


Міністерство освіти і науки України
Національний університет «Одеська морська академія»
Навчально-науковий інститут інженерії

Кафедра суднових енергетичних установок

ДИПЛОМНА РОБОТА МАГІСТРА
на тему:

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ОЧИЩЕННЯ СУДНОВИХ ВОД, ЩО МІСТЯТЬ НАФТУ

Курсанта 2-го року навчання навчально-наукового інституту інженерії
Сокола Дмитра Руслановича

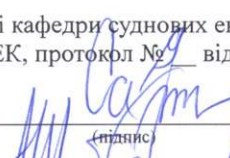
Керівник: к-т техн. наук, доцент Заблоцький Ю.В. 

Консультанти розділів:

Нормоконтроль 

Роботу заслухано на засіданні кафедри суднових енергетичних установок.
Рекомендовано до захисту в ЕК, протокол № 17/12 від 17.12 2025 р.

Завідувач кафедри СЕУ,
д-р техн. наук, професор


(підпис) Сергій САГІН

Рецензент (зовнішній)


(ПІБ, підпис, дата) А. Кобаяші. 18.12.25

Рецензент (внутрішній)


(ПІБ, підпис, дата) Д. Козлов. 18.12.25

Національний університет «Одеська морська академія»
Навчально-науковий інститут інженерії
Кафедра суднових енергетичних установок

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
суднових енергетичних установок

д-р техн. наук, професор Сергій САГІН
10 вересня 2025 р.

ЗАВДАННЯ

на виконання дипломної роботи магістра

Курсант ННІІ _____ Сокол Дмитро Русланович _____

1. Тема дипломної роботи: _____ Підвищення ефективності очищення _____
_____ суднових вод, що містять нафту _____

Затверджена наказом ректора НУОМА № 1414 від 24 листопада 2025 р. _____

2. Об'єкт дослідження _____ процес очищення суднових вод, _____
_____ що містять нафту _____

3. Предмет дослідження _____ процес гравітаційної сепарації суднових вод, _____
_____ що містять нафту _____

4. Обсяг пояснювальної записки: _____ 70...80 стор. _____

5. Структура пояснювальної записки дипломної роботи: _____

_____ Аналіз проблеми забезпечення Міжнародних екологічних вимог щодо скидання _____
_____ у відкрите море вод, які містять нафту _____

_____ Вибір теми; розробка методології, обґрунтування методів рішення завдань _____
_____ дослідження _____

_____ Аналіз конструктивної вдосконаленості та функціональної здатності установок _____
_____ для очищення вод, що містять нафту _____

_____ Реалізація вимог MARPOL щодо попередження забруднення довкілля судновими _____
_____ водами, що містять нафту _____

6. Зміст основної частини пояснювальної записки (перелік питань, що _____
_____ підлягають розробці):

_____ Аналіз проблеми забезпечення Міжнародних екологічних вимог щодо скидання _____
_____ у відкрите море вод, які містять нафту _____

_____ Вибір теми; розробка методології, обґрунтування методів рішення завдань _____
_____ дослідження _____

_____ Аналіз конструктивної вдосконаленості та функціональної здатності установок _____
_____ для очищення вод, що містять нафту _____

_____ Визначення способів підвищення ефективності процесу очищення вод, _____
_____ що містять нафту _____

_____ Реалізація вимог MARPOL щодо попередження забруднення довкілля судновими _____
_____ водами, що містять нафту _____

7. Перелік графічного матеріалу: _____

_____ Методологія наукового дослідження _____

_____ Аналіз способів очищення вод, що містять нафту _____

_____ Результати досліджень _____

_____ Висновки _____

РЕФЕРАТ

Магістерська дипломна робота: 74 сторінки, 12 рисунків, 4 таблиці, 39 літературних джерел.

Розглянути процеси очищення вод, що містять нафту. Надані основні способи, за допомогою яких можливо виконання технологічного процесу з очищення вод, що містять нафту до рівня 15 млн^{-1} , який вимагають норми МАРПОЛ 73/78.

Висунута та підтверджена наукова гіпотеза про те, що підвищення екологічних показників роботи суднових енергетичних установок забезпечується очищенням вод, що містять нафту до значень 5 млн^{-1} . Використання цієї технології можливо шляхом впровадження в суднову енергетику комплексної системи очищення вод, що містять нафту PureVilge з сепаратором тарілчастого типу WWPX 307.

Виконано розрахунок конструктивної енергетичної ефективності судна. Розроблені питання що до безпеки та виживання на морі, а також цивільного захисту судна та суднового екіпажу.

СУДНОВА ЕНЕРГЕТИЧНА УСТАНОВКА, ВОДИ, ЩО МІСТЯТЬ НАФТУ,
ОЧИЩЕННЯ ВОД, ЩО МІСТЯТЬ НАФТУ, ГІДРОДИНАМІЧНА
КАВІТАЦІЯ, КАВІТАТОР ОСТАТОЧНА КОНЦЕНТРАЦІЯ
НАФТОПРОДУКТІВ

ABSTRACT

Master`s degree thesis: 74 pages, 12 figures, 4 tables, 39 references.

The processes of purification of oil containing water is consider. The basic methods by which the process of purification of water containing oil up to the level of 15 mln^{-1} required by MARPOL 73/78 are provided.

The scientific hypothesis has been put forward that the increase of environmental performance of marine power plants is ensured by the treatment of oil-containing waters up to 5 mln^{-1} . The use of this technology is possible through the introduction of a comprehensive water treatment system containing PureBilge oil with a BWPX 307 plate separator into the ship's energy.

The design energy efficiency of the vessel has been calculated. Issues related to the safety of life and environmental safety during the operation of marine power plants have been developed. Consider the issue of anti-terrorist protection of the ship and its crew.

MARINE POWER PLANT, OIL-CONTAINING WATER, WATER-BASED EMULSIONS, OIL-CONTAINING WATER TREATMENT, HYDRODYNAMIC CAVITATION, CAVITATOR FINAL CONCENTRATION OF PETROLEUM PRODUCTS

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК ПРИЙНЯТИХ СКОРОЧЕНЬ.....	9
ВСТУП.....	10
1. АНАЛІЗ ПРОБЛЕМИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МІЖНАРОДНИХ ЕКОЛОГІЧНИХ ВИМОГ ЩОДО СКИДАННЯ У ВІДКРИТЕ МОРЕ ВОД, ЯКІ МІСТЯТЬ НАФТУ.....	14
1.1. Загальний стан проблеми.....	14
1.2. Аналіз способів очищення вод, що містять нафту.....	18
1.2.1. Відстоювання.....	20
1.2.2. Коалесценція.....	23
1.2.3. Флотація.....	25
1.2.4. Напірна флотація.....	25
1.2.5. Електрохімічне очищення.....	27
1.2.6. Відцентровий метод очищення.....	28
1.2.7. Адсорбція.....	30
1.2.8. Озонування.....	31
1.2.9. Біохімічне очищення.....	31
1.3. Висновки за розділом 1.....	32
2. МЕТОДОЛОГІЯ НАУКОВОГО ДОСЛІДЖЕННЯ	34
2.1. Вибір теми наукового дослідження	34
2.2. Цілі завдання дослідження	36
2.3. Системний підхід до формування технологічної карти наукового дослідження.....	37
2.4. Висновки за розділом 2.....	39
3. АНАЛІЗ КОНСТРУКТИВНОЇ ВДОСКОНАЛЕНОСТІ ТА ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ ЗДАТНОСТІ УСТАНОВОК ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ ВОД, ЩО МІСТЯТЬ НАФТУ.....	40
3.1. Загальні вимоги до установок, які забезпечують очищення вод,	

що містять нафту.....	40
3.2. Обґрунтування вибору способу очищення вод, що містять нафту.....	43
3.3. Фільтраційне очищення за допомогою ефектів коалесценції.....	44
3.4. Очищення за допомогою мембранної фільтрації.....	47
3.5. Висновки за розділом 4.....	51
4. ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ОЧИЩЕННЯ СУДНОВИХ ВОД, ЩО МІСТЯТЬ НАФТУ	53
4.1. Використання динамічних систем очищення вод, що містять нафту.....	53
4.2. Конструктивні особливості системи PureBilge.....	55
4.3. Конструктивні особливості системи сепаратора WWPX307.....	58
5. ЕНЕРГЕТИЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ СУДНОВОЇ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ УСТАНОВКИ.....	61
ВИСНОВКИ	67
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	70

ПЕРЕЛІК ПРИЙНЯТИХ СКОРОЧЕНЬ

ВМН	–	води, що містять нафту
ДВЗ	–	двигун внутрішнього згоряння
МАРПОЛ	–	Міжнародна Конвенція із запобігання забрудненню з суден
МКВ	–	машинно-котельне відділення
МКУБ	–	Міжнародний кодекс з управління безпекою
ОВМН	–	очищення вод, що містять нафту
ПАР	–	поверхнево-активні речовини
СЕУ	–	суднова енергетична установка
СУБ	–	система управління безпекою
ШРР	–	шкідливі рідкі речовини
ІМО	–	Міжнародна морська організація

ВСТУП

В теперішній час під час організації експлуатації суден морського та внутрішнього водного транспорту все більше застосування знаходить система управління безпекою (СУБ) при судноплаванні. Необхідність створення та використання СУБ під час організації діяльності судновласних компаній визначається, насамперед, вимогами Реєстру судноплавства України, а також розумінням актуальності питань забезпечення безпеки на транспорті, що формується в суспільстві, і зростаючим бажанням підвищити її рівень.

Безпека судноплавства передбачає безпеку людей та довкілля, а також судна та вантажу. Це взаємопов'язані поняття та сфери діяльності. Найчастіше забезпечення безпеки судна одночасно означає безпеку, наприклад, довкілля. Як випливає з раніше викладеного, однією із складових безпеки судноплавства загалом є екологічна безпека. Забезпечення екологічної безпеки судноплавства є певним видом діяльності, що має бути керованою, звідки виникає інший вид діяльності – управління екологічною безпекою.

Основною екологічною проблемою, що виникає під час експлуатації судових енергетичних установок (СЕУ) є забруднення водоймищ нафтопродуктами, які використовуються в СЕУ як основні види палива та мастила, і представляють найбільшу небезпеку для Світового океану.

Очищення вод, що містять нафту (ВМН) на морському транспорті вважається одним з пріоритетних екологічних завдань, оскільки нафта і нафтопродукти є найбільш поширеними антропогенними забруднювачами, які негативно впливають на стан морських екосистем.

До судових ВМН відносять, як правило, промивні води танкерів і, так звані, льяльні води машинно-котельних відділень (МКВ) суден. Загальна

кількість ВМН, що скидаються із суден, за абсолютним значенням в порівнянні з аварійними розливами танкерів невелика, але їх вплив на екологічний стан морського середовища має велике значення, особливо при збільшенні числа суден, їх тоннажу і інтенсивності судноплавства. Тому все більш актуальною постають проблеми про обмеження їх скидання, про підвищення вимог до якості очищення вод перед скиданням у море.

Відповідно до вимог Міжнародної Конвенції із запобігання забрудненню з суден МАРПОЛ 73/78 і резолюції Міжнародної морської організації (ІМО) МЕРС.107(49), яка набрала чинності 1 січня 2005 року, в міжнародних водах дозволяється скидати за борт очищені льяльні води з концентрацією нафтопродуктів не більше ніж 15 млн^{-1} . У майбутньому очікується подальше посилення законодавства і зниження допустимої концентрації нафтопродуктів у воді, що скидається в море, до 5 млн^{-1} (в акваторії Великих озер таке обмеження вже діє), і повна заборона скидання льяльних вод в життєво важливі водойми.

Сучасні природоохоронні вимоги забороняють всякий скидання забруднених нафтою льяльних вод без їх очищення. Причому при дослідженні проблеми запобігання забруднення водного середовища ВМН необхідно врахувати вимоги не тільки тих норм, дія яких поширюється на судна, а й норм природоохоронного права, які регулюють забруднення навколишнього середовища стаціонарними техногенними об'єктами. Це пов'язано з тим, що в деяких випадках запобігання забруднення водного середовища ВМН здійснюється за допомогою стаціонарних об'єктів – як плавучих, так і берегових, які потрапляють під дію зазначених норм.

Існують дві можливості очищення ВМН. ВМН, які утворюються при експлуатації суден, можуть бути очищені як судновими, так і поза судновими технічними засобами. Суднове очищення передбачає застосування суднових установок, які забезпечують очистку, достатню для скидання очищеної води за борт. Поза суднові очищення ВМН здійснюється за допомогою комплексу

допоміжних технічних засобів на окремих очисних спорудах – плавучих або берегових. Обидва напрямки є актуальними, так як для них існують власні «техногенні ніші», а також області, в яких можуть бути використані обидва ці способи. У деяких випадках, в основному на внутрішніх водних шляхах, найбільш доцільною, а іноді і єдино можливою є організація очищення ВМН за допомогою позасудових технічних засобів.

Незалежно від способу організації ВМН всі судна повинні бути обладнані судновою системою льяльних вод. Основним призначенням такої системи є збір ВМН, тимчасове зберігання, подача до суднової установки або на технічні засоби позасудового очищення льяльних вод.

З точки зору необхідності або можливості оснащення суден судновим природоохоронним обладнанням весь флот можна розділити на наступні групи:

- судна, які відповідно до сучасних природоохоронними вимогами повинні бути обов'язково оснащені судновими установками для очищення ВМН;
- судна, для яких можуть бути використані як суднові, так і позасудові природоохоронні технічні засоби;
- судна, які можуть обслуговуватися тільки засобами позасудового очищення.

Необхідність оснащення суден природоохоронним обладнанням і склад цього обладнання визначаються нормами природоохоронного права – міжнародного і національного. Дія цих норм пов'язано з районом плавання – внутрішні водні шляхи або райони моря. Судна, що працюють на морі і підпадають під дію норм міжнародного права, повинні бути обладнані судновими установками для очищення льяльних вод. Судна внутрішнього плавання підпадають під дію національних норм, які не вимагають їх

обов'язкового оснащення судновими установками для очищення льяльних вод.

Експлуатаційна надійність суднового устаткування оцінюється перш за все надійністю забезпечення необхідної якості очистки води, яка, в свою чергу, визначається наступними факторами:

- технологічна схема очищення;
- особливості конструкції очисного обладнання;
- результати випробувань обладнання в експлуатаційних умовах.

Крім того, необхідно враховувати можливість безперебійного забезпечення суднового устаткування змінними комплектуючими або реагентами.

Рішення про застосування суднових або позасудових природоохоронних технічних засобів для суден, які можуть використовувати як суднові, так і поза суднові засоби, приймається за результатами техніко-економічного обґрунтування.

Технічне обґрунтування повинно враховувати наступні обставини:

- можливість розміщення на судні природоохоронного обладнання;
- можливість передачі суднових льяльних вод на позасудові об'єкти;
- можливість застосування і розміщення поза суднових об'єктів, що забезпечують найбільш повне їх використання та ефективну обробку суден;
- оптимальний для конкретних умов ділянки водних шляхів склад комплексу засобів для поза суднового очищення льяльних вод.

Різноманіття викладених вимог тільки підкреслює важливість і актуальність проблеми забезпечення якісного очищення ВМ.

Саме цим питанням присвячена дипломна робота.

1. АНАЛІЗ ПРОБЛЕМИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МІЖНАРОДНИХ ЕКОЛОГІЧНИХ ВИМОГ ЩОДО СКИДАННЯ У ВІДКРИТЕ МОРЕ ВОД, ЯКІ МІСТЯТЬ НАФТУ

1.1. Загальний стан проблеми

Морський транспорт одним з перших зіштовхнувся із проблемою збереження чистоти Світового океану. Сучасні морські судна являють собою складні плавучі спорудження з потужними енергетичними установками й системами, які в процесі роботи призводять до утворення різноманітних видів відходів. Використання нафтопродуктів як паливо й мастильні матеріали супроводжується втратами у вигляді витоків з паливних і масляних систем, дрібних розливів при ремонтних роботах, випадкових розливах при заміні змащення, очищенню фільтрів. Нафтові відходи звичайно накопичуються в льялах МКВ, де перемішуються з водою, що також попадає в льяла у зв'язку з витокami з водяних систем і відпріванням. Льяльні води періодично видаляють із суден. Неочищені льяльні води є одним із джерел забруднення моря. Морську воду використовують на суднах для мийки вантажних і виробничих приміщень, механізмів і пристроїв. У цьому випадку також можливе забруднення моря, тому що води або водяні розчини препаратів, що використані для мийки, при скиданні в море можуть містити найрізноманітніші забруднюючі речовини в різних концентраціях і з'єднаннях [1, 2].

Крім морської води судна морського та внутрішнього водного транспорту споживають також атмосферне повітря для забезпечення горіння палива в судових енергетичних установках. У цьому випадку відбувається теплове забруднення атмосфери, обумовлене викидом гарячих газів із судових двигунів і котлів, а також забруднення у вигляді викиду незгорілих часток палива й продуктів його згорання, що несуть із собою різні шкідливі

хімічні сполуки (окису сірки, азоту, вуглецю, важких металів). Зазначені викиди розсіюються в атмосфері, осаджуються на поверхні води або розчиняються в ній.

Крім зазначених джерел забруднення морського середовища транспортними суднами, забруднення відбуваються також у результаті надзвичайних обставин – під час аварій. У таких випадках відбуваються забруднення, що викликають катастрофічні наслідки для тваринного й рослинного світу, морського середовища, а також наносять значний економічний збиток країнам, у берегів яких відбулося забруднення. Схема утворення відходів, які забруднюють морське середовище при експлуатації судна, показана на рис. 1.1.

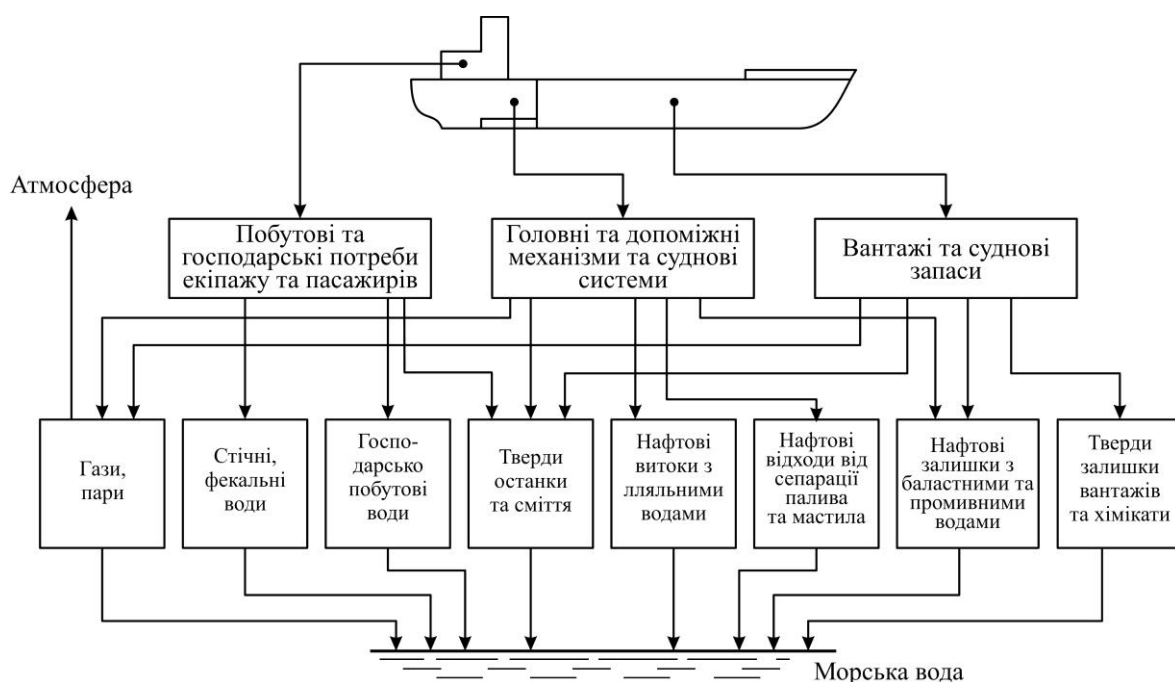


Рис. 1.1. Схема утворення відходів, що забруднюють морське середовище під час експлуатації суден морського та внутрішнього водного транспорту

У результаті узагальнення досліджень, що проводилися різними країнами, під керівництвом ІМО прийнято, що до основних видів

забруднюючих речовин, що попадають у морське середовище із транспортних суден, варто відносити:

- нафта й нафтопродукти;
- шкідливі, що не є нафтою рідкі речовини, перевезені на судах наливом (шкідливі рідкі речовини, перевезені наливом);
- шкідливі речовини, перевезені на судах в упакуванні, вантажних контейнерах, зйомних танках, в авто- або залізничних цистернах (шкідливі речовини, перевезені в упакуванні);
- стічні води;
- сміття;
- викиди в атмосферу з випускними газами.

Найпоширенішим і значним по кількості видом забруднення океану є нафта [3].

Існує наступна класифікація викидів у морське середовище нафтових вуглеводнів від судноплавства;

- 1) експлуатаційні скидання нафтового вантажу з танкерів;
- 2) скидання із суден при постановці в дока;
- 3) скидання з причалів, включаючи бункеровочні операції;
- 4) скидання з льяльними водами й відходами палива;
- 5) скидання з баластом, що містить нафту з паливних танків.
- 6) розливи під час аварії танкерів і суден, що не є танкерами.

Джерелами забруднення моря шкідливими рідкими речовинами (ШРР), перевезеними наливом на танкерах-газовозах і хімовозах, служать:

- баластові й промивні води з танків;
- льяльні води, що накопичуються в льялах приміщень, де встановлені механізми й пристрої для перевантаження ШРР;

- аварійні скидання вантажу, що відбуваються ненавмисно або навмисно, при обставинах, які не можуть бути заздалегідь передбачені (при зіткненнях, посадках на міліну, пожежах, впливі стихії, порятунку людського життя) [4].

Основним фактором забруднення моря ШРР є викачування із суден за борт промивних вод з танків, у яких перевозився вантаж. У цей час уникнути такого скидання майже неможливо, тому що число ШРР досить велике й більшість їх абсолютно не допускає взаємного змішування. Тому при кожній зміні вантажу ШРР на судні необхідно промивати вантажні ємності. Операція по видаленню залишків ШРР із танків ускладнюється тим, що ШРР можуть мати щільність меншої, більшу або рівну щільності води, бути добре або помірковано розчинними у воді або зовсім нерозчинними, бути летучими або важко розчиняються [5].

Скидання льяльних вод із змістом нафтопродуктів більше 15 млн^{-1} у відкрите море, а також в життєво важливі водоймища – і з ще меншою концентрацією, строго заборонений міжнародним законодавством і карається великими штрафами.

З цієї причини усі судна мають бути оснащені системами очищення льяльних вод, причому для запобігання використанню неефективних рішень усе устаткування має бути протестоване і відповідати вимогам резолюції МЕРС.107 (49).

Відповідно до вимог МАРПОЛ в морі дозволяється скидати за борт очищені льяльні води з концентрацією нафтопродуктів не більше 15 млн^{-1} . Деякі уряди, регіональні і місцеві органи влади встановлюють ще жорсткіші вимоги. Наприклад, в територіальних водах США, в Балтійському і Північному морях скидання льяльної води, що пройшла очищення дозволено на відстані не менше 12 морських миль від берега [6].

Методи контролю, використовувані державними агентствами і іншими уповноваженими органами, стають усе більш ефективними і сьогодні

включають як повітряні, так і космічні засоби визначення фактів розливу вуглеводнів у Світовому океані.

Сьогоднішні нормативи ІМО передбачають окрім перевірки якості видалення з льяльної води нафтопродуктів сепаратори, призначені для очищення, тестувалися на стійких емульсіях (з включенням тонкодисперсних часток і хімікатів на основі поверхнево-активних речовин – ПАВ). Системи очищення льяльних вод повинні також мати монітор з функцією пам'яті, що забезпечує відображення дати, часу, поточного статусу системи і видачу аварійного сигналу про перевищення допустимої концентрації нафтопродуктів. Усі дані про роботу системи повинні зберігатися упродовж 18 місяців.

Існує цілий ряд методів очищення льяльних вод, що застосовані на використанні суднових сепараторах, наприклад установки з фізико-хімічним очищенням, які підрозділяється на: очищення і флотацію льяльних вод; адсорбційну фільтрацію; традиційну коагуляцію; коалісцентну фільтрацію; мембранну фільтрацію.

Усі вони є статичними технологіями, спочатку призначеними для роботи в режимі періодичного завантаження, коли обробка величезного обсягу льяльної води ведеться впродовж короткого часу [7].

1.2. Аналіз способів очищення вод, що містять нафту

Спосіб і технологія очищення ВМН визначається, в основному, необхідною мірою очищення. Міжнародні і національні вимоги передбачають наявність на судах, пристроїв, що фільтрують, з очисною здатністю 15 млн^{-1} .

Згідно з вимогами Міжнародної конвенції по запобіганню забруднення з суден MARPOL 73/78 можливі наступні варіанти судового устаткування для утилізації вод, що містять нафту:

1) збірні танки;

2) збірний танк плюс устаткування, що фільтрує, із ступенем очищення вод, що містять нафту менше 15 млн^{-1} і прилад контролю концентрації і автоматичного припинення зливу за борт при перевищенні концентрації нафти в скиданні більше 15 млн^{-1} [8].

Способи очищення вод, що містять нафту можуть бути класифіковані за різними ознаками, проте найбільше застосування отримала класифікація по характеру використовуваних процесів. За цією ознакою способи очищення вод, що містять нафту можна розділити на механічні, фізико-хімічні, хімічні і біохімічні (таблиця 1.1).

Таблиця 1.1. Класифікація способів очищення вод, що містять нафту

Спосіб очищення	Допустима початкова концентрація ВМН, млн^{-1}	Ступінь очищення ВМН, що досягається, млн^{-1}
Механічний відстоювання	більше 1000	40...100
центрифугування	більше 1000	10...15
Фізико-хімічні флотація	менше 1000	20...60
коалесценція	менше 1000	10...15
адсорбція	менше 100	1...3
Хімічний (озонування)	50	1...10
Біохімічні (за допомогою мікроорганізмів)	100	1...10

1.2.1. Відстоювання

Найбільш простий і економічний спосіб очистки води від нафтопродуктів. Нафтопродукти, як легші в суміші нафта-вода, поступово спливають, що призводить до розділення компонентів. Гравітаційне відстоювання дозволяє відокремлювати з вод, що містять нафту практично усі частки нафтопродуктів, що є грубо дисперсними і очищувати ВМН до концентрації 100 млн^{-1} , що на сьогодні є недостатнім [9].

Нині сепаратори, що працюють за принципом гравітаційного розподілу, використовуються в більшості установок для очищення вод, що містять нафту в якості першого ступеня. При розрахунку відстійних сепараторів первинним завданням є визначення оптимальних розмірів відстійника, щоб час знаходження в ньому ВМН було достатнім для відділення часток нафти. Для цього необхідно розрахувати середній діаметр часток нафти, які необхідно відокремити, а також швидкість їх спливання. Принцип гравітаційного розподілу нафто водяної емульсії описується законом Стоксу, за яким визначається швидкість спливання краплі нафти у воді, м/с

$$u_o = \frac{gd^2(\rho_v - \rho_n)}{18\mu_v};$$

де d – діаметр крапельки нафти, м;

g – прискорення вільного падіння, м/с^2 ;

ρ_v, ρ_n – густина води та нафти, кг/м^3 ;

μ_v – коефіцієнт динамічної в'язкості води, $\text{Па}\cdot\text{с}$.

Наявність в водах, що містять нафту механічних домішок зменшує швидкість спливання часток нафти, тобто

$$u = \alpha u_o;$$

де α – коефіцієнт зменшення швидкості спливання часток нафти внаслідок наявності механічних домішок.

Якщо відсутні дані про швидкість спливання крапельок нафти, то розрахункову швидкість спливання рекомендують приймати в межах 0,004...0,006 м/с. При цьому розміри відстійника, зображеного на рис. 1.2, можна розрахувати таким чином [10].

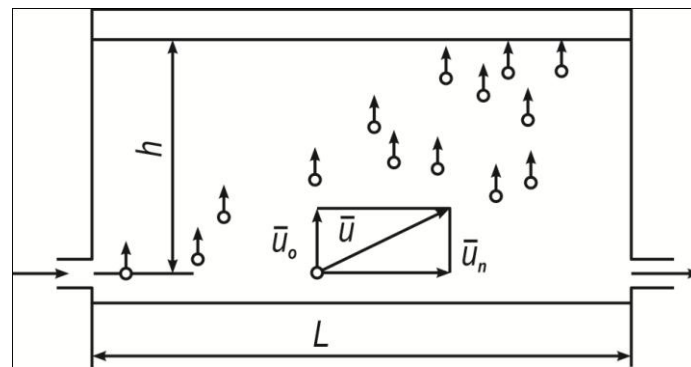


Рис. 1.2. Схема руху часток нафти у відстійнику

Частки нафти рухаються зі швидкістю u , що являється рівнодійною швидкості спливання часток u_o , і швидкість руху часток з потоком емульсії u_n . Для відділення часток нафтопродуктів у відстійнику необхідно, щоб вони при проходженні відстані L спливли на висоту h до поверхні сепарації або до вільної поверхні плівки нафтопродуктів, яка відстоялася. Ця умова виражається рівнянням

$$\frac{L}{u_n} = \frac{h}{u_o}.$$

Площа F_o і об'єм V_o відстійника визначаються за наступними формулами

$$F_o = \frac{\beta Q}{u_o};$$

$$V_o = \frac{\beta Q}{t_o} = F_o h;$$

тут Q – продуктивність відстійника, $\text{м}^3/\text{с}$;

β – коефіцієнт, що враховує вплив прослизання і турбулентності потоку на швидкість часток нафтопродуктів;

$t_o = h/u_o$ – тривалість відстою, с.

Коефіцієнт β визначається як

$$\beta = \beta_n \beta_T;$$

де β_n – коефіцієнт прослизання;

β_T – коефіцієнт турбулентності.

Середня швидкість руху емульсії і у відстійнику приймається звичайно 0,004...0,006 м/с.

Для підвищення ефективності відстоювання в останній час все частіше застосовують тонкошарові відстійники (рис. 1.3).

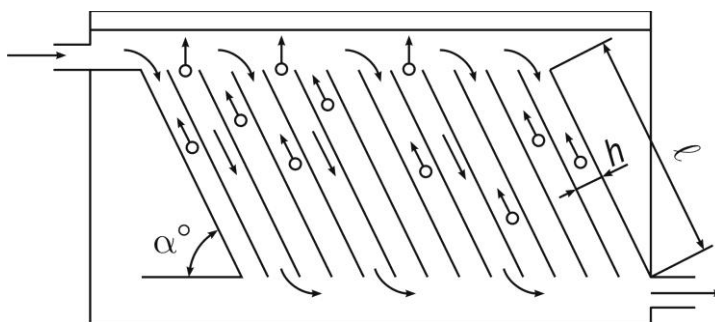


Рис. 1.3. Тонкошаровий відстійник

У тонкошаровому відстійнику істотно зменшується шлях краплі нафти до поверхні сепарації. Потік води, що очищається розбивається на тонкі шари і жорстко ламіналізується, при цьому якісно підвищується ефективність очищення вод, що містять нафту. Частилки нафтопродуктів спливають до

зіткнення з нахильною пластиною, з'єднуючись з іншими краплями, збільшуються на ній. Після того, як підйомна сила перевищить сили адгезії, що утримають краплю нафти на поверхні пластини, вона підніметься вгору уздовж пластини і спливе в нафто збірник.

Таким чином, гравітаційний спосіб очищення вод, що містять нафту найбільш простий і економічний, не вимагає складного коштовного устаткування, але як показала практика експлуатації в суднових умовах, не забезпечує стабільність очисної здатності навіть на рівні 100 млн^{-1} , яка істотно залежить від типу насоса, що перекачує, міри дисперсності нафтопродуктів, наявності парів нафти в льялах МКВ. Тому відстійники в сучасних сепараційних установках використовуються лише в якості першого ступеня.

1.2.2. Коалесценція

Процес укрупнення, злиття крапельок нафти називається коалесценцією. Коалесціючі елементи приймають, як правило, в якості другого ступеня установок для очищення вод, що містять нафту і знайшли широке застосування на судах. Методом коалесценції можна очистити води, що містять нафту до концентрації менше 15 млн^{-1} . Це досягається шляхом укрупнення крапель нафти при проходженні через пори коалесціючого елементу і злиття їх з іншими краплями. Потім укрупнені краплі проходять через шар коалесціючого елементу і відділяються в нафто збірнику. Коалесціючий елемент відрізняється від фільтруючого елементу тим, що він пропускає обидві складові емульсії: нафту і воду. Елемент, що фільтрує, затримує нафту, а пропускає лише воду. У початковий момент часу коалесціючий елемент працює як фільтр. Потім після насичення об'єму пір нафтопродуктами він починає пропускати через себе воду і нафту,

збільшуючи краплі нафтопродуктів, тому після коалесціючого елемента має бути передбачений невеликий відстійник для відділення укрупнених крапель нафтопродуктів [11].

Розрізняють три типи процесу коалесценції:

- глибинний, коли укрупнення часток нафти відбувається в пористому матеріалі;
- поверхневий, коли коалесценція має місце на поверхні коалесціючого матеріалу;
- коалесценція в об'ємі дисперсійного середовища, коли трапляється злиття крапель при зіткненні їх один з одним.

В якості коалесціючих матеріалів можуть бути використані: синтетичні (скловолокно, поліпропілен, поліуретан); зернисті (пісок, гравій); натуральні (бавовна, шерсть).

Величинами, що істотно впливають на процес коалесценції є наступні:

- швидкість проходження нафто-водяної емульсії (рекомендується 0,0015...0,003 м/с);
- фізичні властивості коалесціючого середовища;
- фізико-хімічні властивості рідин (густина, в'язкість, температура та ін.);
- поверхнєве натягнення на межі нафта-вода.

Досвід експлуатації показав, що критичними характеристиками коалесціючих елементів являються час їх праці до забруднення пір коалесціючого матеріалу і можливість його регенерації. Коалесціючі установки для очищення вод, що містять нафту мають високу очисну здатність, але мають малий ресурс роботи, так як наявність в водах, що містять нафту великої кількості механічних домішок призводить до швидкого забруднення дрібних пір (до 100 мкм) коалесціючого елемента, для якого неможлива ефективна регенерація. Це вимагає частого розбирання сепаратора і заміни коалесціючих елементів [12].

1.2.3. Флотація

Прискорене спливання крапельки нафти, що злиплася з бульбашкою повітря називається флотацією. Залежно від способу введення бульбашок повітря в воду розрізняють механічну, пневматичну, напірну і електрохімічну флотацію. При механічній флотації введення бульбашок повітря здійснюється за допомогою імпеллеру.

У разі пневматичної флотації бульбашки повітря утворюються за рахунок подачі стислого повітря в перфоровані труби, укладені на дні установки сепарації. Пневматичні флотаційні установки розраховуються на 20...30 хвилинний цикл очищення. Об'єм флотатора розраховується по формулі

$$V_t = 1,4Qt;$$

де Q – витрата нафто-водяної емульсії, м³/с;

t – тривалість перебування емульсії у флотаторі, с;

1,4 – коефіцієнт збільшення об'єму камери на розміщення шару, що сплив, і висоту борту.

При використанні пневматичної флотації ефективність очищення не перевищує 60...70% [10].

1.2.4. Напірна флотація

Принцип дії способу полягає в тому, що в напірній місткості при підвищеному тиску створюється перенасиченим повітрям розчин води, що містить нафту. Потім вода поступає у флотатор, в якому тиск практично

рівний атмосферному. При скиданні тиску з води виділяються бульбашки розчиненого в ній повітря, які флотують частки нафтопродуктів на поверхню.

Кількість розчиненого у воді повітря залежить від тиску, температури і тривалості насичення і виражається залежністю

$$x = pb - pb_a e^{-kt_n},$$

де p – тиск насичення води повітрям, Н/м²;

b – розчинність повітря у воді при атмосферному тиску, мг/л;

b_a – дійсна кількість повітря у воді перед насиченням, мг;

k – постійна швидкості розчинення повітря у воді (при $t=20^\circ\text{C}$ $k=0,35$);

t_n – тривалість насичення (5...10 хв.).

Радіус бульбашок повітря, стійко існуючих після виділення з води, рівний

$$r_b = 2\sigma_{вг} (p - p_1);$$

де $\sigma_{вг}$ – поверхнєве натягнення на межі вода-газ;

$(p - p_1)$ – перепад тиску між напірною місткістю і флотатором.

Об'єм напірного резервуару визначається з вираження

$$V_p = Q_n t_n;$$

де Q_n – продуктивність насоса;

t_n – час роботи насоса.

Швидкість спливання бульбашок повітря для діаметрів до 0,4 мм визначається по формулі

$$u_o = \frac{r_b^2 g (\rho_b - \rho_r)}{9} \mu_b;$$

де r_b – радіус бульбашки повітря, м;

$\rho_{\text{в}}$ – густина води, кг/м³;

$\rho_{\text{в}}$ – густина повітря, кг/м³;

$\mu_{\text{в}}$ – коефіцієнт динамічний в'язкості води, Па·с.

Завдяки прискореному спливанню крапель нафти що злиплися з бульбашками повітря, метод флотації дозволяє інтенсифікувати процес очищення вод, що містять нафту суднових енергетичних установок. Проте цей метод має ряд серйозних недоліків, а саме:

- низька за сучасними вимогами міра очищення;
- необхідність використання флотаційного реагенту;
- великі габаритні розміри і маса;
- підвищена трудомісткість обслуговування;
- віднесення великої кількості води в шламову цистерну при роботі пінознімача [11].

1.2.5. Електрохімічне очищення

Основними способами електрохімічного очищення вод, що містять нафту є електрохімічна коагуляція і електрохімічна флотація.

При пропусканні через воду, що очищається постійного струму відбувається розчинення анода. Частки гідроокиси металу, що утворилися, мають високу активність і сорбційну здатність, забезпечуючи укрупнення часток нафтопродуктів. Потім за рахунок бульбашок газу, нерозчинних катодів (зазвичай графітових), що утворюються на поверхні, укрупнені частки нафтопродуктів флотують на поверхню. Як правило, густина струму приймають 200...300 А/м², відстань між пластинами електродів 10...20 мм, швидкість руху емульсії 0,03...0,05 м/с, витрата електроенергії до 1

кВт·год/м³. Ефективність очищення води від нафтопродуктів електрохімічною флотацією досягає 90%.

Разом з перевагами електрохімічний метод очищення має ряд істотних недоліків: велика витрата електричної енергії, засмічення простору між електродами, утворення окисних плівок на електродах, виділення на катоді водню, а на аноді кисню і хлору. Водень, що виділився при електричній флотації в суміші з киснем повітря утворює вибухонебезпечну суміш. Тому в електрохімічних установках мають бути автономні витяжні вентилятори. Внаслідок вказаних недоліків електрохімічні методи очищення вод, що містять нафту не знайшли широкого застосування на судах.

1.2.6. Відцентровий метод очищення

Необхідність зменшення габаритів сепараційних установок і підвищення міри очищення вод, що містять нафту привели до ідеї використання відцентрового поля [12].

У відцентрових сепараторах відношення прискорення відцентрової сили до прискорення вільного падіння називають чинником розподілу і позначають

$$K_p = \frac{\omega^2}{gR};$$

де ω – кругова частота обертання;

R – відстань частки до осі обертання;

g – прискорення вільного падіння.

Як впливає з останньої формули, швидкість розподілу емульсії під дією відцентрових сил в K_p разів перевищує швидкість при статичному відстоюванні.

Створення відцентрового поля може здійснюватися шляхом обертання корпусу сепаратора або закручуванням потоку емульсії при нерухомому корпусі.

Перший спосіб знайшов своє застосування в центрифугах, принцип дії яких заснований на розподілі рідин з різною густиною під дією відцентрових сил. Частота обертання ротора центрифуг зазвичай приймається рівною $35...60 \text{ c}^{-1}$, при цьому виникають досить великі відцентрові сили, дозволяючи добитися високого ступеню очищення вод, що містять нафту, незалежно від концентрації і дисперсності початкової емульсії, а також типу насоса, що її перекачує. Таким чином, відцентрові сепараційні установки мають високу здатність до розділу нафти і води, а також мають малі питомі габарити. Проте внаслідок наявності великої кількості механічних домішок в водах, що містять нафту спостерігається підвищений знос деталей відцентрового сепаратора, що труться, в першу чергу, ущільнень манжетів і підшипників. Крім того, він характеризується складністю конструкції і експлуатації.

Спосіб створення відцентрового поля закручуванням потоку емульсії при нерухомому корпусі застосовується в гідродинамічних циклонах. Простий циклонний апарат складається з співвісних верхньої циліндричної і нижньої конічної частин. Емульсію, що розділяється, вводять тангенціально в циліндричну частину циклону, це створює обертальний рух рідини й переміщення часток нафти до осі обертання, а води – до периферії. Відсепаровані нафтопродукти відводять через патрубок, співвісне закріплений на кришці циклону, а очищену воду – через патрубок в нижній частині.

Унаслідок недостатньо високої очисної здатності гідро-циклони не знайшли широкого застосування на судах.

1.2.7. Адсорбція

Процес очищення адсорбцією заснований на поглинанні дисперсних часток поверхнею адсорбційного матеріалу. За допомогою сорбентів можна витягнути навіть розчинені нафтопродукти. Прийнято вважати, що нафта і вода рідини, які не змішуються, проте це не зовсім так. Чим менше густина нафтопродукту, тим він краще розчиняється у воді: бензин – до 25 мг/л, дизельне паливо – до 5 мг/л, надважкі палива – практично не розчиняється.

В якості сорбентів застосовують різні пористі матеріали: зола, кокс, активоване вугілля, синтетичні матеріали на основі смол формальдегідів [23].

Чим сильніше зв'язок молекул речовини, що витягується молекулами води, тим, гірше адсорбується речовина з розчину. Ефективність очищення також залежить від початкової концентрації нафтопродуктів у воді, способу завантаження, що фільтрує, і її пористості.

Пори за своїм розміром розділяють на три види: макропори (0,1...2 мкм) перехідні пори (0,004...0,1 мкм) і мікропори (менше 0,004 мкм).

Обов'язковою умовою нормальної експлуатації адсорбційних фільтрів є попереднє очищення вод, що містять нафту від основної частини нафтопродуктів. Інакше пори швидко забруднюються і адсорбент втрачає поглинаючу здатність. Адсорбційні сепараційні установки мають високу очисну здатність і здатні очищати воду до концентрацій нафтопродуктів 10 млн⁻¹ і менш, проте вони мають наступні недоліки:

1) концентрація нафтопродуктів на вході в адсорбційний елемент має бути не більш 100 млн⁻¹, тобто необхідне попереднє очищення вод, що містять нафту;

2) малий ресурс роботи;

3) неможливість ефективної регенерації адсорбенту, що, зрештою, вимагає періодичної його заміни.

1.2.8. Озонування

Полягає в обробці вод, що містять нафту озonom. Метод дозволяє видаляти з води емульговані і розчинені нафтопродукти, має високу міру очищення вод, що містять нафту [12].

Основним способом отримання озону O_3 являється його генерація за допомогою електричного розряду при напрузі 5000 В в повітрі або в кисні. Витрата електроенергії на отримання 1 кг озону в різних типах озонаторів складає від 13 до 57 кВт/год.

Розчинність озону у воді залежить від тиску і температури. Витрата озону на 1 міліграмі нафтопродуктів залежить від міри забруднення вод, що містять нафту і в середньому при тривалості контакту 20...50 хвилин складає:

- 4,8...6,2 мг/мг при початковій концентрації нафти 10...20 мг/л;
- 2,4...3,5 мг/мг при 20...30 мг/л;
- 0,9...1,5 мг/мг при концентрації нафти більше 30 мг/л.

Внаслідок великої витрати електроенергії, токсичності і високої корозійної агресивності озону, метод озонування не знайшов широкого застосування на суднах для обробки вод, що містять нафту.

1.2.9. Біохімічне очищення

Це очищення засноване на здатності мікроорганізмів в процесі своєї життєдіяльності використовувати нафтопродукти для свого живлення. Нафтопродукти окислюються певним набором мікроорганізмів, пристосованих до води, що містить нафту, при насиченні води киснем повітря (аеробні бактерії). Проте кількість нафтопродуктів у воді, що очищається, має бути обмежена і складає не більше 100 млн^{-1} .

Для нормальної життєдіяльності мікроорганізмів необхідно підтримувати строго певні умови:

- водневий показник води $pH=6,5...8,5$;
- температура $20...25^{\circ}C$;
- концентрація кисню у воді – не нижче 2 міліграма/л.

Крім того в ВМН мало елементів, необхідних для функціонування мікроорганізмів, тому в очищену воду необхідно подавати азотні, фосфорні, калійні з'єднання. Внаслідок вказаних недоліків, а також чутливості мікроорганізмів до змін в складі і кількості води, що очищається, тривалого періоду запуску, біохімічні установки також не отримали широкого застосування на суднах. Цей метод більше широко застосовується для очищення суднових стічних вод.

1.3. Висновки за розділом 1

Як результат розділу 1 зробимо наступні висновки.

1. Невід'ємної складової процесу експлуатації суднових енергетичних установок є утворення шкідливих речовин, що забруднюють довкілля (атмосферу та морську воду). Однієї зі забруднюючих речовин є води, що містять нафту.

2. Вимоги Міжнародних (насамперед MARPOL) та національних конвенції суворо обмежують можливість скидання ВМН та вимагають їх попереднього очищення до концентрації нафтових часток у воді до значення 15 млн^{-1} , а в деяких морських акваторіях (згідно до національних вимог країн-власників територіальних вод – до 5 млн^{-1}). Це обов'язує виконувати очищення ВМН у суднових умовах.

3. Як методи, за допомогою яких можливо забезпечити очищення ВМН до рівня 15 млн^{-1} , є відстоювання, коалесценція, флотація, напірна флотація,

електрохімічне очищення, відцентрове очищення, адсорбція, озонування, біохімічне очищення.

4. Прогнозоване посилення Міжнародних та національних вимог до концентрації нафтопродуктів у водах, що скидаються за борт, зобов'язує здійснювати пошуки шляхів оптимізації та вдосконалення методів очищення ВМН, а також виконувати розробки сучасного обладнання, яке здатне забезпечити ступінь очищення ВМН до рівня 5 млн^{-1} .

Викладене підкреслює актуальність наукових досліджень за цим напрямком.

2. МЕТОДОЛОГІЯ НАУКОВОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1. Вибір теми наукового дослідження

Згідно основам наукових досліджень: «Вибір є дією, що надає науковому дослідженню цілеспрямованість, а тому він представляє центральний етап для прийняття шуканого рішення».

Тема дослідження виходить зі спостережень подій і фактів з їх фіксацією висловлюваннями. В інформаційному пошуку знайшли своє відображення як практичні так і наукові факти, пов'язані з отриманням на борт судна, транспортуванням, попередньої обробкою, технічним вдосконаленням процесу підготовки, подачею до дизеля та впорскуванням палива.

Після здобуття фактичного матеріалу слід переходити в іншу фазу роботи: угруповання фактів по їх важливості, актуальності, передбачуваної науковою новизною, економічної ефективності, можливості бути реалізованим і т.і.

Вибір найбільш важливого і актуального факту вимагає його подальшого пояснення. З методологічних основ наукових досліджень відомо, що намір пояснити факт формує проблему, яка представляє питання або комплекс питань. Тому правильно поставити завдання означає частково розв'язати цю проблему. При постановці проблеми відокремлюються відоме від невідомого, факти доведені від вимагають докази, формулюється питання основного змісту проблеми з подальшим визначенням конкретного шляху її вирішення .

Рішення проблеми починається з формулювання гіпотези і подальшим переходом від невідомого до відомого пізнання факту за допомогою відомих або пропонується прийняти теорій, формуванням принципів і законів дослідження [14].

Методологія наукового дослідження відображає його стратегію і представляє систему методів, форм, засобів і видів пізнання, яка розділена на

змістовну (структура) і формальну (пояснення). До складу методології науки входять: сукупність вихідних вимог і принципів дослідження; система методів наукового пізнання; теоретичне обґрунтування використовуваних методів з розробкою конкретних методик і процедур дослідження. Тому визначення передбачуваної новизни дослідження вимагає вивчення ступеня його методологічної забезпеченості.

Вихідні вимоги і принципи підсилюють детермінізм результатів дослідження і підвищують достовірність закономірностей зв'язків і взаємообумовлених в об'єкті досліджень. Використовувані методи пізнання (абсолютні, загальнонаукові, і логічні) в техніці: аналіз, синтез, індукція, дедукція, ідеалізація, аналогія, моделювання, планування експерименту виходять з загально логічних розумових понять про поведінку або оперуванні об'єктами дослідження. Однак слід пам'ятати, що критерієм істини є експеримент. Методика відображає тактику наукового пізнання і містить сукупність, послідовність, а також порядок використання обраних прийомів і методів дослідження. Всі наведені методологічні визначення та положення, що відображають систему принципів, способів організації та побудови теоретичної і практичної діяльності, є необхідними складовими системного підходу - загальнонаукового методу пізнання, який покладено в основу даного дослідження.

Процедура вибору теми дослідження передбачає перевірку кожного факту, розглянутого в результаті інформаційного пошуку за наступними характерними ознаками: важливість і актуальність формованої проблеми; передбачуваної науковою новизною; економічної ефективності планованого дослідження; відповідності дослідження основними напрямками певної наукової спеціальності і наукової школи; реалізація теоретичних положень, наукових та практичних результатів роботи [15].

2.2. Цілі завдання дослідження

Фундаментальні підходи класичної теорії пізнання мають на увазі повноцінне опис динаміки науково-пізнавального процесу як логічно завершеною ланцюжка розумових дій, що зв'язують перехід питання - проблема - гіпотеза. Закінчення зв'язку з цим надалі реалізується в теорії і концептуальному підході. На підставі цього методологічна основа цього дослідження є замкнутий цикл: основна мета → сформульована проблема → запропонована гіпотеза → реалізоване дослідження → теорія → наукове положення.

Об'єкт дослідження – процес очищення суднових вод, що містять нафту.

Предмет дослідження – процес гравітаційної сепарації суднових вод, що містять нафту.

Метою дослідження є реалізація вимог MARPOL щодо попередження забруднення довкілля судновими водами, що містять нафту.

Головне завдання дослідження – розробка методу очищення вод, що містять нафту, що сприятиме очікуваному посиленню вимогам Міжнародних та національних конвенцій та забезпечить концентрації нафтопродуктів на рівні 5 млн^{-1} .

Робоча гіпотеза досліджень полягає в тому, що підвищення екологічних показників роботи суднових енергетичних установок забезпечується очищенням вод, що містять нафту до значень 5 млн^{-1} .

З урахуванням зазначеного, рішення головного завдання повинно передувати рішенням набору допоміжних завдань, пов'язаних з дослідженням згаданих додаткових процесів.

Перше допоміжне завдання – аналіз існуючих схем та способів очищення вод, що містять нафту.

Друге допоміжне завдання – визначення оптимального складу та комплектації систем, що забезпечують очищення вод, що містять нафту.

Третє допоміжне завдання – визначення оптимального способу очищення вод, що містять нафту.

Рішенням **головного завдання** досліджень є результат синтезу отриманих рішень допоміжних завдань, за допомогою якого здійснена розробка схеми системи очищення вод, що містять нафту, та визначення її оптимальної комплектації, а також режимів її роботи. Її **науковим результатом** є визначення показники процесу динамічного очищення вод, що містять нафту, що забезпечують остаточну концентрацію 5 млн^{-1} .

Практичну цінність роботи складає запропонована комплексна схема очищення вод, що містять нафту.

2.3. Системний підхід до формування технологічної карти наукового дослідження

В ході наукових досліджень при використанні системного підходу необхідно розглядати процес пізнання як комплексний. В цьому випадку вивчається не тільки система як абстрактний об'єкт пізнання, а й пов'язаний з нею цілісний комплекс основних положень методології наукового пізнання. Такий комплекс завжди повинен ґрунтуватися на: об'єктивному і суб'єктивному підході; пов'язаності причинності і закономірності, стійкості і нестійкості, індукції і дедукції, аналізі та синтезі; скоординованих шляхи досягнення вірного і ефективного знання за рахунок взаємного урахування внутрішніх механізмів, логіки та організації знання [16].

Замкнений цикл наукового дослідження наданий у вигляді технологічної карти (рис. 2.1).

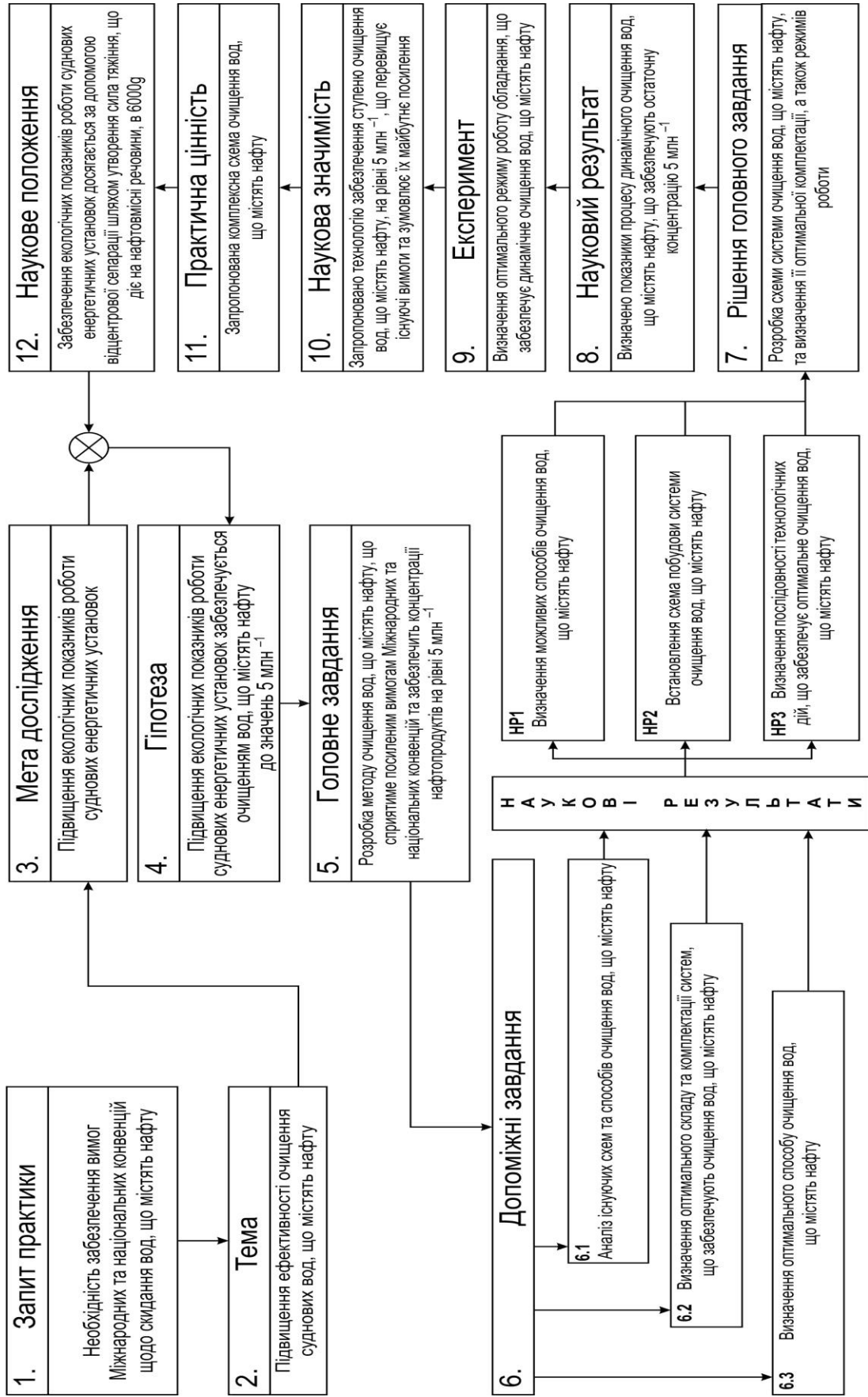


Рис. 2.1. Технологічна карта наукового дослідження

2.4. Висновки за розділом 2

1. В результаті вибору теми дослідження за ознаками: важливості, актуальності, наукової новизни, економічності, відповідності профілю наукової школи Навчально-наукового інституту інженерії, результатів досліджень і ряду наукових напрямків, сформульована тема, спрямована на вдосконалення процесу очищення вод, що містять нафту.

2. Як **об'єкт дослідження** обрано процес очищення суднових вод, що містять нафту. Як **предмет дослідження** – процес гравітаційної сепарації суднових вод, що містять нафту.

Предмет дослідження – процес очищення вод, що містять нафту.

3. **Головним завданням дослідження** є розробка методу очищення вод, що містять нафту, що сприятиме очікуваному посиленню вимогам Міжнародних та національних конвенцій та забезпечить концентрації нафтопродуктів на рівні 5 млн^{-1} .

4. Розроблена технологічна карта наукового дослідження.

3. АНАЛІЗ КОНСТРУКТИВНОЇ ВДОСКОНАЛЕНОСТІ ТА ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ ЗДАТНОСТІ УСТАНОВОК ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ ВОД, ЩО МІСТЯТЬ НАФТУ

На сьогодні, більшість суден, що здійснюють морські перевезення, обладнані установками для очищення вод, що містять нафту (установки ОВМН) зі ступенем очищення менше 15 млн^{-1} .

Подача вод, що містять нафту на установку ОВМН може здійснюватись безпосередньо з льяльних колодязів МКВ або із збірних цистерн. Другий варіант є оптимальнішим, оскільки вода, що очищується, збирається з льял в збірну ємність і може впродовж декількох днів там відстоюватися. Концентрація нафтопродуктів у воді, що відстоялася, складає $100 \dots 200 \text{ млн}^{-1}$. При подачі такої води на установку ОВМН, гарантовано маємо на виході високу якість очищення, ресурс елемента установки, що фільтрує також істотно зростає. Нафта, що відстоялася, віддаляється, минувши установку сепарації, в цистерну збору відсепарованих нафтопродуктів.

Розглянемо найбільш поширені і нові, найбільш перспективні установки і системи для очищення вод, що містять нафту і проаналізуємо їх переваги і недоліки.

3.1. Загальні вимоги до установок, які забезпечують очищення вод, що містять нафту

Сепараційні установки, що забезпечують очищення ВМН, повинні за своєю продуктивністю відповідати потужності СЕУ, бути сертифікованими

класифікаційними та наглядовими органами, забезпечувати тривалість та автономність роботи згідно до особливостей експлуатації морського судна.

Порівняння сепараційних установок робиться за наступними основними показниками:

- $K_{\text{вих}}$ – концентрація нафтопродуктів в очищеній воді;
- $K_0 = K_{\text{вих}} / K_{\text{вх}}$ – коефіцієнт очищення ($K_{\text{вх}}$ – концентрація нафтопродуктів на вході);
- питомі масо габаритні показники;
- питомі енерговитрати.

Перераховані показники дозволяють дати оцінку очисному пристрою не лише з точки зору відповідності вимогам ІМО за якістю очищення вод, що містять нафту, але і як одному з елементів суднової енергетичної установки.

Усебічний аналіз методів і пристроїв для очищення суднових вод, що містять нафту дозволяє виявити найбільш перспективні з них і намітити шляхи вдосконалення устаткування сепарації з метою виконання високих вимог, що пред'являються до них Міжнародною конвенцією по запобіганню забруднення з суден MARPOL73/78 [3, 17].

Технічні характеристики різних типів сепараторів для очищення вод, що містять нафту надані у таблиці 3.1.

З метою забезпечення вимог Міжнародних та національних конвенцій щодо вмісту нафтопродуктів у ВМН, розроблено багато спеціальних установок, що базуються на принципах коалесценції, гравітації, адсорбції та сепарації. Установки, що виконують очищення ВМН, забезпечують рівень концентрації нафтопродуктів 15 млн^{-1} (що відповідає діючим на сьогодні вимогам МАРПОЛ). Очікуване посилення Міжнародних вимог змушує до пошуку комплексних методів очищення ВМН, з метою забезпечення більш низьких концентрації залишків нафти та нафтопродуктів у водах, що скидаються за борт.

Таблиця 3.1.1. Технічні характеристики сепараторів для очищення вод, що містять нафту суднових енергетичних установок

Тип сепаратору	Продуктивність, м ³ /год	Очисна здатність, млн ⁻¹	Концентрація нафтопродуктів у воді		Коефіцієнт очистки	Удільний об'єм, м ³ ·год/м ³	Удільна маса, кг·год/м ³	Удільні енерговитрати, кВт·год/м ³
			до сепаратора, млн ⁻¹	після сепаратора, млн ⁻¹				
відстійний	1...10	100	17...5875	10...875	1,7...7	1,43...5,40	0,40...6,38	–
відстійний	10...25	100	200...10000	140...610	1,5...17	1,32...6,80	1,17...3,44	0,4...0,8
флотажний	3...10	100	206...422000	10...144	21...2930	0,9...1,34	0,40...1,1	1,3...5,5
фільтруючий	1,5...5	15	–	–	–	1,26...1,45	0,64...1,26	0,4...0,6
коалісцючий	1...10	15	1027...46000	0,15...21	6847...2190	0,8...1,86	0,40...1,25	0,3...0,5
відцентровий	1,6...10	15	1000...250000	0,2...10	5000...2500	0,7...01,00	0,27...1,00	2,1...3,0

3.2. Обґрунтування вибору способу очищення вод, що містять нафту

З проведеного аналізу різних способів і типів сепараторів для очищення вод, що містять нафту СЕУ витікає, що найбільш перспективними і такими, що мають значні можливості підвищення ефективності роботи є коалесціючі елементи, що мають нежорстку структуру, що дозволяє робити їх ефективну регенерацію. До таких коалесціючих елементів при відповідному конструктивному виконанні можна віднести тканинні фільтруючі елементи, мембранні фільтруючі елементи і коалесціючі елементи, що виконані у вигляді шару гранул.

Суттєвий вплив на якість очищення спричиняє тип пристрою, що перекачує і місце його розташування в системі для очищення вод, що містять нафту. Тому доцільним являється дослідження впливу здатності пристроїв, що перекачують і емульгують, на ефективність очищення вод, що містять нафту [23].

Враховуючи те, що за останні декілька десятиліть значно змінилися конструкції дейдвудних ущільнень, сальників насосів, повинен істотно змінитися об'єм накопичення вод, що містять нафту, тому є актуальним і своєчасні проведення досліджень за визначенням реального уточненого об'єму накопичення вод, що містять нафту на суднах з урахуванням їх типу, водотоннажності і віку з метою правильного розрахунку раціональної продуктивності установок сепарації.

3.3. Фільтраційне очищення за допомогою ефектів коалесценції

Ще раз визначимо, що під коалесценцією розуміють злиття часток дисперсної фази емульсії, наприклад нафтопродуктів, з повною ліквідацією спочатку розділяючої частки між фазної поверхні. Це призводить до зміни фазово-дисперсного стану і укрупнення крапель початкової емульсії. Система стає кінетично нестійка і швидко розшаровується.

Найбільш широкого поширення набув метод коалесценції при фільтруванні емульсії через різні пористі матеріали. В принципі, практично усі розроблені для льяльних установок види фільтрів при відповідних технологічних параметрах і конструктивних змінах може працювати в режимі коалесценції. В цьому випадку призначення фільтруючого шару принципово змінюється. У звичайних фільтрах він виконує функцію утримуючого середовища, призначення завантаження, що не фільтрує, в коалесціючих фільтрах – укрупнення дрібних емульгованих крапель нафтопродуктів в більші.

Конструктивно коалесціючі фільтри практично завжди об'єднуються з відстійниками або у відстійники вбудовуються коалесціючі елементи (насадки) [25].

Відмітні і дуже істотні особливості коалесціючих фільтрів :

- висока ефективність розподілу емульсій і питома продуктивність;
- стійкість технологічного процесу при значних коливаннях концентрації нафтопродуктів і витрати льяльних вод;
- простота виготовлення, експлуатації і автоматизації;
- тривалий між регенераційний період.

Метод коалесценції можна віднести до регенеративних методів, оскільки в результаті протікаючих процесів емульсія розділяється на дві фази, одна з

яких є нафтопродуктами. Утилізація цих нафтопродуктів може створити істотну додаткову економічну передумову в реалізації цього методу.

Найбільше застосування в практиці розподілу емульсій метод коалесценції знайшов в нафтовій промисловості і на суднах морського флоту для очищення стічних вод, що містять нафту, а також на завершальній стадії екстракційних процесів в хімічній промисловості і при обезводненні паливних матеріалів на транспорті.

В якості прикладу такого застосування можна привести сепаратор льяльних вод DVZ-FSU «OILCHIEF», що являє собою комбіновану гравітаційно-коалесцентну систему (рис. 3.1).

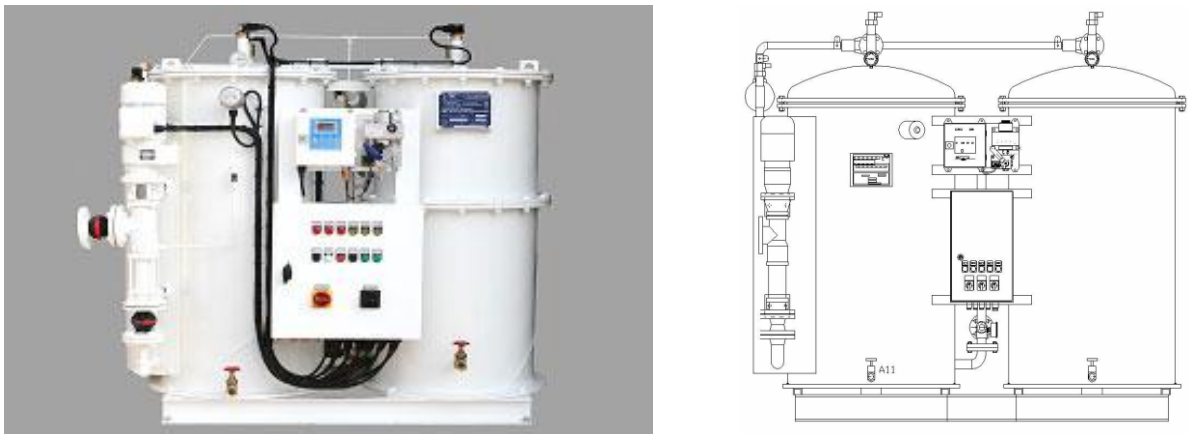


Рис. 3.1. Сепаратор льяльних вод DVZ-FSU «OilChief»

Сепарація вод, що містять нафту здійснюється в двох ступенях. За допомогою відповідного насоса льяльні води забираються з льяльних колодязів або танка збору льяльних вод, відповідно, і пропускаються через сепаратор. Води, що містять нафту спочатку проходять через ступінь грубого очищення сепаратора, в якій чисте паливо відділяється за допомогою гравітації, і подається через датчик розділу середовищ і відповідний зливний клапан в резервуар брудного палива. Грубі частки бруду осядуть в нижній частині сепараторної камери і, якщо необхідно, їх можна видалити за допомогою клапана продування.

Заздалегідь очищена суміш потім проходить стадію обробки гідроциклоном, в якому води, що містять нафту починають контрольоване обертання, викликане їх само-динамікою. В результаті відцентрового ефекту, паливо, як легше середовище, рухатиметься до центру, тоді як вода, як важче середовище, рухатиметься вниз по периферії.

У центрі гідроциклона знаходиться датчик розділу середовищ, який оцінює якість відокремленого палива і у разі досягнення заданої консистенції, воно буде автоматично спрямовано в резервуар брудного палива через спеціальний зливний клапан. Коли цей зливний клапан відкривається, перекачуючий насос зупиняється. Через інший клапан від системи гідрофора здійснюється промивання системи прісною або морською водою до тих пір, поки паливо, відокремлене в гідроциклоні, не буде видалено з сепаратору [28].

Коалесціуючий пристрій складається з олеофільного (такого, що затримує паливо) матеріалу і утворює з найдрібніших крапельок палива краплі певного розміру, які, у зв'язку з їх здатністю відділятися від води, потім потраплять в паливний колектор гідроциклона. Там вони сепаруватимуться разом із вже відокремленим паливом. Таким чином, вода, яка тепер очищена від часток палива, проходить через спеціальну систему тонкого очищення (FSU) з датчиком розділу середовищ (клапаном скидання нафти) і скидається за борт через спеціальний клапан як чиста вода.

Монітор контролю води, 15 млн^{-1} вмісту нафти постійно перевіряє воду, що скидається за борт. Якщо концентрація нафти буде занадто високою, перепускний клапан автоматично спрацьовує і направляє воду знову в льяла, а не за борт.

3.4. Очищення за допомогою мембранної фільтрації

Дослідження процесів розподілу з використанням молекулярних сит дозволило виділити мембранний метод, як найбільш перспективний для тонкого очищення. Цей метод, характеризується високою чіткістю розподілу сумішей речовин. Напівпроникна мембрана – перегородка, що має властивість пропускати переважно певні компоненти рідких або газоподібних сумішей. Широко мембранний метод використовують для обробки води і водних розчинів, очищення льяльних вод, очищення і концентрації розчинів.

Процеси мембранного розподілу залежать від властивостей мембран, потоків в них і рушійних сил. Для цих процесів також важливий характер потоків до мембрани з боку середовищ, що розділяються, і відведення продуктів розподілу з протилежного боку.

Принципова відмінність мембранного методу від традиційних прийомів фільтрування – розподіл продуктів в потоці, тобто розподіл без осадження на фільтруючому матеріалі осаду, що поступово закупорює робочу пористу поверхню фільтру [29].

Основні вимоги, що пред'являються до напівпроникних мембран, які використовуються в процесах мембранного розподілу, наступні:

- висока розділяюча здатність (селективність);
- висока питома продуктивність (проникність);
- хімічна стійкість до дії середовища системи, що розділяється;
- незмінність характеристик при експлуатації;
- достатня механічна міцність, що відповідає умовам монтажу, транспортування і зберігання мембран;
- низька вартість.

Для розподілу або очищення деяких нетерmostійких продуктів застосування мембранного методу є вирішальним, оскільки цей метод працює при температурі доквілля. В той же час мембранний метод має недолік – накопичення продуктів, що розділяються, поблизу робочої поверхні розподілу. Це явище називають концентраційною поляризацією, яка зменшує проникнення компонентів, що розділяються, в граничний шар, проникність і селективність, а також скорочує терміни служби мембран. Для боротьби з цим явищем проводять турбулізацію шару рідини, прилеглого до поверхні мембрани, щоб прискорити перенесення розчиненої речовини.

Для мембран використовують різні матеріали, а відмінність в технології виготовлення мембран дозволяє отримати відмінні по структурі і конструкції мембрани, які вживані в процесах розподілу різних видів [30].

Процеси, що виникають при розподілі сумішей, визначаються властивостями мембран. Необхідно враховувати молекулярні взаємодії між мембранами і потоками, що розділяються, фізико-хімічну природу яких визначає швидкість перенесення. Ці взаємодії з матеріалом мембран відрізняють мембранний метод від мікроскопічних процесів звичайного фільтрування. Мембранні методи відрізняються типами мембран, що використовуються, рушійними силами, що підтримують процеси розподілу, а також сферами їх застосування.

Існують мембранні методи шести типів :

- мікрофільтрація – процес мембранного розподілу колоїдних розчинів і суспензій під дією тиску;
- ультрафільтрація – процес мембранного розподілу рідких сумішей під дією тиску, заснований на відмінності молекулярних мас або молекулярних розмірів компонентів суміші, що розділяється;
- зворотний осмос – процес мембранного розподілу рідких розчинів шляхом проникнення через напівпроникну мембрану розчинника під дією прикладеного на розчин тиску, що перевищує його осмотичний тиск;

- діаліз – процес мембранного розподілу за рахунок відмінності швидкостей дифузії речовин через мембрану, що проходить за наявності градієнта концентрації;

- електродіаліз – процес проходження іонів розчиненої речовини через мембрану під дією електричного поля у вигляді градієнта електричного потенціалу;

- розподіл газів – процес мембранного розподілу газових сумішей за рахунок гідростатичного тиску і градієнта концентрації.

У ряді технологічних прийомів, що використовуються для розподілу сумішей по розмірам часток, мембранним методам приділяють велике значення. Вибір процесу для застосування в заданій області розподілу сумішей залежить від різних чинників: характеру речовин, що розділяються, необхідної міри розподілу, продуктивності процесу і його економічної оцінки.

Використання процесів мембранного розподілу для суднових льяльно-очисних установок вимагає надійного, стандартного і технологічного устаткування. Для цієї мети нині застосовують мембранні модулі, які компактні, надійні і економічні. Вибір конструкції модуля залежить від виду процесу розподілу і умов експлуатації в суднових установках [31].

Один з прикладів суднової двофазної мембранної очисної льяльної установки приведений на рис. 3.2. Фази очищення льяльних вод, що здійснюються у цьому сепараторові, показані на рис. 3.3.

Льяльні води подаються в сепаратор вихровим насосом, де відбувається відділення води від нафти і твердих часток на мембранах.

Для систем, що реалізують ці технології, характерні великі об'єми відходів і значні об'єми потоку на зворотне промивання. Фільтруючі елементи, активоване вугілля і елементи коагуляторів вимагають заміни при забрудненні [32].



Рис. 3.2. Сепаратор двофазної мембранної очисної льяльних вод
Membran Filtration Oil NFV

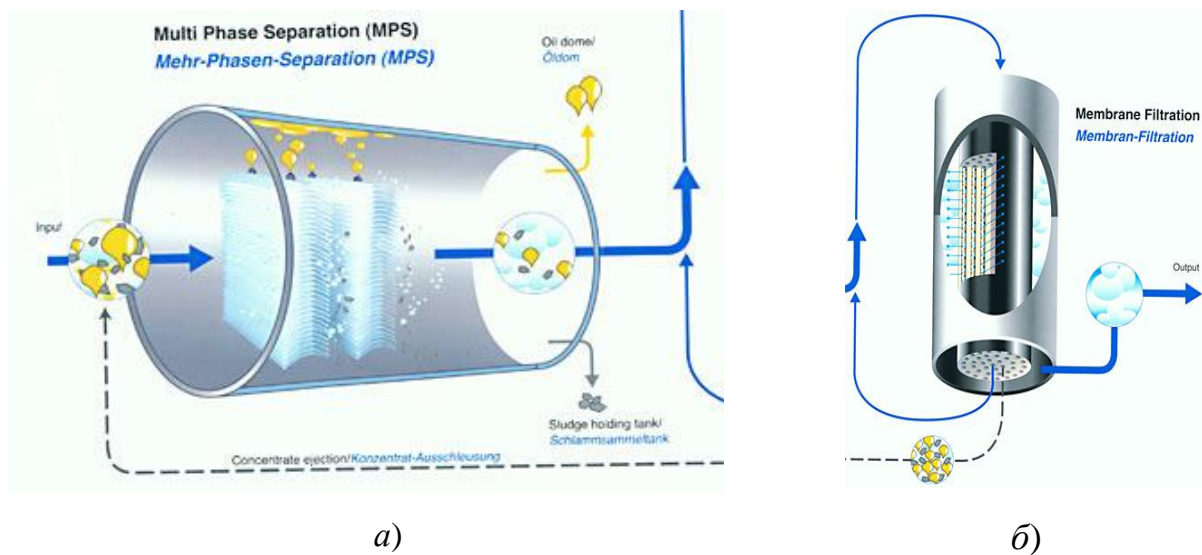


Рис. 3.3. Сепаратор Membran Filtration Oil:
а – 1 фаза очищення; б – 2 фаза очищення

У системах з використанням коагулюючих хімічних реагентів, до 25% об'єму обробленої льяльної води перетворюється на відходи, і вона має бути здана на берегові підприємства для наступної переробки і з відшкодуванням витрат оператором/судновласником. Обслуговування таких систем дуже трудомістке, а експлуатація пов'язана з необхідністю частого контролю робочого процесу.

Одним з найістотніших недоліків усіх цих систем (за винятком систем мембранної фільтрації) є зниження їх ефективності в суворих погодних умовах відкритого моря і при утворенні в льяльних водах стійких емульсій. Це пов'язано з тим, що в цих технологіях використовується природна сила гравітації, дія якої легко долається при коливаннях судна навіть під час помірного хвилювання. У результаті страждає якість обробки. Проблеми в цих системах викликають і різкі стрибки концентрації нафтопродуктів.

Традиційні статичні системи, призначені для обробки певних порцій продукту, часто виявляються не в змозі забезпечити необхідну якість в реальних умовах.

Устаткування тестується при використанні тільки одного хімічного продукту, хоча, як вказувалося вище, реально льяльні води є цілим коктейлем з нафтопродуктів, різних хімічних речовин і часток, що знаходяться в емульгованому стані. Тривалість емульсивного тесту складає всього 2,5 години – час, за який фільтри в реальних умовах ще не встигають забитися або повністю заповнитися нафтопродуктами і частками.

Але саме дивне полягає в тому, що тестування проводиться на суші, в стабільних умовах, без імітації кільової і бортової хитавиці, що має місце в реальних умовах і проходить велику частину часу при знаходженні судна в морі.

3.5. Висновки за розділом 3

В результаті виконання розділу 3 зробимо наступні висновки.

1. Для успішного вирішення завдання підвищення ефективності очищення вод, що містять нафту в умовах експлуатації СЕУ та суднових технічних засобів необхідно використовувати комплексний системний

підхід, якій дозволяє враховувати вплив усіх елементів СЕУ та судна на якість процесу очищення.

2. Найбільш доцільно в умовах морського судна застосовувати обладнання, яке здійснює очищення ВМН, за допомогою фільтраційного очищення за основі ефектів коалесценції та мембранної фільтрації

4. ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ОЧИЩЕННЯ СУДНОВИХ ВОД, ЩО МІСТЯТЬ НАФТУ

4.1. Використання динамічних систем очищення вод, що містять нафту

Найбільш ефективним технічним рішенням для цієї сфери застосування є динамічні системи очищення льяльних вод, в яких використовується метод відцентрової сепарації, реалізований за допомогою високошвидкісних тарілчастих сепараторів [31].

Діюча в статичних системах сепарації природна сила гравітації (навантаження $1g$) в таких динамічних системах може бути збільшена в тисячі разів. Один звичайний відцентровий тарілчастий сепаратор дорівнює по ефективності традиційній статичній системі з площею відстою 20000 м^2 .

Крім того, гіроскопічний ефект рідини, що обертається з високою швидкістю усередині барабана сепаратора, нівелює дію кильової і бортової хитавиці. Результат – незмінно висока ефективність розподілу компонентів. Відцентрові тарілчасті сепаратори вже впродовж десятків років демонструють прекрасну ефективність очищення дизельного палива і мастильного масла від води і твердих часток в морській індустрії. З усіх присутніх сьогодні систем очищення льяльних вод, що використовують спосіб відцентрової сепарації, найефективнішою являється система PureBilge завдяки інноваційним технічним рішенням (рис. 4.1).

Це єдина система, що надійно працює в реальних умовах використання і забезпечує концентрацію нафтопродуктів в очищеній воді в межах $0...5 \text{ млн}^{-1}$ без застосування хімікатів, поглинювальних фільтрів або мембран. На процес очищення не впливають морське хвилювання, різкі стрибки концентрації нафтопродуктів або підвищена концентрація твердих часток, при цьому промивання зворотнім потоком не потрібне. При використанні системи PureBilge не треба здавати на берегові підприємства відходи, немає

необхідності утилізувати відходи типу фільтруючих елементів, елементів, що коагулюють, активованого вугілля або осаду флокуляції, а також не потрібні трудовитрати персоналу на управління і контроль процесу. Оскільки відцентрові сепаратори давно застосовуються на судах для очищення палива і мастильного масла, екіпаж, як правило, добре знайомий з устаткуванням такого типу [33].



Рис. 4.1. Система PureBilge

За повідомленням компанії, система PureBilge має найвищу ефективність сепарації великих об'ємів забрудненої нафтопродуктами води і забезпечує періодичне вивантаження через регульовані інтервали часу відсепарованих твердих часток без переривання технологічного процесу.

Система, сертифікована відповідно до резолюцій ІМО МЕРС.107 (49) і USCG, розрахована на безперервну довгострокову цілодобову експлуатацію 24/7 (24 години 7 днів на тиждень) в автоматичному режимі.

PureBilge – це повністю автоматизована, функціонально закінчена система з насосною секцією, секцією попереднього підігрівання, секцією відцентрової сепарації і системою управління і контролю усього технологічного процесу. Система PureBilge складається з високошвидкісного сепаратора WWPX 307, пульта управління з контролером EPC 60 Bilge, рами з клапанами і трубним обв'язуванням і модуля живлячого насоса. Вона обладнана системою контролю Rivertrace (рис. 4.2).



Рис. 4.2. Система контролю Rivertrace

4.2. Конструктивні особливості системи PureVilge

У системі PureVilge при частоті обертання барабану 8000 об/хв утворюється сила тяжіння в 6000g, що забезпечує прекрасну ефективність сепарації твердих часток і часток нафтопродуктів. Крім того, за словами представників Альфа Лаваль, в каналах сепарації пакету тарілок відбувається злиття крапель нафтопродукту і коагуляція твердих часток, що також сприяє підвищенню ефективності роботи установки (рис. 4.3).

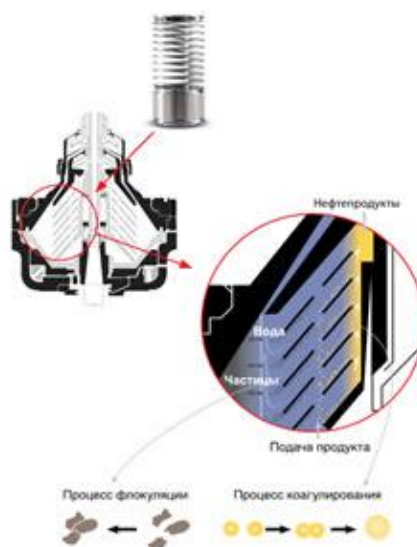


Рис. 4.3. Впускний пристрій Xlrator

Саме впускний пристрій для ламінаризації потоку XLrator, або «чарівна спіраль», визначає видатні характеристики системи PureBilge, істотно перевершуючи показники систем відцентрової сепарації інших виробників.

Патентований впускний пристрій Альфа Лаваль XLrator плавно розганяє льяльну воду для введення її в барабан сепаратора, мінімізуючи деформацію потоку і перешкоджаючи утворенню піни. Це істотно підвищує ефективність сепарації за рахунок запобігання дробленню часток нафтопродуктів і утворення емульсії [34].

Система PureBilge чудово підійде для використання на судах, що будуються, з машинними відділеннями без обслуговуючого персоналу. Система дуже легко монтується, займає мало місця і забезпечує економію коштів. Повністю автоматичний режим роботи і можливість довготривалого безперебійного функціонування не вимагають наявності великих накопичувальних танків.

Компактна модульна конструкція дозволяє з успіхом застосовувати PureBilge на вже існуючих судах в якості окремої системи або в якості установки, що резервує основну систему очищення льяльних вод. Для розміщення устаткування потрібно дуже малу площу, що полегшує проведення модернізації.

За повідомленням компанії, система виключно проста в обслуговуванні, а рекомендована періодичність його проведення – 3 рази в рік.

Найбільша судноплавна компанія Teeкау провела серію прискорених випробувань сепаратора PureBilge BWPX 307 на борту танкера класу «AfraMax» Falster Spirit. Умови випробувань були набагато жорсткішими, ніж передбачено нормативами по сертифікації. Мета випробувань – отримання достовірних даних про ефективність роботи системи в реальних умовах і порівняння їх з показниками традиційних систем очищення льяльної води. Робоча рідина була вражаючим коктейлем, що моделює реальні параметри льяльної води, наступного складу: 1 м³ морської води, 1 літр

компресорного масла, 10 літрів дизельного палива, 10 літрів важкого палива, 1 літр гідравлічного масла, 1 літр інгібітору корозії, 1 літр розчину для видалення нагари (carbon remover), 1 літр очисника масла на базі розчинника, 20 літрів шламу, 5 літрів продуктів корозії, 50 літрів конденсату з повітроохолоджувача головного двигуна і 5 літрів сажі. Замість проведення 2,5-годинних емульсивних випробувань тестування тривало декілька тижнів. Випробування проходили не на суші, а в умовах дії морського хвилювання.

Робоча суміш заздалегідь впродовж 4 годин розмішувалася діафрагмовим насосом з метою її емульгування і ускладнення умов для сепарації. За даними судноплавної компанії, «система PureBilge в цих надзвичайно жорстких випробуваннях довела свою здатність довести міру очищення льяльної води до рівня менше 10 млн^{-1} , а в звичайних робочих умовах – до 0 млн^{-1} .

Сьогодні на борту суден по всьому світу встановлено і експлуатується вже більше 300 систем очищення льяльних вод на базі відцентрових тарілчастих сепараторів BWPX 307. В процесі роботи при реальній дії сильного хвилювання умови не завжди бувають такими ж сприятливими, як умови під час проведення сертифікаційних випробувань. Тому деякі компанії-судновласники, вже знайомі з відцентровими сепараторами, що використовуються в системах очищення палива і мастильного масла, приймають рішення інвестувати в системи очищення льяльних вод, що працюють на принципі відцентрової сепарації, розуміючи, що це найнадійніше, найефективніше і логічніше рішення [35].

Система PureBilge спочатку була представлена в липні 2009 року на виставці Nor-Shipping, а потім впродовж літа міжнародною організацією DNV була проведена сертифікація. Перші системи зійшли з виробничої лінії у вересні, а перші постачання устаткування систем суднового застосування були здійснені в січні 2010 року. Всього випускатиметься чотири модифікації цих пристроїв [31].

4.3. Конструктивні особливості системи сепаратора BWPX307

Принцип дії установки сепарації PureBilge з сепаратором BWPX307 показаний на рис. 5.4. Живильний насос з регулюванням частоти направляє води, що містять нафту або трюмні води тільки з відстійного танка. Далі льяльна вода проходить через сітчастий фільтр, який затримує великі часток з рідини перед входом в теплообмінник, який піднімає температуру рідини на необхідному рівні, як правило, між 60° і 70°С, для оптимальної ефективності розподілу. Потім триходовий перемикальний клапан направляє рідину на сепарацію, якщо дотримані усі умови технологічного процесу, такі, як температура, тиски подачі і швидкість сепаратора. Якщо який-небудь процес умов не виконується, клапан знову перемикає циркуляцію рідини знову у відстійний танк льяльних вод. Високошвидкісний відцентровий сепаратор безперервно обробляє великі об'єми льяльних вод.

Випуск мастила безперервно відводиться в резервуар відпрацьованого масла. Тверді частки, які збираються на периферії чаші сепаратора відводяться з перервами в шламовий танк. Розвантаження, яке зазвичай встановлюється на 20 хвилин, відбувається в задані інтервали залежно від установки. Вбудований водяний насос, або диск дифузора, постійно розвантажує відокремлену льяльну воду через вихід чистої води з сепаратора. Відведення льяльних вод залежить від вмісту нафти в них, яке безперервно контролюється на ізокінетичній точці відбору проб на нафту у воді. Якщо вміст нафти нижче заданої межі ppm alarm (який може бути встановлений в межах 0...15 млн⁻¹), розподіл льяльних вод може відкотити безпосередньо за борт або «чистий» танк льяльної води для зливу за борт пізніше [36].

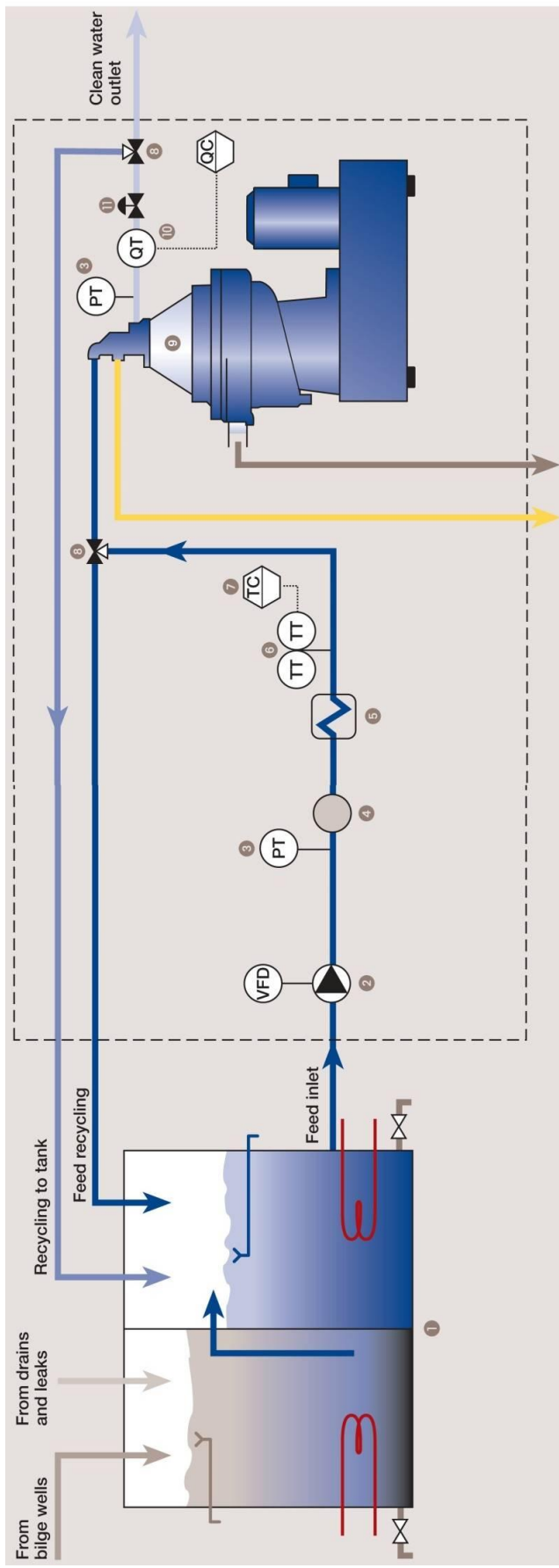


Рис. 5.4. Установки сепарції PugeBilge, обладнання і принцип дії ;

1 – двохстадійний відстійний танк льяльних вод; 2 – живильний насос; 3 – манометр; 4 – фільтр; 5 – нагрівач; 6 – температурний трансмітер; 7 – температурний контролер; 8 – трохходовий клапан переключення; 9 – WWPX 307 високо швидкісний відцентровий сепаратор; 10 – водомасляний колектор; 11 – моделюючий клапан постійного тиску

Ця система дозволяє судновласникам виконувати відповідні вимоги, а також і очікувані в перспективі зміни. Вона випускається і встановлюється на судна в чотирьох варіантах:

PureBilge 2515: продуктивність 2500 л/год, ступінь очищення 15 млн⁻¹;

PureBilge 2505: продуктивність 2500 л/год, ступінь очищення 5 млн⁻¹
(найбільш підходить для очищення льяльних вод МКВ);

PureBilge 5015: продуктивність 5000 л/год, ступінь очищення 15 млн⁻¹;

PureBilge 5005: продуктивність 5000 л/год, ступінь очищення 5 млн⁻¹
(найбільш підходить для очищення промивальних вод з вантажних танків).

4.5. Висновки за розділом 4

Як результат розділу 5 визначимо наступне.

1. Однією з систем, що забезпечує існуючі вимоги Міжнародних конвенцій щодо концентрації ВМН, а також передбачає виконання більш суворих вимог є система PureBilge.

2. Комплектація системі PureBilge з сепаратором WWPX307 забезпечує очищення ВМН до рівня 5 млн⁻¹.

3. Система PureBilge випускається з продуктивність обладнання до 5000 л/год, зі ступенем очищення до 5 млн⁻¹, що дозволяє її використання у складі будь-яких суднових енергетичних установок.

5. ЕНЕРГЕТИЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ СУДНОВОЇ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ УСТАНОВКИ

Близько 90% транспортних перевезень вантажів у світі припадає на морську галузь, що визначається, в першу чергу, їх високою економічністю. При цьому, однак, згідно дослідження ІМО, рівень забруднення атмосфери продуктами згоряння постійно зростає. Тому при проектуванні нових і модернізації діючих суден ІМО запропоновані заходи щодо зниження шкідливих викидів за рахунок підвищення ефективності СЕУ. Дане завдання може вирішуватися на основі виробництва більш досконалих конструкцій корпусу судна, а так само розробки нових спеціалізованих агрегатів і пристроїв, що сприяють значному зниженню споживання палива СЕУ.

З 1 січня 2013 року відповідно до положень Резолюції ІМО МЕРС.203 (62)(9) вступили в силу нові правила Конвенції МАРПОЛ, спрямовані на підвищення енергоефективності суден. На всі нові судна, побудовані після 1 січня 2013 поширюється вимога щодо розрахунку «Експлуатаційної коефіцієнта енергоефективності судна», а для суден, що перебувають в експлуатації, з цієї дати вводиться вимога по наявності на борту «Плану управління енергоефективністю судна (ПУЕС)/Ship Energy Efficiency Management Plan (SEEMP)» [38].

Відповідно до поправок до Правила 22 Додатка 6 до Конвенції МАРПОЛ наявність на борту судна ПУЕС є однією з підстав для отримання судном міжнародного сертифікату енергоефективності.

Вимоги до енергоефективності нових суден (в частині відповідності ними конструктивного коефіцієнту енергоефективності - ККЕЕ) викладені у відповідній методиці ІМО. Коефіцієнт враховує не тільки потужність силової суднової установки, а й загальні дані судна.

Вимоги ІМО поширюються на морські судна та судна типу «річка-море», які здійснюють рейси за межі територіальних вод. Однак, на засіданні комітету ІМО в нові правила була внесена обмовка: будь-яка адміністрація прапора може дати своїм судам виключення з даного правила. Але при цьому в тих країнах, де система енергоефективності суден діє беззастережно, такий флот виявиться неконвенційним.

Розрахунок ККЕЕ проводиться за загальною методикою, наведеною ІМО в керівництві МЕРС 62/24 / Add.1. Потім судно перевіряється морською адміністрацією держави або її уповноваженим органом - Регістром судноплавства. Після успішної перевірки судну видається Міжнародний сертифікат з енергоефективності.

У загальному вигляді формулу розрахунку ККЕЕ можна представити таким чином:

$$ККЕЕ = \frac{\text{кількість викидів } CO_2}{\text{виконана транспортна робота}}.$$

Кількість викидів CO_2 визначається за витраченого за рейс паливу певного сорту. У свою чергу, витрата палива СЕУ базується на потужності двигунів пропульсивного комплексу на певному експлуатаційному режимі та інших споживачів палива на судні.

Вироблена транспортна робота судном визначається його конструктивними особливостями, об'ємом вантажних відсіків і швидкістю судна, заміряний при максимальному завантаженні по літню вантажну марку і 75% потужності ГД [39].

Максимальна величина $K_{KE(MAX)}$ задається статечної емпіричною формулою залежно від типу судна і його дедвейту:

$$K_{KE(MAX)} = a_i \cdot Dw_{(i)(j)}^{-c_i},$$

де a_i, c_i – емпіричні коефіцієнти i -го типу судна $i = 1...7$

$$a_i = \begin{cases} 961,8 \\ 1120 \\ 1218 \\ 174,2 \\ 107,5 \\ 227 \\ 1219 \end{cases} \quad c_i = \begin{cases} 0,477 & \text{для } i = 1 - \text{балкера,} \\ 0,456 & \text{для } i = 2 - \text{газовоза,} \\ 0,488 & \text{для } i = 3 - \text{танкера,} \\ 0,201 & \text{для } i = 4 - \text{контейнеровоза,} \\ 0,216 & \text{для } i = 5 - \text{універсального,} \\ 0,244 & \text{для } i = 6 - \text{рефрижераторного,} \\ 0,488 & \text{для } i = 7 - \text{комбінованого судна;} \end{cases}$$

$Dw_{(i)(j)}$ – j -й дедвейт i -го типу судна.

Розрахункове значення коефіцієнта енергетичної ефективності судна ККЕЕ визначається за наступною формулою:

$$K_{\text{КЕ(роз)}} = \left\{ \left(\prod_{j=1}^M f_j \right) \left(\sum_{i=1}^{nME} P_{ME(i)} \cdot C_{FME(i)} \cdot SFC_{ME(i)} \right) + (P_{AE} \cdot C_{FAE} \cdot SFC_{AE}) + \left[\left(\prod_{j=1}^M f_j \right) \left(\sum_{i=1}^{nPTI} P_{PTI(i)} - \sum_{i=1}^{neff} f_{eff(i)} \cdot P_{AEeff(i)} \right) \cdot C_{FAE} \cdot SFC_{AE} \right] - \left(\sum_{i=1}^{neff} f_{eff(i)} \cdot P_{eff(i)} \cdot C_{FME} \cdot SFC_{ME} \right) \right\} / f_i \cdot Capacity \cdot V_{ref} \cdot f_w$$

У загальному випадку, ККЕЕ (розрахунковий) прямо пропорційний витраті палива усіма судновими споживачами з урахуванням утилізації тепла та інших енергозберігаючих конструкційних заходів і обернено пропорційний роботі судна з перевезення вантажів.

Формула для визначення ККЕЕ містить наступні складові:

а) витрати пов'язані з головними двигунами (потужність ГД, витрата палива і викиди CO_2)

$$\left(\prod_{j=1}^M f_j \right) \left(\sum_{i=1}^{nME} P_{ME(i)} \cdot C_{FME(i)} \cdot SFC_{ME(i)} \right),$$

де $\sum_{i=1}^{nE} P_{ME(i)}$ – сумарна потужність ГД, кВт;

$C_{FME(i)}$ – питомий (масовий) вміст CO_2 при повному згорянні вуглецю в паливі, витраченому ГД, $\frac{\text{тонн углероду}}{\text{тонн палива}}$;

$SFC_{ME(i)}$ – питома ефективна витрата палива на ГД, $\text{кг}/(\text{кВт}\cdot\text{г})$;

b) витрати, що пов'язані з дизель-генераторами (потужність ДГ, витрата палива і викиди CO_2)

$$P_{AE} \cdot C_{FAE} \cdot SFC_{AE},$$

P_{AE} – потужність ДГ на ходовому режимі судна, кВт;

C_{FAE} – питомий (масовий) вміст CO_2 при повному згорянні вуглецю в паливі, витрачених ДГ, $\frac{\text{тонн углероду}}{\text{тонн палива}}$;

SFC_{AE} – питома ефективна витрата палива на ДГ, $\text{кг}/(\text{кВт}\cdot\text{г})$;

c) енергозберігаючі технології для допоміжних установок

$$\left(\prod_{j=1}^M f_j \right) \left(\sum_{i=1}^{nPTI} P_{PTI(i)} - \sum_{i=1}^{neff} f_{eff(i)} \cdot P_{AEeff(i)} \right) \cdot C_{FAE} \cdot SFC_{AE},$$

d) енергозберігаючі технології для головних установок

$$\sum_{i=1}^{neff} f_{eff(i)} \cdot P_{eff(i)} \cdot C_{FME} \cdot SFC_{ME},$$

e) робота судна з перевезення вантажів

$$f_i \cdot Capacity \cdot V_{ref} \cdot f_w,$$

f_i – коефіцієнт вантажомісткості для суден (крім льодового класу) приймається рівним 1;

$Capacity$ – дедвейт судна, тонн;

f_w – безрозмірний коефіцієнт, котрий вказує на зниження швидкості судна при хвилюванні і хитавиці (визначається на ходових випробуваннях або розрахунковим шляхом, або приймається рівним 1 до уточнення);

V_{ref} – експлуатаційна швидкість судна, вузли.

Значення питомого (масового) вмісту CO_2 при повному згорянні вуглецю в паливі наведені у таблиці 5.1.

Таблиця 5.1. Характеристики палив, що використовуються на судах

№	Тип палива	Примітка	Вміст вуглецю, г/л	$C_F, \frac{\text{тонн CO}_2}{\text{тонн палива}}$
1	Diesel/Gas Oil	ISO 8217	0,8744	3,2206
2	Light Fuel Oil (LFQ)	ISO 8217	0,8594	3,151
3	Heavy Fuel Oil (HFO)	ISO 8217	0,8493	3,114
4	Liquefied Petroleum Gas (LPG)	Propane Butane	0,8182... 0,8264	3,00...3,003
5	Liquefied Natural Gas (LNG)	–	0,7500	2,750

Як видно з формули для ККЕЕ, у розрахунках не враховується витрата палива на виробництво пари ВК, тобто пар генерується тільки в утилізаційному котлі.

Дані, необхідні для розрахунку ККЕЕ наведені в таблиці 5.2 [38].

Таблиця 5.2. Вихідні дані для розрахунку ККЕЕ

Характеристика	Величина
<i>1</i>	<i>2</i>
Тип судна	танкер
Загальна довжина, м	330,00
Довжина між перпендикулярами, м	316,00
Ширина, м	60,00
Осадка, м	21,05
Дедвейт, тонн	297345
Головний двигун	7S80MC фірми MAN-B&W

Закінчення таблиці 5.2

1	2
Потужність, кВт і витрата палива, г/(кВт·г) ГД при 0,75 (MCR)	19110 172
Кількість ГД	1
Використовуване паливо ISO 8217-2010	RMK380
Питома теплотворна здатність палива, кДж/кг	41868
Допоміжні двигуни	6L20 фірми Wartsila
Максимальна тривала потужність (MCR), кВт і витрата палива (г/кВт·г)	975 188
Кількість ДГ	2
Використовуване паливо	RMK 380
Питома теплотворна здатність палива, кДж/кг	41868
Вихідна потужність ДГ, кВт	916
Швидкість судна при літній осаді і 75% потужності ГД на глибокій воді, вузли	14,6
Тип використаного гвинта	ВФШ, один
Діаметр, м і кількість гвинтів	8,2, один

Значення максимального $K_{KE(MAX)}$

$$K_{KE(MAX)} = 1218 \cdot 297345^{-0,488} = 2,60 \frac{\text{гCO}_2}{\text{тонн} \cdot \text{милю}}$$

Розрахункове значення ККЕЕ визначимо за формулою

$$K_{KE(роз)} = \frac{(\sum_{i=1}^{nE} P_{ME(i)} \cdot C_{FME(i)} \cdot SFC_{ME(i)}) + P_{AE} \cdot C_{FAE} \cdot SFC_{AE}}{f_i \cdot Capacity \cdot f_w \cdot V_{ref}}$$

$$K_{KE(роз)} = \frac{1 \cdot 19110 \cdot 3,114 \cdot 172 + 916 \cdot 3,114 \cdot 183}{1 \cdot 297345 \cdot 14,6} = 2,48 \frac{\text{гCO}_2}{\text{тонн} \cdot \text{милю}}$$

З наведеного розрахунку видно що значення $K_{KE(роз)}$ при заданих параметрах не величину $K_{KE(MAX)}$, тому вимоги до конструктивної енергетичної ефективності судна виконуються.

ВИСНОВКИ

Магістерське наукове дослідження спрямоване на розв'язання науково-прикладного завдання – розробці методу очищення вод, що містять нафту, який сприятиме очікуваним посиленням вимогам Міжнародних та національних конвенцій та забезпечить очищення до концентрації нафтопродуктів на рівні 5 млн^{-1} .

Сучасні морські судна являють собою складні плавучі спорудження з потужними енергетичними установками й системами, які в процесі роботи призводять до утворення різноманітних видів відходів. Використання нафтопродуктів як паливо й мастильні матеріали супроводжується втратами у вигляді витоків з паливних і масляних систем, дрібних розливів при ремонтних роботах, випадкових розливах при заміні змащення, очищенню фільтрів. З урахуванням автономності роботи морського судна та неможливістю передачі вод, що містять нафту на берегові очисні споруди, або плавальні технічні засоби, очищення цих вод виконується безпосередньо на борту судна.

У магістерському дослідженні висунута та підтверджена наукова гіпотеза про те, що підвищення екологічних показників роботи суднових енергетичних установок забезпечується очищенням вод, що містять нафту до значень 5 млн^{-1} .

Головним науковим результатом магістерського наукового дослідження є визначення показників процесу динамічного очищення вод, що містять нафту, які забезпечують остаточну концентрацію нафтопродуктів на рівні 5 млн^{-1} .

В результаті виконання магістерського наукового дослідження сформульовано наукове положення: забезпечення екологічних показників роботи суднових енергетичних установок досягається за допомогою

відцентрової сепарації шляхом утворення сили тяжіння в 6000g, яка діє на речовини що містять нафту.

Основні наукові та практичні результати магістерського наукового дослідження.

1. Способи очищення вод, що містять нафту можуть бути класифіковані за різними ознаками, проте найбільше застосування отримала класифікація по характеру використовуваних процесів. За цією ознакою способи очищення вод, що містять нафту можна розділити на механічні, фізико-хімічні, хімічні і біохімічні.

2. Найбільш розповсюдженими на суднах є сепараційні очисні установки, що базуються на фізико-хімічному очищенні. Вони в свою чергу підрозділяються на:

- очищення і флотацію льяльних вод;
- адсорбційну фільтрацію;
- традиційну коагуляцію;
- коалісцентну фільтрацію;
- мембранну фільтрацію.

3. В суднових умовах експлуатації використовуються безліч установок для очищення вод, що містять нафту, але всі вони засновані на способах відстоювання, коалесценції і флотації.

4. Для успішного вирішення завдання підвищення ефективності очищення вод, що містять нафту безпосередньо в суднових умовах необхідно використовувати комплексний, системний підхід, який дозволяє враховувати вплив усіх елементів суднової енергетичної установки на якість очищення.

5. З проведеного аналізу різних способів і типів сепараторів для очищення вод, що містять нафту СЕУ витікає, що найбільше перспективними і такими, що мають значні можливості підвищення ефективності роботи являються коалесціюючі елементи, що мають нежорстку структуру, що

дозволяє робити їх ефективну регенерацію. До таких коалесціючих елементів при відповідному конструктивному виконанні можна віднести тканинні фільтруючі елементи, мембранні фільтруючі елементи і коалесціючі елементи, що виконані у вигляді шару гранул.

6. Як метод тонкого очищення вод, що містять нафту можливо виділити мембранний метод, що дозволяє виконувати двофазове очищення льяльних вод.

7. Найбільш ефективним технічним рішенням для сфери очищення вод, що містять нафту є динамічні системи очищення льяльних вод, в яких використовується метод відцентрової сепарації, реалізований за допомогою високошвидкісних тарілчастих сепараторів.

8. Забезпечення екологічних показників роботи суднових енергетичних установок досягається за допомогою відцентрової сепарації шляхом утворення сила тяжіння в $6000g$, яка діє на речовини що містять нафту.

9. Запропонована технологію забезпечує ступень очищення вод, що містять нафту, на рівні 5 млн^{-1} , що перевищує існуючі вимоги та зумовлює їх майбутнє посилення.

10. Підтримка екологічної безпеки суднової енергетичної установки є важливим завданням експлуатації морського судна, а надійне розв'язання цього завдання сприяє охороні довкілля та життя людства.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Сагін С.В., Колегаєв М.О., Парменова Д.Г. Зниження ризиків інвазійного забруднення морських акваторії під час експлуатації суден морського та внутрішнього водного транспорту // Суднові енергетичні установки : науково-технічний збірник. – 2023. – Вип. 47. – Одеса : НУ «ОМА». – С. 131-147. doi: 10.31653/smf47.2023.131-147.

2. Международная Конвенция по предотвращению загрязнения с судов 1973 г., измененная Протоколом 1978 г. к ней – МАРПОЛ 73/78 (MARPOL 73/78). – Одесса : Студия «Негоциант», 2008.– 376 с.

3. Парменова Д.Г., Кулешов І.М., Калугін В.М. Суднові установки очищення нафтовмісних вод: нормативні вимоги, методи очищення, конструкція та експлуатація: навчальний посібник // Одеса: НУ ОМА. – 2025. – 148 с. <https://doi.org/10.5281/zenodo.18836212>.

4. Сагін С.В., Сагін А.С. Контроль та діагностування надійності та економічності дизелів морських та річкових засобів транспорту // Суднові енергетичні установки: наук.-техн. зб. – 2023. – Вип. 46. – С. 118-131. doi: 10.31653/smf46.2023.118-131.

5. Сагін С.В., Куропятник О.А. Аналіз впливу біодизельного палива на екологічні та економічні показники роботи судових дизелів // Водний транспорт. Збірник наукових праць. – 2025. – Вип. 1(42). – С. 180-194. doi.org/10.33298/2226-8553.2025.1.42.21.

6. Мадей В.В., Сагін С.В., Волков О.М. Управління процесом впорскування під час використання в судових дизелях паливних сумішей до складу яких входить паливо біологічного походження // Водний транспорт. Збірник наукових праць. – 2024. – Вип. 1(39). – С. 193-205. doi.org/10.33298/2226-8553.2024.1.39.20.

7. Сагін А.С., Сагін С.В. Експериментальне визначення оптимальних фаз подачі палива в циліндр судових дизелів // Водний транспорт. Збірник наукових праць. – 2024. – Вип. 1(39). – С. 206-215. doi.org/10.33298/2226-8553.2024.1.39.21.

8. Сагін С.В., Бондар С.А., Столярик Т.О. Оцінка безвідмовності судових дизелів за технічним станом моторного мастила циркуляційних систем мащення // Водний транспорт. – 2023. – № 1(37). – С. 59-70. doi.org/10.33298/2226-8553.2023.1.37.06.

9. Парменова Д.Г. Систематизация факторов опасности для построения профиля риска судовых работ // Науковий вісник Херсонської державної морської академії. – 2014. – № 1. – С. 30-35.

10. Парменова Д.Г. Визначення відповідності суден вимогам щодо енергоефективності та скорочення викидів парникових газів: методичні вказівки до практичних занять з навчальної дисципліни «Моніторинг та виконання вимог Міжнародних морських конвенцій». – Одеса: НУ ОМА, 2025. – 44 с.

11. Заблоцкий Ю.В. Снижение тепловой напряженности судовых дизелей за счет использования присадок к топливу // Судовые энергетические установки: науч.-техн. сб. – 2018. – № 38. – Одесса: НУ «ОМА». – С. 78-89.

12. Сагін С.В., Заблоцкий Ю.В., Сагін А.С. Підвищення економічності роботи судових середньооберткових дизелів // Водний транспорт. Збірник наукових праць. – 2025. – Вип. 1(42). – С. 166-179. doi.org/10.33298/2226-8553.2025.1.42.20.

13. Zablotsky Yu. V. Reducing of thermal factor of exit-gas system of marine medium-speed diesel engine due to the usage of fuel additives / Yu. V. Zablotsky // Science and Education : material of the XIII international research and practice conference, Munich, November 2nd – 3rd, 2016 / publishing office Vela Verlag Waldkraiburg – Munich – Germany 2016. – P. 96-103.

14. Sagin S., Kuropyatnyk O., Matieiko O., Razinkin R., Stoliaryk T., Volkov O. Ensuring operational performance and environmental sustainability of marine diesel engines through the use of biodiesel fuel // Journal of Marine Science and Engineering. – 2024. – Vol. 12(8). – P. 1440. https://doi.org/10.3390/jmse12081440.

15. Сагін С.В., Столярик Т.О. Динаміка судових дизелів під час використання моторних мастил з різними структурними характеристиками //

Автоматизація суднових технічних засобів : наук. -техн. зб. – 2021. – Вип. 27. – С. 108-119. DOI: 10.31653/1819-3293-2021-1-27-108-119.

16. Руснак Д.Ю., Сагін С.В. Забезпечення екологічних вимог при ультразвуковій десульфурізації вуглеводних палив / Д. Ю. Руснак, // Суднові енергетичні установки : наук.-техн. зб. Вип. 40. – Одеса : НУ «ОМА». – 2020. – С. 49-54. DOI : 10.31653/smf340.2020.49-54.

17. Сагін С.В., Куропятник О.А., Руснак Д.Ю., Парменова Д.Г. Зниження емісії оксидів сірки з випускними газами суднових дизелів шляхом ультразвукової обробки палива // Автоматизація суднових технічних засобів: наук.-техн. зб. – 2025. – Вип. 30. – Одеса: НУ"ОМА". – С. 121 – 138. DOI: 10.31653/1819-3293-2025-1-30-121-138.

18. Sagin A.S., Zablotskyi Yu.V. Reliability maintenance of fuel equipment on marine and inland navigation vessels // Austrian Journal of Technical and Natural Sciences. Scientific journal. – 2021. – № 7–8 (July – August). – P. 14-17. <https://doi.org/10.29013/AJT-21-7.8-14-17>.

19. Мацкевич Д.В., Сагин С.В., Ханмамедов С.А. Изменение реологических характеристик смазочных материалов в циркуляционной масляной системе в процессе эксплуатации среднеоборотного двигателя // Судовые энергетические установки: науч.-техн. сб. – 2010. – Вып. 25. –С.109-118.

20. Sagin S., Sagin A., Zablotskyi Y., Fomin O., Pišt'ek V., Kučera P. Method for Maintaining Technical Condition of Marine Diesel Engine Bearings // Lubricants. – 2025. – Vol. 13(4). – P. 146. <https://doi.org/10.3390/lubricants13040146>.

21. Голікова В.В., Крайнова В.І., Парменова Д.Г., Сінюта К.О. Особливості ергономіки робочого місця майбутніх фахівців водного транспорту // // Водний транспорт. Збірник наукових праць. – 2022. – Вип. 2(36). С. 218-223. doi.org/10.33298/2226-8553.2022.2.36.18.

22. Сагін С.В., Колегаєв М.О., Парменова Д.Г. Методичні вказівки для виконання дипломної роботи магістра. – Одеса: НУОМА, 2023. – 56 с.

23. Popovskii Y.M., Sagin S.V., Khanmamedov S.A., Grebenyuk M.N., Teregerya V.V. Designing, calculation, testing and reliability of machines:

Influence of anisotropic fluids on the operation of frictional components. – 1996. – Russ. Eng. Res. № 16. – P. 1–7.

24. Сагін С.В., Парменова Д.Г., Верпека А.О. Підвищення паливної економічності дизелів суден морського транспорту // Суднові енергетичні установки : науково-технічний збірник. – 2025. – Вип. 50. – С. 102-115. DOI: 10.31653/50.2025.102-115.

25. Сагін С.В. Зниження механічних втрат у суднових середньооберткових дизелях за рахунок оптимізації роботи циркуляційних систем мащення // Вісник Одеського національного морського університету : Зб. наук. праць. – 2020. – Вип. 1(61). – С. 87-96. doi.org 10.47049/2226-1893-2020-1-87-96.

26. Zabloysky Yu. V. Maintaining Boundary and Hydrodynamic Lubrication Modes in Operating High-pressure Fuel Injection Pumps of Marine Diesel Engines / Yu. V. Zabloysky, S. V. Sagin // Indian Journal of Science and Technology. – 2016. – Vol 9(20). – P. 208-216. DOI: 10.17485/ijst/2016/v9i20/94490.

27. Zablotsky Yu.V. Reducing of thermal factor of exit-gas system of marine medium-speed diesel engine due to the usage of fuel additives // Science and Education : material of the XIII international research and practice conference, Munich, 2016. – Munich : Vela Verlag Waldkraiburg. – 2016. – P. 96-103.

28. Сагін С.В., Куропятник О.А. Визначення оптимальних режимів експлуатації суднових двигунів внутрішнього згоряння під час використання біодизельного палива // Суднові енергетичні установки : наук.-техн. зб. – 2024. – Вип. 48. – С. 100-113. doi: 10.31653/smf48.2024.100-113.

29. Заблоцький Ю.В. Зниження теплової напруженості суднових дизелів за рахунок використання присадок до палива // Суднові енергетичні установки : наук.-техн. зб. Вип. 38. – Одеса : НУ «ОМА», 2018. – С. 76-87.

30. Zablotskyi Yu.V., Sagin A.S. Applying of fuel additives in marine diesel engines // Суднові енергетичні установки: науково-технічний збірник. Вип. 43. – Одеса: НУ «ОМА». – 2021. – С. 5 – 17. doi: 10.31653/smf343.2021.5-17.

31. Сагін С.С., Сагін С.В. Використання штучного інтелекту в ситуаціях надмірного зближення суден // Водний транспорт. Збірник наукових праць. – 2024. – Вип. 1(39). – С. 215-225. doi.org/10.33298/2226-8553.2024.1.39.22.

32. Сагін С.С., Сагін С.В. Забезпечення безпеки маневрування великотоннажних суден в стиснених портових водах // Водний транспорт. Збірник наукових праць. – 2024. – Вип. 3(41). – С. 208-220. doi.org/10.33298/2226-8553.2024.3.41.21.

33. Сагін С.В., Сагін С.С. Визначення методу управління рухом суден морського транспорту під час забезпечення їх безпечного розходження // Водний транспорт: Збірник наукових праць. – 2023. – Вип. 2(38). – С. 187-198. doi.org/10.33298/2226-8553/2023.2.38.20.

34. Сагін С.В., Мадей В.В., Сагін А.С. Робота суднового дизеля на біодизельному паливі // Автоматизація суднових технічних засобів : наук. - техн. зб. – 2021. – Вип. 27. – Одеса : НУ «ОМА». – С. 93 - 107. DOI: 10.31653/1819-3293-2021-1-27-93-107.

35. Kuropyatnyk O. A., Sagin S.V. Ensuring efficiency and environmental of marine diesel engines which using exhaust gas bypass system // Суднові енергетичні установки: науково-технічний збірник. Вип. 43. – Одеса: НУ «ОМА». – 2021. – С. 25- 40. doi: 10.31653/smf343.2021.25-40

36. Сокол Д.Р., Заблоцький Ю.В. Підвищення ефективності очищення суднових вод, що містять нафту / Д.Р. Сокол, // Матеріали Науково-технічної конференції молодих дослідників «Суднові енергетичні установки: експлуатація та ремонт». – 19.11.2025. – Одеса: НУОМА. – С. 72-76.

37. Сагін С.В., Сагін А.С. Контроль та діагностування надійності та економічності дизелів морських та річкових засобів транспорту // Суднові енергетичні установки : наук.-техн. зб. – 2023. – Вип. 46. – С. 118-131. doi: 10.31653/smf46.2023.118-131.

38. Sagin S., Haichenia O., Karianskyi S., Kuropyatnyk O., Razinkin R., Sagin A., Volkov O. Improving Green Shipping by Using Alternative Fuels in Ship Diesel Engines // Journal of Marine Science and Engineering. – 2025. – № 13. – P. 589. <https://doi.org/10.3390/jmse1303058924>.

39. Парменова Д.Г. Визначення відповідності суден вимогам щодо енергоефективності та скорочення викидів парникових газів. Одеса: НУОМА, 2025. – 44 с.