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

Кафедра безпеки життєдіяльності та захисту довкілля

ДИПЛОМНА РОБОТА МАГІСТРА
на тему:

ТЕХНОЛОГІЧНІ ЗАСОБИ ТА СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ОЧИЩЕННЯМ НАФТОВМІСНИХ ВОД НА МОРСЬКИХ СУДНАХ

Курсанта 2-го року навчання навчально-наукового інституту інженерії
Кривоколіська Ігната Івановича

Керівник: к-т техн. наук, професор Колегаєв М.О.

Нормоконтроль ______ к.т.н., доц. Парменова Д.В.

Роботу заслухано на засіданні кафедри БЖ та ЗД та рекомендовано до захисту в ЕК, протокол № 9 від 17.12. 2025 р.
Завідувач кафедри БЖ та ЗД
к-т техн. наук, доцент ______ Дана ПАРМЕНОВА
підпис

Роботу заслухано на засіданні кафедри суднових енергетичних установок.
Рекомендовано до захисту в ЕК, протокол № 9 від 17-12 2025 р.

Завідувач кафедри СЕУ,
д-р техн. наук, професор ______ Сергій САГІН
(підпис)

Рецензент (зовнішній) ______ А. Жебанов 23.12.25
(ПІБ, підпис, дата)

Рецензент (внутрішній) ______ М. В. Міюсов д.т.н., проф. 23.12.2025
(ПІБ, підпис, дата)

Одеса – 2025

Національний університет «Одеська морська академія»
Навчально-науковий інститут інженерії
Кафедра безпеки життєдіяльності та захисту довкілля

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 _____ **Кривоколіcько Ігнат Іванович** _____

1. Тема дипломної роботи:__ **Технологічні засоби та системи управління** _ _____ **очищенням нафтовмісних вод на морських суднах**___
Затверджена наказом ректора НУОМА №_**1414**_від__**24 листопада 2025 р.** _
2. Об'єкт дослідження ____ **процес підтримання екологічних показників** __ ___ **роботи суднових дизелів на рівні, що відповідає вимогам МАРПОЛ** __
3. Предмет дослідження___ **процес управління очищенням нафтовмісних** _ _____ **вод на морських суднах** _____
4. Обсяг пояснювальної записки: _____**60…70 стор.** _____
5. Структура пояснювальної записки дипломної роботи: _____
__ Аналіз проблеми забруднення світового океану нафтою та _____
__ нафтопродуктами _____
__ Методологічні основі наукових досліджень _____
__ Аналіз комплексних систем управління процесом очищення _____
__ нафтовмісних вод _____
__ Технологічні засоби та системи управління очищенням нафтовмісних ___
___вод на морських суднах _____
6. Зміст основної частини пояснювальної записки:
__ Аналіз проблеми забруднення світового океану нафтою та _____
__ нафтопродуктами _____
__ Методологічні основі наукових досліджень _____
__ Аналіз комплексних систем управління процесом очищення _____
__ нафтовмісних вод _____
__ Технологічні засоби та системи управління очищенням нафтовмісних ___
___вод на морських суднах _____
7. Перелік графічного матеріалу:
__ Методологія наукового дослідження _____
__ Аналіз проблеми забруднення світового океану нафтою та _____
__ нафтопродуктами _____
__ Результати досліджень _____
__ Висновки _____

Робота повинна бути виконана відповідно до «Методичних вказівок для виконання дипломної роботи магістра», затверджених Вченою радою ННІ 27.06.2023, протокол № 11.

8. Календарний план виконання роботи

№ з/п	Назва етапу дипломної роботи	Відмітка керівника про виконання етапу (дата, підпис)
1	Перелік прийнятих скорочень	
2	Вступ	
3	Аналіз проблеми забруднення світового океану нафтою та нафтопродуктами	
4	Методологічні основи наукових досліджень	
5	Аналіз комплексних систем управління процесом очищення нафтовмісних вод	
6	Енергетична ефективність суднової енергетичної установки	
7	Висновки	
8	Перелік використаних джерел	

9. Дата видачі завдання _____**10 вересня 2025 р.** _____
Термін подання дипломної роботи на випускову кафедру 17. 12. 25

Керівник дипломної роботи _____ _ **к-т техн. наук, професор Михайло КОЛЕГАЄВ** _
(підпис) (вчене звання, посада, П.І.Б.)

Виконавець дипломної роботи _____ _ **Ігнат КРИВОКОЛІСЬКО** __
(підпис) (П.І.Б.)

РЕФЕРАТ

Дипломна робота на здобуття освітньо-кваліфікаційного рівня магістр: 80 сторінок, 15 рисунків, 3 таблиці, 39 літературних джерел.

Розглянуті основні види й причини забруднення моря із суден. Виконано аналіз процесів утворення, накопичення і скидання у морі л'ьяльних вод, що містять нафту. Надано огляд сучасних способів й технічних засобів для очищення вод, що містять нафту суднових енергетичних установок.

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$^{-1}$.

Запропонований варіант підвищення ефективності очищення л'ьяльних вод, що містять нафту за рахунок використання сучасного сепаратора л'ьяльних вод Deoiler PPT-BWS/MESB.

СУДНОВА ЕНЕРГЕТИЧНА УСТАНОВКА, СУДНОВІ ВОДИ, ЩО МІСТЯТЬ НАФТУ, ОЧИЩЕННЯ СУДНОВИХ ВОД, ЩО МІСТЯТЬ НАФТУ КОАГУЛЯЦІЯ, ФЛОТАЦІЯ, КОАЛЕСЦЕНЦІЯ, ФІЛЬТРАЦІЯ, СЕПАРАТОРА ЛЬЯЛЬНИХ ВОД DEOILER PPT-BWS/MESB, ОСТАТОЧНА КОНЦЕНТРАЦІЯ НАФТОПРОДУКТІВ

ABSTRACT

Master`s degree thesis: 80 pages, 15 figures, 3 tables, 39 references.

The main types and causes of sea pollution from ships are considered. The processes of formation, accumulation and discharge into the sea of bilge water containing oil are analyzed.

An overview of modern methods and technical means for cleaning water containing oil from ship power plants is provided.

A scientific hypothesis is put forward and confirmed that an increase in the environmental performance of ship power plants is ensured by cleaning water containing oil to values of 5 ppm.

A variant of increasing the efficiency of cleaning bilge water containing oil by using a modern bilge water separator Deoiler PPT-BWS/MESB is proposed.

SHIP POWER PLANT, SHIP WATERS CONTAINING OIL, SHIP WATERS CONTAINING OIL PURIFICATION COAGULATION, FLOTATION, COALESCENCE, FILTRATION, BILGE WATER SEPARATOR DEOILER PPT-BWS/MESB, RESIDUAL CONCENTRATION OF OIL PRODUCTS

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК ПРИЙНЯТИХ СКОРОЧЕННЬ..... 9
ВСТУП..... 10
1. АНАЛІЗ ПРОБЛЕМИ ЗАБРУДНЕННЯ СВІТОВОГО ОКЕАНУНАФТОЮ ТА НАФТОПРОДУКТАМИ 13
1.1. Загальний механізм утворення нафтовмісних вод під час експлуатації енергетичних установок суден морського та внутрішнього водного транспорту..... 13
1.2. Загальний огляд методів очищення нафтовмісних вод 16
1.2.1. Механічні методи очищення вод, що містять нафту..... 18
1.2.2. Фізико-хімічні методи очищення стічних вод, що містять нафту 20
1.2.3. Хімічні методи очищення нафтовмісних стічних вод …… 25
1.2.4. Біологічний метод очищення нафтовмісних стічних вод ……. 27
1.2.5. Термічне знешкодження …….. 28
1.3. Висновки за розділом 1……. 29
2. МЕТОДОЛОГІЧНІ ОСНОВИ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ……... 31
2.1. Загальна концепція наукових досліджень, пов’язаних з екологічною ефективністю морських засобів транспорту …….. 31
2.2. Основні етапи математичного моделювання процесу попередження забруднення довкілля ……..…… 33
2.3. Системний підхід під час дослідження екологічності роботи суден морського та внутрішнього водного транспорту …..…… 34
2.4. Висновки за розділом 2 ……..…… 37
3. АНАЛІЗ КОМПЛЕКСНИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕСОМОЧИЩЕННЯ НАФТОВМІСНИХ ВОД …… 38
3.1.Реалізація принципів проточного відстою …….. 38

3.2. Реалізація принципів відцентрової сепарації ……. 41
3.3. Реалізація принципу фільтраційного очищення за допомогою ефектів коалесценції ……. 43
3.4. Реалізація принципу очищення за допомогою мембранної фільтрації ……. 46
3.5. Метод відділення водної компоненти від нафтовмісних домішок, заснований на гідродинамічному процесі суперкавітації .. 51
3.6. Комбінована установка для очищення нафтовмісної води ……. 54
4. ТЕХНОЛОГІЧНІ ЗАСОБИ ТА СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ОЧИЩЕННЯМ НАФТОВМІСНИХ ВОД НА МОРСЬКИХ СУДНАХ…….. 57
4.1. Загальний опис проблеми …….. 57
4.2. Загальна концепція вибору обладнання, що забезпечує очищення нафтовмісних вод ……. 58
4.3. Управління процесов очищення нафтовмісних вод за допомогою комплексних систем видалення нафтових домішок ….. 59
4.4. Висновки за розділом 4 …….. 67
5. ЕНЕРГЕТИЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ СУДНОВОЇ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ УСТАНОВКИ …….. 68
ВИСНОВКИ 74
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ…..... 76

ПЕРЕЛІК ПРИЙНЯТИХ СКОРОЧЕНЬ

ВМН	–	води, що містять нафту
ДВЗ	–	двигун внутрішнього згоряння
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

Під час експлуатації суден утворюються різного виду відходи, зокрема нафтовмісні води (НВ). У Додатку I до Конвенції МАРПОЛ73/78 термін «Нафтовмісні води» відсутній. У цьому в цьому нормативному документі міститься термін, що має аналогічне практичне значення – «льяльна нафтовмісна вода», тобто вода, яка може містити нафту внаслідок її експлуатаційних витоків чи обслуговування механізмів у машинних приміщеннях. Будь-яка рідина, що надходить у льяльну систему, включаючи льяльні колодязі, трубопроводи льяльної системи, лляла, танки льяльних вод, розглядається як льяльна вода, що містить нафту.

Вибір способу переробки перерахованих вище відходів (безпосередньо на борту судна або шляхом здачі їх на позасудові природоохоронні засоби) визначається типом судна і районом його експлуатації з урахуванням вимог до скидання, що містяться в нормативних документах.

Як показує практика, для суден, які експлуатуються на внутрішніх водних шляхах, кращим є спосіб здавання відходів на позасудові природоохоронні засоби. До них відносять берегові очисні споруди, судна-збирачі або судна комплексної переробки відходів. Це як економічними міркуваннями, і жорсткими вимогами до скидання навіть оброблених в суднових установках НВ у природоохоронних зонах водних об'єктів.

Для суден, які здійснюють тривалі морські чи океанські переходи, очищення нафтовмісних вод відбувається за допомогою спеціального суднового обладнання.

Для очищення нафтовмісних вод у суднових установках використовуються механічні та фізико-хімічні методи.

Незалежно від способу організації очищення лляльної води, всі судна повинні бути обладнані судновою системою очищення НВ. Основним

призначенням такої системи є збирання НВ, тимчасове зберігання, подача до суднової установки або на технічні засоби позасудового очищення НВ води.

Вибір способу організації НВ (судова чи позасудова очищення) визначається такими основними факторами:

- необхідністю оснащення суден судновими установками для очищення НВ;
- можливістю застосування суднових установок для очищення НВ;
- техніко-економічною доцільністю застосування засобів суднового чи позасудового очищення НВ.

З точки зору необхідності або можливості оснащення суден природоохоронним обладнанням всі судна можна розділити на такі групи:

- судна, які відповідно до сучасних природоохоронних вимог повинні бути обов'язково оснащені судновими установками для очищення НВ;
- судна, для яких можуть бути використані як суднові, так і позасудові природоохоронні технічні засоби;
- судна, які можуть обслуговуватись лише засобами позасудового очищення.

Необхідність оснащення суден природоохоронним обладнанням та склад цього обладнання визначаються нормами природоохоронного права – міжнародного та національного. Дія цих норм пов'язані з районом плавання – внутрішні водні шляхи чи райони моря. Судна, що працюють на море, підпадають під дію норми міжнародного права, тому повинні бути обладнані судновими установками для очищення НВ. Судна внутрішнього плавання підпадають під дію національних норм, які не вимагають їхнього обов'язкового оснащення судновими установками для очищення НВ.

Норми природоохоронного права в галузі експлуатації суден допускають можливість вибору між судновим та позасудовим очищенням. Такий підхід у формуванні норм логічний, тому що на деяких суднах внутрішнього плавання відсутня можливість розміщення установки для очищення НВ. Для такої групи суден очищення НПЗ можливе лише за

допомогою засобів позасудового очищення. При виборі між судновими та позасудовими засобами очищення необхідно враховувати, що в деяких випадках такі судна, як плавучі очисні станції, пасажирські судна, що працюють як готелі, плавмайстерні та деякі інші можуть розглядатися як стаціонарні джерела скидання очищеної НВ. Для стаціонарних джерел скидання вимоги до якості очищеної води можуть бути іншими, як правило, суворішими, ніж вимоги щодо суднових установок для очищення НВ.

Застосування захисних заходів та технічних засобів має бути спрямоване на запобігання або зниження як експлуатаційного, так і аварійного забруднення. Крім того, у комплексі заходів та засобів для запобігання експлуатаційному забрудненню необхідно передбачити групу заходів та засобів, що забезпечують зниження освіти в межах об'єктивно можливого обсягу суднових забруднень, а також групу заходів, що забезпечують переробку цих забруднень.

У комплексі заходів та засобів для запобігання аварійному забрудненню необхідно передбачати заходи та засоби, що забезпечують зниження ймовірності виникнення аварійного забруднення, а також зменшення можливої шкоди навколишньому природному середовищу.

1. АНАЛІЗ ПРОБЛЕМИ ЗАБРУДНЕННЯ СВІТОВОГО ОКЕАНУ НАФТОЮ ТА НАФТОПРОДУКТАМИ

1.1. Загальний механізм утворення нафтовмісних вод під час експлуатації енергетичних установок суден морського та внутрішнього водного транспорту

Приблизно третина поверхні Світового океану покрита нафтовою плівкою, яка негативно впливає на навколишнє середовище. Нафтова плівка перешкоджає масо- і теплообміну між атмосферою та гідросферою. Крім того, токсичність нафти призводить до загибелі морських організмів і завдає суттєвої шкоди місцям їх проживання.

Під час експлуатації суден морського та внутрішнього водного транспорту у води Світового океану щорічно надходить близько 2 млн. тонн води, забрудненої нафтопродуктами [1-3]. Для підвищення ефективності використання засобів щодо запобігання забруднення водного середовища нафтопродуктами, удосконалення технологій процесів очищення суднових нафтовмісних вод, створення нових установок та нових методів необхідно провести комплексне дослідження всіх складових процесу очищення суднових НВ.

Головними факторами, що впливають на утворення НВ у процесі експлуатації судна, є тип судна, його технічний стан та кваліфікація обслуговуючого персоналу. Накопичення НВ відбувається в результаті порушення герметичності роз'ємних з'єднань обладнання, арматури і трубопроводів, дейдвудного пристрою, при конденсації вологи на внутрішніх поверхнях металевого набору корпусу судна, після промивання деталей і вузлів двигунів і різних механізмів під час технічних обслуговувань і при ремонтних роботах, при миття водою машин.

Нафтовмісні води є сумішшю з води, палива, масел, твердих домішок і різних продуктів, що використовуються в процесі експлуатації суднової

енергетичної установки. Середня густина нафтопродуктів та води, що містяться у колодязях машинного відділення, оцінюється у межах 0,84…0,98 г/см^3. Водневий показник НВ pH=5,9..8,5. Середній показник вмісту механічних домішок становить 0,006 %.

У НВ колодязів машинного відділення можна розмежувати три шари:

- перший шар є безперервною плівкою на поверхні води;
- другий шар є емульсією, де частинки нафтопродукту різного розміру перебувають у зваженому стані з концентрацією нафтопродуктів від 500 до 3000 млн$^{-1}$;
- третій шар являє собою воду, в якій містяться розчинені та крапельні важкі нафтопродукти.

Також, у ряді випадків можна виділити четвертий шар, що є сумішшю важких нафтопродуктів з механічними домішками і незначною кількістю води.

Разом з НВ, що утворюються під час експлуатації енергетичного обладнання, існують інші джерела НВ. Води, використані й забруднені в процесі мийки, називаються промивними.

Забортна вода необхідна судну й для використання як змінний баласт із метою забезпечення необхідних умов мореплавності. Використання морської води для цілей баластування й мийки вантажних ємностей викликає найбільш значне забруднення моря при існуючих методах експлуатації транспортних суден. І, нарешті, морську, воду використовують на суднах для побутових і санітарно-гігієнічних потреб екіпажа й пасажирів. У цьому випадку забруднення морського середовища відбувається внаслідок скидання із суден побутових відходів, зайва присутність яких порушує кисневий баланс у морській воді. Ці відходи можуть містити різні хвороботворні мікроорганізми, хімічні миючі речовини й інші забруднювачі, небезпечні як для людини, так і для мешканців морського середовища [4. 5].

Всі шкідливі речовини, перевезені на суднах наливом, по ступені шкідливості для морського середовища і її ресурсів діляться на чотири категорії:

A – надзвичайно високим ступенем шкідливості;

B – з високим ступенем;

C – із середньої;

D – з низкою.

Категорія *A* – речовини, які при скиданні в море створюють значну небезпеку для морських ресурсів або здоров'я людини, значно погіршують умови відпочинку або заважають іншим видам правомірного використання моря, у зв'язку із чим виправдується застосування строгих заходів щодо запобігання забруднення. Ці речовини є високо токсичними для живих організмів моря.

Категорія *B* – речовини, які при скиданні в море створюють небезпеку для морських ресурсів або здоров'я: людини, погіршують умови відпочинку або заважають іншим видам правомірного використання моря, у зв'язку із чим виправдовується застосування спеціальних заходів щодо запобігання забруднення. Речовини зберігають свої властивості протягом тижня або менш, здатні заражати морські організми, уживані в їжу, або є помірно-токсичними для живих організмів моря.

Категорія *C* – речовини, які при скиданні в море створюють незначну небезпеку для морських ресурсів або здоров'я людини, незначно погіршують умови відпочинку або заважають іншим видам правомірного використання моря, у зв'язку із чим потрібні спеціальні умови експлуатації суден. Ці речовини малотоксичні для морських організмів.

Категорія *D* – речовини, які при скиданні в море створюють деяку небезпеку для морських ресурсів або здоров'я людини, трохи погіршують умови відпочинку й заважають іншим видам правомірного використання моря, у зв'язку із чим потрібна обережність при експлуатації суден. Ці речовини практично нетоксичні для морських організмів [6].

Поняття «льяльна вода» насилу піддається чіткому визначенню. 50 років тому льяльні води складалися в основному з суміші води і дизельного палива. У наш час до їх складу окрім води можуть входити важке паливо, мастильне масло, масло для гідравлічних систем, миючі препарати, присадки до масел, хімікати, каталітичні частки, сажа і інші тверді частки (шлам). Сьогодні очищення льяльної води припускає її трифазний розподіл, при цьому третьою фазою є шлам.

У секторі морських перевезень використовується величезна кількість хімічних речовин – для проведення миття, а також для ремонтних і сервісних робіт в машинному відділенні, причому багато хто з них створений на основі поверхнево активних речовин (ПАР). Через це ці речовини сприяють утворенню суспензій і емульсій, які дуже важко зруйнувати в бортовій системі очищення льяльних вод. Емульсія є сумішшю нафтопродуктів і води, в якій найдрібніші частки нафтопродуктів рівномірно розподілені за усім обсягом води. Утворення стійких емульсій призводить до зниження ефективності сепарації і стає проблемою, коли стабілізація емульсії викликана ПАР [7].

1.2. Загальний огляд методів очищення нафтовмісних вод

Згідно з вимогами Міжнародної конвенції по запобіганню забруднення з суден MARPOL 73/78 можливі наступні варіанти суднового 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].

Для реалізації першого варіанту необхідно мати в портах достатню кількість приймальних споруд для вод, що містять нафту. Також цей варіант доцільний у разі, коли судно здійснює нетривалі рейси. При цьому вільний об'єм збірних танків має бути достатнім для збору і зберігання вод, що містять нафту на протязі усього рейсу. Після прибуття в порт води, що містять нафту здаються на приймальні споруди з отриманням документу, що підтверджує здачу вод, що містять нафту. Відмітка про здачу льяльних вод, що містять нафту робиться в журналі нафтових операцій.

Другий варіант дозволяє робити очищення вод, що містять нафту до концентрації менше 15 млн$^{-1}$ і експлуатувати судна в будь-якому морському районі. В цьому випадку збірного танка може і не бути. Проте для підвищення якості очищення і ефективності утилізації вод, що містять нафту на суднах, які знов будуються необхідно передбачати два збірних танка для вод, що містять нафту. Льяльні води в цьому випадку обробляються таким чином. Води, що містять нафту з усіх льяльних колодязів МКВ перекачуються і накопичуються в першому збірному танку впродовж декількох днів, при цьому відбувається відтаювання і розшарування вод, що містять нафту. Вода, що відстоялася, в нижньому шарі має концентрацію 100...200 млн$^{-1}$ і при очищенні її в сепараторові менше забруднює фільтруючий коалесцируючий елемент. На виході з сепаратора в цьому випадку гарантовано можливо отримати концентрацію нафтопродуктів менше 15 млн$^{-1}$. Відстояний шар нафтопродуктів перекачується в інший збірний танк, минувши сепаратор, і може там накопичуватися впродовж декількох місяців або спалюватися в котельній установці. Такий спосіб обробки вод, що містять нафту дозволяє підвищити якість очищення, істотно збільшити ресурс роботи обладнання, що фільтрує, і зменшити експлуатаційні витрати.

1.2.1. Механічні методи очищення вод, що містять нафту

Фільтрування. Первинна стадія очищення НВ призначена для вилучення із НВ великих механічних включень, а також волокнистих фракцій, які можуть перешкоджати нормальній роботі обладнання системи очищення НВ.

Нафтовмісні води колодязів машинного відділення, перед тим як потрапити у відстійні цистерни, пропускають через фільтри (сита). Проходячи через численні отвори фільтра (сита) діаметром від 5 мм до 20 мм, НВ відокремлюються від сторонніх предметів та великих твердих включень.

Відстоювання. Процес відбувається внаслідок дії незбалансованих гравітаційних і плавучих сил, які називаються силами Стокса:

$$u_{\text{о}} = \frac{gd^2(\rho_{\text{в}} - \rho_{\text{н}})}{18}\mu_{\text{в}};$$

де d – діаметр крапельки нафти, м;

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

$\rho_{\text{в}}$, $\rho_{\text{н}}$ – густина води та нафти, кг/м^3;

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

Якщо розмір краплі занадто малий, броунівський рух та електростатичні сили впливають на випадковий рух крапель значно і краплі не можуть спливти на поверхню. Однак як тільки краплі досягнуть деякого критичного розміру, сила плавучості буде домінуючою, і краплі спливуть на поверхню щільнішої рідини. Там вони утворюють шар із тісно прикріплених окремих крапель або безперервної плівки.

Цей метод дозволяє знизити вміст нафтопродуктів у воді до 100 млн$^{-1}$.

Для прискорення процесу відстоювання в цистернах встановлюють похилі пластини, у разі агрегація частинок нафтопродукту йде активніше,

поліпшуються умови осадження. Потік НВ проходить вздовж пластин і поділяється на шари, у результаті зменшується можливість перемішування. Краплі нафтопродуктів рухаються вздовж поверхні пластини і з'єднуються з іншими, внаслідок чого відбувається їхнє укрупнення, що у свою чергу призводить до збільшення сили плавучості. Такий рух потоку НВ робить процес відстоювання ефективнішим.

Центрифугування. Процес очищення заснований на дії відцентрової сили для поділу компонентів емульсії відповідно до їх густини або розміру частинок. Даний вид очищення супроводжується флокуляцією та коалесценцією.

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

$$K_{\text{р}} = \frac{\omega^2}{gR};$$

де ω – кругова частота обертання;

R – відстань частки до осі обертання;

g – прискорення вільного падіння.

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.

При збільшенні тиску емульсії на вході в гідро циклон процес виділення нафти інтенсифікується внаслідок підвищення ролі відцентрового чинника

розподілу, що особливо характерно для гідро циклонів малого діаметру. Проте при збільшенні перепаду тиску відповідно зростають дотичні напругі, прагнучи роздрібнити частку рідкої дисперсії. Перешкодою цьому явищу служать сили поверхневого натягнення на границі нафта-вода. Ці сили істотно залежать від присутності в емульсії, що розділяється ПАР. Якщо поверхневе натягнення на границі нафта-вода зазвичай знаходяться в межах $(25...35)\cdot10^{-3}$ Н/м, то при додаванні ПАР воно знижується до $(8...15)\cdot10^{-3}$ Н/м. Тому для реальних умов тиск живлення циклонного апарату потребує уточнення для кожного випадку.

У відомих гідро-циклонах потік емульсії, що розділяється, схильний до дії значних турбулентних обурень ($Re>10^5$), внаслідок чого знижується їх очисна здатність. Час перебування емульсії, що розділяється, в об'ємі гідро циклона складає порядку 0,01 с, що абсолютно недостатньо для задовільного відділення часток нафти з води в полі відцентрових сил [9].

1.2.2. Фізико-хімічні методи очищення стічних вод, що містять нафту

Флокуляція – це вид коагуляції, у якому відбувається освіту пухких пластівеподібних агрегатів (флокулів) з невеликих частинок дисперсної фази, що у зваженому стані серед. Частинки з меншою питомою вагою переміщуються ближче до центру потоку, а з більшою питомою вагою відтісняються до периферії. Цей метод дозволяє знизити вміст нафтопродуктів у воді до 5…15 мг/л.

Флотація. Метод очищення НВ флотацією полягає в насиченні обсягу НВ бульбашками газу (найчастіше повітря), які при випливанні доставляють на поверхню розділу «вода – повітря» забруднення з НВ і формують флотошлам.

При порівнянні ефективності процесу флотації з гравітаційним методом краща результативність флотації обумовлена тим, що швидкість випливання

нафтоповітряної бульбашки в 900 разів вище, ніж швидкість випливання краплі нафтопродукту того ж діаметра при гравітаційному відстоюванні. Як правило, чим дрібніші бульбашки повітря, тим вища ефективність флотаційного поділу.

Існують такі методи флотації: механічна, пневматична, вакуумна, напірна, електрофлотація, хімічна, флотація зі струменевим аеруванням рідини, пневмогідравлічна, біологічна, термічна та деякі інші. Найбільшого поширення у під час очищення НВ набули напірна, пневматична та електрофлотація; рідше – механічна та пневмогідравлічна.

Вибір того чи іншого способу аерації пов'язаний з такими показниками, як дисперсний склад бульбашок газу, що генеруються, продуктивність і стабільність роботи, складність обладнання, а також капітальні та експлуатаційні витрати [10].

Коалесценція – процес укрупнення, злиття крапельок нафти. Коалесціючі елементи приймають, як правило, в якості другого ступеня установок для очищення вод, що містять нафту і знайшли широке застосування на суднах. 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 елементу має бути передбачений невеликий відстійник для відділення укрупнених крапель нафтопродуктів [11].

Процес очищення заснований на проходженні емульсії, що розділяється, вузьких місць (отворів або пір фільтрувальної перегородки), при цьому дисперсні частинки, що знаходяться в емульсії, стикаються, у зв'язку з чим відбувається їх об'єднання і укрупнення. Частинки збільшуються доти, доки збільшиться сила плавучості і підніме їх у поверхню води.

За допомогою цього методу можна очистити НВ до концентрації нафтопродукту 15 млн$^{-1}$ і нижче. Коалесцирующими елементами для фільтрів можуть бути такі матеріали, як пісок, поролон, полістирол, поліпропіленові волокна тощо. Істотна відмінність між методами коалесценції та адсорбції полягає в тому, що при коалесценції після завершення процесу агрегації великих крапель нафтопродукту необхідні умови для гравітаційного відокремлення їх від води (відстійник), тоді як після адсорбції не потрібно виконувати дану умову, вода відразу стає чистою. Перевагами даного методу є більший ресурс фільтра з можливістю його регенерації і безперервність процесу, оскільки кількість НВ на вході відповідає кількості води та нафтопродуктів на виході з пристрою.

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 елементу, для якого неможлива ефективна регенерація. Це вимагає частого розбирання сепаратора і заміни коалесціючих елементів.

Одним із способів підвищення ресурсу коалесціуючих сепараторів є установка перед ними передвмикаємих фільтрів, тобто – збільшення прохідних перерізів за рахунок збільшення їх довжини. Проте жорстка структура відомих коалесціючих елементів не дозволяє зробити ефективну регенерацію і тим самим істотно підвищити їх ресурс.

Великими потенційними можливостями по збільшенню ресурсу із збереженням високої міри очищення володіє коалесціючий елемент, який має нежорстку структуру, що дозволяє робити його ефективну регенерацію.

До таких коалесціючих елементів можна віднести тканинні матеріали. Тканина здатна прогинатися під дією гідродинамічних сил зворотного потоку промивальної води, що сприяє ефективній регенерації її осередків і пір. Підбираючи кількість шарів тканини і розмір її осередків, можна добитися необхідної міри очищення. У зв'язку з цим, тканинні коалесціючого елемента мають великі потенційні можливості підвищення ефективності очищення вод, що містять нафту, тому при розробці нового очисного устаткування є доцільним включення до його складу тканинного коалесціючого елементу, що має нежорстку структуру.

Іншим коалесціючим елементом, який має нежорстку структуру, і отже, хороші регенераційні властивості і високий ресурс роботи, являється коалесціючий елемент у вигляді шару гранул. При псевдо зрідженні гранул повітрям, парою або водою досягається їх ефективна регенерація, тобто здійснюється хороше очищення пір шару гранул від нафтопродуктів і механічних домішок. Для інтенсифікації процесу регенерації і утворення рівномірної пористої структури шару гранул, форма їх має бути сферичною, а поверхня гладкої. Комбінування гранул різної щільності і діаметру дозволяє виключити обмежувальні сітки з дрібним осередком, що також підвищує ресурс коалесціючого елементу [12].

Адсорбція. Процес очищення ґрунтується на притягувані та об'єднанні частинок нафтопродукту на поверхні адсорбенту. Сорбенти можна поділити на природні (органічні, неорганічні) та синтетичні. Найбільш поширеними природними сорбентами є лігноцелюлозні матеріали, горіхова шкаралупа, торф, активні глини і т.ді.

Сорбенти на основі синтетичних матеріалів, таких як поліпропілен, силікагелі, алюмогелі, полівінілхлорид, полістирол, активований оксид алюмінію інші полімери, здатні притягувати нафтопродукти та

відштовхувати воду. Внаслідок сил тяжіння частки нафтопродукту утримуються на поверхні сорбенту. Це відбувається через різницю міжмолекулярної взаємодії між молекулами сорбенту з молекулами нафтопродукту, а також молекул води з молекулами нафтопродукту. Що міцніше взаємозв'язок молекул нафтопродукту з молекулами води, то гірше адсорбується нафтопродукт лежить на поверхні сорбенту.

Ефективність очищення зумовлена концентрацією нафтопродуктів у воді, вибором адсорбуючого матеріалу, дисперсністю та глибиною завантаження.

Однією з основних умов ефективної роботи адсорбційного фільтра є видалення великих частинок нафтопродукту з НВ шляхом попередньої очистки. Після попереднього видалення з НВ великих частинок нафтопродукту даний спосіб очищення дозволяє отримати глибину відчистки 1…10 мг/л.

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. Існує поняття «нафто ємність» адсорбційного завантаження, тобто максимальна кількість нафтопродуктів, яка поглинається одиницею маси або обсягу сорбіту. Більшість сортів активованого вугілля мають нафто ємність 0,2 кг нафтопродуктів на кілограм завантаження.

Адсорбційне завантаження повністю не відновлює своїх первинних властивостей при регенерації і зрештою замінюється. 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.

1.2.3. Хімічні методи очищення нафтовмісних стічних вод

Озонування. Озонування – технологія глибокого очищення НВ, заснована на використанні окисної здатності атомарного кисню, що утворюється при мимовільному розпаді озону (O_3).

Сама собою молекула озону нестабільна, може віддавати один вільний атом, утворюючи у своїй просту молекулу кисню. Вільний атом кисню є окислювачем і, поєднуючись із найближчими молекулами нафтопродукту, руйнує їх. За допомогою даного методу можна домогтися видалення з НВ емульсованих та розчинених нафтопродуктів, а також відбувається одночасне знебарвлення, знезараження води та насичення її киснем.

Озон генерується внаслідок процесу проходження потоку повітря чи кисню між електродами. Під дією електричних розрядів високої напруги частина молекул кисню розпадається, а атоми, що утворилися, приєднуються до молекул кисню:

$$O_2 + O = O_3.$$

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.

Даний спосіб з подальшим фільтруванням дозволяє отримати глибину очищення 1…10 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 [13].

Електрохімічне очищення. Метод очищення НВ заснований на електролізі при пропусканні через НВ постійного електричного струму за допомогою занурених розчинних та нерозчинних електродів. Залежно від вибраного матеріалу електрода (алюмінію, нержавіючої сталі, графіту, срібла) можна отримати різні коагулянти для очищення стічних вод та НВ.

Цей спосіб очищення називають також електрохімічною коагуляцією.

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/м^2, відстань між пластинами електродів 10...20 мм, швидкість руху емульсії 0,03...0,05 м/с, витрата електроенергії до 1 кВт·год/м^3.

Ефективність очищення води від нафтопродуктів електрохімічною флотацією досягає 90%.

Ступінь очищення НВ електрохімічною коагуляцією можна довести до 90% після доочищення фільтруванням.

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 електричної 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 суднах.

Також до недоліків даного способу можна віднести значну витрату металу та електроенергії, утворення в електродних камерах електричних пробоїв та зашламлення камер.

1.2.4. Біологічний метод очищення нафтовмісних стічних вод

Основою біологічного методу очищення є здатність деяких мікроорганізмів використовувати різні речовини, що містяться в НВ, у процесі своєї життєдіяльності для свого розвитку.

Ефективність методу залежить від виконання наступних умов:

- вміст нафти в НВ не може перевищувати 100 мг/л; температура – 20...25 °С;
- концентрація кисню – не нижче 2 мг/л;
- pH у межах 6,5…7,5.

Даний спосіб очищення НСВ не знайшов широкого поширення на водному транспорті через високу чутливість мікроорганізмів до складу та кількості води.

Крім того в ВН 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.

До недоліків цього методу можна віднести необхідність розведення НСВ при підвищеній концентрації домішок у її складі. Проблеми викликає і подальша утилізація відпрацьованої активної сировини.

1.2.5. Термічне знешкодження

Метод «мокрого спалювання» (рідкофазне окиснення). Такий метод очищення НСВ заснований на окисленні киснем органічних та елементоорганічних сполук при температурі 150…350 °С та тиску 2…28 МПа.

Перевагою даного методу є менші енерговитрати, ніж при вогневому знешкодженні.

Недоліком цього методу є неповне окислення відходів та корозія обладнання.

Вогневе знешкодження. Процес знешкодження полягає у розпорошенні НВ у топкові гази, нагріті до 900…1000 °С. В результаті відбувається повне випаровування води та згоряння органічних домішок.

На стику вказаних методів пропонується варіант термічного знешкодження, що застосовується на суднах. Він полягає у використанні

теплоти випускних газів суднових дизелів та димових газів котлів для розкладання та нейтралізації НСВ.

Залежно від типу дизеля або котла та режиму їх роботи можна визначити, яку кількість теплоти можна отримати від відпрацьованих газів. Використання теплоти випускних газів суднових дизелів та димових газів котлів становить 15…30 % від наявної, а решта йде в атмосферу.

Згідно з одним із варіантів цього способу, пропонується проводити розпилення НВ через форсунку в канал газовипускної системи дизеля. Випускні гази з дизеля або турбіни комбінованого двигуна, мають досить високу температуру (350…500 °С). Розпорошення НВ виконується разом з випускними газами, що рухаються газовипускною трубою. При цьому здійснюється випаровування води і подальше розкладання і допалювання нафтозалишку.

Продуктивність методу залежатиме від вихідного складу випускних газів, його відповідності вимогам щодо викидів шкідливих речовин з випускними газами до і після введення НВ.

Підсумковий склад випускних газів контролюється газоаналізатором, за даними якого може бути автоматизована подача НВ на форсунку [14].

Таким чином, цей метод може дозволити досягти повної утилізації НВ.

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 нафтовмісні води.

2. Вимоги Міжнародних (насамперед MARPOL) та національних конвенції суворо обмежують можливість скидання нафтовмісних вод 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 ВН у суднових умовах.

3. Як методи, що забезпечують очищення ВН до рівня 15 млн$^{-1}$, є механічні (фільтрування, відстоювання, центрифугування); фізико-хімічні (флотація, коалесценція, адсорбція); хімічні (озонування, електрохімічне очищення), а також біологічне очищення та термічне знешкодження.

4. Ефективність очищення НВ зростає за умовою об'єднанні кількох методів очищення в один технологічний процес. Його проміжним результатом буде поділ НВ на нафтопродукти з невеликим вмістом води та води із залишковим вмістом нафтопродуктів. Перші можуть спалюватися в котлах та інсинераторах, а для води з малою концентрацією нафтопродуктів застосовуються інші способи очищення.

2. МЕТОДОЛОГІЯ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Загальна концепція наукових досліджень, пов’язаних з екологічною ефективністю морських засобів транспорту

У контексті технічного регламенту екологічна ефективність, як і будь-яка інша, могла розумітися як відношення корисного ефекту (в даному випадку природоохоронного) до витрачених на виробництво цього ефекту ресурсів, виражених у тих самих одиницях виміру, що й корисний ефект. Враховуючи специфіку питання, можна подати також екологічну ефективність як відношення природоохоронного ефекту до ефекту забруднення навколишнього середовища в тому випадку, якби заходи щодо запобігання її забруднення не були вжиті.

Будь-яке із зазначених уявлень про екологічну ефективність дозволяє зробити висновок про те, що кількісна міра екологічної ефективності є безрозмірним параметром, значення якого менше одиниці, але прагне до неї, або при множенні на 100 % бути виражений у відсотках (бути менше 100 %, але прагнути цієї межі). Вимір корисного природоохоронного ефекту і навіть визначення цього поняття досить важко. Природоохоронний ефект внаслідок застосування обладнання та засобів попередження забруднення довкілля з судна може бути виражений у будь-яких умовних або вже використовуваних одиницях забруднення довкілля. Однак усе ускладнюється ще й тим, що різні відходи (забруднення) мають різну фізичну природу та їх кількісні заходи мають різні одиниці виміру. Тому необхідно представляти екологічну ефективність як ймовірність запобігання можливому шкідливому впливу на довкілля з боку життєдіяльності людей на судні та неминучих при експлуатації технічних засобів та обладнання втрат робочих середовищ та продуктів неповного згоряння палива. У цьому випадку показник екологічної ефективності також повинен бути описаний у зазначених числових межах.

Таким чином, якщо розраховане значення показника екологічної ефективності виявиться близьким до одиниці (до 100 %), наприклад, 0,95 (або 95 %), то ймовірність запобігання шкідливому впливу судна на довкілля буде вважатися високою, а якщо близьким до нуля, наприклад, 0,1…0,2 (що відповідає 10…20 %) – низькою. Відповідно до раніше наведених обґрунтувань екологічна ефективність як поняття покликана оцінювати ймовірність запобігання можливому шкідливому впливу на довкілля життєдіяльності людей на судні,а також негативного неминучого впливу при експлуатації технічних засобів та обладнання втрат робочих середовищ та продуктів неповного згоряння палива. Кількісна міра екологічної ефективності, а саме показник екологічної ефективності, має бути безрозмірним або відсотковим заходом запобігання шкоди, що завдається навколишньому середовищу зазначеними вище відходами та забрудненнями. До таких відходів відносяться нафтовмісні (лляльні) води, стічні (сточно-фанові) води, сміття, викиди в атмосферу шкідливих речовин з випускними газами, шум. Чим більше показник екологічної ефективності наближається до одиниці, тобто до 100 %, тим більше запобігає шкоди, яка могла би бути завдана судном довкіллю.

Визначення показника екологічної ефективності суден, безумовно, слід зарахувати до складних завдань, оскільки подібні завдання зазвичай пов'язані з математичним описом складних явищ, ситуацій чи об'єктів. В даному випадку доцільно розглядати показник екологічної ефективності не як явище або ситуацію, а як модель запобігання забрудненню, яку можна вважати складним об'єктом, оскільки вона може бути скомпонована з декількох складових частин, що характеризують різні сторони процесу, що описується. Умовно можна припустити, що ці частини перебувають у відносинах взаємозв'язку та підпорядкування. Тоді модель опису запобігання забрудненню можна вважати об'єктом із розподіленою структурою [15].

2.2. Основні етапи математичного моделювання процесу попередження забруднення довкілля

Труднощі створення моделі, тобто математичного опису процесів запобігання забруднення довкілля різної фізичної природи, можна подолати за допомогою методів дослідження операцій, які виявляються ефективними у випадках, коли використання традиційних математичних методів не дає потрібного результату [16].

Якщо уявити створювану модель запобігання забруднень об'єктом з розподіленою структурою у вигляді системи, що задовольняє набору певних ознак, то для вирішення сформульованої раніше завдання може бути використаний науковий метод, який отримав назву системного підходу, що є однією з форм методологічного знання, пов'язану з дослідженням та створенням об'єктів як систем. Системні принципи знайшли широке застосування у різних сферах теоретичної думки. Опубліковано значну кількість робіт, в яких виконано дослідження ролі та місця системного підходу в ряді інших методологічних концепцій: встановлюються особливості та напрямки практичної реалізації системного підходу, розглядаються математичні методи та апарат, рівні вивчення систем тощо. Проте вичерпну характеристику цих питань дати ще складно. Можна лише розраховувати на деяку повноту висвітлення тих сторін.

Одним із принципів системного підходу є принцип ієрархічності пізнання, що вимагає трирівневого вивчення предмета:

1-й рівень – вивчення самого предмета - власний рівень;

2-й рівень – вивчення цього предмета як елемента ширшої системи – «вищий» рівень;

3-й рівень – вивчення цього предмета у співвідношенні зі складовими даний предмет компонентами – «нижчий» рівень.

Ще один принцип – принцип інтеграції – відображає особливість системного підходу, що полягає в тому, що він спрямований на вивчення інтеграційних властивостей і закономірностей систем і комплексів систем, розкриття базисних механізмів інтеграції цілого. І, нарешті, принцип формалізації показує, що системний підхід спрямовано отримання кількісних характеристик, створення методів, що звужують неоднозначність понять, визначень, оцінок тощо.

2.3. Системний підхід під час дослідження екологічності роботи суден морського та внутрішнього водного транспорту

Розглянемо тепер ознаки «системності» та оцінимо можливість задоволення цим ознаками об'єкта «модель запобігання забрудненню», що зазвичай представляється у вигляді системи. До характерних ознак систем, яких можна застосувати системний підхід, ставляться такі:

1) наявність певної кількості взаємозалежних між собою підсистем (складових частин системи). Розчленування системи на підсистеми (декомпозиція) нині важко піддається формалізації і найчастіше носить евристичний характер, що залежить від цілей дослідження складної системи. Виділення підсистем часто виробляють за функціональними ознаками, вважаючи у своїй, що самостійне існування підсистем неможливо (випускні гази двигунів, наприклад, що неспроможні самостійно утворюватися і існувати). Можлива також класифікація підсистем за видами об'єктів управління, що входять до складу складної системи (іноді підсистем ставлять у відповідність завдання, вирішення яких необхідно здійснити для виконання основного завдання, поставленого перед складною системою, що створюється). У зв'язку з цим слід зазначити, що розбиття складної системи на підсистеми доцільно виконувати таким чином, щоб вони були самостійно

функціонуючі частини системи, що вирішують свої завдання, але при цьому враховувалася роль підсистем у всій системі;

2) багатомірність системи, що обумовлюється наявністю великої кількості зв'язків між підсистемами;

3) багатокритеріальність, що обумовлюється різноманітністю цілей окремих підсистем, що входять до складної системи, а також різноманітністю вимог, що висуваються до досліджуваної системи з боку інших систем;

4) властивості системи не вичерпуються властивостями окремих підсистем (синергетичний ефект), навпаки, система має властивості, які притаманні підсистемам, і може бути утворені простим підсумовуванням властивостей підсистем, а формуються завдяки обліку взаємодії між окремими частинами системи;

5) різноманітність природи підсистем, що характеризується їх різною фізичною сутністю [15].

Таким чином, складність системи, до якої можна застосувати системний підхід, характеризується не просто збільшенням розмірності, а й багатокритеріальністю, ієрархічності структури, наявністю підсистем різного виду, функціонування яких підпорядковане досягненню єдиної мети для всієї системи в цілому. Однак можна констатувати, що складові частини системи «екологічна ефективність судна»: екологічна ефективність по нафтовмісних водах, по стічних водах, по сміттю, по викидам в атмосферу твердих частинок, оксидів азоту NO_X, оксидів сірки SO_X, оксиду вуглецю CO, сумарних вуглеводнів CH, парникового газу підсистем складної системи) і в цьому випадку (при правильному структуруванні системи) вони задовольнятимуть усім п'яти зазначеним вище ознакам [17].

З урахуванням системного підходу розроблена технологічна карта наукового дослідження, що надана на рис. 2.1.

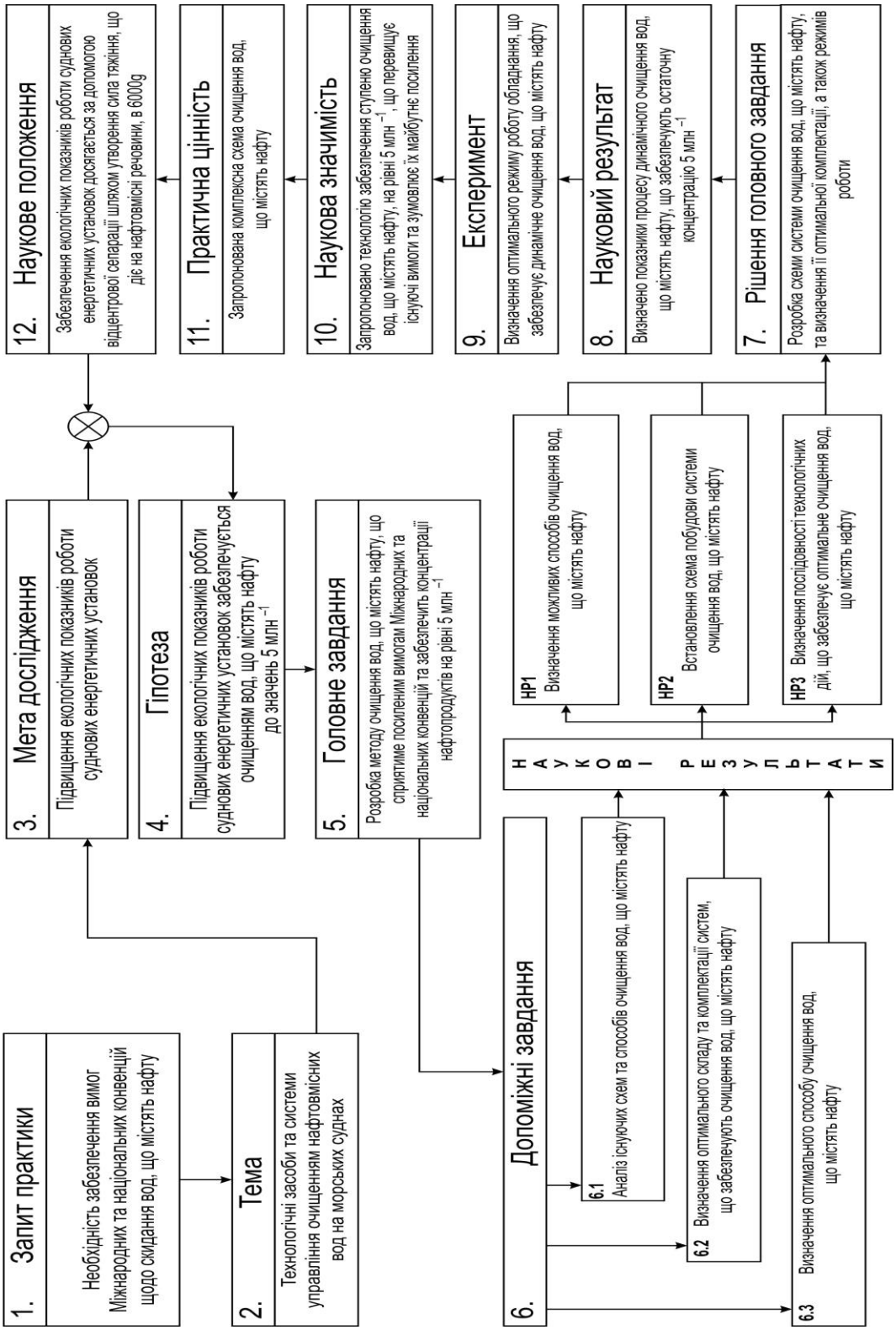


Рис. 2.1. Технологічна карта наукового дослідження

2.4. Висновки за розділом 2

Як об’єкт дослідження визначено процес підтримання екологічних показників роботи суднових дизелів на рівні, що відповідає вимогам МАРПОЛ.

Як предмет дослідження обрано процес управління очищенням нафтовмісних вод на морських суднах

Спираючись на принципи системного підходу розроблена технологічна карта наукового дослідження.

3.АНАЛІЗ КОМПЛЕКСНИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕСОМ ОЧИЩЕННЯ НАФТОВМІСНИХ ВОД

3.1.Реалізація принципів проточного відстою

Подібна схема використовується у сепараторі відстійного типу СТВ-100.

Сепаратор відстійного типу СТВ-100 призначений для очищення баластних і трюмних вод. Сепаратор працює в режимі проточного відстою з продуктивністю не більше 100 $м^3$/год. Об'єм відстійної порожнини сепаратора близько 25 $м^3$, тривалість проточного відстою при продуктивності 100 $м^3$/год дорівнює 14 хв, а при продуктивності 50 $м^3$/год – 28 хв. Робочий тиск в сепараторі складає 2,5 $кгс/см^2$. Корпус сепаратора зварний (з листової сталі) і складається з двох частин: горизонтальній відстійній порожнині і вертикальній порожнині нафто накопичувача [17, 18].

Сепаратор СТВ-100 (рис. 3.1) обладнаний автоматичною системою зливу нафтопродуктів, що відстоялися, в яку входять поплавковий датчик 5, золотник, що управляє 10, і здвоєний зливний клапан 13 з паровим сервоприводом 11. Наявне в сепараторі коалесціююче облаштування гідродинамічного типу складається з шести відцентрових сопел 2. У камері ущільнювача коалесціюючого пристрою розташовані парові підігріваючі змійовики 1. У відстійній порожнині сепаратора розташовані: горизонтальна каскадна перегородка 8, відбивна перегородка 3, що запобігає возмущення в порожнині нафтонакопичувача, викликаним струминним характером води, що виходить з сопел; вертикальні гідравлічні перегородки 7 і паровий змійовик підігрівання 9 [19, 20].

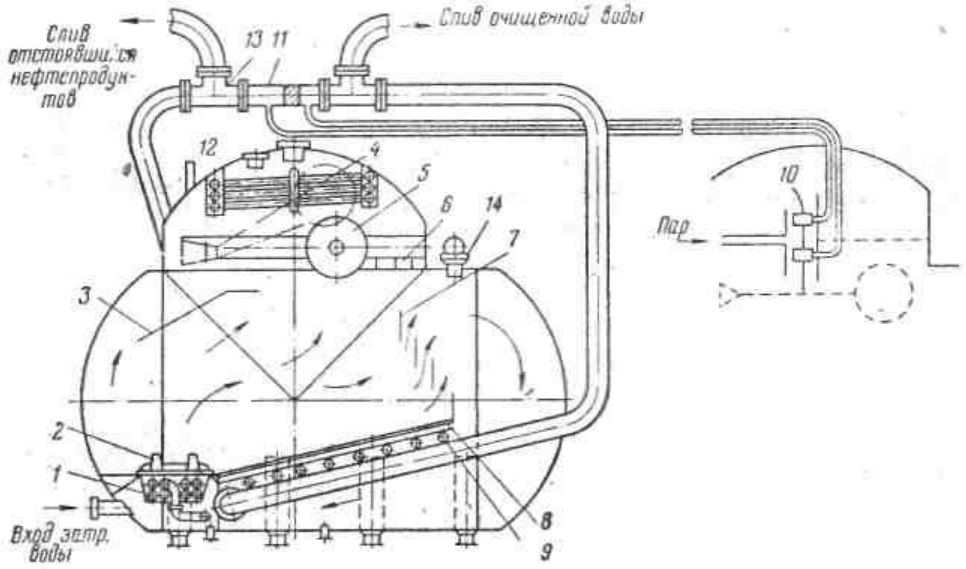


Рис. 3.1. Сепаратор СТВ-100:

1 – парові підігріваючі змійовики; 2 – шість відцентрових сопел; 3 – відбивна перегородка; 4 – змійовики підігрівання; 5 – поплавковий датчик; 6 – грати; 7 – вертикальні гідравлічні перегородки; 8 – горизонтальна каскадна перегородка 9 – паровий змійовик підігрівання; 10 – золотник, що керує; 11 – паровий сервопривод; 12 – термометр; 13 – здвоєний зливний клапан

У порожнині нафтонакопичувача розміщуються:

- поплавцевий датчик системи автоматичного зливу нафтопродуктів, що відстоялися;

- грати 6 служать нижнім упором для поплавця;

- змійовики підігрівання 4.

Зовні порожнини нафтонакопичувача розміщені пробні краники і термометр 12 для контролю температури в порожнині нафтонакопичувача. Випуск повітря з порожнини нафтонакопичувача здійснюється вручну-відкриттям клапана або через нафтозливну трубу.

Для управління роботою змійовиків, що підігрівають, сепаратор забезпечений штатною арматурою. Контроль тиску в сепараторі, а також

пара в змійовиках встановлюється манометрами. На сепараторі встановлений запобіжний клапан 14.

Забруднена вода через вхідний патрубок входить в камеру ущільнювача і через сопла потрапляє у відстійну порожнину, по якій переміщається в горизонтальному напрямі до вихідного патрубка. За час знаходження води у відстійній порожнині частки нафтопродуктів під впливом сили тяжіння спливають і збираються в порожнині нафтонакопичувача, а звільнена від них вода через зливний клапан спрямовується за борт. При накопиченні нафтопродуктів, що відстоялися, відбувається перемикання зливного клапана 13 в положення «Злив нафтопродуктів», що відстоялися; при цьому злив очищеної води з сепаратора припиняється. Після видалення з порожнини нафтонакопичувача нафтопродуктів, що відстоялися, клапан перемикається в положення «Злив очищеної води». Перемикання зливного клапана здійснюється поданням пари в одну з порожнин сервоприводу 11 і регулюється паровим золотником залежно від положення поплавця 5. Співвідношення об'єму і ваги поплавця вибране так, щоб при зануренні у воду поплавець знаходився в крайньому верхньому положенні, а при зануренні в нафтопродукти опускався в крайнє нижнє положення. Поплавцевий датчик 5, що знаходиться у верхній частині сепаратора, пов'язаний системою важелів із золотником, що управляє, 10.

На рис. 3.1 золотник зображений в середньому положенні, яке відповідає деякому певному рівню нафтопродуктів, умовно показаному пунктирною лінією. У міру скупчення нафтопродуктів цей рівень знижується, а оскільки питома вага нафтопродуктів менша, ніж води, то поплавець при цьому опускається. Золотник переміщається вниз і сполучує верхній канал пари з сервоприводом 11. Поршень сервопривожда, переміщаючись управо, припиняє злив очищеної води і відкриває зливний клапан 13. Нафтопродукти зливаються у збірну цистерну обводнюваного палива та оливи. У міру видалення нафтопродуктів підйомна сила, діюча на

поплавець, збільшується, і він піднімається, переміщаючи золотник вгору. Коли золотник досягає середнього положення, подання пари до сервоприводу припиняється, але зливний клапан все ще залишається відкритим. Продовжуючи підніматися, поплавець піднімає золотник вище за середнє положення; при цьому пара до сервоприводу поступає по нижньому трубопроводу, тому зливний клапан закривається і знову починається злив очищеної води. Потім цикл повторюється.

3.2. Реалізація принципів відцентрової сепарації

Найбільш ефективним технічним рішенням для цієї сфери застосування є динамічні системи очищення льяльных вод, в яких використовується метод відцентрової сепарації, реалізований за допомогою високошвидкісних тарілчастих сепараторів [21, 22].

Подібний принцип покладено у системі PureBilge. PureBilge (рис. 3.2) – це система, що надійно працює в реальних умовах використання і забезпечує концентрацію нафтопродуктів в очищеній воді в межах 0…5 ppm без застосування хімікатів, фільтрів або мембран. На процес очищення не впливають морське хвилювання, різкі скачки концентрації нафтопродуктів або підвищена концентрація твердих часток, при цьому промивання зворотним потоком не потрібне. При використанні системи PureBilge не треба здавати на берегові підприємства відходи, немає необхідності утилізувати відходи елементів, що фільтрують, 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 мастильної оливи, екіпаж, як правило, добре знайомий з устаткуванням такого типу.

Рис. 3.2. Система очищення л’яльної води Alfa Laval PureBilge

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 повністю автоматизована і розроблена для роботи без присутності персоналу і складається з насосної секції, секції попереднього підігрівання, секції відцентрової сепарації і системи управління і контролю усього технологічного процесу. У компактній системі використовується один тільки сепаратор без додаткових фільтрів і блоків подання хімічних реагентів (хоча в деяких випадках, наприклад, в акваторії Великих озер, де діють дуже жорсткі обмеження, можлива установка додаткового фільтру). Система підходить як для установки на нових судах, так і на вже існуючих (для проведення модернізації).

У системі PureBilge при частоті обертання барабана 8000 об/хв. утворюється сила тяжіння в 6000g, що забезпечує ефективність сепарації твердих часток і часток нафтопродуктів. У каналах сепарацій пакету тарілок відбувається злиття крапель нафтопродукту і коагуляція твердих часток, що також сприяє підвищенню ефективності роботи установки [23, 24].

3.3. Реалізація принципу фільтраційного 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 [26, 27].

В якості прикладу такого застосування можна привести сепаратор льяльних вод DVZ-FSU «OILCHIEF», що являє собою комбіновану гравітаційно-коалесцентну систему (рис. 3.3).

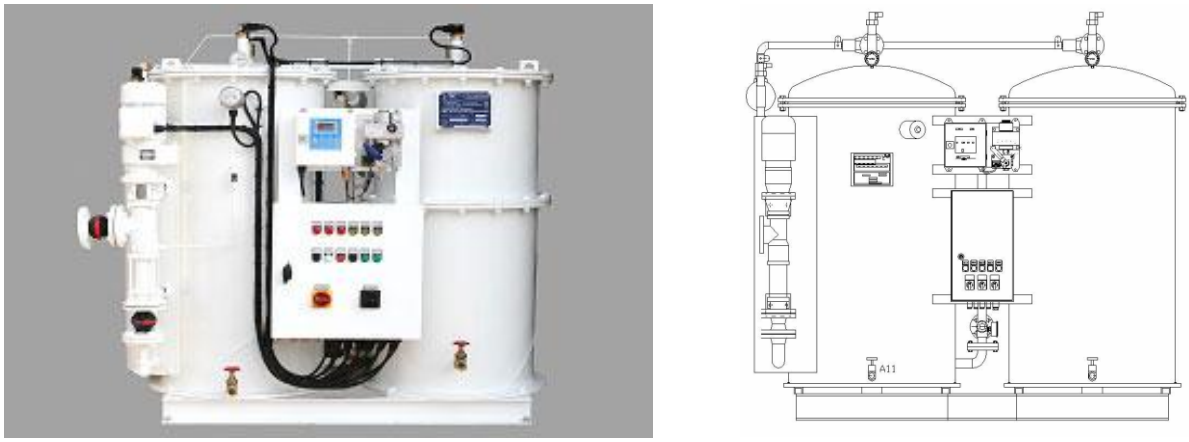


Рис. 3.3. Сепаратор льяльних вод DVZ-FSU «OilChif»

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 гідро-циклоном, 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 гідро-циклоні, не буде видалено з сепаратору [28].

Коалесціючий 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. Реалізація принципу 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 використаються 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 нетермостійких продуктів застосування мембранного методу є вирішальним, оскільки цей метод працює при температурі довкілля. 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 явище 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 використаються, 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.

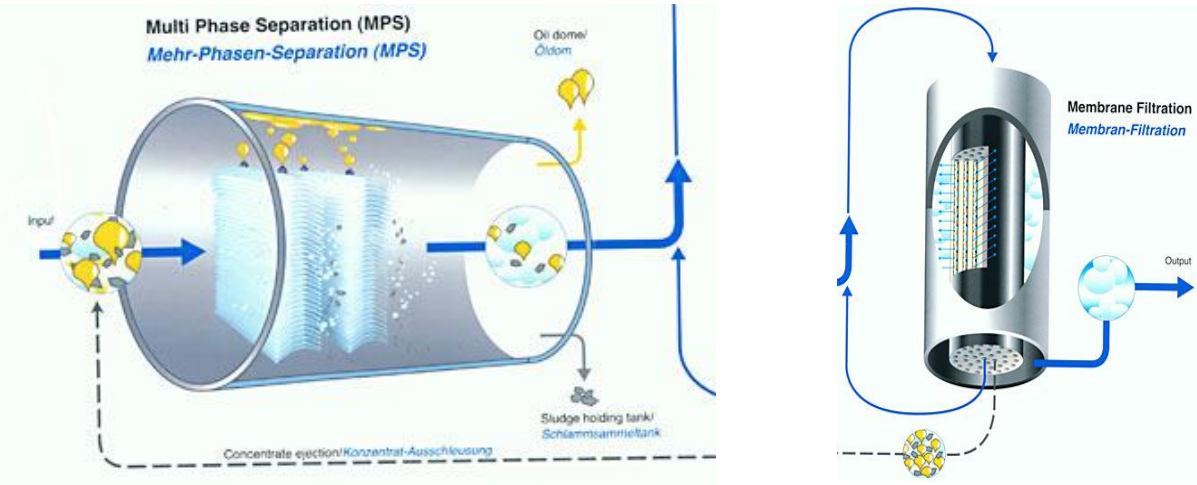
У ряді технологічних прийомів, що використовуються для розподілу сумішей по розмірам часток, мембранним методам приділяють велике значення. Вибір процесу для застосування в заданій області розподілу сумішей залежить від різних чинників: характеру речовин, що розділяються, необхідної міри розподілу, продуктивності 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 льяльной установки приведений на рис. 3.4. Фази очищення льяльних вод, що здійснюються у цьому сепараторові, показані на рис. 3.5.

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

Рис. 3.4. Сепаратор двофазної мембранної очисної льяльних вод Membran Filtration Oil NFV



а) *б*)

Рис. 3.5. Сепаратор Membran Filtration Oil:
а) 1 фаза очищення; *б*) 2 фаза очищення

Для систем, що реалізовують 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].

У системах з використанням коагулюючих хімічних реагентів, до 25% об'єму обробленої льяльной 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. Метод відділення водної компоненти від нафтовмісних домішок, заснований на гідродинамічному процесі суперкавітації

Для очищення нафтовмісних вод також використовуються сепаратори, дія яких що заснована на ефекті суперкавітації. Схема такого сепаратора надана на рис. 3.6 [24, 25].

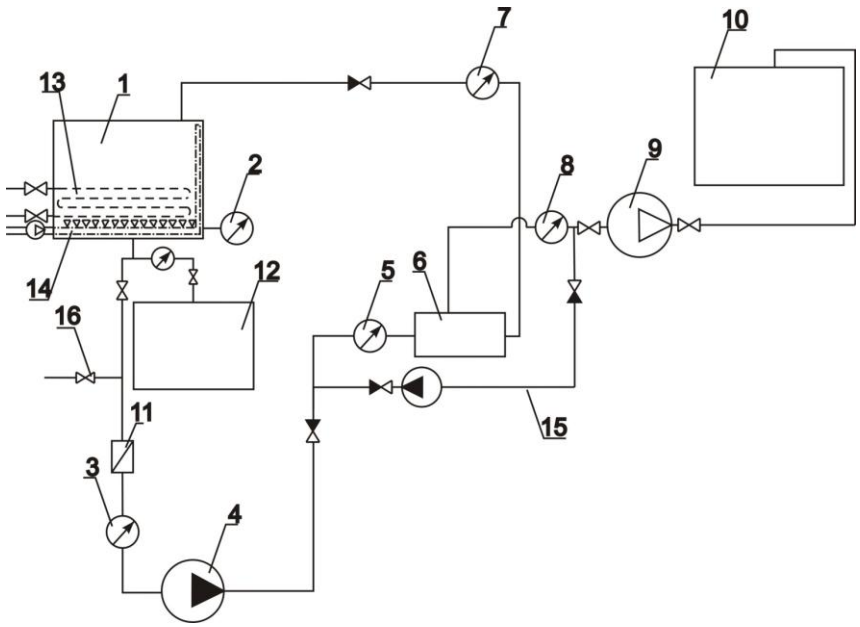


Рис. 3.6. Технологічна схема сепаратора льяльної води:
1 – сервісний танк; 2 – термометр; 3 – вакуумметр; 4 – відцентровий насос; 5 – манометр; 6 – кавітатор; 7 – датчик визначення концентрації води в нафтопродуктах; 8 – датчик змісту нафти в очищеній парі; 9 – компресор; 10 – танк очищеної води; 11 – фільтр; 12 – танк зливної води; 12 – підігрівач; 13 – трубопровід; 14 – підведенням повітря в танк; 15– перепускний трубопровід; 16 – неповоротний клапан

Головними елементами схеми є: сервісний танк 1, термометр 2, вакуумметр 3, відцентровий насос 4, манометр 5, кавітатор 6, датчик визначення концентрації води в нафтопродуктах 7, датчик змісту нафти в

очищеній парі 8, компресор 9, танк очищеної води 10, неповоротний клапан 16 дизельної системи, танк зливної води 12, підігрівач 13, трубопровід 14 з підведенням повітря в танк 1, перепускний трубопровід 15.

Сервісний танк 1 є резервуаром, в який збираються суднова л’яльна вода. Концентрація нафтопродуктів в судновій л’яльній воді залежить від міри забруднення машинного відділення нафтопродуктами, протіканнями оливи, палива, хімічних розчинів з головних силових або допоміжних установок. Звичайна кількість нафтопродуктів в судновій л’яльній воді від 20-30% від загального об'єму суднової л’яльної води. Для початку процесу очищення суднової л’яльної води підігрівають за допомогою змієвикового трубопроводу 13, розташованого усередині танка 1. Процес седиментації протікає впродовж декількох діб. У сервісному танку 1 встановлений термометр 2 для підтримки певної температури, що покращує процес відділення водної компоненти. Після процесу відстоювання і дренування відокремленої води в танк 12, за допомогою повітря, яке підведене через трубопровід 14, починається процес флотації, після якого залишки відфільтрованої води перекачуються самопливно в танк 12. Вакуумметр 3 встановлений для контролю за регулюванням подання насоса. Відцентровий насос 4 призначений для подання суднової л’яльної води в кавітатор і створення тиску, необхідного для процесу суперкавітації [27].

Насос приводиться в дію електродвигуном. Для того, щоб насос не засмічувався, перед ним встановлюється фільтр 11, який затримує крупно забруднюючі речовини (дрантя, папір, металеву стружку і так далі). Також конструкція насоса повинна забезпечувати можливість прочищення робочого колеса, корпусу і патрубків. Таким чином, він має бути одноступінчатим і без направляючих апаратів, а число лопатей не повинне перевищувати чотирьох. Манометр 5, встановлений на нагнітальній лінії насоса 4, служить для регулювання процесу подання і очищення суднових льяльных вод. Кавітатор 6 грає головну роль в процесі очищення.

Кавитатор - спеціально спрофільована камера, в якій відбувається процес суперкавітації. Він є соплом, що плавно звужується, для отримання високих швидкостей потоку і зменшення тиску, прямолінійної ділянки з перегородкою, на якій виникає кавітація. Усередині кавитатора виникає каверна кавітації, яка замикається на верхню частину каналу. Водяна пара з порожнини кавітації віддаляється за допомогою компресора 9. На виході з кавитатора встановлений датчик концентрації води в судновій л'яльній воді 7. Якщо вміст води в судновій л'яльній воді не перевищує норми, тоді датчик подає сигнал для процесу зупинки очищення. На лінії всмоктування перед компресором 9 також встановлюється датчик концентрації нафтопродуктів в каверні 8. У разі попадання нафтопродуктів у відбирану водяну пару він зупиняє процес очищення. Перед компресором 9 встановлений трубопровід 15, який при вмісті в конденсаційній парі нафтопродуктів, перепускає їх на лінію всмоктування кавитатора.

Компресор 9 перекачує сконденсовану водяну пару в танк чистої води 10. Після процесу очищення нафтопродукти, що знаходяться в танку 1, можуть використовуватися в енергетичних потребах судна або можуть утилізуватися. Відокремлена вода в танку 10 може бути також використана в господарських потребах судна, але перед використанням має бути очищена. Усі лінії трубопроводів виготовлені з металу, а їх внутрішня поверхня покривається високотемпературною гумою. В цьому випадку підвищується довговічність їх експлуатації і досягається плавна течія потоку в трубопроводі. Усі труби по довжині обігріваються ізольованим зовні електричним підігрівачем. В цьому випадку при тривалій зупинці установки, на усій лінії не застигатимуть залишки важких фракцій нафтопродуктів. Відсутність підігрівача може привести до засмічення системи. Для очищення трубопроводу на лінії всмоктування, перед насосом, встановлений неповоротний клапан 16, який сполучає дизельну систему з системою очисної установки. Він служить для очищення усіх систем і механізмів

установки від залишків суднової л’яльної води, які після промивання системи потрапляють назад в сервісний танк 1.

Кавітаційний сепаратор забезпечує очищення нафтовмісних вод до рівня 3…5 ppm [28].

3.6. Комбінована установка для очищення нафтовмісної води

Для суднових умов також може бути використана комбінована установка для очищення нафтовмісної води, у якої к перша ступінь використовується коалесціюючий фільтр, а як друга ступінь застосовано розділений гранульований фільтроелемент.

Схема комбінованої установки для глибокого очищення л’яльних ВМН суднових енергетичних установок наведена на рис. 3.7 [29].

Процес очищення здійснюється в такий спосіб. Нафтовмісна вода зі збірної ємності 1 забирається насосом 2 і подається в регенерований коалесціючий фільтр 4, де відбувається попереднє укрупнення крапельок нафти й відділення механічних домішок. При досягненні критичного перепаду на фільтроелементи (близько 0,05 МПа) здійснюється його регенерація без розбирання шляхом періодичного зменшення обсягу фільтрованого патрона. Далі нафтовмісна вода подається в установку з гранульованим завантаженням 5, де здійснюється доочищення нафтовмісних вод до концентрації нафтопродуктів 5 млн$^{-1}$. Очищена вода скидається за борт через клапан 8, а відсепаровані нафтопродукти через клапан 6 – у ємність для збору нафтопродуктів при накопиченні їх у нафтозбірнику до датчиків рівня 10. При погіршенні якості очищення за сигналом від приладів контролю концентрації нафтопродуктів 9 клапан 12 відкриється, а клапан 8 закриється, і злив за борт води припиниться.

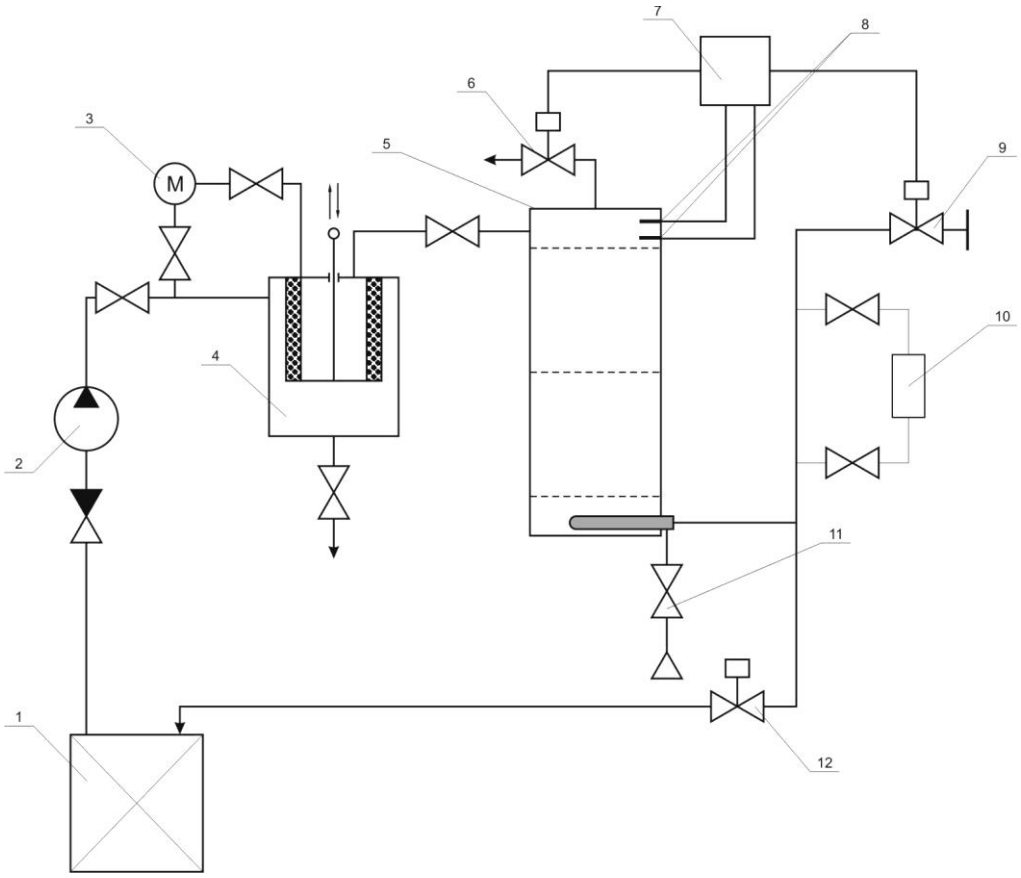


Рис. 3.7. Схема комбінованої установки для глибокого очищення нафтовмісних вод:

1 – збірна ємність; 2 – перекачувальний насос об'ємного типу;
3 – дифманометр; 4 – регенерований нежорсткий тканинний фільтр;
5 – установка з розділеним гранульованим фільтроелементом; 6 – клапан виведення нафтопродуктів; 7 — блок автоматики; 8 — датчик рівня нафтопродуктів; 9 – клапан виведення очищеної води; 10 – прилад контролю концентрації нафтопродуктів в очищеній воді; 11 – підведення стисненого повітря; 12 – клапан повернення води в цистерну

Після цього здійснюють регенерацію гранульованого фільтроелемента стисненим повітрям, або парою, для чого клапани 8 і 12 закривають, а клапан 6 і 11 відкривають і подають в установку 5 стиснене повітря або пару.

При цьому відбувається псевдоожиження гранул і очищення їх від нафтопродуктів та механічних домішок. Далі процес очищення

відновлюється [30].

Комбінована установка для очищення нафтовмісних вод має високу ефективність роботи й забезпечує очищення нафтовмісних вод до концентрації нафтопродуктів менше 5млн$^{-1}$. Конструкція коалесціюючого тихорєцького фільтра 4 і гранульована установка 5 забезпечує регенерацію фільтроелементів без їх розбирання й заміни, що істотно спрощує обслуговування й експлуатацію установки.

Застосування як фільтруючого завантаження установки 5 скляних кульок сферичної форми дозволяє здійснювати ефективну регенерацію гранул і забезпечити рівномірне укладання й пористість гранул, внаслідок чого підвищується ефективність очищення л’яльних ВМН [31].

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

2. Найбільш доцільно в умовах морського судна застосовувати обладнання, яке здійснює очищення ВН, за допомогою фільтраційного очищення за основі ефектів коалесценції та мембранної фільтрації, або забезпечує ефект суперкавітації потоку.

4. ТЕХНОЛОГІЧНІ ЗАСОБИ ТА СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ОЧИЩЕННЯМ НАФТОВМІСНИХ ВОД НА МОРСЬКИХ СУДНАХ

4.1. Загальний опис проблеми

Як було визначено у попередніх розділах, однією з головних проблем сучасності є запобігання антропогенному забрудненню вод Світового океану, передусім нафтопродуктами. При цьому мається на увазі забруднення не лише відкритих просторів морів і океанів, через які проходять транспортні шляхи, але і акваторій заток, портів, берегової лінії, по периметру якої відбувається не менш інтенсивний рух суден.

Традиційно вважається, що основна небезпека від забруднення нафтою і її похідними походить від нафтоналивних суден, проте доля аварій танкерного флоту складає тільки 12 % від загального числа джерел забруднення. Основну роль до забруднення світового океану (27 %) вносять нафтовмісні води, які зливаються суднами. Типовим прикладом НВ є трюмні, баластні і льяльні води машинно-котельних відділень.

Відповідно до вимог МАРПОЛ, будь-яке судно, що має на борту велику кількість нафтового палива, а також судно валовою місткістю 10000 тонн і більше оснащується обладнанням для фільтрації нафти та пристроями сигналізації та автоматичного припинення будь-якого скидання нафтовмісної суміші, коли вміст нафти в стоку перевищує 15 млн$^{-1}$.

Води, що містять нафту, і нафтозалишки повинні зберігатися на борту і зливатися в приймальні пристрої або скидатися за межами особливого району з дотриманням чинних правил для відкритого моря. Скидання дозволяється за умови: джерелом льяльних вод не є лляла відділення вантажних насосів; льяльні води не змішані із залишками нафтового вантажу; судно перебуває у русі; вміст нафти в стоку без розведення не перебільшує 15 млн$^{-1}$; на судні знаходиться у дії обладнання для фільтрації

нафти, система фільтрації, яка має пристрій, що забезпечує автоматичне припинення скидання, коли вміст нафти у стоку перевищує 15 млн$^{-1}$.

У всіх випадках, коли в безпосередній близькості від судна (танкера) або його кільватерного струменя на поверхні води виявляються видимі сліди нафти, невідкладно розслідуються факти, що належать до цього випадку, для встановлення дійсного порушення нормативних вимог щодо скидання нафти.

4.2. Загальна концепція вибору обладнання, що забезпечує очищення нафтовмісних вод

Існує цілий ряд традиційних технологій методів очищення льяльних вод, найбільш розповсюдженими з яких є: хімічне очищення, абсорбційна фільтрація, мембранна фільтрація,традиційна коагуляція. Усі вони є статичними технологіями, призначеними для роботи в режимі періодичного завантаження, коли обробка величезного об'єму льяльної води ведеться впродовж короткого часу. Для систем, що реалізовують ці технології, характерні великі об'єми відходів і значні об'єми потоку на зворотне промивання.

Одним з суттєвих недоліків усіх цих систем (за винятком систем мембранної фільтрації) є зниження їх ефективності в суворих погодних умовах відкритого моря і за умовою утворення в льяльної воді стійких емульсій. Це пов'язано з тим, що в цих технологіях використовується природна сила гравітації, дія якої легко долається навіть під час помірного хитавиці судна. У результаті страждає якість обробки. Проблеми в цих системах викликають і різкі скачки концентрації нафтопродуктів. Традиційні статичні системи, призначені для обробки певних порцій продукту, часто виявляються не в змозі забезпечити необхідну якість в реальних умовах [2, 3].

Під час вибору технології очищення НВМ визначальними чинниками є: витрата НВМ, початкова концентрація нафтопродуктів і супутніх забруднень, вимоги до якості очищеної води по усіх нормованих забрудненнях. Залежно від вимог до якості очищеної води, а також цілого ряду техніко-економічних показників вибирається технологічна схема очищення, основу якій складає механічна обробка. При цьому залежно від конкретних умов використовуються гравітаційні облаштування різноманітних конструкцій, а з метою підвищення ефекту очищення може бути здійснена попередня або наступна обробка стоків. Окрім відстоювання з використанням реагентів (коагулянтів, флокулянтів, їх комбінування) або без них технологія очищення може включати фільтрування, флотацію, сорбцію, центрифугування, хлорування або озонування.

Таким чином, незважаючи на велику кількість досліджень, та технологічних рішень, що забезпечують очищення вод, що містять нафту, існує нерозв'язане завдання – відсутність метода очищення, за допомогою якого можливо забезпечити остаточну концентрацію нафтопродуктів менш ніж 15 млн$^{-1}$ при одночасної мінімальної витраті енергії на цю операцію.

4.3. Управління процесов очищення нафтовмісних вод за допомогою комплексних систем видалення нафтових домішок

Забезпечення остаточної концентрації нафтопродуктів у воді менш 5 млн$^{-1}$ можливо шляхом використання комбінованої установки для очищення НВМ, у якої к перша ступінь використовується коалесціюючий фільтр, а як друга ступінь застосовано розділений гранульований фільтроелемент. У більшості випадків комбіновані установки мають високу

ефективність роботи та характеризуються широким діапазоном продуктивності.

Прикладом подібного обладнання є сепаратори ВМН типу Deoiler PPT-BWS/MESB, які відносяться до однієї з останніх світових моделей подібного обладнання. Загальний вид сепаратора Deoiler PPT-BWS/ME надано на рис. 4.1. Сепаратор відноситься до однієї з останніх світових моделей сепаратор льяльних вод і здатний забезпечити остаточну концентрацію нафтопродуктів у воді менш 5 млн$^{-1}$.

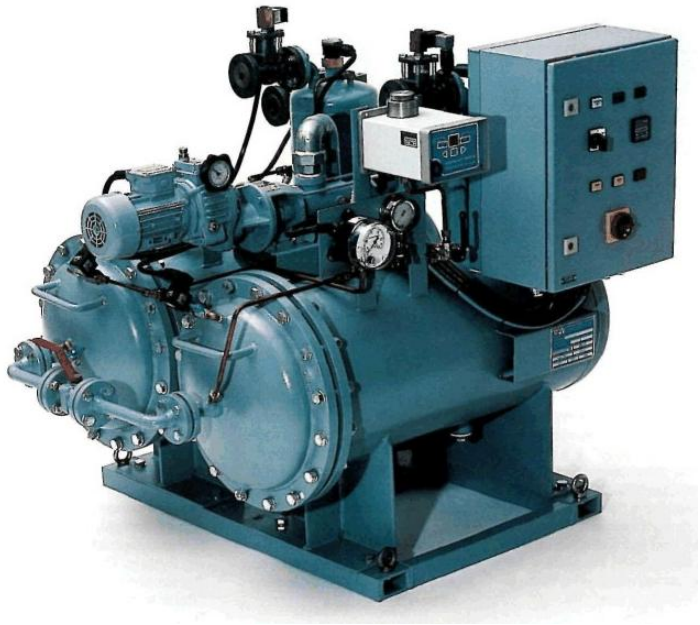


Рис. 4.1. Загальний вид сепаратора льяльних вод Deoiler2000

Основні габаритні характеристики установки наведено в таблиці 4.1.

Компанія «Norddeutsche filter Vertriebs Gmbh», що представляє собою одного із провідних виробників, що мають досвід багатьох десятиліть в області видалення нафти й масла з льяльних вод, відповідає цьому напрямку, розробивши сепаратор нового покоління DEOILER 2000. Даний сепаратор ВМН схвалений Німецьким суспільством класифікації Німецьких Ллойд, відповідає більш жорстким вимогам захисту навколишнього середовища й вимогам ринку завтрашнього дня.

Таблиця 4.1. Габаритні характеристики сепараторів льяльних вод Deoiler

Тип сепаратора	Продук-тивність, $м^3$/год	Довжина × ширина (включаючи додаткове місце для монтажу), м	Висота (включаючи додаткове місце для монтажу), м
PPT-BWS-MESB	0,25	1,4×0,9	1,15
PPT-BWS-MESB 500	0,5	1,5×1,24	1,3
PPT-BWS-MESB 1000	1,0	1,6×2,0	1,5
PPT-BWS-MESB 2500	2,5	2,7×2,3	1,75
PPT-BWS-MESB 5000	5,0	2,8×2,8	2,0
PPT-BWS-MESB 10000	10,0	2,8×2,8	2,0

Сепаратор BMH NFV останнього покоління DEOILER 2000 являє собою компактну систему сепарування із двома основними щаблями, об'єднаними в один блок. Навіть таке виконання дозволяє ефективно сепарувати воду, масло, паливо й дає можливість досягти залишкового змісту нафтопродуктів в відсепарованої воді менш 5 $млн^{-1}$.

Така концепція сепаратор BMH DEOILER 2000 підходить для сепарування будь-яких льяльних вод, які утворюються в результаті експлуатації .

Сепаратор BMH також відповідає високим вимогам захисту навколишнього середовища, що діють у деяких спеціальних зонах, і вимог які, як очікується, будуть уведені в інших районах Світового океану в найближчому майбутньому.

Компактний блок складається із сепаратора л’ьяльних BMH типу PPT-BWS, проверненого й схваленого німецьким класифікаційним товариством Німецький Ллойд, додатково встановлюваного механічного деемульгатора типу MESB, перевіреного й схваленого німецьким класифікаційним товариством Німецький Ллойд, як додатково оснащений агрегат, і

поступально резонаторного насоса, який харчує систему. Усі складання монтуються на основному каркасі, утворюючи єдиний блок. Обоє апарата PPT-BWS, а також MESB оснащені збірником масла, де збираються сепаруеми нафтопродукти. Крім установок PPT-BWS-MESB250 і PPT-BWS-MESB500, у кожному збірнику мастила встановлюється нагрівальний прилад. При досягненні максимального рівня нафтопродуктів у ємності відкривається мастильний випускний клапан, керований вимірювальним обладнанням рівня нафтопродуктів. Висока концентрація нафтопродуктів (до 100%) а також емульсій типу «мастило-паливо у воді» може постійно й без проблем переробляється установкою. Для спостереження й контролю залишкового змісту нафтопродукту система оснащена системою моніторингу нафтопродуктів. Дана система має функцію тривоги й контролю «Back-to-Bilge» (назад у л'ьяло) якщо залишковий зміст нафтопродуктів перевищує 5 млн$^{-1}$ після процесу сепарування. Суміш нафтопродуктів і води йде через запатентовані профілі багатофазного сепарування PPT-BWS (багатофазний сепаратор), де відбувається поділ нафтопродуктів і твердих тел. Краплі чистих нафтопродуктів поєднуються, утворюючи більші краплі в процес оптимізованого об'єднання. Такі краплі йдуть у збірник масла змонтовані у верхній частині. Одночасно частки відходів відділяються від води в результаті певного напрямку потоку в спеціальні камери, що перебувають у нижній дріботить PPT-BWS, де збирається осад. Це забезпечує ефективне сепарування в плині тривалого часу.

У механічному деемульгаторі й піногасники типу MESB, який являє собою далекої розробку успішного деемульгатору NFV типу MEB, відбувається остаточне сепарування крапель, що залишилися, нафтопродукту. Крім відмінного розшарування звичайних механічних нафтових емульсій, обладнання також розщеплює піну, викликану можливість синтетичних масел поглинати воду.

Принципова схема процесу очищення у сепараторі, подана на рис. 4.2.

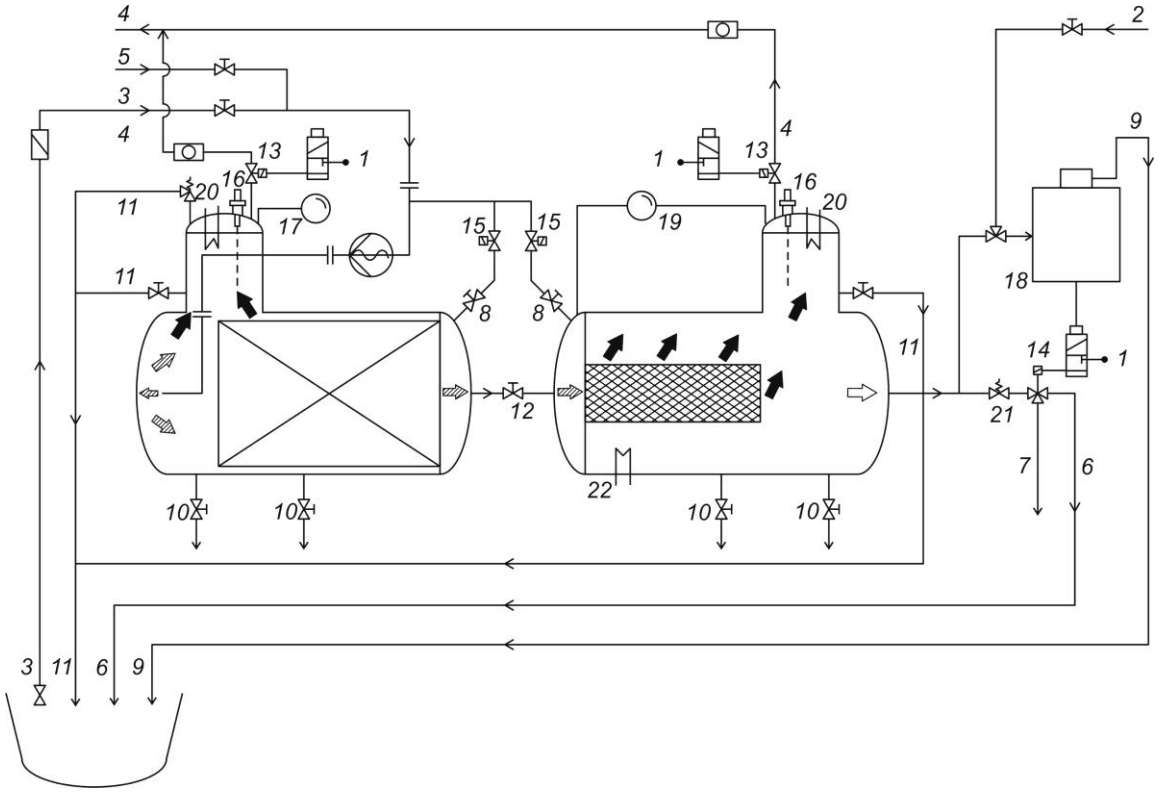


Рис. 4.2. Принципова схема сепаратора льяльних вод Deoiler :
1 – вхід стисненого повітря (тиск 0,6 МПа); 2 – вхід чистої води для промивання датчика забруднення;
3 – магістраль для входу забрудненої (льяльної) води з безповоротним клапаном і фільтром грубого очищення;
4 – магістраль випуску відсепарованої нафти; 5 – магістраль для входу промивної чистої води (тиск 0,1÷0,2 МПа);
6 – магістраль скидання неочищеної води назад у льяла (повернення); 7 - за борт; 8 – магістраль для випуску повітря зі стопорним клапаном; 9 – магістраль для підведення очищеної води до датчика забруднення для контролю;
10 – випуск твердих залишків і бруду; 11 – магістраль від запобіжного клапана й клапана відбору проб; 12 – запірний клапан; 13 – електромагнітний клапан випуску відсепарованих нафтопродуктів; 14 – 3х ходовий електромагнітний клапан; 15 – електромагнітний клапан для продувки й випуску повітря; 16 – датчик рівня;
17 – манометр; 18 – обладнання контролю забруднення води нафтопродуктами OMD-11;
19 – диференціальний манометр; 20 – електричний підігрівник води; 21 – зворотний клапан; 22 – Stand-by

Електрична розподільна коробка контролює повне автоматичне функціонування сепаратора BMH DEOILER 2000, особливо автоматичний випуск нафтопродуктів зі збірника масла й сепарованого середовища. Або за борт, або назад у л’ьяло коли перевищує обмеження в 5 млн$^{-1}$. Обладнання моніторингу нафтопродуктів дозволяє постійно вимірювати й відображати зміст нафтопродуктів у маслі.

Основні елементи сепаратора надані на рис. 4.3-4.6.

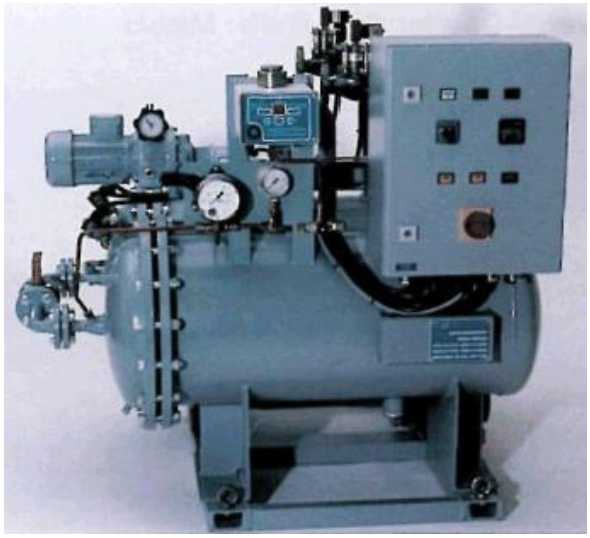


Рис. 4.3. 1-я ступінь: сепаратор л’ьяльних вод PPT-BWS

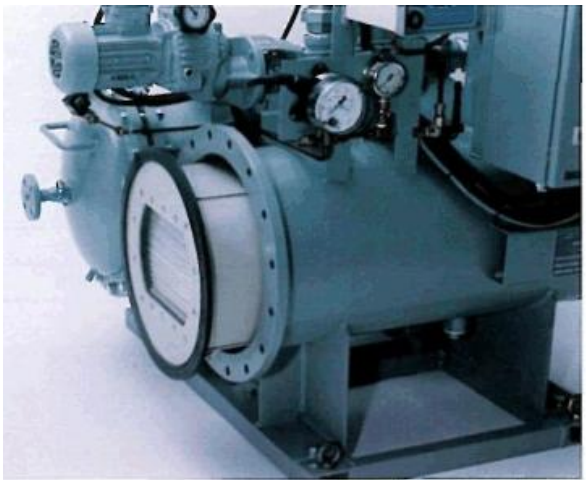


Рис. 4.4. Комплект профілів фазового сепарування 1-ої ступені сепаратора л’ьяльних вод PPT-BWS

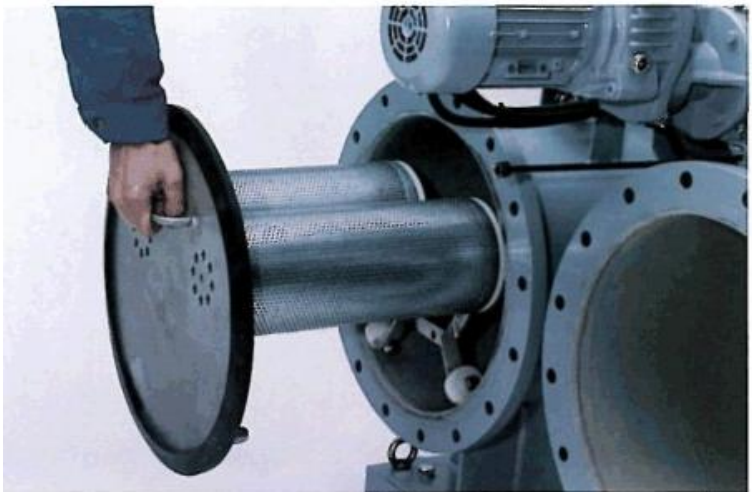


Рис. 4.5. 2-я ступінь: механічні деемульгатори й піногасники типу MESB

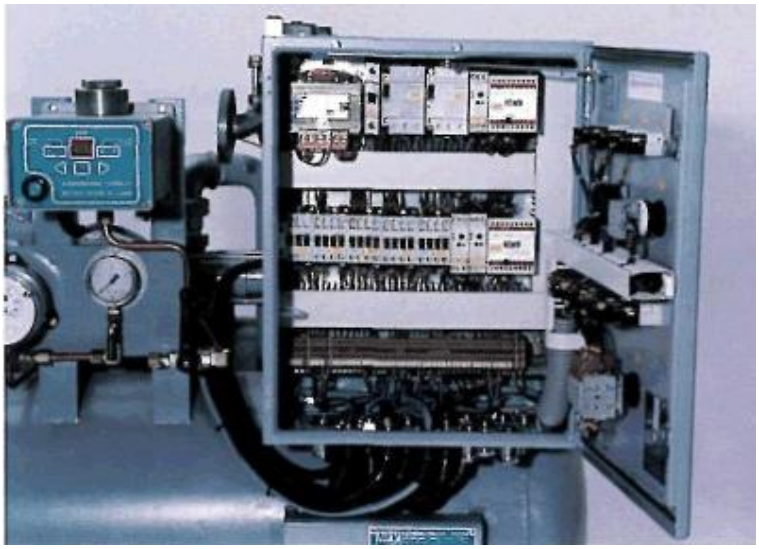
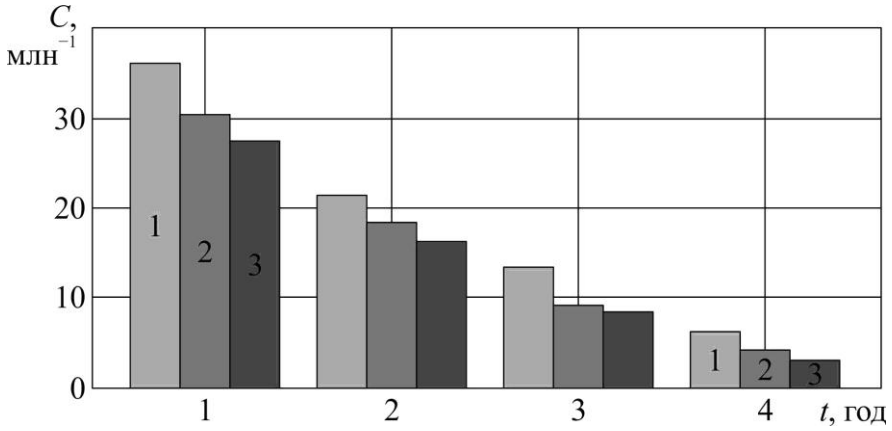
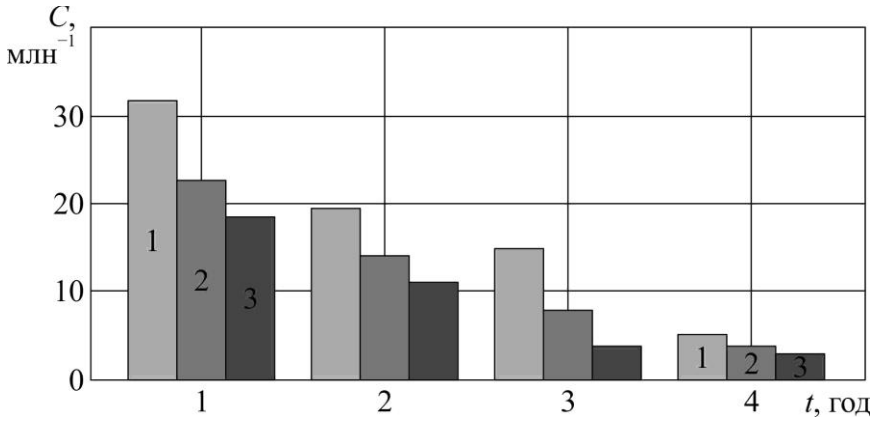


Рис. 4.6. Обладнання моніторингу нафтопродуктів і блоку контролю сепаратора BMH Deoiler2000

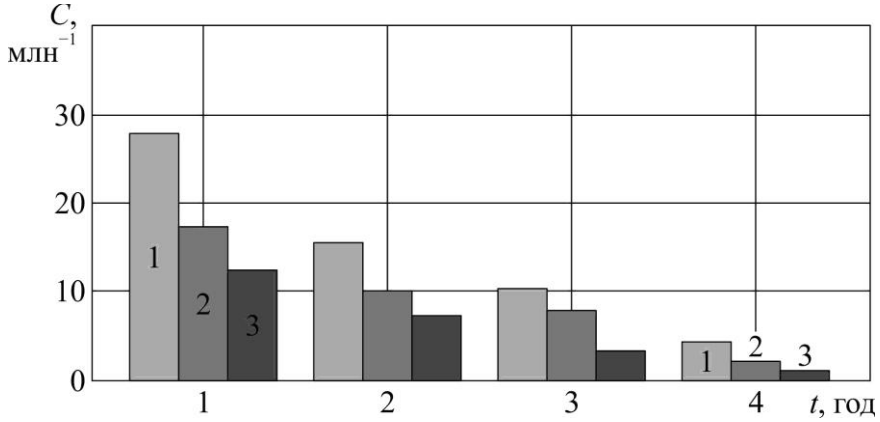
Ефективність видалення нафтових фракцій з НВМ залежить від температури, за якою виконується процес очищення та від потужності сепараційного блоку, який це забезпечує роботу 1-го ступеню очищення. Результати з визначення цього впливу, які були отримані під час експерименту, наведені на рис. 4.7.



а)



б)



в)

Рис. 4.7. Зниження остаточної концентрації нафти в залежності від часу для різної потужності сепараційного блоку (1 – 2 кВт; 2 – 4 кВт; 3 – 6 кВт) та різного попереднього підігріву нафто-водяної суміші (*а* – до температури 30°С; *б* – до температури 40°С; *в* – до температури 50°С)

4.4. Висновки за розділом 4

Як результат розділу 4 визначимо наступне.

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

2. 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.

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

4. До сучасних сепараторів очищення суднових л’яльних вод, що містять нафту відносяться таки, що забезпечують комплексне очищення. Наприклад, сепаратор сепаратор Deoiler PPT-BWS/MESB здійснює комплексу сепарацію і механічну деемульгацію. Саме останній сепаратор рекомендується для впровадження на розглянутому у проекті судні.

5. Гарантоване очищення вод, що містять нафту до концентрації нафтопродуктів на рівні 5 млн$^{-1}$ можливо за рахунок додаткового включення до системи очищення гідродинамічного кавітатору, потужність якого змінюється в діапазоні 2…6 кВт залежно від режиму його роботи та характеристик ВМН, що підлягають очищенню.

5. ЕНЕРГЕТИЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ СУДНОВОЇ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ УСТАНОВКИ

З 1 січня 2013 року відповідно до положень Резолюції ІМО МЕРС.203(62)(9) вступили в силу 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)». Відповідно до поправок до Правила 26 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 [38].

Розрахунок ККЕЕ проводиться за загальною методикою, наведеною ІМО в керівництві МЕРС.308(73) Потім судно перевіряється морською адміністрацією держави або її уповноваженим органом - Регістром судноплавства. Після успішної перевірки судну видається Міжнародний сертифікат з енергоефективності [39].

У загальному вигляді формулу розрахунку ККЕЕ можна представити таким чином:

$$\text{ККЕЕ} = \frac{\textit{кількість викідів } \text{CO}_2}{\textit{виконана транспортна робота}}.$$

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.

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

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

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

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

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

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

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

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:

a) 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 $\Sigma_{i=1}^{nE} P_{ME(i)}$ – 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, кг/(кВт·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, кг/(кВт·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

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

е) 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 [38].

Таблиця 5.1. Характеристики палив, що використовуються на суднах

№	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

Дані, необхідні для розрахунку ККЕЕ наведені в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2. Вихідні дані для розрахунку ККЕЕ

Тип судна	Комбіноване
Загальна довжина, м	199,95
Довжина між перпендикулярами, м	190,0
Ширина, м	32,22
Осадка, м	9,816
Дедвейт, тонн	18836
Головний двигун	7S60MC-C «MAN-B&W»
Максимальна тривала потужність (MCR), кВт і питома ефективна витрата палива, г/(кВт·г)	16660, 174
Потужність, кВт і витрата палива, г/(кВт·г) ГД при 0,75 (MCR)	12495 172
Кількість ГД	1
Використовуване паливо ISO 8217-2010	RMK380
Питома теплотворна здатність палива, кДж/кг	41868
Допоміжні двигуни	6DK26 Daihatsu
Максимальна тривала потужність (MCR), кВт і витрата палива (г/кВт·г)	1710 кВт, 196
Кількість ДГ	3
Використовуване паливо	RMK 380
Питома теплотворна здатність палива, кДж/кг	41868
Вихідна потужність ДГ, кВт	751
Швидкість судна при літній осадці і 75% потужності ГД на глибокій воді, вузли	18,76

Потужність допоміжних двигунів необхідна для підтримки тривалого максимального ходового навантаження

$$P_{AE}=\begin{cases}0{,}025\sum_{i=1}^{n(ME)}MCR_{ME_{(i)}}+250 & \text{при} \quad MCR_{ME}>10000\,\text{кВт}\\ 0{,}05\sum_{i=1}^{n(ME)}MCR_{ME_{(i)}} & \text{при} \quad MCR_{ME}<10000\,\text{кВт}\end{cases}.$$

$$P_{AE}=0{,}025\cdot 16660+250=667\ \text{кВт}.$$

Значення максимального $K_{\text{КЕ}(MAX)}$

$$K_{\text{КЕ}(MAX)}=174{,}2\cdot 18836^{-0{,}201}=24{,}09\,\frac{\text{г}CO_2}{\text{тонн}\cdot\text{милю}}.$$

Розрахункове значення ККЕЕ визначимо за формулою

$$K_{\text{КЕ(роз)}}=\frac{\left(\Pi\Sigma_{i=1}^{nE}P_{ME(i)}\cdot C_{FME(i)}\cdot SFC_{ME(i)}\right)+P_{AE}\cdot C_{FAE}\cdot SFC_{AE}}{f_i\cdot Capacity\cdot f_W\cdot V_{ref}},$$

$$K_{\text{КЕ(роз)}}=\frac{1\cdot 12495\cdot 3{,}114\cdot 172+667\cdot 3{,}114\cdot 188}{1\cdot 18836\cdot 1\cdot 18{,}76}=20{,}04\,\frac{\text{г}CO_2}{\text{тонн}\cdot\text{милю}}.$$

З наведеного розрахунку видно що значення $K_{\text{КЕ(роз)}}$ при заданих параметрах нижче $K_{\text{КЕ}(MAX)}$, що забезпечує вимоги до енергетичної ефективності судна.

ВИСНОВКИ

Магістерське наукове дослідження спрямоване на розв’язання науково-прикладного завдання – розробці методу очищення вод, що містять нафту, який сприятиме очікуваним посиленим 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 сила тяжіння, що діє на нафтовмісні речовини, в 6000g.

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 використаються 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 елементі, що мають нежорстку структуру, що

дозволяє робити їх ефективну регенерацію. До таких коалесціючих елементів при відповідному конструктивному виконанні можна віднести тканинні фільтруючі елементі, мембранні фільтруючі елементі 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, що діє на нафтовмісні речовини, в $6000g$.

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 вирішення цього завдання сприяє охороні навколишнього довкілля і життя людства.

11. Експлуатація всіх елементів суднової енергетичної установки повинна виконуватися з дотримання вимог правил технічної експлуатації, правил техніки особистої та пожежної безпеки, а також за умовою забезпечення екологічних показників роботи.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Закирьянова И.А. Морские Конвенции: СОЛАС74 и МАРПОЛ73/78 : учеб. пособие / И.А. Закирьянова. – Одеса : Фенікс, 2017. – 266 с.

2. Истомин В.И. Повышение экологической безопасности судов в соответствие с новыми требованиями Приложения IV к Конвенции MARPOL73/78 / В.И. Истомин, В.П. Кот, С.Е. Тверская // Вісник ХДМА. – 2018. – № 64. – С. 86-89.

3. 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.

4. Wright D.A. Alternative, indirect measures of ballast water treatment efficacy during a shipboard trial: a case study / D.A. Wright, N.A. Welschmeyer, L. Peperzak // Journal of Marine Engineering & Technology. – 2015. – Vol. 14. – Is. 1. – Pp. 1–8. DOI: 10.1080/20464177.2015.1022379.

5. Носовский А.Н. Основы эксплуатации судовых энергетических установок / А.Н. Носовский. – Николаев : Изд-во НКИ, 2010. –384 с.

6. Bakalar G. Comparisons of interdisciplinary ballast water treatment systems and operational experiences from ships / G. Bakalar // Springer Plus. – 2016. – Vol. 5. – Is. 1. – Pp. 1–12. DOI: 10.1186/s40064-016-1916-z..

7. Alfa Laval PureBallast 3.1 Compact [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.alfalaval. com/globalassets/documents/products/process-solutions/ballast-water-solutions/alfa-laval-pureballast-3-1-compact. pdf.

8. Hyun, B.; Jang, P.-G.; Shin, K.; Kim, M.; Jung, J.-H.; Cha, H.-G.; Jang, M.-C. Toxicity of Antifouling Biocides and Wastes from Ships' Surfaces during High-Pressure Water-Blasting Cleaning Activities in the Nauplii and Eggs of the Estuarine Copepod Paracalanus parvus sl. // Journal of Marine Science and Engineering. Sci. Eng. 2022, 10, 1784. https://doi.org/10.3390/jmse10111784.

9. Sagin A.S. Reliability maintenance of fuel equipment on marine and inland navigation vessels / A.S. Sagin, Zablotskyi Yu.V. // 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.

10. Sagin S.V. Cavitation Treatment of High-Viscosity Marine Fuels for Medium-Speed Diesel Engines / S.V. Sagin, V.G. Solodovnikov // Modern Applied Science; Published by Canadian Center of Science and Education. – 2015. – Vol. 9. – № 5. – P. 269 –278. DOI:10.5539/mas.v9n5p269.

11. ISO 8217 Fuel Standart : Quality Specification for Marine Bunker Fuels.

12. Madey V.V. Usage of biodiesel in marine diesel engines / V.V. Madey // Austrian Journal of Technical and Natural Sciences. Scientific journal. – 2021. – № 7–8 (July – August). – P. 18-21. https://doi.org/10.29013/AJT-21-7.8-18-21.

13. Корнилов Э. В. Аварии и аварийные повреждения судовых дизелей / Э. В. Корнилов, П. В. Бойко. – Одесса: Феникс, 2010. – 272 с.

14. Истомин В.И. Повышение экологической безопасности судов путем совершенствования систем очистки судовых нефтесодержащих вод / В.И. Истомин, С.Е. Тверская, В.В. Хлебникова // Энергетические установки и технологии. – 2017. – Т. 4. – № 1. – С. 102-108.

15. Голіков В.А. Методологія наукових досліджень : навчальний посібник / В.А. Голіков, М.А. Козьміних, О.А. Онищенко. – Одеса : ОНМА, 2014. – 164 с.

16. Голиков В.В. Системный подход к проблеме безопасного управления судном / Голиков В. В // Судовождение. – Одесса. – 2010. – Вып. 17. – С. 51-58.

17. Козьминых А.В. Основы системного анализа судовых энергетических установок: учебное пособие / А.В. Козьминых. – Одесса : ОГМА, 2000. – 192 с.

18. Training still fails to keep pace with complex control systems / MER, June 2018. – P. 20-23.

19. Ткаченко И. В. Очистка нефтесодержащих вод морских судов методом гидродинамической суперкавитации потока / И. В. Ткаченко // Universum: Технические науки. – 2018. – Вып. 3(48). – С. 59-62.

20. Ткаченко И.В. Использование кавитационного эффекта для повышения степени сепарации нефтесодержащих вод морских судов / И.В. Ткаченко // Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті : Матеріали X Міжнародної науково-практичної конференції MINTT-2018, 29-31 травня 2018 р.. – Херсон : Херсонська державна морська академія, 2018. – С. 298-301.

21. Ткаченко И.В. Использование кавитационного эффекта для повышения степени сепарации нефтесодержащих вод морских судов / И.В. Ткаченко // American Scientific Journal, 2017. – № 15. – Iss. 2. – P. 62-66.

22. Кротенко Г.В. Опыт эксплуатации сепарационных систем фирмы Альфа Лаваль серии S / Г.В. Кротенко, В.М. Харин // Судовые энергетические установки: науч.-техн. сб. – 2011. – № 28. – Одесса: ОНМА. – С.104-110.

23. Малахов А.В. Гидродинамика разделения многофазных смесей на основе воды / А.В. Малахов, И.В. Ткаченко // Авиационно-космическая техника и технология. – 2008. – № 4 (51). – С. 34-38.

24. Ткаченко И.В. Метод отделения водной компоненты от нефтесодержащих примесей в судовых льяльных водах, основанный на гидродинамическом процессе суперкавитации / И.В. Ткаченко // Проблеми техніки: наук.-виробн. журнал. – 2010. – №3. – С. 59-70.

25. Малахов А.В. Гидродинамическая технология обработки судовых льяльных вод / А.В. Малахов, И.В. Ткаченко, О.Е. Гугуев, А.А. Мусорин // Проблеми техніки: наук.-виробн. журнал. – 2009. – №3. – С. 76-82.

26. Dynamic response to tougher environ regime / MER. – 2019. – № 5. – P. 22-31.

27. . Сагин С. В. Технология использования и результаты испытаний присадок к топливам для судовых дизелей / С.В. Сагин, Ю.В. Заблоцкий, Р.В. Перунов // Проблеми техніки: наук.-виробн. журнал. – 2012 . – № 3. – Одесса: ОНМУ. – С. 84-103.

28. Логишев И. В. Технология использования топлив в судовых энергетических установках : учебное пособие / И. В. Логишев, А. А. Голиков, А. А. Завьялов. – Одесса : ОНМА, 2005. – 116 с.

29. Судовой механик. Справочник. Том 1 / Под ред. Фока А. А. – Одесса : Феникс, 2008. – 1036 с.

30. Solodovnikov V. G. Ultrasonic fuel processing as a method of improving the technical condition and economic characteristics of ship diesels // American Scientific Journal, 2017. – № 15. – Iss. 2. – P. 59-62.

31. 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.

32. Побережний Р.В. Забезпечення екологічних показників дизелів суден річкового та морського транспорту / Р.В. Побережний // Суднові енергетичні установки: наук.-техн. зб. – Вип. 41. – Одеса : НУ «ОМА». – 2020. – С. 5 - 9.

33. Ivoševi´c, Š.; Kovaˇc, N.; Momˇcilovi´c, N.; Vukeli´c, G. Evaluation of the Corrosion Depth of Double Bottom Longitudinal Girder on Aging Bulk // Journal of Marine Science and Engineering. Eng. 2022, 10, 1425. https://doi.org/10.3390/ jmse10101425.

34. https://www.eip-water.eu/projects/alfa-laval-purebilge.

35. Солодовников В.Г. Использование в судовых дизелях топлив различного фракционного и структурного состава // Судовые энергетические установки: науч.-техн. сб. – 2014. – № 33. – Одесса: ОНМА. – С. 110-117.

36. Ruan G. Exhaust gas recirculation control based on artificial neural network / G. Ruan, Z. Zhang, Q. Wang // International journal of advancements in computing technology. – 2012. – Vol. 4. – Iss. 19. – P. 131-138. DOI: 10.4156/ijact.vol4.issue 19.17.

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

37. **Кривоколісько І.І. Технологічні засоби та системи управління очищенням нафтовмісних вод на морських суднах / І.І. Кривоколісько, М.О. Колегаєв // Матеріали Науково-технічної конференції молодих дослідників «Суднові енергетичні установки: експлуатація та ремонт». – 19.11.2025. – Одеса: НУ «ОМА». –С. 48-52.**

38. Голиков В.А. Расчет энергетической эффективности судна : методическое пособие по дипломному проектированию / В.А. Голиков, О.А. Онищенко, И.В. Логишев. – Одесса : НУ «ОМА», 2016. – 48 с.

39. Половинка Э.М. Эффективность судовой энергетической установки : методическое пособие / Э.М. Половинка, И.Н. Табулинский. – Одесса : ОНМА, 2014. – 24 с.

	статтяkruvokolisko@gmail.com**собран**напечатан	Боярко – 2022Щет – нові сепараториДобавить 1-у главу и вступ из чего-то нового	к-т техн. наук, професор