ ОЧИЩЕННЯ СУДНОВИХ НАФТОВМІСНИХ ВОД

Курсанта

**Дадукіна Максима Борисовича**

Керівник: к-т техн. наук, доцент Д. Г. Парменова

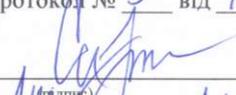


Нормоконтроль



к. т. н., доц. Парменова Д. Г.

Роботу заслухано на засіданні кафедри безпеки життєдіяльності та захисту довкілля. Рекомендовано до захисту в ЕК, протокол № 9 від 15 грудня 2025 р. Завідувач кафедри БЖтаЗД к-т техн. наук, доцент  Д. Г. Парменова

Роботу заслухано на засіданні кафедри суднових енергетичних установок. Рекомендовано до захисту в ЕК, протокол № 9 від 17.12 2025 р. Завідувач кафедри СЕУ, д-р техн. наук, професор  С.В. Сагін

Рецензент (зовнішній)

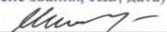
(підпис, вчене звання, ПІБ, дата)



А. Шабанов 19.12.25

Рецензент (внутрішній)

(підпис, вчене звання, ПІБ, дата)



М. В. Мікосов

Одеса – 2025

Міністерство освіти і науки України  
Національний університет «Одеська морська академія»  
Навчально-науковий інститут інженерії  
Кафедра безпеки життєдіяльності та захисту довкілля

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Завідувач випускової кафедри

(підпис, вчене звання, П.І.Б.)  
« 10 » \_\_\_\_\_ 2025 р.

**ЗАВДАННЯ**  
**на виконання дипломної роботи магістра**

Курсант (студент) ННІ: Дадукін Максим Борисович

1. Тема дипломної роботи: Управління процесами очищення суднових нафтовмісних вод.

Затверджена наказом ректора НУ ОМА № 1414 від 24 листопада 2025 р.

2. Об'єкт дослідження: Процес очищення нафтовмісних вод на борту морських суден.

3. Предмет дослідження: Методи, алгоритми та технічні засоби управління процесами очищення суднових нафтовмісних вод.

4. Обсяг пояснювальної записки: 70-90 сторінок

5. Структура пояснювальної дипломної роботи: Огляд нормативно-технічних підходів до запобігання нафтовому забрудненню морського середовища суднами, Загальна методика наукового дослідження, Сучасний стан і тенденції розвитку технологій очищення нафтовмісних вод на суднах, Технологічні аспекти управління та сепарації нафтовмісних трюмних вод на суднах.

6. Зміст основної частини пояснювальної записки (перелік питань, що підлягають розробці): Вимоги до сепараторів льяних вод, Дослідження сучасних методів утилізації нафтовмісних вод, Сепаратор льяних вод та його функціональність, Дослідження впливу судноплавства на забруднення морських акваторій льяними водами, Визначення ризику скидання трюмних вод методом Монте-Карло, Аналіз і порівняння систем контролю нафтовмісних вод на суднах: ODME та OSM.

7. Перелік графічного матеріалу: Схематичне зображення джерел забруднення льяльних вод, Методи сепарації льяних і нафтових вод, Фактори, які впливають на ефективність використання СЛВ, Блок-схема моделі визначення ризику скидання льяльних вод, Очікувана кількість льяних вод, Результати аналізу проб льяльних вод, Типи суднових установок очищення нафтовмісних вод, Принципова схема СЛВ, Загальна схема роботи OSM, Діаграма роботи ODME.

## РЕФЕРАТ

Дипломна робота магістра на тему: «Управління процесами очищення суднових нафтовмісних вод»: 73 с., 25 рис., 11 табл., 33 джерела, 13 слайдів презентаційного матеріалу.

Магістерське наукове дослідження спрямоване на розв'язання науково-прикладного завдання – підвищення ефективності управління процесами очищення суднових нафтовмісних вод шляхом удосконалення систем контролю та математичного моделювання параметрів їх роботи.

Висунута та підтверджена наукова гіпотеза про те, що Експериментальне визначення обсягів трюмних вод у поєднанні з моделюванням Монте-Карло підвищує точність прогнозу їх накопичення, що потенційно дозволяє оптимізувати процес очищення і зменшити екологічні ризики.

Встановлено, що експериментальне визначення обсягів трюмних вод та їх прогнозування за допомогою методу Монте-Карло дозволяє оцінювати екологічні ризики скидання стічних вод у прибережні зони. Аналіз проб лляльних вод виявив значне багатократне перевищення граничних значень за ключовими показниками, що підтверджує високий токсичний вплив на морське середовище.

Доведено, що застосування сучасних систем контролю та сепарації (ODME та ОСМ) разом із математичним моделюванням забезпечує ефективне управління очищенням нафтовмісних вод, підвищує надійність очисного обладнання, гарантує дотримання міжнародних екологічних стандартів і зменшує екологічні ризики для прибережних зон.

СЕПАРАТОР ЛЛЯЛЬНИХ ВОД, ОБРОБКА НАФТОВМІСНИХ СУМІШЕЙ, МЕТОДИ ОЧИЩЕННЯ, МЕТОД МОНТЕ-КАРЛО, ПРОГНОЗУВАННЯ ОБСЯГУ ЛЛЯЛЬНОЇ ВОДИ, СИМУЛЯЦІЇ, ЕМУЛЬСІЇ НАФТИ, ЗАБРУДНЮВАЧІ МОРСЬКОЇ ВОДИ, АНТРОПОГЕННІ РЕЧОВИНИ

## ABSTRACT

Master's thesis titled "Management of ship oily water treatment processes": 73 pages, 25 figures, 11 tables, 33 sources, and 13 presentation slides.

The master's research is aimed at solving an applied scientific problem – improving the efficiency of managing ship oily water treatment processes through the enhancement of control systems and mathematical modeling of their operational parameters.

A scientific hypothesis has been proposed and confirmed that experimental determination of bilge water volumes combined with Monte-Carlo simulation increases the accuracy of predicting their accumulation, which potentially enables optimization of the treatment process and reduction of ecological risks.

It has been established that experimental determination of bilge water volumes and their forecasting using the Monte-Carlo method makes it possible to assess the environmental risks associated with wastewater discharge into coastal areas. The analysis of bilge water samples revealed significant multiple exceedances of permissible limits for key indicators, confirming the high toxic impact on the marine environment.

It has been proven that the use of modern monitoring and separation systems (ODME and OCM), together with mathematical modeling, ensures effective management of oily water treatment, increases the reliability of purification equipment, guarantees compliance with international environmental standards, and reduces ecological risks for coastal zones.

**BILGE WATER SEPARATOR, OILY MIXTURE TREATMENT, TREATMENT METHODS, MONTE CARLO METHOD, BILGE WATER VOLUME FORECASTING, SIMULATIONS, OIL EMULSIONS, MARINE POLLUTANTS, ANTHROPOGENIC SUBSTANCES**

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК ПРИЙНЯТИХ СКОРОЧЕНЬ.....	8
ВСТУП.....	9
1 ОГЛЯД НОРМАТИВНО-ТЕХНІЧНИХ ПІДХОДІВ ДО ЗАПОБІГАННЯ НАФТОВОМУ ЗАБРУДНЕННЮ МОРСЬКОГО СЕРЕДОВИЩА СУДНАМИ.....	11
1.1 Основні нормативні правила оброблення та скидання нафтовмісних вод.....	12
1.2 Сучасні підходи до утилізації нафтовмісних вод.....	16
1.3 Висновки за розділом 1.....	21
2 ЗАГАЛЬНА МЕТОДИКА НАУКОВОГО ДОСЛІДЖЕННЯ.....	23
2.1 Процес наукового пізнання.....	23
2.2 Методологічні принципи наукових досліджень.....	24
2.3 Обґрунтування мети і завдань дослідження.....	25
2.4 Висновки за розділом 2.....	28
3 СУЧАСНИЙ СТАН І ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ ТЕХНОЛОГІЙ ОЧИЩЕННЯ НАФТОВМІСНИХ ВОД НА СУДНАХ.....	30
3.1 Дослідження впливу судноплавства на забруднення морських акваторій лляльними водами.....	30
3.2 Визначення ризику скидання трюмних вод методом Монте- Карло.....	33
3.3 Визначення складу нафтовмісних вод.....	36
3.4 Типи судових установок очищення нафтовмісних вод.....	45
3.5 Висновки за розділом 3.....	52
4 ТЕХНОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ УПРАВЛІННЯ ТА СЕПАРАЦІЇ НАФТОВМІСНИХ ТРЮМНИХ ВОД НА СУДНАХ.....	53
4.1. Аналіз і порівняння систем контролю нафтовмісних вод на суднах: ODME та OSM.....	53

4.1.1	Технологія очищення нафтовмісних вод на суднах і застосування вимірювача вмісту нафти (ОСМ).....	54
4.1.2	Конструкція та робота ODME для контролю скидання нафтовмісних вод.....	58
4.2	Висновки за розділом 4.....	65
	ВИСНОВКИ.....	67
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....	69

## ПЕРЕЛІК ПРИЙНЯТИХ СКОРОЧЕНЬ

- НВВ – нафтовмісні води
- НФП – нафтопродукти
- НВП – нафтовмісні продукти
- ІМО – міжнародна морська організація
- СЛВ – сепаратор лляльних вод
- МДП – морське дизельне паливо (MDO – Marine Diesel Oil)
- PPM – parts per million (частин на мільйон)
- OWS – oily water separator (сепаратор лляльних вод)
- ODME – oil discharge monitoring equipment (обладнання для моніторингу викиду нафти)
- ODMCS – oil discharge monitoring and control system (система моніторингу та контролю викиду нафти)
- OCM – oil content meter (вимірювач вмісту нафти)
- VTS – vessel traffic services (служба руху суден)
- PRF – port reception facility (портовий приймальний комплекс)
- MEPC – marine environment protection committee (комітет з захисту морського середовища)
- GT – gross tonnage (валовий тоннаж)
- IRD – instantaneous rate of discharge (миттєва швидкість виток)
- GPS – global positioning system (глобальна система позиціонування)
- CCR – cell current regulator (регулятор струму комірки)
- EPU – electro pneumatic unit (електропневматичний блок)
- MARPOL – International Convention for the Prevention of Pollution from Ships (Міжнародна конвенція щодо запобігання забрудненню із суден)
- IOPP – International Oil Pollution Prevention Certificate (Міжнародний сертифікат про запобігання забрудненню нафтою)
- NTU – Nephelometric turbidity unit (нефелометрична одиниця каламутності)

## ВСТУП

На сьогодні понад 80% усього обсягу світової товарної торгівлі здійснюється завдяки морським перевезенням. Сира нафта є одним із найцінніших товарів у світі, і для її транспортування потрібні спеціалізовані судна, відомі як танкери.

За даними ЮНКТАД (Конференція ООН з торгівлі та розвитку), у 2018 році світова торгівля сировою нафтою, нафтопродуктами, газом і хімічними речовинами досягла 3,2 мільярда тонн.

Тенденції у розвитку світового морського флоту відзначаються зростаючим інтересом до використання високорентабельних спеціалізованих суден, оснащених автоматизованими системами управління енергією та вантажопідйому. Із збільшенням технічної складності суднового обладнання пов'язане підвищення загальної вартості суден і, як наслідок, зростання вимог до економічної ефективності їхньої експлуатації.

Зменшення витрат на технічну експлуатацію суден досягається переважно за рахунок впровадження автоматизованих систем і використання високоефективних двигунів. Під час проектування нових суден слід враховувати оптимальне поєднання будівництва нових суден та модернізації вже існуючих. Це створює підґрунтя для широкого впровадження передових технологій, сприяючи науково-технічному прогресу та вдосконаленню технічних систем і автоматизації виробничих процесів.

У сучасному світі, де питання екології та збереження навколишнього середовища набувають все більшого значення, необхідно активно шукати та впроваджувати нові технології та інноваційні рішення для зменшення впливу експлуатації суден на природні екосистеми. У цьому контексті особливою актуальністю наділяється тема сепарації лляльних вод, а саме розробка та вдосконалення СЛВ.

Відповідно до існуючих проблем, пов'язаних зі збереженням морського середовища та екології, суднові сепаратори лляльних вод стають ключовим

інструментом для забезпечення ефективного очищення водних мас від нафтопродуктів та інших шкідливих речовин, що потрапляють у море в результаті різноманітних технологічних та природних процесів.

Наслідки, що виникають у зв'язку з процесом сепарації лляльних вод, не лише становлять загрозу для морського середовища, але також мають серйозний вплив на здоров'я людей, біорізноманіття та якість життя морських організмів.

# 1 ОГЛЯД НОРМАТИВНО-ТЕХНІЧНИХ ПІДХОДІВ ДО ЗАПОБІГАННЯ НАФТОВОМУ ЗАБРУДНЕННЮ МОРСЬКОГО СЕРЕДОВИЩА СУДНАМИ

Однією з глобальних екологічних проблем є забруднення океанів нафтою та нафтовими продуктами [33, с. 28].

Базовим міжнародним документом, що регулює запобігання нафтовому забрудненню з суден, є Конвенція MARPOL 73/78 (Додаток I). Вона визначає загальні критерії прийнятності скидів, включно з відомим нормативом 15 ppm для стічних вод із машинних відділень, що відводяться через відділювачі мастила та води. Саме ці обмеження істотно знизили нафтове забруднення морів і океанів.

Шляхом використання спеціальних технологій та обладнання з очищення вод, що містять нафту, а в деяких випадках за рахунок повної відмови від скидання цих вод, можливо мінімізувати або повністю уникнути забруднення водного середовища [8].

Ключові технічні параметри до обладнання (відділювачі мастила та води, 15-ppm монітори/сигналізатори, вимоги до схвалення типу обладнання та експлуатаційної документації) закріплено в Резолюції МЕРС.107(49), яка замінила МЕРС.60(33). Документ регламентує випробування, встановлення, маркування, наявність сертифікатів типового схвалення та ведення документації на борту.

Окремі національні та відомчі керівництва детально описують контроль відповідності 15-ppm сигналізації (опломбування, реєстрація подій, звіряння з Oil Record Book під час перевірок та продовження IOPP сертифіката), що підтверджує практичну імплементацію вимог MARPOL.

## 1.1 Основні нормативні правила оброблення та скидання нафтовмісних вод

Положення Додатку I Конвенції, за відсутності спеціально встановлених винятків, поширюються на всі типи морських суден. У змісті цього додатку акцентовано увагу на вимогах до конструктивного виконання, обладнання та технологічних систем судна, що забезпечують недопущення надходження нафти до морського середовища, а також на регламентації процесів очищення лляльних вод і управління нафтовмісними відходами.

Головними заходами, що забезпечують запобігання забрудненню морського середовища нафтою, є встановлення [3]:

- обмежень на скидання нафти;
- планування дій на випадок аварій, що пов'язані із розливами нафти;
- вимог до конструкції суден, які використовують нафтове паливо або перевозять нафту;
- вимог до відповідного суднового обладнання;
- вимог до документування судових операцій з нафтою, а також
- вимог до сертифікації і контролю суден [8, с. 11].

Конвенція передбачає запровадження обов'язкових заходів для запобігання забрудненню морів нафтою в окремих районах Світового океану, які називаються «особливими районами». Через специфічні екологічні та судноплавні умови в цих зонах діють найсуворіші вимоги до скидання нафти та нафтовмісних сумішей. Особливі райони за Додатком I Конвенції перераховані в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Особливі райони за Додатком I Конвенції MARPOL 73/78 [8]

Особливий район*	Прийнято	Набуття чинності	Набуття чинності за фактом
- Середземне море з затоками і морями, що знаходяться в ньому;	02.11.1973	02.10.1983	02.10.1983
- Балтійське море з Ботницькою та Фінською затоками та з проходом у Балтійське море біля мису Скаген у протоці Скагеррак;	02.11.1973	02.10.1983	02.10.1983
- Чорне море, обмежене з боку Середземного моря паралеллю 41° північної широти;	02.11.1973	02.10.1983	02.10.1983
- Червоне море з Суецьким та Акабським затоками;	02.11.1973	02.10.1983	01.01.2025
- район Заток - морський район, розташований на північний захід від прямої лінії, що проходить між Рас-Ель-Хадд та Рас-ель-Фасте;	02.11.1973	02.10.1983	01.08.2008
- Аденська затока - його частина між Червоним морем та Аравійським морем;	01.12.1987	01.04.1989	01.01.2025
- Район Антарктики;	16.11.1990	17.03.1992	17.03.1992
- води Північно-Західної Європи включають Північне море та підходи до нього, Ірландське море та підходи до нього, Кельтське море, протоку Ла-Манш та підходи до нього, а також ділянку північно-східної частини Атлантичного океану безпосередньо на захід від Ірландії;	25.09.1997	01.02.1999	01.08.1999
- Оманський район Аравійського моря;	15.10.2004	01.01.2007	-----
- Південні води Південної Африки.	13.10.2006	01.03.2008	01.08.2008
*) Координати особливих районів для цілей Додатку I Конвенції визначені в Правилі 1/11			

Правило 15 – «Обмеження скидання нафти» (табл. 1.2) регламентує заборону та умови скидання нафти і нафтовмісних сумішей із машинних приміщень усіх типів суден як у межах, так і поза межами особливих районів, а також в арктичних водах.

Таблиця 1.2 – Умови скидання нафти з машинних приміщень всіх суден [8]

Район скидання	Вимоги
Скидання за межами особливих районів, крім арктичних вод та Скидання в особливих районах	Скидання забороняється, окрім випадків, коли дотримуються всі наступні умови*: 1) Судно перебуває в дорозі; 2) Нафтовмісна суміш оброблена в устаткуванні для фільтрації нафти, що відповідає вимогам Правила 14 Додатка I; 3) Вміст нафти в стоку без розведення не перевищує 15 ppm; 4) На нафтових танкерах нафтовмісна суміш не походить з лляля відділення вантажних насосів; 5) Нафтовмісна суміш не змішана із залишками вантажу нафти; 6) Суміш не містить небезпечних для морського середовища хімічних речовин або тих, що використовуються для обходу умов скидання нафти.
Скидання в районі Антарктики	Скидання нафти або нафтовмісних сумішей з будь-якого судна суворо заборонено.
*) Для суден валовою місткістю менш ніж 400, зокрема, дозволяється зберігати нафтовмісні суміші на борту для подальшого скидання на приймальні споруди	

Всі операції з перекачування нафти, видалення шламу та лляльних вод, спалювання нафтових відходів та скидання через СЛВ повинні фіксуватися у Журналі нафтових операцій (Oil Record Book) Частина I. Що стосується вантажних і баластних операцій, усі завантаження та вивантаження нафтового вантажу, внутрішні перекачування, прийом баласту у вантажні танки, скидання води із зачисних танків (slop tanks) та утилізація нафтових залишків відображаються у Журналі нафтових операцій Частина II.

Скидання нафти з вантажного району танкерів регулюється Правилем 34 – Обмеження скидання нафти [3], вимоги якого наведені в таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 – Умови скидання нафти з вантажного району танкерів [8]

Скидання особливих районів, крім арктичних вод поза районів,	Скидання дозволяється при одночасному дотриманні всіх наступних умов*: 1. Танкер перебуває поза особливим районом. 2. Танкер знаходиться на відстані понад 50 морських миль від найближчого берега. 3. Танкер перебуває в дорозі. 4. Миттєва інтенсивність скидання нафти не перевищує 30 літрів на морську милю. 5. Загальна кількість скинутої нафти з танкерів, поставлених після 31 грудня 1979 року, не перевищує 1/30000 загальної кількості вантажу, з якого утворився залишок. 6. Танкер оснащений системою автоматичного вимірювання, реєстрації і керування скиданням нафти (САВРІКС/ODMCS/ODME) і системою відстійних танків.
Скидання в особливих районах	Забороняється будь-яке скидання в море нафти або нафтовмісних сумішей з вантажного району будь-якого нафтового танкера.
*) Для танкерів валовою місткістю <b>менше 150</b> зокрема дозволяється зберігати нафтовмісні суміші на борту для подальшого скидання на приймальні споруди	

Відповідно до Правила 34/2 вимоги, наведені в таблиці 3.3, не застосовуються до скидання чистого або ізольованого баласту.

Винятки з обмежень на скидання нафти, передбачені Правилами 15 і 34 Додатка I Конвенції та пунктом 1.1.1 частини II-A Полярного кодексу, регулюються Правилем 4 – «Винятки». Згідно з цим правилом, обмеження, наведені в таблицях 1.2 і 1.3, не застосовуються у наступних випадках [3]:

1. Коли скидання необхідне для забезпечення безпеки судна або порятунку людського життя.

2. У разі пошкодження судна, якщо були вжиті всі можливі заходи для мінімізації шкоди, за умови, що інцидент не є результатом умисних чи безвідповідальних дій власника або капітана.

3. Для зменшення наслідків забруднення за схваленням Адміністрації і за умови, що таке скидання погоджено урядом прибережної держави [8, с. 15].

## 1.2 Сучасні підходи до утилізації нафтовмісних вод

Нафтові відходи та відпрацьовані масла є побічними продуктами експлуатації морських суден, які щорічно утворюють мільйони тон таких відходів. Нафтовмісна трюмна вода – це суміш води, нафтових рідин, мастил і мастила, рідин для чищення та інших відходів, які накопичуються в нижній частині судна з різних джерел. Головними джерелами компонентів, що утворюють основу системи живлення судна, які в кінцевому підсумку потрапляють до загальних резервуарів і баків, є:

- конденсати від систем охолодження головного та допоміжного двигунів;
- конденсати від пускового та допоміжного компресорів подачі стисненого повітря;
- конденсати від системи палубних підігрівачів;
- дистилат від рефрижераторних установок та компресорних установок, що обслуговують системи кондиціонування;
- конденсат від систем підігріву нафтових танків (сепараторний танк, танк для інсинератора тощо);
- протікання трубопроводів та судових допоміжних механізмів, зокрема: забортної води, паливної, мастильної та парової систем;
- відпрацьована вода з продуктами легкої хімії після збирання чи чищення розмивом палуб машинного відділення та піддонів судових допоміжних механізмів;
- продукти промивання або чищення розмивом, палуби, палубних механізмів, технологічної апаратури та допоміжного обладнання;
- проточна вода для особистої гігієни працівників машинного відділення великих багатотоннажних суден;
- відведення дощової води із судових димоходів у разі відсутності окремих ліній їх скидання;
- продукти миття вантажних трюмів або танків, що збираються в окремому, так званому SLOP-танці;

- продукти розливів нафтопродуктів при бункеруванні або при вантажно-розвантажувальних операціях, що збираються в окремому SLOP-танку;
- злив із носових, кормових та центральних суднових колодязів та гатерсів [5].

Джерела забруднення лляними водами проілюстровано схематично на рисунку 1.1.

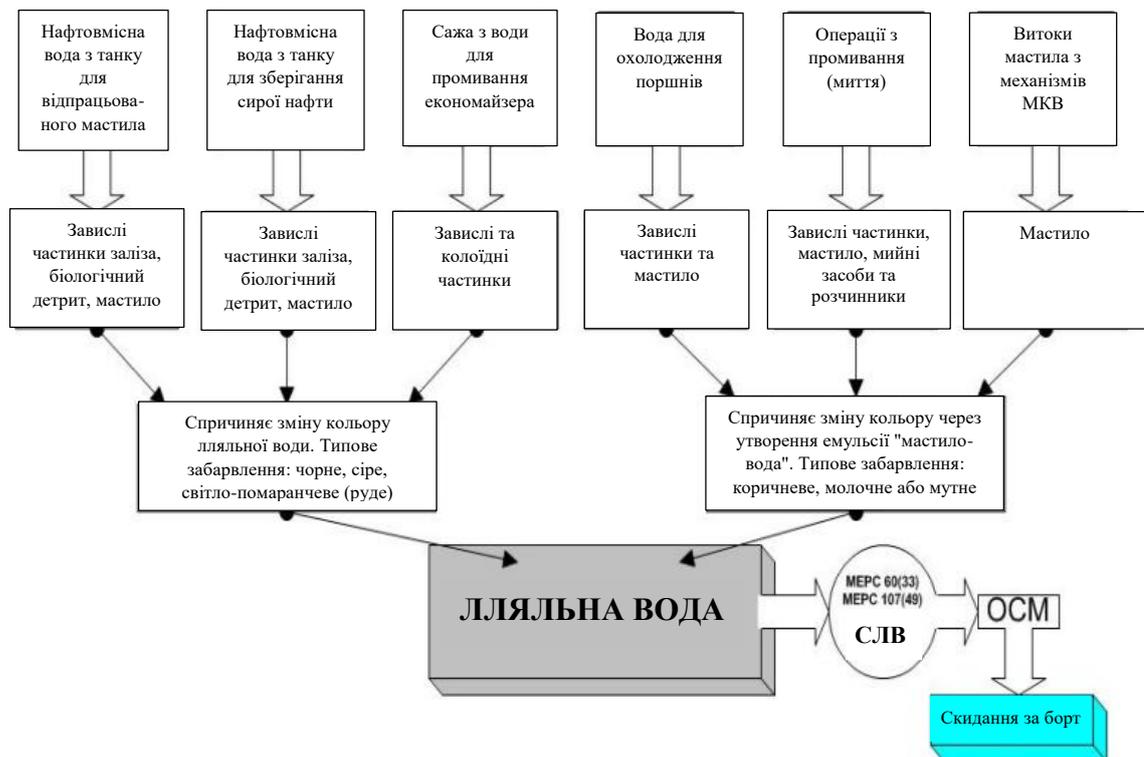


Рисунок 1.1 – Схематичне зображення джерел забруднення лляльних вод [15]

Трюмні води відкачуються й переміщуються до накопичувального резервуара для подальшої обробки. Їх можна зберігати на борту і потім скидати на берег або сепарувати за допомогою сепаратора лляльних вод [24, с. 11]. СЛВ - це системи очищення, які видаляють нафту з трюмних вод перед їх скиданням. Технології сепараторів трюмних вод вдосконалились в останні роки, щоб підвищити ефективність очищення трюмних вод із вмістом нафти.

Загалом, на кожному судні водотоннажністю понад 400 рег. тонн буде встановлено схвалений СЛВ на випускному трубопроводі між трюмною водою та забортною частиною (рис. 1.2). Трюмна вода прокачується через СЛВ, де нафта видаляється перед скиданням за борт.

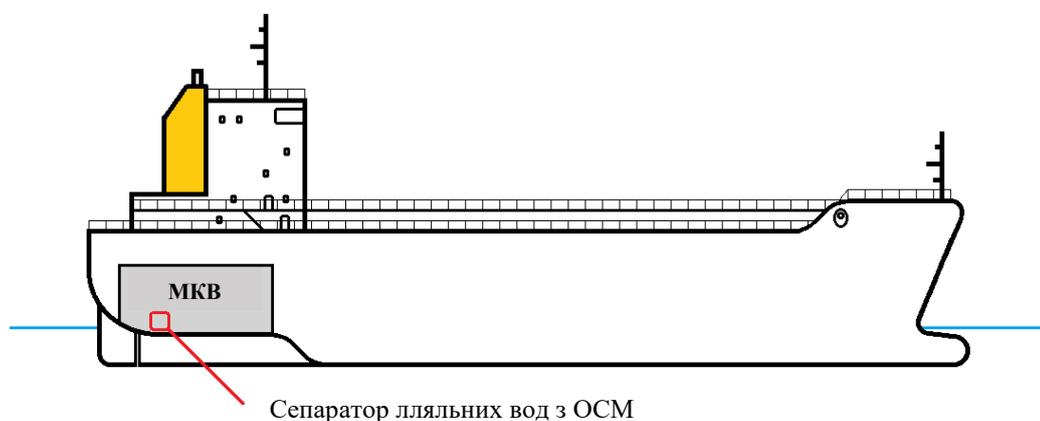


Рисунок 1.2 – Місце розміщення СЛВ на судні [18]

Чинні правила щодо скидання нафтопродуктів трюмних вод із суден базуються на Додатку I Міжнародної конвенції про запобігання забрудненню з суден 1973 року зі змінами, внесеними Протоколом 1978 року (MARPOL 73/78). Відповідно до MARPOL за правилом 14 «Обладнання для фільтрації нафти», усі судна валовою місткістю понад 400 р. т. повинні мати на борту встановлене обладнання, яке обмежує скидання нафти в океан до 15 частин на мільйон, коли судно в дорозі. В ряді особливих районів світового океану скидання нафти за борт взагалі заборонено.

Усі судна понад 400 р.т. також повинні здійснювати контроль вмісту нафти, мати трюмну сигналізацію, інтегровану в систему трубопроводів, щоб визначити, чи відповідає очищена лляльна вода, яка скидається з СЛВ, вимогам до скидання [3].

Очищення нафтовмісних вод (НВВ) на морському транспорті вважається одним з пріоритетних екологічних завдань, оскільки нафта та нафтопродукти є найбільш поширеними антропогенними забруднювачами, що негативно впливають на стан морських екосистем.

Основні принципи функціонування технологічних схем сепарації СЛВ безпосередньо визначаються робочими процесами, застосовуваними для поділу їх складових компонентів. В ході досліджень була розроблена загальна класифікація існуючих методів сепарації [9, с. 2]. Вона показана на рисунку 1.3, де видно, що всі судові схеми обробки СЛВ базуються на дванадцяти технологіях, що відрізняються між собою.

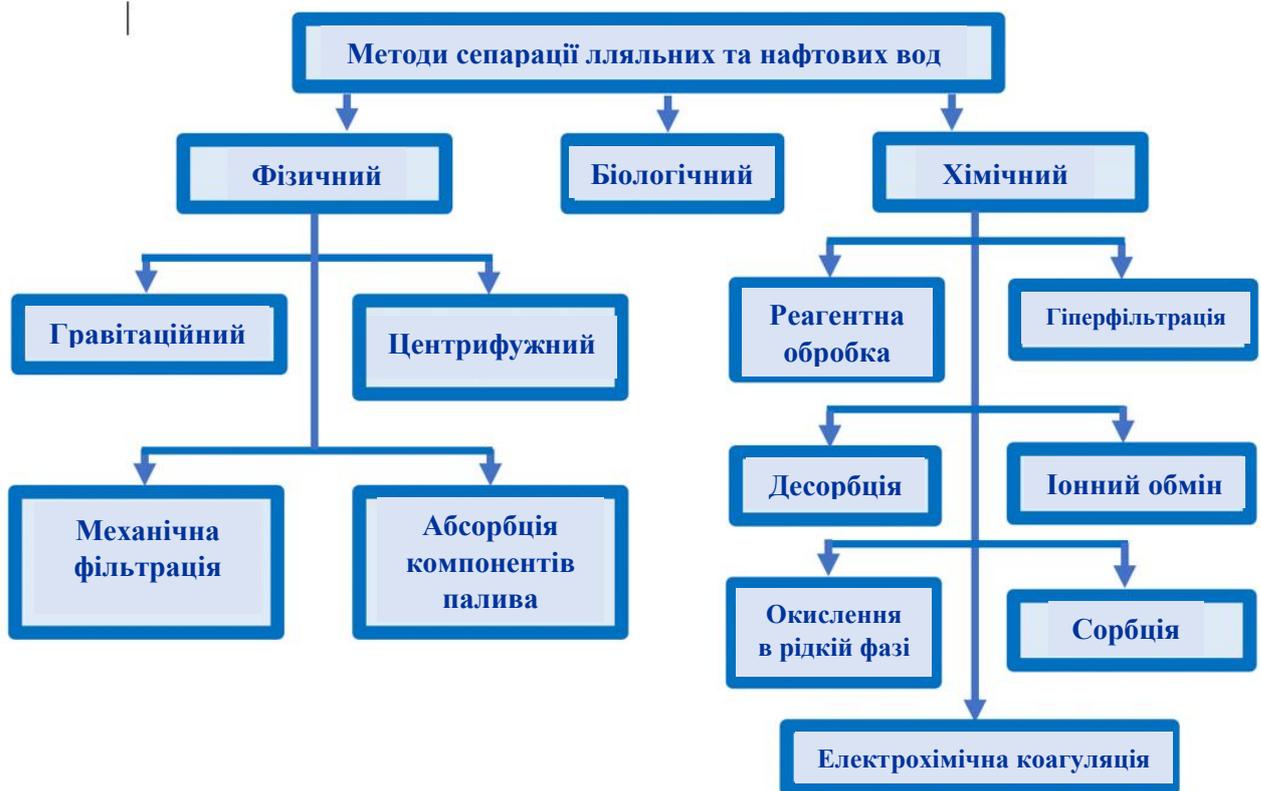


Рисунок 1.3 – Методи сепарації лляних і нафтових вод [9, с. 3]

При проведенні процесів хімічної сепарації скидних лляних вод використовуються різні хімічні реагенти в поєднанні з електрохімічним окисленням потоку, що піддається обробці. Біологічний метод сепарації скидних лляних вод передбачає використання специфічних мікроорганізмів, які під час свого життєвого циклу руйнують складові компоненти нафтохімічних продуктів.

Технологія очистки будь-якого СЛВ складається з трьох основних блоків. Несправність чи неефективна робота будь-якого з цих сегментів може призвести до поганих результатів та неефективного використання всієї технології. Сегментація технології СЛВ представлена наступним чином (рис. 1.4):



Рисунок 1.4 – Загальна структура конструкції СЛВ [24]

Ефективність експлуатації технології СЛВ визначається не лише його технічними характеристиками, а й комплексом із шести взаємозалежних факторів, які потребують системного управління. Як ілюструє рисунок 1.5, ці фактори поділяються на три основні категорії: конструкційні (дизайн обладнання), операційні (процедури та обслуговування) та людські (кваліфікація екіпажу та фінансові аспекти).

Ключовим висновком цього сегменту є те, що несправність або неефективна робота навіть одного з цих блоків (наприклад, низький рівень підготовки екіпажу чи застарілі операційні процедури) критично позначається на загальній результативності. Таким чином, для досягнення оптимальних показників необхідно забезпечити належну взаємодію та високий рівень усіх шести груп факторів: від проектування обладнання та обслуговування до кваліфікації персоналу та фінансового забезпечення.



Рисунок 1.5 – Фактори, які впливають на ефективність використання СЛВ [24]

### 1.3 Висновки за розділом 1

1. Міжнародне регулювання запобігання нафтовому забрудненню морського середовища базується на положеннях Додатка I Конвенції MARPOL 73/78, що встановлюють нормативну концентрацію нафти у лляльних водах на рівні не більше 15 ppm.

2. Впровадження сертифікованих систем очищення лляльних вод (СЛВ) у поєднанні з нормативними вимогами MARPOL демонструє суттєве зниження техногенного навантаження на морські екосистеми.

3. Лляльні води мають полікомпонентний склад та численні джерела утворення, що обумовлює необхідність використання багатоступневих технологічних схем сепарації для ефективного видалення нафтовмісних компонентів.

4. Ефективність функціонування СЛВ визначається не лише конструктивними та технічними характеристиками обладнання, а й рівнем

кваліфікації екіпажу, дотриманням експлуатаційних процедур та регулярним технічним обслуговуванням.

5. Систематичний контроль і документування операцій зі скидання (Oil Record Book, IOPP-сертифікат, 15-ppm сигналізація) забезпечують дотримання міжнародних екологічних стандартів та підвищують прозорість управління нафтовмісними водами на судні.

6. Комплексний інтегрований підхід, що поєднує технічні, організаційні та управлінські заходи, є критично необхідним для забезпечення екологічної безпеки судноплавства та мінімізації негативного впливу нафтовмісних вод на морські екосистеми.

## 2 ЗАГАЛЬНА МЕТОДИКА НАУКОВОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

### 2.1 Процес наукового пізнання

Наукове пізнання бере свій початок із процесу спостереження навколишньої реальності, що охоплює природні явища, технічні об'єкти, технологічні процеси та інші прояви об'єктивного світу. Структура процесу наукового пізнання передбачає щонайменше п'ять послідовних етапів: спостереження, вивчення, дослідження, апробацію та підтвердження. На початковій стадії – етапі спостереження – дослідник здійснює накопичення емпіричного матеріалу про явища та процеси без прямого впливу на них. Спершу формується загальне уявлення щодо пізнаваності об'єкта, після чого здійснюється класифікація та групування фактів за певними сутнісними критеріями. Подальший аналіз передбачає виокремлення серед них проблемних фактів, тобто таких, що залишаються незрозумілими або недостатньо очевидними.

Етап вивчення передбачає визначення наукової проблеми або завдання, що є найбільш актуальними, принциповими та своєчасними для розв'язання в рамках подальших досліджень. У цей період першочерговим є формування плану дослідження та його систематизація відповідно до визначеного наукового напрямку.

Об'єктом наукового дослідження виступає певний процес, явище, матеріальна або ідеальна система, тоді як предметом дослідження є внутрішні параметри та структурні характеристики цієї системи.

Основне завдання дослідження полягає у встановленні умов досягнення поставленої мети шляхом отримання нових наукових результатів, що є підсумком розв'язання комплексу допоміжних завдань. Формулювання головного завдання здійснюється виходячи з необхідності доведення реальності передбачуваної наукової новизни. Остання може проявлятися у вигляді нової

гіпотези, ідеї, закономірності або наукового положення, що визначає напрями реалізації дослідницької мети.

Розв'язання основного завдання передбачає його поділ на низку самостійних допоміжних завдань, результати яких мають елементи наукової новизни. Здобуті на цьому етапі результати слугують підґрунтям для аргументованого доведення передбачуваної новизни всього дослідження.

Наукове дослідження слід розглядати як процес продукування нових знань і як одну з форм пізнавальної діяльності людини. Його ключовими ознаками виступають об'єктивність, відтворюваність, доказовість та точність, що можуть інтерпретуватися по-різному залежно від специфіки конкретної галузі науки.

Стадія апробації передбачає фахове обговорення мети, методологічних засад і результатів дослідження на різних наукових рівнях: у рамках науково-технічних семінарів, конференцій, симпозіумів, засідань координаційних і наукових рад тощо.

Етап підтвердження передбачає завершення процедур апробації та подальшу публікацію результатів у вигляді сформульованих наукових положень і висновків, що ґрунтуються на критичній оцінці їхніх переваг і недоліків відповідно до вимог академічної практики.

Одним із ключових елементів підтвердження виступає впровадження, під яким розуміють практичну реалізацію нових конструктивних рішень, сучасних матеріалів та інноваційних технологій із застосуванням удосконалених механізмів, пристроїв та інших технічних засобів.

## 2.2 Методологічні принципи наукових досліджень

З філософської позиції методологія розглядається як вчення про закономірності формування пізнання та трансформації об'єктивної реальності, що передбачає застосування принципів світоглядної системи до процесів пізнавальної діяльності, духовної творчості та практичної діяльності людини.

Під методом у науковому розумінні слід розуміти впорядковану послідовність дій, спрямованих на досягнення визначеної мети або розв'язання конкретного завдання. Метод постає як сукупність прийомів, способів та операцій, що застосовуються у процесі практичного чи теоретичного пізнання об'єктивної дійсності.

Розпочинаючи науковий пошук, доцільно здійснити розроблення технологічної карти дослідження (рис. 2.1), яка відображає алгоритм організації та послідовність проведення дослідницької роботи.

### 2.3 Обґрунтування мети і завдань дослідження

Проведення досліджень у сфері експлуатації суднового обладнання, призначеного для очищення вод, що містять нафту, є важливим завданням як на національному, так і на міжнародному рівні. Актуальність тематики підтверджується положеннями Транспортної стратегії України на період до 2030 року, де серед пріоритетних напрямів розвитку визначено забезпечення екологічної безпеки судноплавства, підвищення енергоефективності та впровадження сучасних технологій, здатних знизити негативний вплив на морське середовище.

Крім того, дослідження повністю узгоджується з міжнародними екологічними нормами, зокрема положеннями Міжнародної конвенції MARPOL 73/78 та резолюціями Комітету із захисту морського середовища (MEPC), які встановлюють гранично допустимий вміст нафтопродуктів у скидних водах та регламентують вимоги до конструкції й технічного обслуговування сепараторів лляльних вод. Виконання цих вимог безпосередньо пов'язане з підвищенням рівня екологічної та експлуатаційної надійності суден.

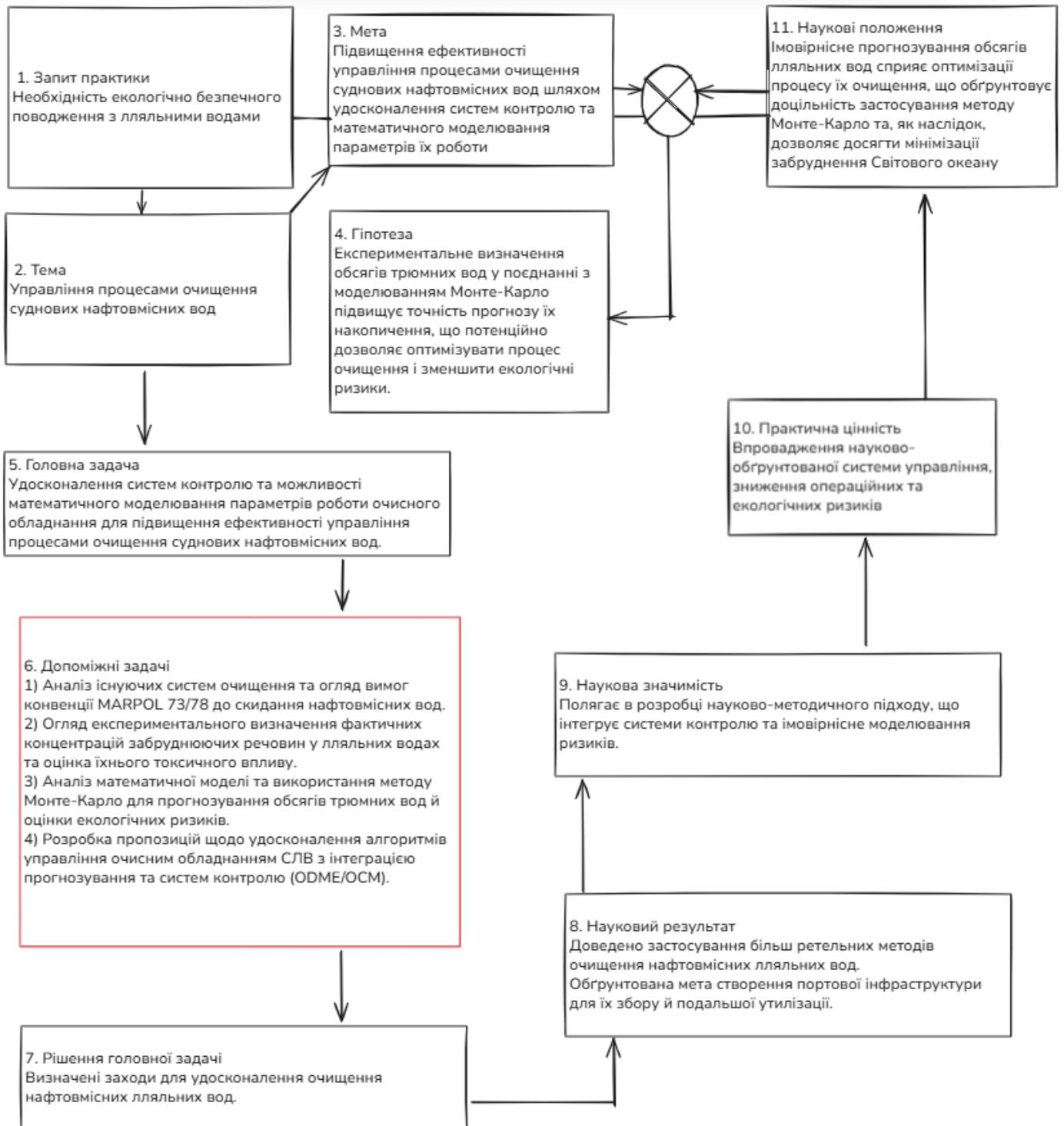


Рисунок 2.1 – Технологічна карта наукового дослідження

У даному дослідженні об'єктом виступає процес очищення нафтовмісних вод на борту морських суден. Предметом дослідження є методи, алгоритми та технічні засоби управління процесами очищення суднових нафтовмісних вод.

Метою роботи визначено підвищення ефективності роботи суднового обладнання для очищення нафтовмісних вод шляхом удосконалення систем управління його функціонуванням, що дозволить досягти необхідного рівня очищення відповідно до міжнародних норм та знизити екологічні ризики.

Гіпотеза дослідження полягає у твердженні, що оптимізувати процес очищення і зменшити екологічні ризики можливо за рахунок експериментального визначення обсягів трюмних вод їх прогнозуванням з використанням методу Монте-Карло.

Головне завдання дослідження – удосконалення систем контролю та можливості математичного моделювання параметрів роботи очисного обладнання для підвищення ефективності управління процесами очищення суднових нафтовмісних вод.

Для досягнення головного завдання необхідно вирішити такі допоміжні завдання:

1. Проведення комплексного аналізу сучасних технологій очищення нафтовмісних вод та систематизація нормативно-правових вимог Конвенції MARPOL 73/78 щодо параметрів і умов їх скидання у морське середовище.

2. Узагальнення методик експериментального визначення фактичних концентрацій забруднювальних речовин у лляльних водах та наукова оцінка рівня їх токсикологічного впливу на компоненти морської екосистеми.

3. Дослідження математичної моделі формування обсягів трюмних вод і обґрунтування застосування методу Монте-Карло для ймовірнісного прогнозування їх кількісних характеристик та оцінювання пов'язаних із ними екологічних ризиків.

4. Розроблення науково обґрунтованих рекомендацій щодо модернізації алгоритмів функціонування систем очищення лляльних вод із

впровадженням прогнозних моделей та удосконалених засобів автоматизованого контролю (ODME/OSM).

Таким чином, вирішення поставлених завдань дозволить обґрунтувати науково-практичні підходи до підвищення ефективності експлуатації суднового обладнання, забезпечивши дотримання міжнародних екологічних стандартів і зниження негативного впливу судноплавства на морське середовище.

## 2.4 Висновки за розділом 2

1. На основі аналізу актуальності, наукової новизни та практичної значущості сформульовано тему магістерського дослідження, яка спрямована на пошук шляхів підвищення ефективності експлуатації суднового обладнання для очищення нафтовмісних вод.

Об'єктом дослідження визначено процес очищення нафтовмісних вод на борту морських суден, а предметом – технічний стан та ефективність функціонування обладнання, зокрема сепараторів лляльних вод.

2. Метою наукової роботи є удосконалення управління роботою систем очищення нафтовмісних вод для досягнення нормативних показників відповідно до вимог MARPOL та зменшення екологічних ризиків.

3. Основне завдання дослідження полягає у визначенні найбільш ефективних методів контролю та управління функціонуванням обладнання для очищення нафтовмісних вод в умовах експлуатації морського судна.

4. Розв'язання головного завдання здійснюється шляхом послідовного виконання допоміжних завдань: аналіз сучасних технологій очищення нафтовмісних вод та відповідних міжнародних вимог, дослідження фактичного складу лляльних вод і їхнього токсикологічного впливу, моделювання процесів утворення трюмних вод із використанням методу Монте-Карло для оцінки екологічних ризиків, а також розроблення науково обґрунтованих напрямів удосконалення алгоритмів функціонування систем очищення СЛВ із впровадженням прогнозних підходів та автоматизованих засобів контролю.

5. Системний підхід до організації дослідження дозволяє представити замкнений цикл наукової роботи у вигляді технологічної карти, що поєднує етапи спостереження, вивчення, експерименту, апробації та підтвердження результатів, забезпечуючи їхню наукову достовірність та практичну цінність.

### 3 СУЧАСНИЙ СТАН І ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ ТЕХНОЛОГІЙ ОЧИЩЕННЯ НАФТОВМІСНИХ ВОД НА СУДНАХ

#### 3.1 Дослідження впливу судноплавства на забруднення морських акваторій лляними водами

Морське середовище, яке є найбільшою екосистемою на планеті, сьогодні стикається з серйозною проблемою – забрудненням. Морське забруднення визначається як потрапляння у морське середовище речовин антропогенного походження, що завдають шкоди живим ресурсам, негативно впливають на здоров'я людини, перешкоджають морській діяльності, включно з рибальством, погіршують якість морської води та спричиняють зниження ефективності роботи прибережних споруд. Ці забруднювальні речовини змінюють характеристики морських і прибережних зон, впливаючи на біорізноманіття морських екосистем, якість морської води та продуктивність морської екології.

Потрапляючи до морського середовища, такі забруднювачі, як нафта, стічні води, пластик і токсичні хімікати, негативно впливають на морські організми, екосистеми, здоров'я людей і економіку.

Сьогодні спостерігається зростання обсягів транспортування сировини та продукції морським транспортом. У XXI столітті приблизно 80% світової торгівлі здійснюється суднами, що перевозять понад 10 мільярдів тонн вантажів морськими шляхами. Прогнозується, що до 2050 року глобальний морський трафік зросте більш ніж у десять разів. Разом із цим зростає й проблема нафтового забруднення морів. Зокрема, скидання з суден забрудненої лляльної води, яка містить нафту, становить серйозну екологічну загрозу через її токсичність для морських організмів.

Хоча малі об'єми цієї води швидко розбавляються морською водою, висока концентрація нафти, металів та інших компонентів у лляльній воді може викликати токсичний вплив. У її складі містяться як біологічно розкладні речовини (зокрема нафта та мийні засоби, що накопичуються у високих

концентраціях), так і сполуки металів, що становлять загрозу для морських екосистем.

Продукти розкладу нафтопродуктів, бензин і його похідні можуть бути небезпечними для риб, диких тварин і становити загрозу для здоров'я людини. Навіть у невеликих кількостях нафта може призвести до загибелі риб або викликати інші негативні ефекти. Хімічний склад лляльної води може змінюватися щодня – як між різними суднами, так і на одному й тому самому судні.

Через складну хімічну структуру лляльної води її очищення є складним процесом. Найбільш проблемним є утворення емульсій – сумішей нафти та поверхнево-активних речовин, які перешкоджають ефективному розділенню води на дві фази.

Поверхнево-активні речовини є важливими компонентами лляльної води й можуть істотно впливати на біологічну активність морської води. Дослідження показують, що коли концентрація поверхнево-активних речовин у морській воді перевищує 0,1 мг/л, вона стає токсичною для морських організмів.

Судноплавство та морська діяльність загалом є джерелом значного забруднення моря. Звісно, нафта є одним із найважливіших забруднювачів, що утворюються в результаті цієї діяльності, і становить основний внесок у забруднення морського середовища.

Лляльні води, що утворюються під час експлуатації судна, залежать від потужності двигуна, якості його обслуговування, віку судна та кваліфікації екіпажу машинного відділення і можуть досягати до 1 м<sup>3</sup> на добу, тоді як для суден внутрішнього плавання – до 0,3 м<sup>3</sup> на добу [7, с. 227].

На борту великих суден зазвичай накопичуються три категорії нафтовмісних відходів (рис. 3.1).

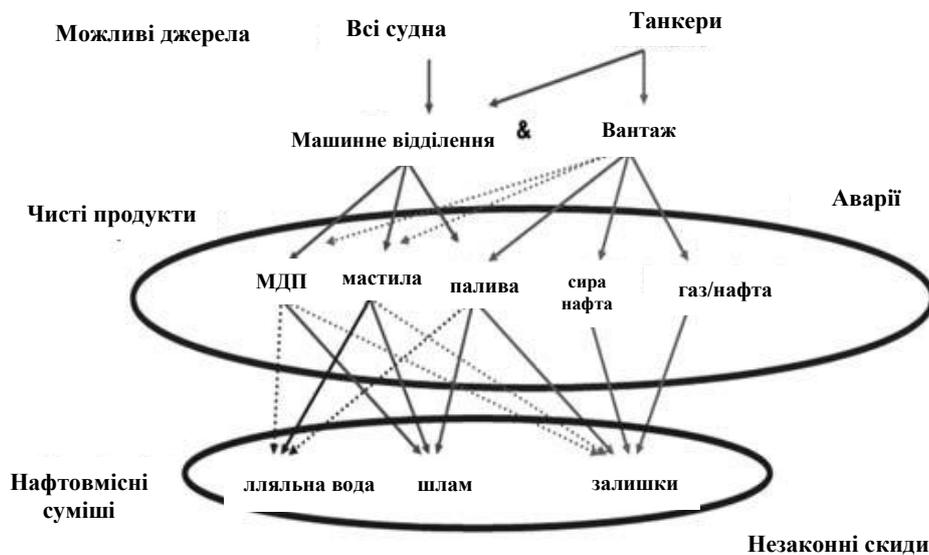


Рисунок 3.1 – Можливі джерела нафтовмісних відходів [12]

Машинні відділення на великих комерційних суднах містять широкий спектр складних систем для руху та живлення судна. Допоміжні системи включають ті, що використовуються для керування паливом, мастилом, очищенням палива та мастил, обслуговуванням забортної води, трюмними та баластними суднами, пожежогасінням та каналізацією. Кожна система містить численні насоси, арматуру, пристрої керування та інші компоненти, а також великі довжини трубопроводів. Всі компоненти спроектовані для запобігання та мінімізації витоків за допомогою механічних ущільнень, прокладок тощо. Утворення відходів відбувається щодня. Це відбувається через те, що машинні відділення на борту судна такі великі, мають дуже довгі трубопроводи, тисячі фітінгів та з'єднань, а також витоків з великої кількості встановлених насосів. Крім того, також існує конденсація з систем охолодження різних видів, таких як повітряне, водяне, випарники тощо. Залежно від типу та розміру суден, назви та розташування резервуарів для нафтовмісних відходів на борту відрізняються.

Трюмна вода, що накопичується на суднах, є гетерогенним відходом, який складається з палива, гідравлічних мастил, розчинників та змащувальних олив, що потрапляють туди через протікання механізмів, а також миючих засобів, що

використовуються під час миття. Щорічний обсяг скидання лляльних вод суднами у світовий океан становить приблизно 16 730 тонн [13].

### 3.2 Визначення ризику скидання трюмних вод методом Монте-Карло

Скидання лляльної води з пасажирських поромів у море створює токсичний ефект для зоопланктону та мікробних спільнот у прилеглих водах. Для зменшення шкідливого впливу лляльної води на екосистему планктону необхідно запобігати подальшому потраплянню поверхнево-активних речовин у море разом із лляльною водою.

Розподіл ризику щодо кількості трюмної води, яку може виробити судно, вперше було визначено за допомогою методу Монте-Карло [13].

За допомогою методу множинної лінійної регресії: значення  $R^2$ , що визначає рівень надійності при оцінці концентрації хлорофілу в прибережних екосистемах, становить 84,8%; значення  $R^2$  для оцінки впливу потужності двигуна на викиди газів судном – 85%; значення  $R^2$  для оцінки важких металів у морських осадах коливалося від 76% до 93%.

Основний принцип методу Монте-Карло полягає у проведенні симуляцій для оцінки ризиків на основі випадково вибраних значень із розподілів ймовірностей вхідних параметрів із невизначеністю. Таким чином, дані, отримані з вхідних параметрів, визначених як розподіли ймовірностей, також набувають форми розподілів ймовірностей і можуть бути оцінені.

Методи лінійної регресії та Монте-Карло, використані разом в цьому дослідженні для розрахунку обсягу лляльної води, можуть застосовуватися для будь-якого регіону, порту або типу судна. Таким чином, за допомогою цього методу можна швидко визначити потреби приймальної установки відходів у майбутньому.

Розподіл ризику щодо обсягу трюмної води, який може виробити судно, визначався за допомогою симуляції Монте-Карло, при цьому оцінений обсяг лляльної води використовувався як залежна змінна, а кількість суден – як незалежна змінна. Діаграма процесу моделі оцінки, що застосовувалася в дослідженні, наведена на рисунку 3.2.

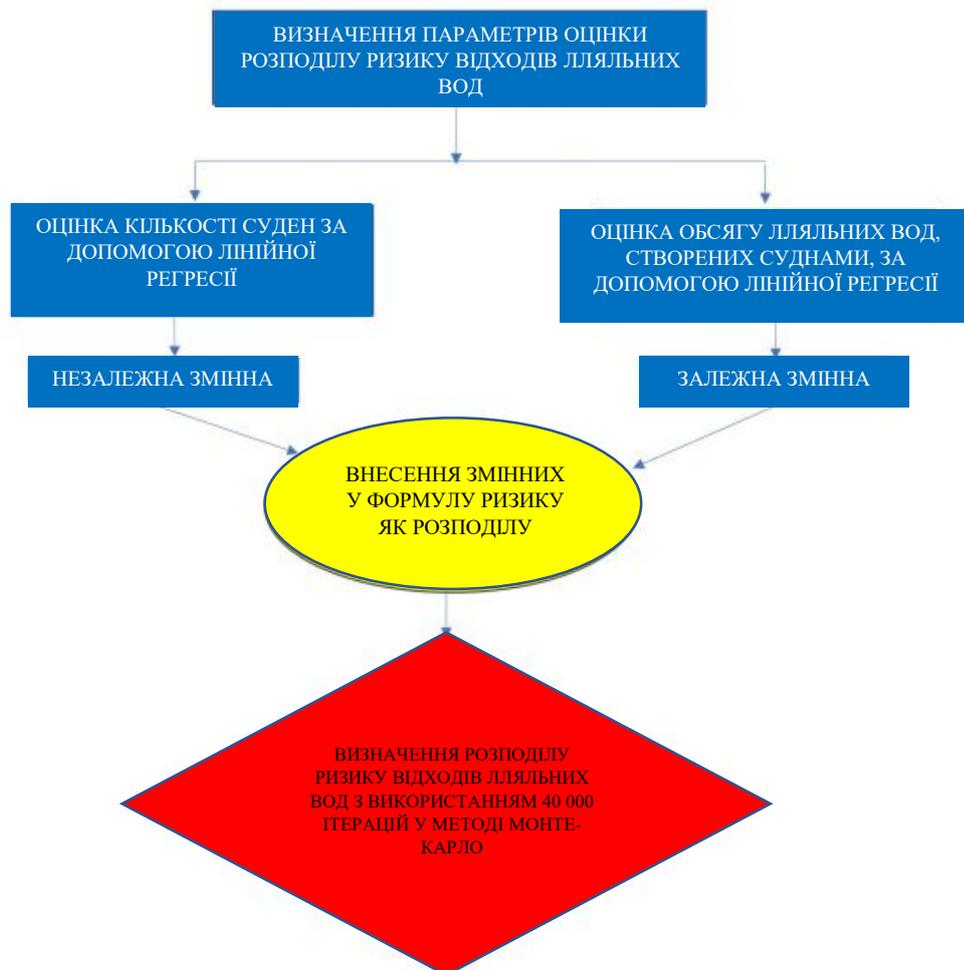


Рисунок 3.2– Блок-схема моделі визначення ризику скидання лляльних вод [13]

За даними, отриманими у дослідженні [13], було проведено регресійний аналіз для вивчення взаємозв'язку між залежною змінною та однією або кількома незалежними змінними. Виконаний регресійний аналіз дозволив визначити залежність між кількістю суден і обсягом виробленої лляльної води як залежними змінними та різними роками як незалежними змінними, оцінити характер цієї залежності та зробити прогнози для залежної змінної на майбутнє.

Дослідження щодо розрахунку обсягу трюмної води, яку може виробити судно, з урахуванням таких факторів, як потужність головних двигунів, вантажопідйомність та тип судна, наведені в таблиці 3.1. Спостерігається, що обсяг трюмної води, розрахований за типом судна та тоннажем, коливається в межах від 0,01 до 50 м<sup>3</sup>.

Рівняння регресії, що використовується для розрахунку обсягу лляльної води:

$$y = 225,07x - 1061,6$$

де:

- «x» – обсяг лляльної води, що змінюється протягом років,
- «y» – оцінена кількість суден за обраним обсягом лляльної води,
- 1061,6 – точка перетину лінії з віссю ординат,
- 225,07 – кут нахилу лінії.

Рівняння регресії, що використовується для розрахунку кількості суден методом лінійної регресії:

$$y = -123,52x + 1814,9$$

де:

- «x» – обсяг трюмної води, що змінюється протягом років,
- «y» – оцінений обсяг трюмної води за обраним обсягом,
- 1814,9 – точка перетину лінії з віссю ординат,
- -123,52 – кут нахилу лінії.

Симуляція Монте-Карло була виконана за допомогою Oracle Crystal Ball, інтегрованого в Microsoft Excel, і прогнози ризику були отримані після 40 000 ітерацій. Рівняння ризику, використане для розрахунку розподілу ризику кількості лляльної води:

$$SBWR = \frac{\sum_{i=1}^n BW_i}{\sum_{i=1}^n S_i}$$

де «SBWR» вказує на розподіл ризику потрапляння лляльних вод у судно, «BW» вказує на розподіл кількості лляльних вод, які можуть утворюватися судном у певному морському районі в найближчі роки, «S» вказує на розподіл кількості суден, які можуть заходити до певного морського району в найближчі роки, а «і» вказує на передбачувану кількість років. В таблиці 3.1 наведені розрахункові значення за рівнянням ризику для найближчих років.

Таблиця 3.1 – Очікувана кількість лляних вод в Анталійській затоці [13]

Рік	2021	2022	2023	2024	2025
Кількість лляної води (м <sup>3</sup> )	1270	1439	1543	1853	1707

Ймовірнісні розподіли для кількості суден та обсягу трюмової води за роками, що були обраховані в [13] наведені в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Прогноз кількості суден, що заходять у залив Анталії, та обсягу лляльної води [13]

Рік	Оцінковий діапазон кількості суден	Оцінковий діапазон річного обсягу трюмової води (м <sup>3</sup> )
2021	883 – 1232,74	196,84 – 2070,98
2022	822,19 – 1259,37	279,49 – 2153,64
2023	457,56 – 967,68	362,14 – 2236,30
2024	354,04 – 972,84	444,78 – 2318,96
2025	309,97 – 982,57	527,42 – 2401,63

### 3.3 Визначення складу нафтовмісних вод

У дослідженні [14] було поставлено за мету оцінити трюмову воду суден з точки зору морського забруднення. Для цього були відібрані зразки трюмової води з двох різних суден в порту Мерсін-Ташуджу, і проведено аналізи таких показників, як рН, колір, загальний азот, загальний фосфор, завислі тверді речовини (ЗТВ), індекс вуглеводневих олій (ІВО), хімічне споживання кисню

(ХСК), біохімічне споживання кисню (БСК) та вміст поверхнево-активних речовин.

Відходи, що накопичувалися у лляльних відсіках суден, були відібрані без проведення будь-якої попередньої обробки. Крім того, для порівняння було взято зразок морської води, який використовувався як референтний (зразковий).

Характеристики суден, з яких були взяті проби лляльних вод, наведені в таблиці 3.3. Судно 1 прибуло з порту Тріполі (Ліван), судно 2 – з порту Янбу Аль-Бахр (Саудівська Аравія). Значення морської води, використаної як еталон у дослідженні, наведені в таблиці 3.4, а результати аналізу лляльних вод із суден – у таблиці 3.5.

Середнє значення рН (кислотність) морської води становить 8,2, але воно може коливатися від 7,5 до 8,5 залежно від місцевих умов. Лляльні води, течії або діяльність людини можуть спричиняти короточасні значні коливання рН, а довгострокові ефекти можуть бути надзвичайно шкідливими для рослин і тварин. рН впливає на хімічні та біохімічні властивості, такі як хімічні реакції, умови рівноваги та біологічна токсичність.

Таблиця 3.3 – Характеристики суден [14]

Характеристика	Судно 1	Судно 2
Місце прибуття	Ліван	Саудівська Аравія
Час перебування	10 годин	20 годин
Загальна довжина	128 м	170 м
Тип	Ro-Ro пасажирське судно	Вантажне судно
Валова місткість	9080	16000
Потужність двигуна	8824 кВт	8258 кВт

Таблиця 3.4 – Результати аналізу проб морської води [14]

Параметр	Одиниця	Результат аналізу
рН	-	8,15
Колір	Pt-Co	7
Загальний азот	мг/л	0,99
Загальний фосфор	мг/л	0,03
Зважені тверді речовини	мг/л	10
Вуглеводневі масла	мг/л	< 0,003
Поверхнево-активні речовини (МА = 318 г/моль)	мг/л	< 0,040
Хімічне споживання кисню	мг/л	43,7
Біохімічне споживання кисню	мг/л	8,23

Таблиця 3.5 – Результати аналізу проб ляльних вод [14]

Параметр	Одиниця	Судно 1	Судно 2
pH	-	7,61	7,14
Колір	Pt-Co	3000	7200
Загальний азот	мг/л	351,6	1625,20
Загальний фосфор	мг/л	0,84	1,84
Зважені тверді речовини	мг/л	472	1812
Вуглеводневі масла	мг/л	110,60	133,80
Поверхнево-активні речовини (МА = 318 г/моль)	мг/л	<0,040	<0,040
Хімічне споживання кисню	мг/л	8870,40	17369,6
Біохімічне споживання кисню	мг/л	1606,40	3881,10

Зразки ляльних вод із суден мали значення pH 7,61 та 7,14 (табл. 3.5). Для чистої морської води pH становив 8,15. У Регламенті контролю забруднення води зазначено, що для стоків, дозволених до скидання в глибокі моря, pH має бути в межах 6–9. Відповідно, значення pH зразків зливних вод знаходяться в нормальному діапазоні.

Колір морської води становив 7 одиниць (табл. 3.4), тоді як значення зразків зливних вод були дуже високими – 3000 та 7200 одиниць (табл. 3.5). Каламутність зливних вод із суден дорівнює 350 та 320 NTU. Фізично колір води залежить від джерела світла, поглинання та розсіювання світла, а також наявності завислих твердих часток у воді. На рисунку 3.3 показано взаємозв'язок кольоровості та завислими твердими речовинами (ЗТР). Вимірювання кольору важливе для контролю, розподілу та скидання стоків у приймаючі води, оскільки дозволяє оцінити якість води. Видимий колір – це колір, виміряний без видалення колоїдних речовин або завислих часток у воді. Ці частки, що спричиняють каламутність, можуть впливати на вимірювання кольору, розсіюючи світло у воді.

Ляльні води можуть містити паливо, гідравлічні та мастильні олії, леткі органічні сполуки, метали, мийні засоби, розчинники для олій та інші хімічні

речовини, що утворюються під час роботи судна. Ці компоненти пояснюють високі значення кольору лляльних вод.

У цьому дослідженні ЗТР у морській воді становив 10 мг/л (табл. 3.4), тоді як у зразках – 472 мг/л та 1812 мг/л (табл. 3.5). Згідно з Регламентом контролю забруднення води, для скидання в глибокі моря ЗТР має бути менше 350 мг/л. Отримані значення зразків зливних вод із суден значно перевищують цей поріг.

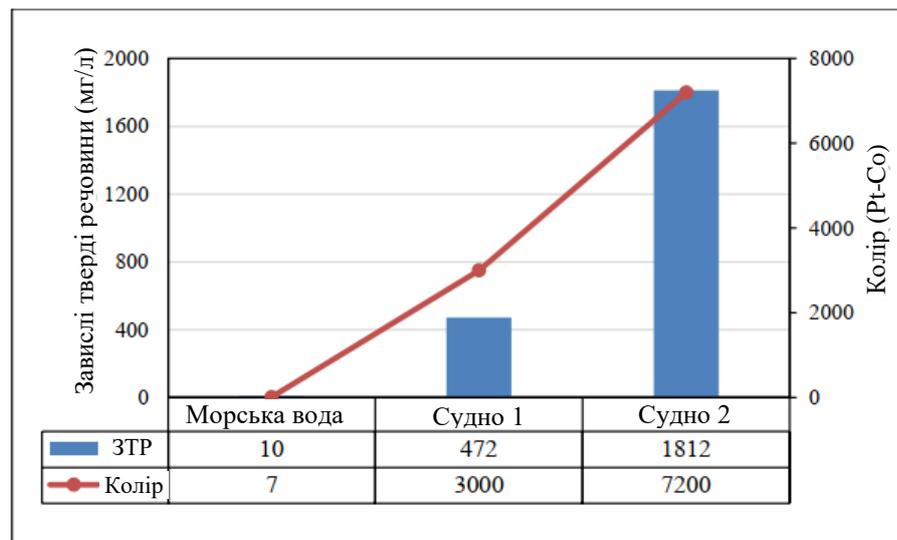


Рисунок 3.3 – Зв'язок кольоровості та вмісту речовини у зразках морської води та лляної води [14]

Речовини, що містяться у стоках у підвішеному або розчиненому стані, називають твердими речовинами. Загальна кількість твердих речовин – це сума фільтруваних та нефільтруваних речовин. Розчинені тверді речовини відносять до фільтруваних, а завислі – до нефільтруваних. Стоки з високим вмістом твердих речовин негативно впливають на приймаюче середовище. Завислі тверді частки зменшують прозорість води, спричиняють накопичення донних відкладень і впливають на життєві умови водних організмів, завдаючи їм шкоди. Зростання концентрації знижує кількість світла для водної рослинності, впливає на транспортування органічних та неорганічних речовин на поверхні та змінює біохімічні процеси. Крім того, ЗТР утримує нерозчинні важкі метали та

мікробабруднювачі на поверхні води, що змінює фізико-хімічні властивості водного середовища.

Зразок чистої морської води, взятий для порівняння, мав загальний вміст азоту (ЗА) 0,99 мг/л (табл. 3.4), тоді як у зразках зливних вод із суден значення становили відповідно 351,6 мг/л та 1625,2 мг/л (табл. 3.5). Азот та азотовмісні речовини мають велике значення для оцінки якості води. Вимірюючи різні органічні та неорганічні азотовмісні сполуки у питній, технічній та поверхневій воді, а також у забруднених водних масах, можна робити висновки про якість води.

Значення загального фосфору (ЗФ) у морській воді становило 0,03 мг/л, тоді як у зразках зливних вод – відповідно 0,84 та 1,84 мг/л. Згідно з Регламентом контролю забруднення води, межові значення для скидання в глибокі моря становлять: ЗА  $\leq$  40 мг/л, ЗФ  $\leq$  10 мг/л [32].

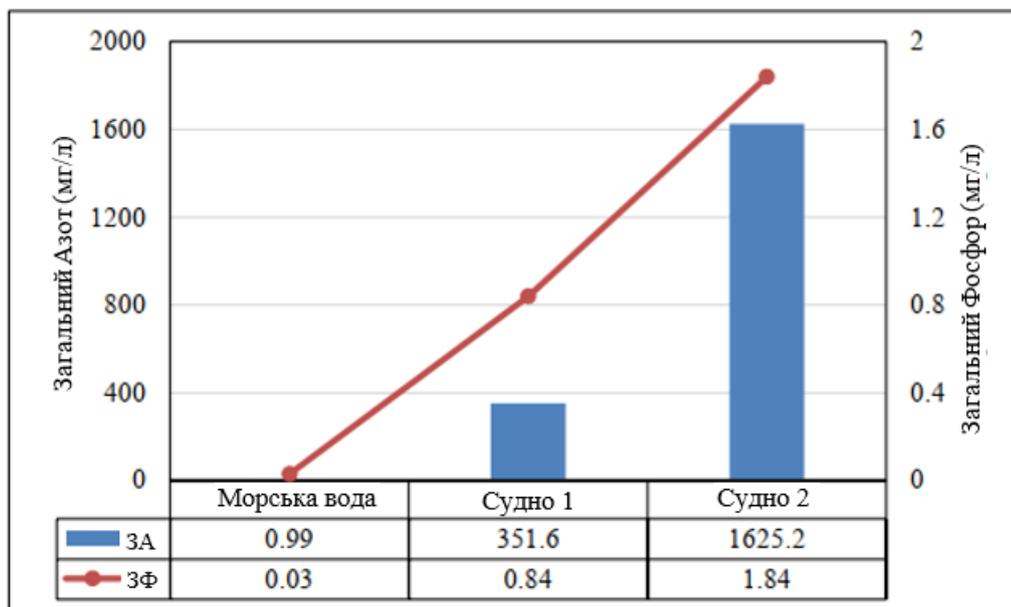


Рисунок 3.4– Зв'язок ЗА та ЗФ зразків морської води та ляльної води [14]

Отже, зазначені значення ЗА у зразках зливних вод із суден значно перевищують допустимі. На рисунку 3.4 показано взаємозв'язок між ЗА та ЗФ у морській воді та зразках ляльних вод.

Надлишок азоту та фосфору може призвести до ланцюга небажаних ефектів, починаючи з надмірного росту водоростей, які збільшують кількість

органічних осадових речовин. Це може змінити склад видів та функціонування харчових мереж у глибоких водах (наприклад, розвиток дрібних джгутикових замість великих діатомових водоростей). У результаті збільшення споживання кисню в шарах води з обмеженим перемішуванням призводить до зменшення кисню, зміни структури екосистеми та загибелі бентофауни. Масивний надхід азоту та фосфору у воду може спричинити евтрофікацію – збільшення концентрації поживних речовин (азоту та фосфору) в екосистемі. Це призводить до надмірного росту та розкладання рослинності, дефіциту кисню, погіршення якості води та зменшення чисельності тварин.

У цьому дослідженні вміст нафти і жирів (НЖ) у морській воді був менше 0,003 мг/л. У зразках лляльних вод він становив відповідно 110,6 та 138,8 мг/л (рис. 3.5). Згідно з міжнародною конвенцією MARPOL щодо запобігання забрудненню від суден, водна фаза лляльних вод може скидатись у море, якщо вміст нафти в ній зменшено до нижче 15 мг/л.

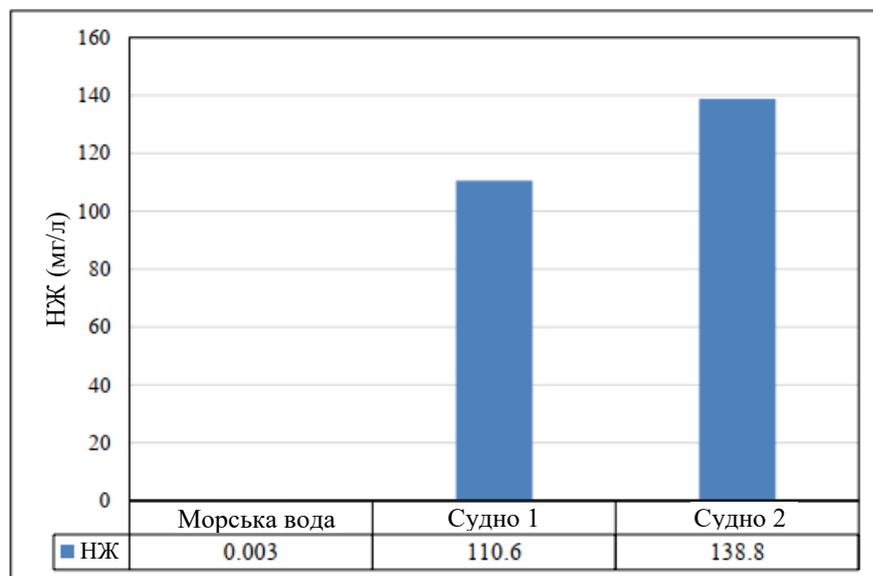


Рисунок 3.5 – Значення НЖ зразків морської та лляльної води [14]

Виміряні у цьому дослідженні показники необроблених зливних вод значно перевищують ці межі, що свідчить про необхідність їх ефективного очищення. На судні нафта зазвичай витікає з моторних відділень, машинного

відділення або під час обслуговування двигунів і змішується з водою у найнижчій частині судна – у зливній камері. Нафта, бензин та продукти їхнього біологічного розкладу можуть шкодити риbam, дикій природі та загрожувати здоров'ю людей. Навіть невеликі кількості нафти можуть вбити рибу або спричинити інші шкідливі ефекти.

Вразливість планктону, який є основою харчового ланцюга, до забруднення нафтою була експериментально доведена. Це явище вплине на всі морські організми. Цей ефект більший на мілководді та в гаванях. На мілководді краплі нафти на поверхні можуть з часом досягати морського дна та негативно впливати на донні організми.

Кількість поверхнево-активної речовини в морській воді була визначена як менша за 0,04 мг/л. Аналогічно, рівні менше 0,04 мг/л також були виявлені у зразках трюмної води (табл. 3.5).

Поверхнево-активна речовина (ПАР) – це хімічна сполука, що складається з гідрофільних та гідрофобних фракцій, які при розчиненні у воді впливають на поверхневий натяг.

ПАР – це загальний термін, що використовується для мила, мийних засобів, змочувальних агентів та емульгаторів. Поверхнево-активні речовини – це важлива група хімічних речовин, що містяться в трюмній воді. Відомо, що багато ПАР мають токсичну дію самі по собі. Однак суміші нафти та ПАР можуть мати набагато більшу токсичну дію, ніж окремі компоненти окремо, через посилене розчинення сирої нафти. Отже, вони мають більший вплив на життя організмів, що піддаються цьому впливу.

Повідомлялося, що рівні поверхнево-активних речовин у морській воді понад 0,1 мг/л є токсичними для морського життя. Вміст поверхнево-активних речовин у зразках лляльної води, зібраних у цьому дослідженні, виявився досить низьким.

У проведеному дослідженні хімічна потреба в кисні (ХПК) морської води становила 43,7 мг/л, а у зразках зливних вод із суден – відповідно 8870,4 та 17369,6 мг/л (табл. 3.5). Згідно з Регламентом контролю забруднення води,

межове значення ХПК для скидання у глибокі моря становить 400 мг/л. Значення ХПК у зразках зливних вод із суден значно перевищували допустиму норму.

ХПК є одним із найважливіших показників для визначення ступеня забруднення води та стоків. Хімічна потреба в кисні вимірює здатність води споживати кисень під час розкладу органічних речовин. Іншими словами, це кількість кисню, необхідна для окислення органічних речовин у певному зразку води. Чим вище значення ХПК, тим більше окислюваних речовин міститься у зразку. У таких випадках рівень розчиненого кисню у воді знижується, що може негативно впливати на водні організми. Тому мета очищення стічних вод – зменшення рівня ХПК.

У водах із високим вмістом нафти та мастил ХПК також підвищується, а при більшій кількості хімічно окислюваних речовин значення ХПК перевищує показники біологічної потреби в кисні (БПК). Взаємозв'язок між ХПК та БПК показано на рисунку 3.6.

У цьому дослідженні БПК морської води становила 8,23 мг/л, а у зразках зливних вод – відповідно 1606,4 та 3881,1 мг/л. Згідно з Регламентом контролю забруднення води [32], межове значення БПК для скидання у глибокі моря становить 250 мг/л. Значення БПК у зразках зливних вод із суден значно перевищували допустиму норму.

Визначення БПК оцінює кількість біологічно розкладних органічних речовин у стічних та забруднених водах. Тест БПК відображає обсяг розчиненого кисню (РК), спожитого бактеріями під час окислення цих речовин. Розчинений кисень необхідний для життя водної флори та фауни, а тест БПК є показником екологічного впливу стічних вод на приймаючі водні маси. Наявність достатньої кількості розчиненого кисню є критично важливою для збереження водного життя. Визначення впливу органічних речовин на концентрацію розчиненого кисню є невід'ємною частиною управління якістю води.

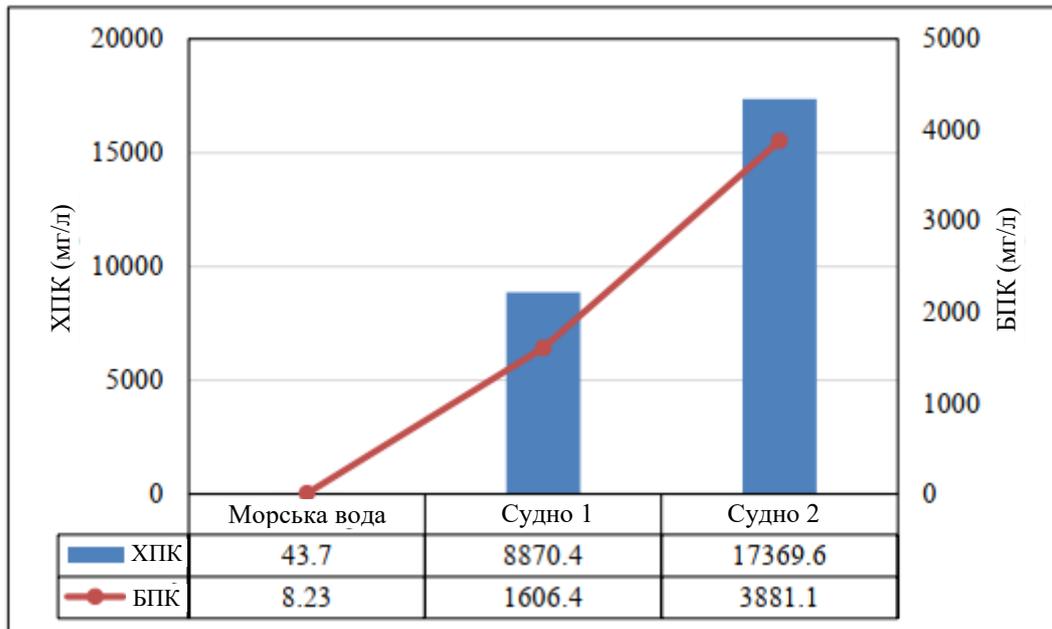


Рисунок 3.6 – Зв'язок ХПК та БПК зразків морської води та лляльної води [14]

Аналіз зразків лляльної води, взятих із суден, дав дані, які значно перевищували граничні значення, зазначені в Регламенті якості води. Було зроблено висновок, що трюмну воду не слід безпосередньо скидати в морське середовище, оскільки вона містить хімічні речовини, які можуть мати негативний вплив на морське середовище.

Судна повинні бути оснащені відповідними системами очищення стічних вод для обробки трюмної води перед її скиданням. Судна можуть навіть мати додаткові резервуари для зберігання лляльної води до її належної утилізації. Регулярне очищення та обслуговування лляльних танків судна забезпечить низький рівень забруднюючих речовин у зібраній там воді.

Результати аналізів лляльної води із суден №1 та №2 показали такі значення: SS – від 472 до 812 мг/л, NOI – від 110,6 до 138,8 мг/л, COD – від 8870,4 до 17369,6 мг/л, BOD – від 1606,4 до 3881,1 мг/л.

Згідно з таблицею, наведеною у Регламенті про контроль забруднення вод, граничні норми становлять: SS – 350 мг/л, олива-жир – 15 мг/л, COD – 400 мг/л та BOD – 250 мг/л [32].

Встановлено, що отримані значення значно перевищують допустимі межі, тому льяльні води не повинні скидатися безпосередньо в море. Для зменшення шкоди морському середовищу необхідно забезпечити ефективне очищення таких вод безпосередньо на судах за допомогою СЛВ, що відповідають вимогам MARPOL. Крім того, потрібно регулярно проводити технічне обслуговування цих установок, контролювати їхню ефективність, а за необхідності – модернізувати або вдосконалювати існуючі системи очищення льяльних вод.

Саме тому, з огляду на отримані результати дослідження, уникнення прямих скидів льяльних вод у море та вдосконалення систем їх очищення є ключовими умовами забезпечення екологічної безпеки морських акваторій.

Найбільш екологічним способом утилізації льяльних вод, станом на зараз, є їх передача на берегові очисні споруди портів, де здійснюється централізоване очищення з подальшою утилізацією відходів відповідно до міжнародних екологічних норм.

### 3.4 Типи судових установок очищення нафтовмісних вод

У судноплавстві широке поширення отримали відцентрові сепаратори, які базуються на принципі відцентрового розподілу потоку. Однак основним недоліком таких сепараторів на судах є їх обмежена продуктивність. Вони не здатні обробляти великі об'єми скидних льяльних вод за короткий проміжок часу [24, с. 17].

Принцип СЛВ гравітаційного типу (рис. 3.7) заснований на принципі різної щільності нафти, води та твердих речовин. НВВ подається в резервуар, розмір якого забезпечує зону спокою з достатнім часом утримування, щоб дозволити нафті спливати наверх, а твердим речовинам осісти на дно. Нафта утворює шар, який потім видаляють насосами. Вихід очищеної води розташований нижче рівня нафтовмісних залишків, щоб вода була відділеною від зайвих залишків [8].

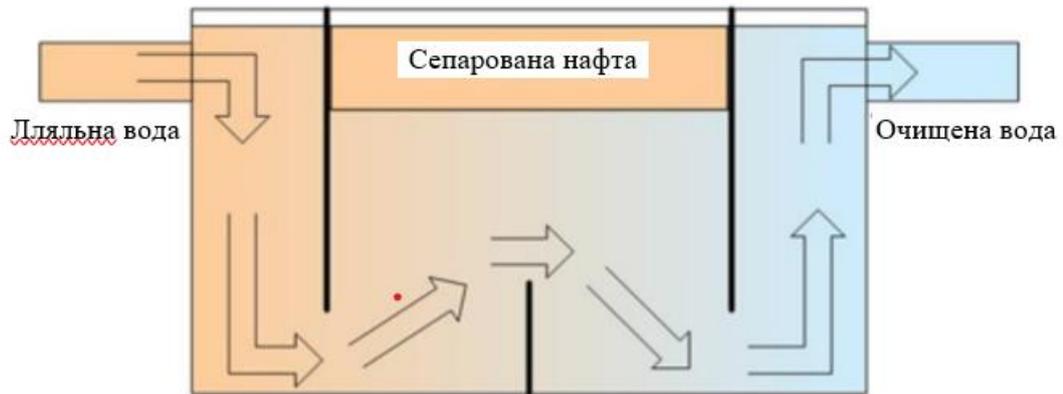


Рисунок 3.7 – Схема гравітаційного СЛВ [26, с. 2]

Коалісцентні СЛВ використовують наступний принцип роботи. НВВ проходить через внутрішню частину сепаратора, що містить олеофільне середовище, наприклад, поліетилен або поліпропілен. Це середовище полегшує відокремлення нафти від води, притягаючи краплі нафти та утримуючи їх, поки вони не об'єднаються у більші краплі. Потім ці краплі швидко піднімаються до верхньої частини сепаратора. Коли нафта накопичується у верхній частині сепаратора, вона витісняє воду, знижуючи рівень води у СЛВ [31]. Схема коалісцентного сепаратора наведена на рисунку 3.8.

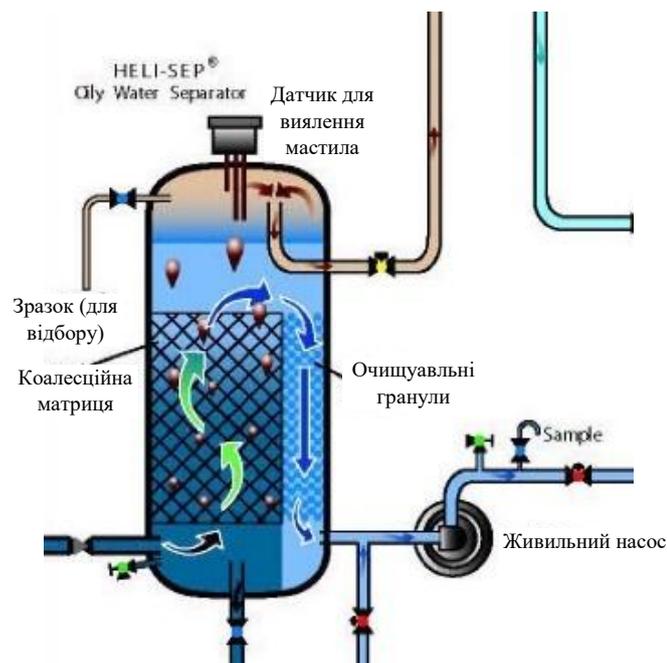


Рисунок 3.8 – Схема коалісцентного СЛВ [27]

Одним із видів є флотаційні СЛВ (рис. 3.9), засновані на вилученні з НВВ частинок нафтопродуктів бульбашками повітря, що спливають на поверхню.

Ефективність флотації залежить, в основному, від ймовірності зіткнень частинок, що витягуються, з бульбашками повітря і величини сили адгезії (міцності прилипання частинок) діючої до поверхні бульбашок [28]. На рисунку 3.10 представлена схема прямої напірної флотації.



Рисунок 3.9 – Флотаційний СЛВ Wärtsilä [28]

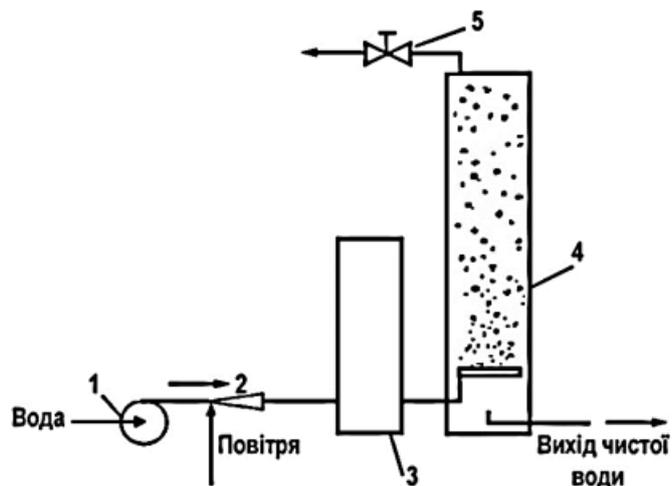


Рисунок 3.10 – Схема прямої напірної флотації [8,с. 34]:

- 1 – насос, 2 – ежектор, 3 – напірний резервуар, 4 – флотатор,  
5 – клапан для скидання нафтопродуктів

На морських судах набули поширення СЛВ коагуляційно-флокуляційні сепаратори. Головний принцип подібних сепараторів ґрунтується на методі коалесценції та флокуляції, результат послідовної дії цих процесів наведено на рисунку 3.11 [29].

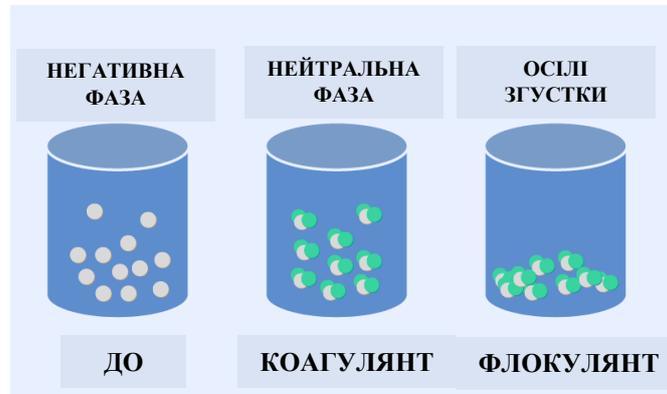


Рисунок 3.11 – Влив обробленої рідини [31]

Флокуляція та коагуляція використовують хімікати, що руйнують емульсію, для обробки емульсії після відділення вільного мастила. Хімічна речовина руйнує емульсію, і мастило, що виділилося, об'єднується, утворюючи пластівці, які потім можна зняти, залишаючи воду, що залишилася для проходження подальших стадій фільтрації.

Не менш поширеним методом очищення СЛВ є абсорбція та адсорбція.

Абсорбція – перехід речовини з одного фізичного стану в інший (рідина, поглинена твердим тілом). Адсорбція – фізичне прилипання або зв'язування молекул до поверхні іншої фази (реагенти адсорбуються з води тільки твердою поверхнею) [31, с. 121]. НВВ проходить через абсорбційне середовище в корпусі реактора або контактора для обох процесів, і нафта вилучається з середовища (рис. 3.12).

В якості природного адсорбента для поглинання нафти з води широко використовують глину. Особливою ефективністю володіють органофільні глини, які добре диспергуються та набухають в органічних середовищах, тобто якщо їх помістити у воду, що містить механічно емульговане мастило, жири та великі хлоровані вуглеводні, то органофільна глина видалить ці сполуки в процесі розділення [22, с. 134].



Рисунок 3.12 – Загальний вигляд СЛВ абсорбційно-адсорбційного типу [27]

Ефективні системи очищення СЛВ на суднах відіграють важливу роль у забезпеченні безпеки та екологічності експлуатації. Для визначення найефективнішого методу очищення важливо детально вивчити різні методи очищення СЛВ, що представлені у таблиці 3.6. Аналіз переваг і недоліків кожного з них допоможе вибрати найбільш раціональний та ефективний метод для подальшої експлуатації [30].

Всі типи систем очищення НВВ утворюють маслянисті залишки та шлам. Як мінімум, ефективне очищення 1000 галонів (приблизно  $3,78 \text{ м}^3$ ) НВВ, що містить 500 частин на мільйон (ppm) нафти, призведе до утворення 0,5 галонів ( $0,00189 \text{ м}^3$ ) маслянистих відходів. Фактичне залишкове утворення змінюється залежно від характеристик НВВ та конкретних технологій очищення, які використовуються в сепараторі лляльної води [8].

В процесі дослідження методів очищення СЛВ, важливо аналізувати не лише самі методи, але й залишки, які утворюються як наслідок від їх експлуатації. Таблиця 3.7, яка наведена нижче, пропонує короткі відомості щодо різних методів очищення та відповідно їх залишків, які вони утворюють.

Таблиця 3.6 – Порівняння методів очищення СЛВ [29, с.8]

Метод	Переваги	Недоліки
Гравітаційний	Ефективний для дискретних фаз мастила та води	Не ефективний для відділення емульгованого мастила від води
Відцентровий	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Більш компактний</li> <li>2. Не потрібні великі резервуари для зберігання трюмної води</li> <li>3. Утворює невелику кількість відходів</li> <li>4. Може працювати без безперервного нагляду</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Використовує мотори великої потужності</li> <li>2. Вимагає частого обслуговування</li> <li>3. Високі капітальні витрати на центрифуги</li> </ol>
Флотація	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Потрібно менше інвестицій</li> <li>2. Низьке енергоспоживання</li> <li>3. Легко обслуговувати</li> <li>4. Виробляє менше осаду</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Проблемний ремонт та обслуговування</li> <li>2. Проблема у виготовленні пристрою</li> </ol>
Коагуляція і флокуляція	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Можна видалити емульгований НФП та розчинений НФП</li> <li>2. Висока адаптивність</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Повинен керуватися досвідченим персоналом</li> <li>2. Висока експлуатаційна вартість</li> <li>3. Виробляє велику кількість мулу, який потім потрібно утилізувати</li> <li>4. Через складність складу стічних вод може знадобитися багато експериментів</li> </ol>
Біологічний	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Здатний ефективно розкласти органічні забруднювачі, включаючи емульгований НФП</li> <li>2. Може видалити інші органічні забруднювачі</li> <li>3. Відпрацьоване НФП не утворюється</li> <li>4. Механічно простий</li> <li>5. Низькі експлуатаційні витрати</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Можуть виникати стрибки навантаження</li> <li>2. Висока загальна вартість</li> <li>3. Необхідний вмілий персонал</li> </ol>

Таблиця 3.7 – Залишки, утворені різними технологіями очищення [30, с. 14]

<b>Метод очищення</b>	<b>Отримані залишки</b>
Гравітаційний	Маслянисті (чисті) відходи та шлами
Відцентровий	Маслянисті (чисті та емульговані) відходи та шлами
Поглинання органічної глини	Замаслені тверді відходи (відпрацьована глина)
Адсорбція	Маслянисті тверді відходи
Біологічна очистка	Мул і тверді біологічні речовини
Коагуляція та флокуляція	Маслянистий шлам
Флотація	Маслянистий шлам
Ультрафільтрація	Маслянисті (чисті та емульговані) відходи

У таблиці 3.8 представлені дані про провідних виробників СЛВ, які використовуються на світовому флоті [8]. Аналіз даних про виробників СЛВ є важливим кроком у виборі оптимального обладнання для забезпечення ефективного та екологічно безпечного очищення стічних вод на судах.

Таблиця 3.8 – Використання СЛВ серед відомих виробників [30]

<b>Виробник</b>	<b>Назва продукції</b>	<b>Метод, що використовується</b>
Alfa Laval	PureBilge	Відцентровий
EnSolve Biosystems, Inc.	PetroLimiter OWS	Біологічний
Village Marine Tec.	Village Marine Tec. Oily Water Separator (VMT OWS)	Адсорбція
Separator Spares & Equipment, LLC	ULTRA-SEP Bilge Water Separator	Ультрафільтрація (мембрана)
Compass Water Solutions	CRP-SEP	1. Гравітаційний 2. Відцентровий
	ULTRA-SEP	1. Відцентровий 2. Фільтрація 3. Ультрафільтрація (мембранна)
	VG-SEP	1. Відцентровий 2. Адсорбція
Recovery Energy, Inc.	BOSS Oily Water Separators	1. Фільтрація 2. Центрифугування

Отже, ґрунтуючись на даних з таблиці 3.8, можна зробити висновок, що найпоширенішим методом очистки є відцентровий метод (37,5%), ультрафільтрація та адсорбція (по 12,5% відповідно).

### 3.2 Висновки за розділом 3

1. Встановлено, що лляльні нафтовмісні води є одним із ключових джерел антропогенного забруднення морського середовища, характерного для сучасного судноплавства.

2. Підтверджено, що трюмні води мають складний полікомпонентний хімічний склад, що обумовлює їх високу токсичність та стійкий негативний вплив на морські екосистеми.

3. За результатами аналізу показано, що у більшості випадків вміст забруднюючих компонентів у лляльних водах перевищує екологічні нормативи, що становить потенційну загрозу морській біоті, зумовлюючи токсичний вплив на гідробіоти, біоаккумуляцію шкідливих речовин та порушення природних трофічних ланцюгів у морських екосистемах.

4. Встановлено тенденцію до збільшення обсягів утворення лляльних вод у зв'язку зі зростанням інтенсивності морських перевезень.

5. Доведено доцільність застосування аналітичних і прогнозних методів, зокрема регресійного моделювання та Монте-Карло, для оцінки рівнів екологічного ризику в припортових та високонавантажених районах.

6. Підкреслено необхідність підвищення ефективності екологічного контролю та вдосконалення систем очищення лляльних вод через їх недостатнє очищення, з метою забезпечення відповідності міжнародним нормам та, як наслідок, зниження рівня забруднення морського середовища.

7. Визначено, що на даний момент часу, найбільш екологічно обґрунтованим методом утилізації лляльних вод є їх передача на берегові очисні споруди портів, де здійснюється централізоване очищення цих вод.

## 4 ТЕХНОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ УПРАВЛІННЯ ТА СЕПАРАЦІЇ НАФТОВІСНИХ ТРЮМНИХ ВОД НА СУДНАХ

### 4.1 Аналіз і порівняння систем контролю нафтовмісних вод на судах: ODME та OCM

На даний час під час експлуатації всіх типів суден постає проблема виникнення, збору, зберігання і подальшої переробки вод, що містять нафту. Сепарація таких вод, до складу яких в основному входять невикористані в теплових двигунах (дизелях, котлах і турбінах) важкі фракції палива і мастила, є складним технологічним завданням [10, с. 24].

Для забезпечення дотримання вимог положень Конвенції MARPOL 73/78, зокрема Додатка I, на різних типах суден застосовуються спеціалізовані системи контролю – Oil Discharge Monitoring Equipment (ODME) та Oil Content Monitor (OCM).

Перша використовується переважно на нафтоналивних танкерах і призначена для автоматичного контролю та регулювання скидання нафтовмісних баластних вод, тоді як друга – універсальна система, що встановлюється на більшості суден для контролю очищення трюмних вод.

Попри спільну мету – запобігання забрудненню моря нафтою, ODME та OCM мають відмінності у конструкції, принципах дії, умовах експлуатації та вимогах до обслуговування. Їхнє порівняння дозволяє виявити особливості реалізації норм MARPOL для різних категорій суден і показати, як вибір конкретного обладнання визначається функціональним призначенням судна та характером нафтовмісних стоків.

#### 4.1.1 Технологія очищення нафтовмісних вод на судах і застосування вимірювача вмісту нафти (ОСМ)

Вимірювач вмісту нафти (ОСМ), зображений на рисунку 4.1, відбирає пробу стічної води з СЛВ і вимірює вміст нафти у частинах на мільйон (ppm). Якщо виміряне значення становить 15 ppm або менше, то скидання дозволяється за борт. Якщо ж вміст нафти перевищує 15 ppm, тоді стічна рідина спрямовується або назад до вхідного патрубку СЛВ, або в збірний танк для лляльних вод – залежно від схеми системи.

ОСМ встановлюється на всіх типах суден, де можливе утворення нафтовмісних стічних вод, тобто там, де є ризик забруднення моря нафтою або продуктами її переробки.

Щоб забезпечити правильну роботу СЛВ та наявність дуже обмеженої кількості нафти в трюмній воді (відповідно до рекомендацій МЕРС.107(49)), встановлюється ОСМ для вимірювання вмісту нафти в трюмній воді на виході сепаратора.



Рисунок 4.1 – Загальний вигляд вимірювача вмісту нафти (ОСМ) [16]

Існує кілька типів вимірювачів контролю вмісту нафти, які працюють за одним із таких принципів:

- проходження світла через пробу до фотоелемента (затемнення або поглинання світла);
- розсіювання інфрачервоного або оптичного світла у пробі;
- поєднання розсіювання та поглинання світла;
- виявлення флуоресценції.

Найпоширенішим типом монітора вмісту нафти є пристрій, що працює за принципом розсіювання світла, оскільки він вважається найбільш економічно вигідним рішенням. Проте його ефективність може бути обмеженою, оскільки забруднювачі, відмінні від нафти, можуть спричиняти помилкові показання. До таких забруднювачів належать стічні води, сажа, тверді частинки та мийні засоби – їхня присутність може призвести до хибного підвищеного показника і, відповідно, заборони на скидання за борт. Навпаки, бувають випадки, коли чисті нафтові продукти можуть пройти через монітор без активації сигналізації.

На судах, обладнаних СЛВ, відповідно до вимог МЕРС 107(49), офіцерський склад судна та інші члени екіпажу повинні добре знати принцип роботи та правила обслуговування обладнання.

Зокрема, вони повинні вміти отримувати дані з ОСМ згідно з інструкцією виробника та вимогами МЕРС 107(49), де зазначено наступне: пристрій сигналізації 15 ppm повинен фіксувати дату, час, стан тривоги та робочий статус сепаратора трюмних вод. Дані мають зберігатися щонайменше протягом 18 місяців і бути доступними для перегляду або друку під час офіційних перевірок.

Використання обхідного обладнання (байпасу) для обходу СЛВ та ОСМ розглядається як порушення MARPOL 73/78, незалежно від доказу фактичного вмісту нафти (рис. 4.2). Це пов'язано з тим, що нафтовмісна суміш не була оброблена належним чином через обладнання для запобігання забрудненню, як того вимагає конвенція.

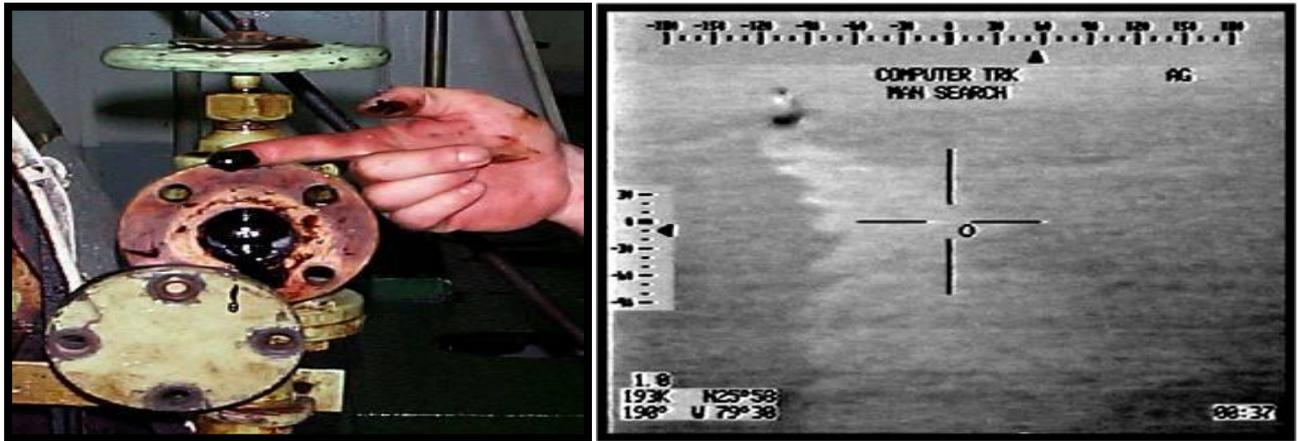


Рисунок 4.2 – Доказ незаконного скидання нафти [12]

За такої конфігурації, як на рисунку 4.3, скиди контролюються автоматично, і надлишок нафти запобігається скиданню. Коли вміст нафти перевищує позначку тривоги (15 ppm), вода відводиться назад у трюмний танк. У цьому стані вода рециркулює, безперервно видаляючи нафту, коли вода проходить через СЛВ, доки рівень води, що виходить з СЛВ, не опуститься нижче позначки тривоги. На цьому етапі "Автоматичний зупинний пристрій" (З-ходовий клапан) знову відкривається, щоб розпочати скидання води за борт. Цей процес триватиме, доки насос, що переміщує воду, не буде зупинено вручну екіпажем або автоматично датчиками рівня рідини в трюмному танку.

За нормальної роботи СЛВ, коли обладнання не обробляє нафтоводні емульсії, очищена від нафти вода скидається в море, а нафтові відходи направляються в шламовий танк для спалювання або утилізації на березі.

Монітор ОСМ розділений на два модулі: модуль контролера та вимірювальну комірку. Модуль контролера виконує наступне:

Розміщує та керує РК-дисплеєм, на якому відображаються час, дата, РРМ, стани тривоги та повідомлення про несправності.

Розміщує та керує кнопками, що використовуються для навігації по меню.

Отримує живлення від мережі та розподіляє живлення на вимірювальну комірку.

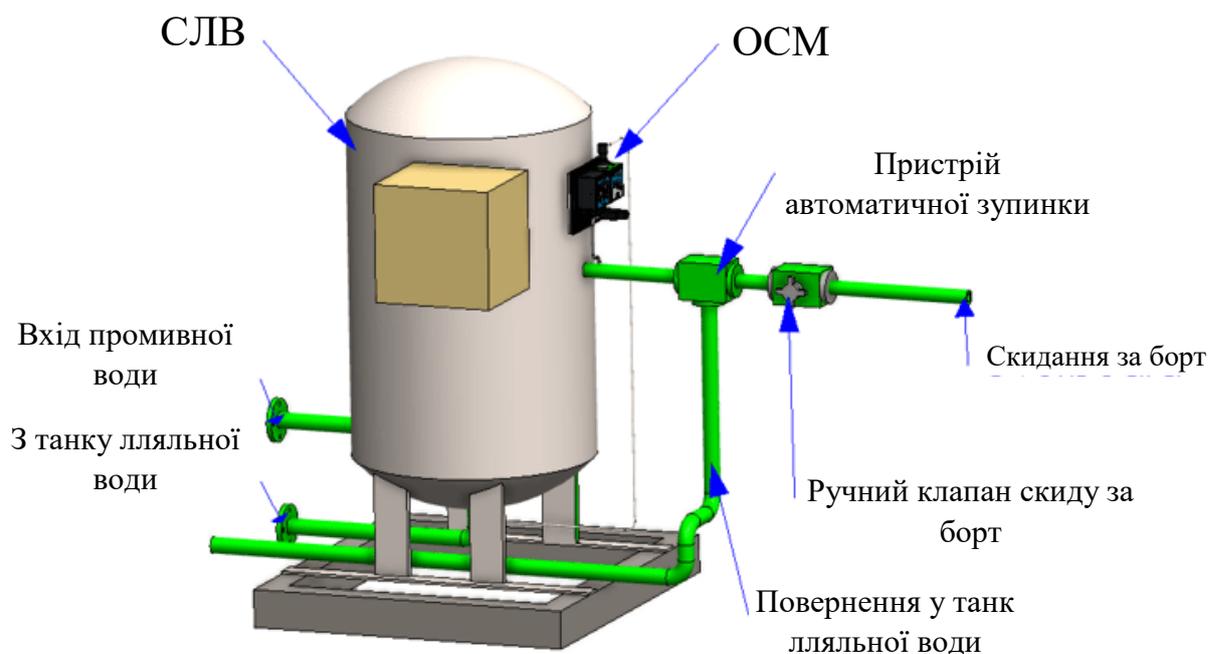


Рисунок 4.3 – Принципова схема СЛВ [18]

На рисунку 4.4 зображена загальна схема устрою ОСМ.



Рисунок 4.4 – Загальна схема роботи ОСМ [23]

Містить два реле тривоги. Сигналізація 1 повинна використовуватися для безпосереднього керування «автоматичним зупиняючим пристроєм», а Сигналізація 2 використовується для керування звуковим сигналом, що подається судном.

За потреби керує електромагнітним клапаном відбору проби/очищення.

Має вихідний термінал mA, який видає активний вихідний сигнал 4-20 mA, що представляє значення PPM, для віддалених дисплеїв. Має вхідний перемикач, який повинен бути підключений до безпотенційних контактів у СЛВ, що замикаються, коли СЛВ працює.

Вимірювальна комірка за призначенням зберігає калібрування та може бути замінена для оновлення калібрування за потреби. Аналізує трюмну воду та надсилає розраховане значення PPM до модуля контролера.

#### 4.1.2 Конструкція та робота ODME для контролю скидання нафтовмісних вод

ODME – це пристрій, який використовується для вимірювання та моніторингу викиду нафтовмісної води з суден. Зазвичай нафтові танкери повинні брати баластну воду з моря для більшої стійкості після того, як вони вивантажують вантаж сирової нафти в порту призначення. Перед наступним завантаженням цю баластну воду необхідно скинути в море. ODME сприяє забезпеченню скидання нафти в допустимих межах і запобіганню забрудненню води, дотримуючись вимог різних нормативних актів.

ODME відіграє ключову роль у запобіганні забрудненню морського середовища нафтовими продуктами. Вони постійно контролюють концентрацію нафти у стічних водах, що скидаються за борт, забезпечуючи дотримання міжнародних екологічних норм і запобігаючи як випадковим, так і навмисним розливам. Навіть незначні витіки можуть завдати серйозної шкоди морським екосистемам, тому ефективна робота ODME є надзвичайно важливою.

Основні переваги використання систем ODME:

- Дотримання вимог Конвенції MARPOL, що регламентує запобігання забрудненню з суден.
- Зменшення ризику нафтового забруднення завдяки постійному моніторингу та контролю.

- Своєчасне виявлення і реагування на потенційні витoki або порушення.
- Сприяння сталому судноплавству та підвищенню рівня екологічної відповідальності екіпажів.

З огляду на сучасні тенденції розвитку судноплавства та перехід на альтернативні види палива, зокрема біопаливо, системи ODME також повинні еволюціонувати. Їхнє вдосконалення гарантує подальше дотримання міжнародних стандартів і забезпечує ефективний захист світового океану від забруднення.

Система ODME складається з чотирьох основних компонентів:

1. вимірювача вмісту нафти;
2. витратоміра (датчика потоку);
3. обчислювального блока;
4. системи клапанів для скидання за борт [25].

Щоб виміряти миттєву швидкість викиду, потрібні три значення: вміст нафти в ppm, швидкість потоку в кубічних метрах і швидкість у вузлах. Якщо миттєва швидкість викиду вмісту нафти не перевищує 30 літрів на морську милю, а загальна кількість нафти, що скидається в море, не перевищує 1/30 000 загальної кількості конкретного вантажу, частиною якого є залишок, то забортний клапан відкривається і дозволяє скидати воду. Якщо значення виходять за межі допустимого діапазону, забортний клапан закривається, а клапан відстійної ємності відкривається, забезпечуючи відповідність правилам MARPOL Додаток I.

У Регламенті MARPOL (Додаток I) зазначено, що «нафтоналивні танкери валовою місткістю 150 і більше повинні бути обладнані системою моніторингу та контролю за скиданням нафти, затвердженою Адміністрацією». У цій же главі стверджується, що «Система повинна бути оснащена реєструючим пристроєм для забезпечення безперервного запису скиду в літрах на морську милю та загальної скинутої кількості або вмісту нафти та швидкості скидання. Цей запис

має бути ідентифікованим щодо часу та дати та зберігатися щонайменше три роки».

***Правила скидання:***

1. Танкер не знаходиться в спеціальному районі;
2. Танкер знаходиться на відстані понад 50 морських миль від найближчого берега;
3. Танкер знаходиться в дорозі;
4. Миттєва швидкість викиду нафтового вмісту не перевищує 30 літрів на морську милю;
5. Загальна кількість нафти, що скидається в море, не повинна перевищувати 1/30 000 загальної кількості конкретного вантажу, частиною якого є залишки; і
6. Танкер має в експлуатації систему моніторингу та контролю за виливом нафти (ODMCS) і пристрій відстійної цистерни [19].

Загалом, ODME керує роботою двох клапанів, показаних на рисунку 4.5.

На відміну від СЛВ, ODME заборонено використовувати у спеціальних зонах. Саме ODME контролює скидання через два клапани: відстійний і забортний. Ці клапани мають протилежні положення: якщо один клапан відкритий, інший закритий.

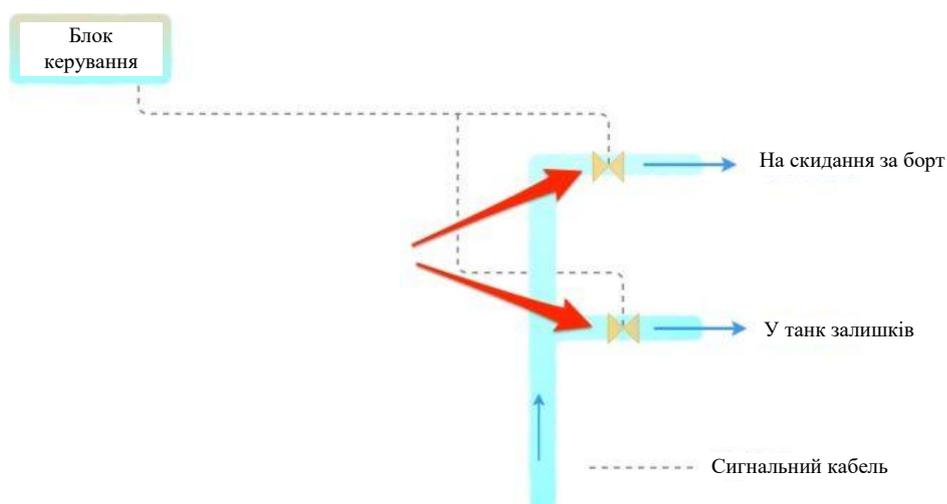


Рисунок 4.5 – Схема роботи клапанів ODME [22]

Ці два клапани ніколи не відкриватимуться або закриватимуться разом. Якщо один із них відкритий, інший буде у закритому положенні.

Коли умови № 4 та 5 будуть виконані, ODME відкриє бічний клапан, щоб забезпечити утилізацію нафтовмісної води. Щоразу, коли перевищується будь-яку з цих двох умов, ODME закриває бічний клапан та відкриває відкидний клапан.

Якщо ODME необхідно виміряти IRD (миттєву швидкість витоку), знадобляться значення вмісту нафтопродуктів у ppm та швидкість віддачі. Швидкість судна зазвичай береться із GPS. Всі ці значення надходять до обчислювального блоку ODME. Обчислювальний блок виконує всі математичні розрахунки, щоб отримати потрібні значення.

Інтенсивність скидання визначається за наступною формулою:

$$IRD(L/NM) = \frac{Oil\ content\ (PPM) \times Flow\ rate\ (in\ m^3)}{Speeds\ (Knots) \times 100} \quad [21]$$

Швидкість віддачі ODME бере із встановленого витратоміру (рис. 4.6). Невелика лінія зразку відходить від основної, проходить через витратомір і повертається назад до основної. Витратомір вважає швидкість потоку м<sup>3</sup>/год і дає цифрове значення комп'ютерного блоку.

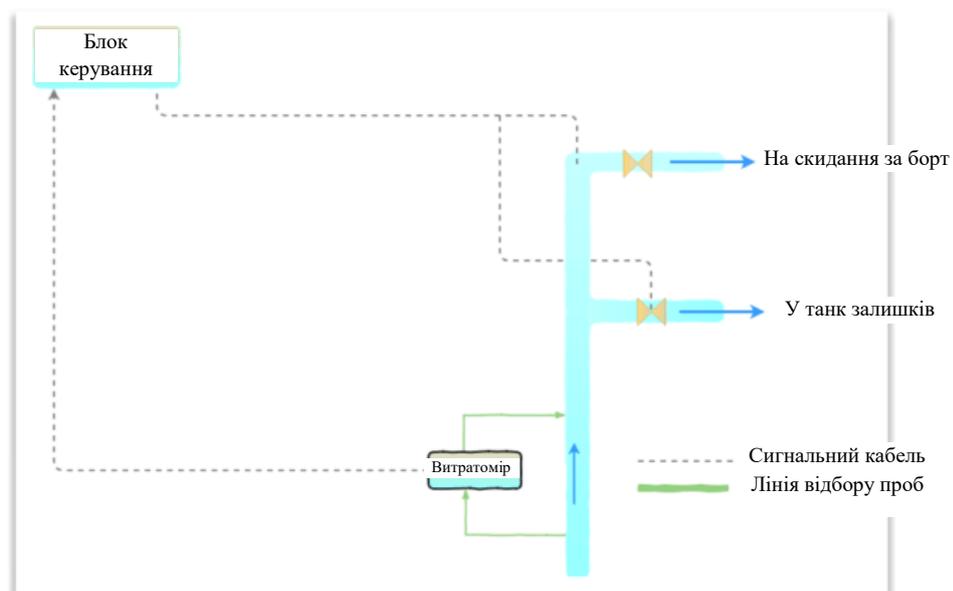


Рисунок 4.6 - Схема роботи витратоміру [22]

Вимірювальна комірка – це компонент, який вимірює кількість нафтовмісних продуктів у воді. Принцип виміру ґрунтується на тому факті, що різні рідини мають різні характеристики розсіювання світла. Ґрунтуючись на схемі розсіювання світла в нафті, вимірювальна комірка визначає її кількість.

Проби води пропускаються через кварцову скляну трубку і вміст нафти визначається шляхом пропускання цієї проби води в різних детекторах послідовно. Але для вимірювання РРМ пробу з води, що зливається, необхідно прогнати через вимірювальну комірку. Пробовідбірний насос відбирає порції рідини з лінії нагнітання перед випускними клапанами. Цей зразок відправляється у вимірювальну комірку (у блоці аналізу) для вимірювання вмісту нафтопродуктів, а потім відправляється назад у ту ж лінію віддачі.

Лінія очищення та лінії проб у вимірювальні осередки розділені пневматичними клапанами. Таким чином, коли починається цикл очищення, відбувається таке: пневматичний клапан лінії подачі прісної води у вимірювальна комірка відкривається, пневматичний клапан лінії відбору проби у вимірювальна комірка закривається (рис. 4.7).

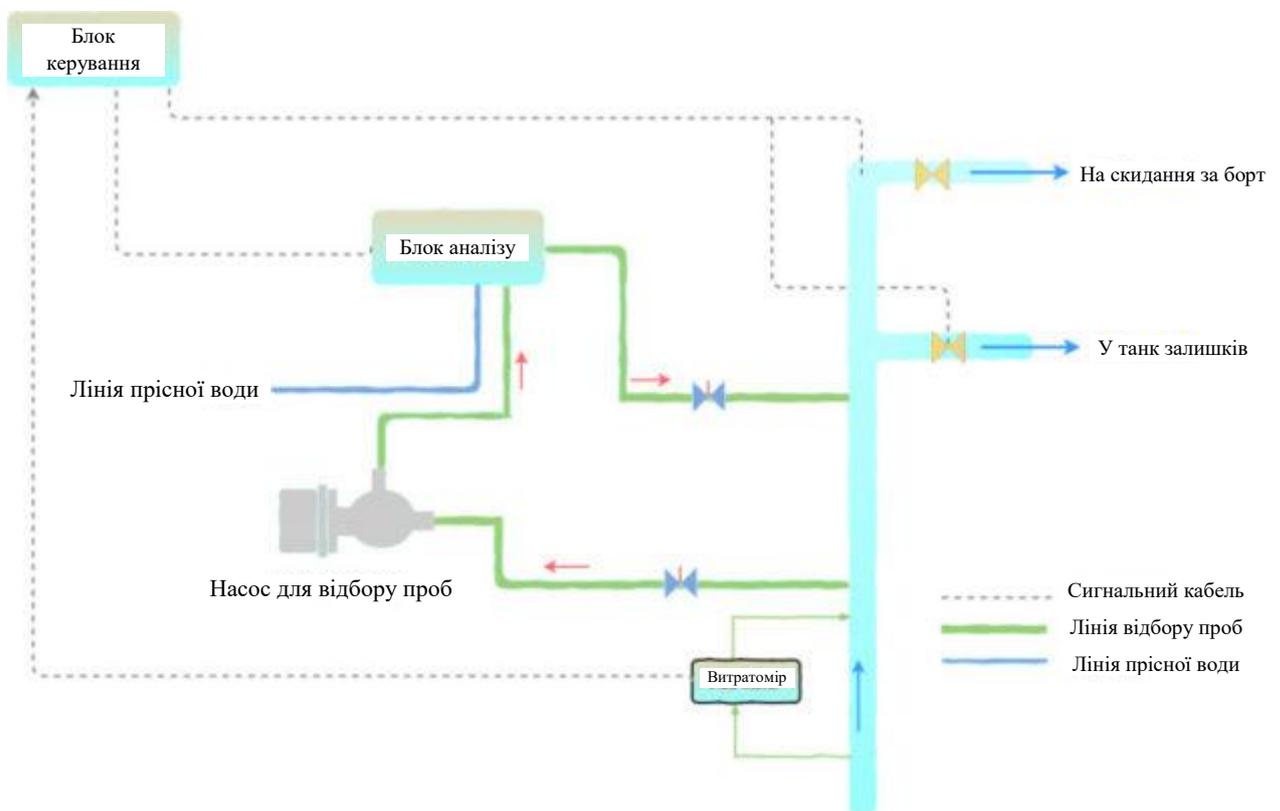


Рисунок 4.7 – Схема виміру РРМ [22]

Якщо в ODME передбачена подача миючого засобу, необхідна кількість миючого засобу вприскується під час циклу очищення. Треба переконатися, що ємності для миючого засобу не порожні, і ми використовуємо лише рекомендований виробником миючий засіб. Таким чином, є три додаткові лінії, які ви знайдете в блоці аналізу для циклу очищення:

Лінія прісної води для очищення вимірювального осередку.

Повітряна лінія для роботи пневматичних клапанів.

Лінія очищувального розчину для кращого очищення вимірювального осередку.

Аналізатор передає значення даних, такі як тиск і вміст нафти, обчислювальний блок CCR. Аналізуючий блок відправляє ці значення безпосередньо в обчислювальний блок. Якщо IRD становить менше 30 л/милю, він дає команду блоку електромагнітних клапанів відкрити бічний клапан та закрити відкидний клапан рециркуляції. Коли IRD стає більше 30 л/милю, він закриває забортний клапан. Схема проілюстрована на рисунку 4.8.

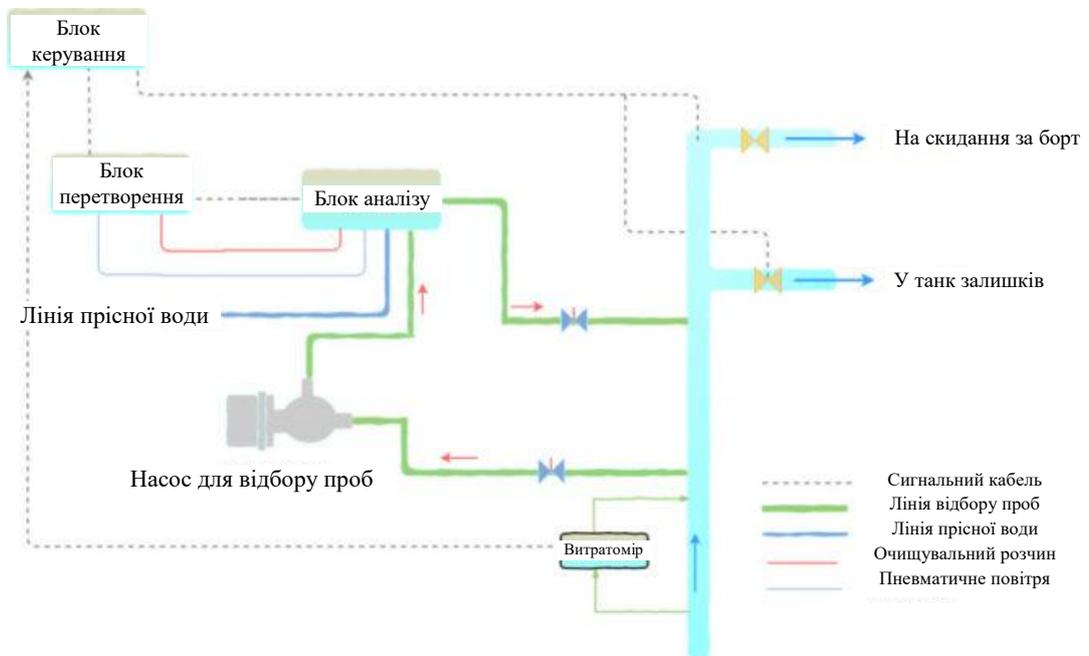


Рисунок 4.8 – Діаграма роботи ODME [22]

Техніка вимірювання, яка використовується в ODME, базується на розсіяному світлі. Зразок скидної води проходить через комірку детектора, тоді

як світло входить і виходить із зони вимірювання комірки. Потік проби проходить під прямим кутом до оптичного шляху. Якщо у воді немає частинок або крапель нафти, світло може проходити прямо через комірку (прямий промінь). Коли нафта присутня у вигляді однорідної суміші, світло розсіюється під різними кутами (промінь розсіювання).

Інтенсивність розсіяного світла під певним кутом залежить від щільності крапель нафти та від розміру їх частинок відносно довжини хвилі випромінювання. Інтенсивність світла прямого пучка зменшується логарифмічно зі збільшенням концентрації нафти, тоді як інтенсивність пучка розсіювання лінійно збільшується, але проходить через максимум, перш ніж логарифмічно зменшуватися.

Максимум виникає через збільшення ослаблення, що блокує розсіяне світло при високих концентраціях. Зміни заломлення світла лише краплями олії значно відрізняються від заломлення світла, коли також присутні тверді забруднювачі, і цей факт можна використати для отримання точної інформації про вміст олії, не враховуючи до певної міри тверді частинки.

Джерелом світла, що використовується в системі моніторингу та керування викидом нафти, є діод ближнього інфрачервоного діапазону, який працює в імпульсному режимі. Світловий сигнал обробляється та передається по кабелю зв'язку від осередку детектора до EPU (електропневматичний блок), де три сигнали виявлення використовуються для обчислення рівнів концентрації нафти в зразку, що проходить через осередок детектора.

Наприкінці початкового циклу промивання виконується перевірка нуля системи, це автоматичне встановлення нуля компенсує будь-які невеликі відкладення на вікнах комірки. Насос для миття вікон регулярно очищає вікна камери.

ODME відіграють ключову роль у забезпеченні екологічної безпеки морського транспорту та дотриманні вимог Конвенції MARPOL. Ефективність роботи системи залежить від правильного технічного обслуговування, своєчасного калібрування та високого рівня підготовки екіпажу.

Регулярне навчання персоналу, а також належна експлуатація та контроль за станом ODME дозволяють запобігати технічним несправностям і забезпечують своєчасне реагування на можливі відхилення у роботі системи. Інвестування у підтримку та модернізацію ODME демонструє відповідальне ставлення судноплавних компаній до збереження морського середовища та їхню відданість виконанню вимог MARPOL, що є основою екологічно безпечної морської діяльності.

#### 4.2 Висновки за розділом 4

1. Встановлено, що для дотримання вимог Додатка I Конвенції MARPOL 73/78 щодо запобігання забрудненню морського середовища нафтовмісними водами на суднах застосовуються спеціалізовані системи контролю ODME та ОСМ, які автоматизують вимірювання вмісту нафти та регулюють скидання води за борт.

2. Підкреслено, що ОСМ забезпечує контроль концентрації нафти в трюмній воді, спрямовуючи перевищену за 15 ppm воду на повторну обробку або накопичення, тим самим підтримуючи відповідність нормам MARPOL та запобігаючи забрудненню моря.

3. Показано, що ODME призначений для нафтоналивних танкерів, контролює скидання баластної води за межами спеціальних районів і забезпечує дотримання обмежень щодо миттєвої та загальної кількості скиду нафти, регулюючи роботу клапанів та витратомірів.

4. Доведено, що ефективність систем ОСМ і ODME залежить від точності роботи вимірювальних модулів, правильного технічного обслуговування, калібрування обладнання та кваліфікації екіпажу, включаючи правильне ведення записів і дотримання процедур експлуатації.

5. Виявлено, що застосування сучасних систем контролю та автоматизації процесів очищення нафтовмісних вод дозволяє мінімізувати вплив нафтових стоків на морське середовище, забезпечує своєчасне реагування на перевищення допустимих концентрацій та сприяє виконанню міжнародних екологічних стандартів.

6. Встановлено, що розвиток та модернізація систем ODME і OSM, а також інтеграція їх з іншими технологічними схемами очищення, є критично важливою умовою підтримки екологічної безпеки судноплавства та зниження техногенного навантаження на океанські екосистеми.

## ВИСНОВКИ

У роботі на основі виконаних досліджень вирішено задачу управління процесами очищення суднових нафтовмісних вод.

В результаті виконаних досліджень було виявлено ряд закономірностей, аналіз яких дозволяє стверджувати, що сформульовані в роботі допоміжні задачі можуть вважатися виконаними. При виконанні роботи були використані коректні і достовірні методи дослідження.

У роботі отримані наступні основні наукові та практичні результати.

1. Проведено аналіз сучасних методів очищення СЛВ – гравітаційні, відцентрові, коалесцентні, флотаційні, біологічні, абсорбційні та адсорбційні. Визначено, що найефективнішими та найпоширенішими є саме відцентрові, ультрафільтраційні й адсорбційні системи, які поєднують високу ефективність очищення з екологічною безпекою та надійністю експлуатації.

2. Проаналізовано правила обробки та скидання нафтовмісних вод та встановлено, що вимоги Додатка I Конвенції MARPOL 73/78 є основою міжнародної системи екологічної безпеки мореплавства. Дотримання цих положень забезпечує зниження ризику забруднення, підвищення екологічної культури екіпажу й ефективне функціонування систем очищення лляльних вод на судах.

3. Проведений огляд дослідження забруднення морських акваторій судновими лляльними водами дозволив оцінити вплив суден на прибережні екосистеми та визначити обсяги трюмної води на різних типах суден. Застосування лінійної регресії та симуляцій Монте-Карло дозволяє розрахувати розподіл ризику скидання лляльної води в Анталійській затоці, прогнозувати очікувану кількість суден та обсяги відходів на найближчі роки відповідно.

Результати підкреслюють необхідність більш ефективного очищення трюмних вод перед скиданням у море та обґрунтовують розвиток портової інфраструктури для їх збору й утилізації. Методика універсальна для оцінки ризиків у різних регіонах, а прогнозування обсягів лляльних вод сприяє

нормативному регулюванню, зменшенню морського забруднення та збереженню біорізноманіття прибережних зон.

4. Дослідження технологічних аспектів управління та сепарації нафтовмісних трюмних вод на судах дозволило систематизувати знання щодо ефективності та специфіки функціонування сучасних систем контролю, таких як ODME та OSM. Було встановлено, що дані системи забезпечують високоточне визначення вмісту нафти у стічних водах, автоматизоване регулювання скидання та суворе дотримання положень Конвенції MARPOL 73/78, що сприяє мінімізації ризику забруднення морського середовища та підвищенню екологічної компетентності суднових екіпажів.

Проте результати моделювання вказують на потребу модернізації окремих елементів систем контролю та підвищення надійності в умовах зростання екологічного навантаження.

Метою дослідження було оцінити ефективність систем ODME та OSM у контролі нафтовмісних вод та їхній внесок у екологічну і технічну безпеку судноплавства. Встановлено, що ефективність систем залежить від технічного обслуговування, калібрування та підготовки екіпажу, що забезпечує дотримання міжнародних стандартів і захист морського середовища.



22.03.2022–23.03.2022. – Одеса: НУ "ОМА", 2023. – С. 315. Режим доступу: <http://onma.edu.ua/wp-content/uploads/2023/04/Tezysy2023-2.pdf>

8. Суднові установки очищення нафтовмісних вод: нормативні вимоги, методи очищення, конструкція та експлуатація: навчальний посібник / Д. Г. Парменова, І. М. Кулешов, В. М. Калугін. – Одеса: НУ ОМА. – 2025. – 148 с. ISBN 978-617-7857-47-0

9. Malakhov, O.V., Palagin, O.M., Naydyonov, A.I., Lykhoglyad, K.A., & Bondarenko, A.V. Bilge and Oily Water Treatment During Operation of Vessel. The International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation, National University "Odesa Maritime Academy", Odessa, Ukraine, 2024, 13 p. DOI: 10.12716/1001.18.02.23

10. Ткаченко І. В. Розробка технології розділення і очищення вод, що містять нафту / Суднові енергетичні установки: науково-технічний збірник. – Вип. 40. – Одеса: НУ «ОМА», 2020. – С. 169. – Режим доступу: [http://seu.onma.edu.ua/wp-content/uploads/2020/11/2020\\_40.pdf](http://seu.onma.edu.ua/wp-content/uploads/2020/11/2020_40.pdf)

11. Republic of Turkey Ministry of Transport and Infrastructure (TMOIT). 2021: веб-сайт. URL: <https://denizcilikistatistikleri.uab.gov.tr/gemi-istatistikler>.

12. İŞİAÇIK Çolak, A.T., & Can, S. Ship Based Oil Pollution for Black Sea. The International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation, Istanbul Technical University Maritime Faculty, Turkey, [Electronic resource] – URL: [https://www.researchgate.net/publication/273125905\\_Ship\\_Based\\_Oil\\_Pollution\\_for\\_Black\\_Sea](https://www.researchgate.net/publication/273125905_Ship_Based_Oil_Pollution_for_Black_Sea)

13. Ömer Harun Özkaynak & Gönül Tuğrul İçemer (2021) Determining the bilge water waste risk and management in the Gulf of Antalya by the Monte Carlo method, Journal of the Air & Waste Management Association, URL: <https://doi.org/10.1080/1096224>

14. Özkan Yılmaz, F., Nas, O., Özlüer Hunt, A. (2024) Mersin İli Taşucu Limanı'ndan Örneklenen Sintine Sularının Kirlilik Açısından Değerlendirilmesi. *MedFAR.*, 7(2):50-60. <https://doi.org/10.63039/medfar.1475892>

15. МЕРС.1/Circ.677. *Revised Guidelines for Systems for Handling Oily Wastes in Machinery Spaces of Ships Incorporating Guidance Notes for an Integrated Bilge Water Treatment System (IBTS)*. – Annex, Page 5. – International Maritime Organization (IMO), London, 2010.

16. Papakostas, G. *Bilge Water Management & Pollution – Loss Prevention Briefing for North Members’ Ships*. North of England P&I Association, 2014. [Електронний ресурс]: веб-сайт. URL: <https://www.scribd.com/document/455566180/Bilge-Water-Management-LP-Briefing>.

17. North of England P&I Association. (2015). *Oily Water Separator (OWS) Operational Issues – Important Safety & Port State Control Issue*. Loss Prevention Circular 01-05-15. [Electronic resource]: веб-сайт – URL: [https://www.preventionatsea.com/assets/public/files/DCP%20-%20Circular%2001-05-15%20-%20Oily%20Water%20Separator%20\(OWS\)%20Operational%20Issues%20-%20Important%20Safety%20%26%20Port%20State%20Control%20Issue%21%20.pdf](https://www.preventionatsea.com/assets/public/files/DCP%20-%20Circular%2001-05-15%20-%20Oily%20Water%20Separator%20(OWS)%20Operational%20Issues%20-%20Important%20Safety%20%26%20Port%20State%20Control%20Issue%21%20.pdf).

18. *Smart Bilge: огляд обладнання, що відповідає вимогам МЕРС.107(49)*. Rivertrace Engineering Ltd. (2015): веб-сайт. URL: <https://hub.rivertrace.com/knowledge/rivertrace-smartbilge-overview>

19. Mr. Marine Group. *Oil Discharge Monitoring Equipment – ODME*. Mr. Marine Group: веб-сайт. URL: <https://mr-marinegroup.com/instruments-controls/all-services/oil-discharge-monitoring-equipment/>

20. ODME (Oil Discharge Monitoring System) [Електронний ресурс]. Knowledge of Sea: веб-сайт. URL: <https://knowledgeofsea.com/odme-oil-discharge-monitoring-system>

21. Shipbuilding Knowledge. *ODME – What is it?* Shipbuilding Knowledge: веб-сайт. URL: <https://shipbuildingknowledge.wordpress.com/2017/10/27/odme-what-is-it/>

22. MySeaTime. A step by step guide of how to operate ODME and principle of its operation. MySeaTime: веб-сайт, 2016. URL: <https://www.myseatime.com/blog/detail/a-step-by-step-guide-of-how-to-operate-odme-and-principle-of-its-operation>
23. ABS Regulatory News. *Letter to Industry – Oily Water Separator: Issues and Flow Switch (MEPC.107(49))*; June 2025. URL: <https://ww2.eagle.org/content/dam/eagle/regulatory-news/2025/Letter-to-Industry-OWS-Issues-and-Flow-Switch.pdf>
24. Nwokedi, T.C., Onwuegbunam, D.E., Ejem, E.A., Toochukwu, T.C. (2022). Dominant constraints to the effective use of oily-water separator (OWS) in the control of ship-based oil pollution in West African waters. *Maritime Technology and Research*, 4(2), 253937. <https://doi.org/10.33175/mtr.2022.253937>
25. Virtue Marine. The Role of ODME Systems – Monitoring Oil Discharge at Sea. Virtue Marine: веб-сайт. URL: <https://www.virtuemarine.nl/post/the-role-of-odme-systems-monitoring-oil-discharge-at-sea>
26. Envirosoil Limited. *Appendix C-2: Key Treatment System Capabilities and Selection Rationale, and Training and Procedures* : Environmental Assessment Registration Document – Additional Information/ Envirosoil Limited. – Dartmouth, Nova Scotia : 2022. – URL: <https://novascotia.ca/nse/ea/Waste-Oil-Recycling-and-Water-Treatment-Facility/envirosoil-wor-wtf-appendix-c-2.pdf>
27. Separator Spares & Equipment, LLC. Ultra-Sep Bilge Water Separator. Separator Spares & Equipment, LLC: веб-сайт, 2025. URL: <https://separatorequipment.com/products/oily-water-separator/ultra-sep-bilge-water-separator/>
28. WÄRTSILÄ. Encyclopedia of Marine and Energy Technology. WÄRTSILÄ: веб-сайт. URL: <https://www.wartsila.com/encyclopedia/term/oily-water-separator-bilge-water-separator>
29. Nurul Aini Amran, Siti Nor Adibah Mustapha. Oil – Water Separation Techniques for Bilge Water Treatment // Resources of Water – Published: 26 October 2020. DOI: 10.5772/intechopen.91409.

30. United States Environmental Protection Agency Office of Wastewater Management, «Oily Bilgewater Separators», 2011, 98 p.

31. Byrd, J. Coagulation And Flocculation in Water Treatment Explained. WaterFilterGuru: веб-сайт, 2024. URL: <https://waterfilterguru.com/coagulation-and-flocculation-in-water-treatment/>

32. Regulation for water pollution control – Official Gazette, No. 19919. – URL: <https://faolex.fao.org/docs/pdf/rus11156E.pdf>

33. М'ягкий М. М., Ткаченко І. І. Вдосконалення процесу очищення вод, що містять нафту// Матеріали науково-технічної конференції молодих дослідників «Суднові енергетичні установки: експлуатація та ремонт»– Одеса: НУ «ОМА», 2020. – С. 163. – Режим доступу: <http://onma.edu.ua/wp-content/uploads/2021/03/%D0%A2%D0%B5%D0%B7%D0%B8%D1%81%D1%8B%202020%D0%9C%D0%B0%D0%B3%D0%B8%D1%81%D1%82%D1%80%D1%8B.pdf>