

Калініченко Є.В., Томчаковський Г.Г., Колеснік О.В., Оберто Сантана Л.Е.

МІНІМІЗАЦІЯ РИЗИКІВ ЗАБРУДНЕННЯ МОРСЬКОГО СЕРЕДОВИЩА ТАНКЕРНИМ ФЛОТОМ: АНАЛІЗ ТЕХНІЧНИХ І ТЕХНОЛОГІЧНИХ РІШЕНЬ

У цій статті проводиться всебічний аналіз технічних і технологічних чинників, що мають першорядне значення для мінімізації ризиків забруднення морського середовища танкерним флотом. Дослідження охоплює широкий спектр питань, включно з конструктивними особливостями танкерів, системами запобігання аварійним ситуаціям, а також сучасними методами збору та ліквідації забруднень, що виникають під час транспортування нафтопродуктів та інших небезпечних речовин. Особливий акцент робиться на заходах щодо запобігання витокам і аваріям, таких як використання подвійних корпусів, систем моніторингу стану судна та аварійного реагування. Крім того, у статті висвітлюються передові технологічні рішення, зокрема, системи виявлення забруднень і автоматизованого управління, що сприяють підвищенню ефективності та безпеки експлуатації танкерного флоту. Акцентується увага на важливості розроблення та впровадження екологічно стійких та інноваційних технологій у танкерному секторі з метою мінімізації негативного впливу на навколишнє середовище та забезпечення безпечного транспортування вантажів. У статті також пропонуються рекомендації щодо вдосконалення екологічної безпеки танкерного флоту на основі передових практик та інноваційних рішень. Загалом, ця стаття являє собою цінне аналітичне дослідження технічних і технологічних аспектів, спрямованих на зниження ризиків забруднення морського середовища в процесі експлуатації танкерного флоту.

Ключові слова: танкерний флот, забруднення морського середовища, екологічна безпека, витoki нафтопродуктів, системи запобігання аваріям, технології ліквідації розливів, інноваційні рішення.

Постановка проблеми. Танкерний флот відіграє ключову роль у забезпеченні глобальної енергетичної безпеки, здійснюючи транспортування нафти і нафтопродуктів морським шляхом. Однак експлуатація танкерів пов'язана з серйозними екологічними ризиками, головним з яких є потенційне забруднення морського середовища в результаті аварійних розливів, витоків та інших інцидентів. Наслідки таких подій можуть бути катастрофічними для морських екосистем, біорізноманіття, прибережних зон і місцевих громад. Для мінімізації ризиків забруднення морського середовища танкерним флотом необхідний комплексний підхід, що ґрунтується на застосуванні передових технічних і технологічних рішень на всіх етапах життєвого циклу танкерів – від проектування і будівництва до експлуатації та утилізації. Це вимагає тісної співпраці та координації зусиль усіх зацікавлених сторін – судновласників, операторів, суднобудівельних підприємств, постачальників устаткування, класифікаційних товариств, регулюючих органів і науково-дослідних інститутів [1].

Мета даної роботи полягає у проведенні всебічного аналізу наявних технічних і технологічних рішень, спрямованих на мінімізацію ризиків забруднення морського середовища танкерним флотом, оцінюванні їхньої ефективності і виявленні перспективних напрямків подальшого розвитку. Для досягнення поставленої мети в статті вирішуються такі завдання: аналіз конструктивних особливостей сучасних танкерів та їхнього впливу на екологічну безпеку; розгляд систем запобігання аваріям і витокам на танкерному флоті; дослідження технологій і методів збирання та ліквідації нафтових розливів; оцінка ефективності наявних

технічних і технологічних рішень; виявлення невирішених проблем і перспективних напрямів розвитку; розробка рекомендацій щодо вдосконалення екологічної безпеки танкерного флоту.

Основна частина. Конструктивні особливості сучасних танкерів та їхній вплив на екологічну безпеку. Конструкція танкерів відіграє одну з ключових ролей у забезпеченні екологічної безпеки під час транспортування нафти і нафтопродуктів морським шляхом. Сучасні танкери мають відповідати суворим міжнародним стандартам і вимогам, спрямованим на мінімізацію ризиків аварій і витоків.

Одним із найважливіших конструктивних елементів сучасних танкерів є подвійний корпус. Наявність другого, внутрішнього корпусу істотно знижує ризик розливу нафти в разі пошкодження зовнішнього корпусу під час зіткнення, посадки на мілину або інших інцидентів. Згідно зі статистичними даними, використання танкерів з подвійним корпусом дало змогу скоротити кількість великих розливів нафти на понад 90% порівняно з танкерами без подвійного корпусу [2].

Ще однією важливою конструктивною особливістю сучасних танкерів є системи моніторингу та контролю стану корпусу і вантажних танків. Ці системи містять різні датчики і сенсори, що дають змогу в режимі реального часу відстежувати рівень і температуру вантажу, тиск у танках, наявність витоків та інші параметри. Отримані дані аналізуються спеціальним програмним забезпеченням і в разі виявлення відхилень або потенційних ризиків негайно передаються екіпажу і береговим службам для вжиття необхідних заходів [3].

Для запобігання утворенню вибухонебезпечних сумішей у вантажних танках сучасні танкери обладнуються системами інертних газів. Ці системи забезпечують подачу в танки інертного газу (зазвичай азоту або димових газів з низьким вмістом кисню), який витісняє кисень і підтримує концентрацію вуглеводнів на безпечному рівні. Застосування систем інертних газів є обов'язковою вимогою для танкерів, що перевозять сиру нафту та інші легкозаймисті вантажі.

Для мінімізації ризиків забруднення атмосфери сучасні танкери оснащуються системами рекуперації парів нафтопродуктів. Ці системи забезпечують збір і конденсацію парів, що утворюються під час навантаження і перевезення вантажу, з подальшим поверненням у вантажні танки або берегові резервуари. Застосування систем рекуперації парів дає змогу скоротити викиди летких органічних сполук на 90-95% і суттєво знизити ризики для здоров'я екіпажу і берегових служб [4].

Таким чином, конструктивні особливості сучасних танкерів, таких як подвійні корпуси, системи моніторингу та контролю, інертні гази і рекуперація парів, відіграють ключову роль у забезпеченні екологічної безпеки під час транспортування нафти і нафтопродуктів. Відповідність танкерів суворим міжнародним стандартам і застосування передових технічних рішень дають змогу мінімізувати ризики аварій, витоків і забруднення морського середовища.

Системи запобігання аваріям і витокам на танкерному флоті. Для запобігання аваріям і витокам на сучасних танкерах застосовується комплекс технічних та організаційних заходів, спрямованих на забезпечення екологічної безпеки танкерного флоту та мінімізацію ризиків виникнення інцидентів.

Важливим елементом системи запобігання аваріям є застосування систем автоматичної ідентифікації (AIC) та електронних картографічних навігаційно-інформаційних систем (ЕКНІС). AIC забезпечує автоматичний обмін інформацією між суднами і береговими службами про місцезнаходження, курс, швидкість та інші параметри руху танкера. ЕКНІС являє собою інтегровану навігаційну систему, що об'єднує електронні навігаційні карти, дані від радарів, AIC, GPS та інших датчиків. Спільне використання AIC і ЕКНІС дає змогу істотно підвищити ситуаційну обізнаність екіпажу, своєчасно виявляти потенційні загрози і вживати заходів для їх запобігання.

Важливу роль у запобіганні витокам нафтопродуктів відіграють системи виявлення і контролю витоків. Ці системи містять різні датчики і сенсори, встановлені у вантажних танках, насосних відділеннях, кофердах та інших потенційно небезпечних зонах. У разі виявлення витоку система подає сигнал тривоги й автоматично закриває клапани та засувки для

локалізації розливу. Деякі сучасні системи також оснащуються функцією дистанційного керування, що дає змогу оперативно перекачувати вантаж із пошкодженого танка в резервний або аварійний танк. Для оперативного реагування на аварійні ситуації танкери оснащуються системами аварійної зупинки навантаження/розвантаження і системами аварійного відключення насосів та іншого обладнання. Ці системи дають змогу швидко припинити операції з вантажем і запобігти подальшому розвитку аварійної ситуації. Активацію систем аварійної зупинки можна здійснювати автоматично в разі спрацьовування датчиків витоку або перевищення допустимих параметрів, а також вручну за командою екіпажу.

Важливим аспектом запобігання аваріям і витокам є також регулярне технічне обслуговування і ремонт танкерів та їхнього обладнання. Для цього розробляються спеціальні програми технічного менеджменту, що включають періодичні огляди, випробування, калібрування і заміну критично важливих вузлів і агрегатів. Виконання цих заходів дає змогу підтримувати танкери в справному стані, своєчасно виявляти й усувати потенційні несправності та знижувати ризики відмов обладнання.

Таким чином, системи запобігання аваріям і витокам на танкерному флоті є комплексом взаємопов'язаних технічних і організаційних заходів, спрямованих на мінімізацію ризиків інцидентів під час транспортування нафти і нафтопродуктів. Застосування сучасних систем навігації, виявлення витоків, аварійного зупинення і технічного менеджменту дає змогу істотно підвищити рівень екологічної безпеки танкерних перевезень.

Технології та методи збирання і ліквідації нафтових розливів. Незважаючи на вжиті заходи щодо запобігання аваріям і витокам, повністю виключити ризики розливів нафти і нафтопродуктів під час експлуатації танкерного флоту неможливо. Тому важливою складовою забезпечення екологічної безпеки є наявність ефективних технологій і методів збирання та ліквідації нафтових розливів.

Одним із найпоширеніших методів локалізації та збирання нафтових плям на поверхні моря є застосування бонових загороджень. Бонові загородження являють собою плавучі бар'єри, що складаються з поплавців, баласту і непроникної "спідниці", які розгортаються навколо або нижче за течією від місця розливу. Бонові загородження дають змогу обмежити поширення нафтової плями і сконцентрувати її для подальшого збору. Ефективність застосування бонових загороджень залежить від швидкості течії, хвилювання моря та інших чинників. Нині розроблено спеціальні типи бонових загороджень, адаптовані для використання в різних умовах, включно з арктичними водами і районами з сильною течією.

Для безпосереднього збору нафти і нафтопродуктів з поверхні моря застосовуються нафтозбірні системи – скімери. Скімери являють собою плавучі пристрої, оснащені спеціальними щітками, дисками або барабанами, які "зчісують" нафтову плівку з поверхні води і перекачують її в накопичувальні ємності. Існують різні типи скімерів, що відрізняються за принципом дії та продуктивністю. Найефективнішими вважаються олеофільні скімери, які вибірково збирають нафту і нафтопродукти, практично не захоплюючи воду.

Для збирання нафти і нафтопродуктів у прибережній зоні та на мілководді застосовують вакуумні системи і нафтозбирачі-амфібії. Вакуумні системи використовують потужні насоси для всмоктування нафто-водяної суміші та подальшого відділення нафти від води в спеціальних сепараторах. Нафтозбирачі-амфібії являють собою самохідні або буксирні пристрої, які можуть збирати нафту як на воді, так і на суші.

Останніми роками активно розвиваються методи біоремедіації, засновані на використанні мікроорганізмів для прискорення природного розкладання нафти і нафтопродуктів. Біоремедіація здійснюється шляхом внесення в забруднене середовище спеціально вивчених штамів бактерій, здатних використовувати вуглеводні як джерело живлення. Для підвищення ефективності біоремедіації застосовують також біосорбенти та біопрепарати, що містять поживні речовини і стимулятори росту мікроорганізмів. Перспективним напрямком є також розробка і застосування "зелених" сорбентів на основі природних матеріалів, таких як вовна, солома, торф, хітин тощо. Ці сорбенти мають високу нафтоємність, плавучість і здатність до біорозкладання, що дає змогу використовувати їх без шкоди для навколишнього середовища.

Деякі типи "зелених" сорбентів можуть застосовуватися також для очищення прибережної смуги та берегової лінії від нафтових забруднень [5-6].

Для підвищення ефективності ліквідації великих розливів нафти застосовуються методи контрольованого спалювання нафти на місці. Контрольоване спалювання здійснюється шляхом підпалювання нафтової плями в спеціально відведеному районі з використанням вогнестійких бонових загороджень. За правильного проведення контрольоване спалювання дає змогу швидко видалити значну частину розливої нафти, проте пов'язане з ризиком забруднення атмосфери продуктами горіння.

Важливу роль у забезпеченні ефективності ліквідації розливів відіграє оперативність реагування та наявність достатніх сил і засобів. Для цього в районах інтенсивного судноплавства та видобутку нафти створюються спеціальні аварійно-рятувальні формування, оснащені сучасною технікою та обладнанням. Регулярне проведення навчань і тренувань дає змогу відпрацювати взаємодію різних служб і відомств, а також перевірити готовність сил і засобів до дій у реальній обстановці [7].

Таким чином, сучасні технології та методи збирання та ліквідації нафтових розливів дають змогу істотно знизити екологічний збиток від аварійних ситуацій під час експлуатації танкерного флоту. Подальше вдосконалення цих технологій і методів, а також упровадження інноваційних рішень, таких як "зелені" сорбенти і методи біоремедіації, сприятиме підвищенню рівня екологічної безпеки морських перевезень нафти і нафтопродуктів.

Визначення ефективності наявних технічних і технологічних рішень. Для оцінки ефективності наявних технічних і технологічних рішень, спрямованих на мінімізацію ризиків забруднення морського середовища танкерним флотом, необхідно проаналізувати їхній вплив на частоту і масштаби аварійних розливів, а також на ступінь готовності до ліквідації наслідків інцидентів.

Статистичні дані свідчать про значне зниження кількості та обсягів розливів нафти і нафтопродуктів з танкерів за останні десятиліття. Так, якщо в 1970-х роках середній обсяг розливів становив близько 300 тис. тонн на рік, то в 2010-х роках цей показник знизився до 3-5 тис. тонн на рік, тобто майже в 100 разів. При цьому кількість великих розливів (понад 700 тонн) скоротилася з 25-30 до 1-2 випадків на рік [8]. Ці позитивні зміни стали можливими завдяки впровадженню подвійних корпусів, систем моніторингу та контролю, поліпшенню навігаційного обладнання та іншим технічним і технологічним рішенням.

Проте повністю виключити ризики аварій і розливів під час експлуатації танкерів неможливо, особливо в складних навігаційних і метеорологічних умовах, а також у разі помилок екіпажу або відмов обладнання. Тому важливим показником ефективності є ступінь готовності до ліквідації розливів, включно з наявністю відповідних планів, технічних засобів і навченого персоналу. За даними Міжнародної асоціації власників танкерів (INTERTANKO), понад 90% компаній-операторів танкерів мають плани ліквідації розливів нафти (Shipboard Oil Pollution Emergency Plan – SOPEP) і регулярно проводять навчання і тренування екіпажів. Крім того, у більшості країн діють національні та регіональні плани реагування на розливи нафти, які передбачають координацію дій різних відомств та організацій [9-10].

Ефективність застосування окремих технологій і методів ліквідації розливів залежить від конкретних умов і характеристик інциденту. Так, за даними Міжнародної організації по боротьбі з розливами нафти (Oil Spill Response Limited – OSRL), за використання бонових загороджень і скімерів в оптимальних умовах вдається зібрати до 80-90% розливої нафти, однак за сильного хвилювання і течії ефективність знижується до 10-20%. Застосування диспергентів дає змогу прискорити природне розсіювання і біорозкладання нафти, але пов'язане з ризиком токсичного впливу на морські організми. Методи контрольованого спалювання забезпечують швидке видалення нафти з поверхні моря, але можуть призвести до забруднення атмосфери й утворення твердих залишків, які потребують подальшої утилізації [11].

Перспективні технології, такі як "зелені" сорбенти та методи біоремедіації, поки що не набули широкого розповсюдження, проте мають значний потенціал для підвищення ефективності ліквідації розливів. Так, за даними лабораторних і польових випробувань, деякі

типи сорбентів на основі природних матеріалів здатні поглинати до 30-50 г нафти на 1 г сорбенту, при цьому зберігаючи плавучість і здатність до біорозкладання. Застосування спеціально підібраних штамів нафтоокислювальних бактерій дає змогу прискорити розкладання нафти в морському середовищі в 2-3 рази порівняно з природними процесами [6].

Важливим фактором, що впливає на ефективність ліквідації розливів, є також своєчасність і достатність фінансування відповідних заходів. За оцінками експертів, витрати на ліквідацію великих розливів можуть сягати сотень мільйонів і навіть мільярдів доларів США. Наприклад, витрати на ліквідацію наслідків розливу нафти з танкера Exxon Valdez у 1989 р. становили близько 2 млрд доларів США, а загальні збитки від інциденту оцінюють у 7-8 млрд доларів США. Для забезпечення фінансування заходів з ліквідації розливів створюють спеціальні компенсаційні фонди, що формуються за рахунок внесків нафтових компаній і вантажовласників, а також державні резервні фонди.

Таким чином, наявні технічні та технологічні рішення загалом забезпечують досить високий рівень екологічної безпеки танкерних перевезень, про що свідчить значне зниження кількості та обсягів розливів нафти і нафтопродуктів за останні десятиліття. Водночас зберігаються ризики аварійних інцидентів, а ефективність ліквідації їхніх наслідків залежить від комплексу чинників, включно з конкретними умовами розливу, своєчасністю реагування, наявністю необхідних сил і засобів, а також достатністю фінансування. Подальше підвищення ефективності наявних рішень і впровадження інноваційних технологій сприятиме мінімізації ризиків забруднення морського середовища танкерним флотом.

Невирішені проблеми та перспективні напрямки розвитку. Незважаючи на значний прогрес у сфері запобігання забрудненню морського середовища з танкерів, досягнутий за останні десятиліття, зберігається низка проблем, які потребують вирішення для подальшого підвищення екологічної безпеки танкерного флоту.

Однією з ключових проблем є старіння світового танкерного флоту і пов'язане з цим підвищення ризиків аварій і витоків. За даними міжнародних класифікаційних товариств, середній вік танкерів становить близько 10 років, водночас 20% флоту – це судна, старші за 15 років. Старіння флоту призводить до збільшення витрат на технічне обслуговування і ремонт, а також підвищує ймовірність відмов обладнання та конструктивних елементів. Вирішення цієї проблеми вимагає прискореного оновлення танкерного флоту, будівництва нових суден, що відповідають сучасним екологічним стандартам, а також посилення контролю за технічним станом танкерів, які експлуатуються [12].

Іншою проблемою є необхідність адаптації наявних технологій і методів ліквідації розливів до особливих умов, таких як арктичні води, льодова обстановка, райони з екстремальними погодними умовами тощо. Розливи нафти в цих умовах пов'язані з підвищеними ризиками для навколишнього середовища і становлять особливу складність для ліквідації. Необхідне розроблення спеціальних технічних засобів і методів, що враховують специфіку конкретних районів і умов, а також створення відповідної інфраструктури реагування, включно з базами аварійно-рятувального флоту, складами устаткування і матеріалів, системами моніторингу та зв'язку.

Актуальною проблемою залишається також необхідність удосконалення нормативно-правової бази та механізмів регулювання танкерних перевезень з метою підвищення їх екологічної безпеки. Незважаючи на наявність міжнародних конвенцій і стандартів (МАРПОЛ, СОЛАС та ін.), їхня реалізація на національному рівні не завжди ефективна та послідовна. Необхідний подальший розвиток і гармонізація нормативних вимог, посилення контролю за їх дотриманням, а також підвищення відповідальності всіх учасників перевезень - судовласників, операторів, вантажовідправників та ін.

Серед перспективних напрямів розвитку технологій запобігання забрудненню та ліквідації розливів можна виділити такі:

- Розробка і впровадження "зелених" суден, що використовують екологічно чисті види палива (СПГ, біопаливо, водень) і оснащені гібридними енергетичними установками. Це дасть

змогу знизити викиди в атмосферу і ризики розливів, а також зменшити вуглецевий слід танкерного флоту.

- Створення автономних і дистанційно керованих танкерів, оснащених інтелектуальними системами навігації, моніторингу та аварійного реагування. Застосування таких суден дасть змогу виключити "людський фактор" і підвищити надійність і безпеку танкерних перевезень.

- Розроблення нових типів "зелених" сорбентів і диспергентів на основі природних матеріалів, що мають високу ефективність, селективність і здатність до біорозкладання. Це дасть змогу підвищити ефективність збору нафти і мінімізувати негативний вплив на морські екосистеми.

- Розвиток методів дистанційного зондування і моделювання розливів нафти з використанням супутникових даних, безпілотних літальних апаратів, чисельних моделей і геоінформаційних систем. Це забезпечить оперативність виявлення розливів, прогнозування їх розповсюдження та оптимізацію заходів з ліквідації.

- Створення роботизованих систем і комплексів для ліквідації розливів, здатних працювати в автономному режимі і в складних умовах (льодова обстановка, мілководдя, забруднені береги тощо). Це дасть змогу підвищити ефективність і безпеку ліквідаційних заходів, а також знизити ризики для персоналу.

Реалізація цих та інших перспективних напрямів потребує консолідації зусиль усіх зацікавлених сторін, включно з державними органами, нафтогазовими та судноплавними компаніями, науково-дослідними організаціями, громадськими об'єднаннями тощо. Необхідні значні інвестиції в дослідження і розробки, а також створення сприятливих умов для впровадження інноваційних рішень, включно з правовим регулюванням, економічним стимулюванням, підготовкою кадрів і розвитком інфраструктури.

Рекомендації щодо вдосконалення екологічної безпеки танкерного флоту. На основі проведеного аналізу технічних і технологічних аспектів забезпечення екологічної безпеки танкерного флоту можна запропонувати низку рекомендацій щодо подальшого вдосконалення в цій галузі:

- 1) Прискорення оновлення світового танкерного флоту і виведення з експлуатації суден, які не відповідають сучасним екологічним стандартам. Для цього необхідні заходи економічного стимулювання, такі як пільгове кредитування "зелених" суден, диференціація портових зборів і податків залежно від екологічного класу судна тощо.

- 2) Підвищення ефективності контролю за технічним станом танкерів, включно з впровадженням ризик-орієнтованого підходу до інспектування суден і обладнання, використання дистанційних методів моніторингу та діагностики, а також посилення відповідальності класифікаційних товариств і судновласників за забезпечення безпечної експлуатації танкерів.

- 3) Удосконалення систем управління екологічною безпекою на танкерному флоті, включно з впровадженням інтегрованих систем менеджменту (ISM Code), проведенням регулярних аудитів та інспекцій, підвищенням кваліфікації та відповідальності персоналу, а також розвитком корпоративної культури екологічної безпеки.

- 4) Розширення міжнародного співробітництва в галузі запобігання забрудненню та ліквідації розливів з танкерів, включно з обміном інформацією та передовим досвідом, проведенням спільних навчань і тренувань, створенням регіональних центрів реагування та матеріально-технічних баз, а також розвитком транскордонної взаємодії під час ліквідації інцидентів.

- 5) Удосконалення нормативно-правової бази та механізмів регулювання танкерних перевезень, включно з ратифікацією та імплементацією міжнародних конвенцій на національному рівні, гармонізацією вимог до конструкції та обладнання танкерів, посиленням санкцій за порушення та забруднення навколишнього середовища, а також розвитком економічних інструментів стимулювання екологічно відповідального судноплавства.

- 6) Розвиток наукових досліджень і розробок у сфері екологічно чистих технологій для танкерного флоту, включно з використанням альтернативних видів палива, оптимізацією

гідродинамічних характеристик суден, створенням ефективних систем очищення баластних вод і відходів, а також розробленням нових методів і засобів ліквідації розливів нафти.

7) Підвищення рівня підготовки та кваліфікації екіпажів танкерів і берегового персоналу, включно з упровадженням спеціалізованих програм навчання і тренажерної підготовки, проведенням регулярних навчань і тренувань, обміном досвідом і найкращими практиками, а також розвитком міжнародних стандартів компетентності.

8) Посилення взаємодії та координації між різними учасниками танкерних перевезень, включно із судноплавними компаніями, портовою владою, аварійно-рятувальними службами, природоохоронними органами та громадськими організаціями. Для цього необхідне створення ефективних механізмів обміну інформацією, спільного планування та ухвалення рішень, а також чіткий розподіл функцій і відповідальності.

Реалізація запропонованих рекомендацій дасть змогу підвищити рівень екологічної безпеки танкерного флоту, мінімізувати ризики аварійних розливів нафти та інших забруднювальних речовин, забезпечити своєчасне й ефективне реагування на інциденти, а також знизити негативний вплив танкерних перевезень на морське середовище. Це потребуватиме консолідації зусиль і ресурсів усіх зацікавлених сторін, а також політичної волі та послідовних дій на міжнародному та національному рівнях.

Висновки. Проведений аналіз технічних і технологічних аспектів забезпечення екологічної безпеки танкерного флоту засвідчив, що досягнуто значного прогресу в галузі запобігання забрудненню морського середовища з танкерів, про що свідчить істотне зниження аварійності та обсягів розливів за останні десятиліття. Цьому сприяло впровадження інноваційних конструктивних рішень (подвійні корпуси), вдосконалення систем виявлення і контролю витоків, розвиток методів і технологій ліквідації розливів, а також посилення міжнародних і національних вимог до безпеки танкерних перевезень.

Водночас зберігаються серйозні ризики аварійних розливів нафти та інших забруднюючих речовин з танкерів, особливо в районах інтенсивного судноплавства, екологічно вразливих акваторіях і за несприятливих погодних умов. Актуальними проблемами залишаються старіння світового танкерного флоту, необхідність адаптації технологій ліквідації розливів до складних умов, недостатня ефективність нормативно-правового регулювання та контролю за дотриманням екологічних вимог, а також дефіцит кваліфікованих кадрів і обмеженість фінансових ресурсів для забезпечення екологічної безпеки.

Серед перспективних напрямів подальшого розвитку технологій запобігання забрудненню та ліквідації розливів із танкерів можна виокремити створення "зелених" суден на екологічно чистих видах пального, розроблення автономних і роботизованих систем для моніторингу та ліквідації розливів, упровадження інтелектуальних систем підтримки ухвалення рішень і тренажерної підготовки екіпажів, а також розвиток методів дистанційного зондування та моделювання розливів нафти.

Для ефективного розв'язання проблеми мінімізації ризиків забруднення морського середовища танкерним флотом необхідне об'єднання зусиль усіх зацікавлених сторін, включно з державними органами, нафтогазовими та судноплавними компаніями, науково-дослідними організаціями та громадськими об'єднаннями. Пріоритетними напрямками спільної діяльності мають стати: оновлення танкерного флоту та його приведення у відповідність до сучасних екологічних стандартів; удосконалення нормативно-правової бази та механізмів регулювання; розвиток міжнародного співробітництва та обміну передовим досвідом; підвищення рівня підготовки та кваліфікації персоналу; розширення наукових досліджень і розробок у сфері екологічно чистих технологій.

Реалізація запропонованих у статті рекомендацій сприятиме підвищенню рівня екологічної безпеки танкерного флоту, зниженню ризиків аварійних розливів і забезпеченню сталого розвитку морських перевезень нафти і нафтопродуктів. Це дасть змогу мінімізувати негативний вплив на морське середовище, зберегти біорізноманіття та екосистемні функції океану, а також забезпечити довгострокові інтереси всіх учасників морегосподарської діяльності.

Подальші дослідження в галузі екологічної безпеки танкерного флоту мають бути спрямовані на розвиток методів оцінювання та прогнозування екологічних ризиків, розроблення інноваційних технологій і стандартів у сфері проектування, будівництва та експлуатації танкерів, удосконалення методів ліквідації розливів у складних умовах, а також на аналіз і впровадження передових практик забезпечення екологічної безпеки на морському транспорті.

REFERENCES

1. Schachter O., Serwer D. Marine Pollution Problems and Remedies. *American Journal of International Law*. 1971. Vol. 65, no. 1. P. 84–111. URL: <https://doi.org/10.2307/2199296>
2. Effects of Double-Hull Requirements on Oil Spill Prevention: Interim Report | *The National Academies Press*. URL: <https://nap.nationalacademies.org/read/9131>.
3. Marine Oil Tankers: Understanding the Technologies and Safety Measures Behind Shipping Crude Oil at Sea. *Orbitshub*. URL: <https://orbitshub.com/marine-oil-tankers-2/>.
4. Kamel, Merhane, and Khalid Al Shehhi. "VOC Recovery System for Crude Oil Tanker Loading." Paper presented at the ADIPEC, Abu Dhabi, UAE, October 2022. URL: <https://doi.org/10.2118/210906-MS>
5. Jørgensen K.S., Kreutzer A., Lehtonen K.K., Kankaanpää H., Rytönen J., Wegeberg S., Dussaubat M., Cachot J., Eljarrat E., Barceló D., et al. The EU Horizon 2020 Project GRACE: Integrated Oil Spill Response Actions and Environmental Effects. *Environ. Sci. Eur.* 2019;31:44. doi: 10.1186/s12302-019-0227-8.
6. Jaak Truu. Oil Biodegradation and Bioremediation in Cold Marine Environment. *Microorganisms*. 2023 May; 11(5): 1120. Published online 2023 Apr 25. URL: <https://www.mdpi.com/2076-2607/11/5/1120>
7. Emergency Response | Clean Harbors. *Environmental and Industrial Services | Clean Harbors*. URL: <https://www.cleanharbors.com/services/industrial-field-services/emergency-response>.
8. ITOF – Promoting Effective Response And Technical Services To Marine Spills - Cleaner Seas. *Cleaner Seas*. URL: <https://www.cleanerseas.com/itopf-promoting-effective-response-and-technical-services-to-marine-spills/>.
9. INTERTANKO – International Association of Independent Tanker Owners / Международная Ассоциация независимых владельцев танкеров (ИНТЕРТАНКО). *Международные и Морские Организации*. URL: <http://xn--h1ahbi.com.ua/info/49-intertanko-international-association-of-independent-tanker-owners-mezhdunarodnaya-associaciya-nezavisimyh-vladelcev-tankerov-intertanko.html>.
10. SHIPBOARD OIL POLLUTION EMERGENCY PLAN (SOPEP) In accordance with Regulation 37 of Annex I of MARPOL 73/ 78. URL: https://www.pfri.uniri.hr/web/dokumenti/uploads_nastava/20180227_184504_zec_ZMMO_.SOPEP_Sample_Plan.pdf
11. Oil Spill Response Limited – global oil spill response specialists | Oil Spill Response. URL: <https://www.oilspillresponse.com/>.
12. Inari Helle, Jussi Mäkinen, Maisa Nevalainen, Mawuli Afenyo, and Jarno Vanhatalo. Impacts of Oil Spills on Arctic Marine Ecosystems: A Quantitative and Probabilistic Risk Assessment Perspective. *Environmental Science & Technology* 2020 54 (4), 2112-2121 DOI: 10.1021/acs.est.9b07086 URL: <https://pubs.acs.org/doi/full/10.1021/acs.est.9b07086>
13. Understanding Oil Spills And Oil Spill Response. *Oil Program Center / United States Environmental Protection Agency / Office of Emergency And Remedial Response*. December 1999. URL: <https://www.epa.gov/sites/default/files/2018-01/documents/ospguide99.pdf>
14. White, H., R. Conmy, I. MacDonald, AND C. Reddy. Methods of Oil Detection in Response to the Deepwater Horizon Oil Spill. *OCEANOGRAPHY*. Oceanography Society, Rockville, MD, 29(3):76-87, (2016). URL: <https://doi.org/10.5670/oceanog.2016.72>
15. Robert Byrne. *The impact of oil spills Research Briefing*. National Assembly for Wales Senedd

Research. April 2019. URL: <https://research.senedd.wales/media/h32fiwbv/022-web-english.pdf>

16. Responding To Oil Spills. | Clear Seas. URL: <https://clearseas.org/oil-spill-response/>.

17. IMO. International Convention on Oil Pollution Preparedness, Response and Co-operation (OPRC). – London: IMO, 1990.

Kalinichenko Ye.V., Tomchakovsky G.G., Koliesnik O.V., Oberto Santana L.E.

**MINIMISING THE RISKS OF MARINE POLLUTION FROM THE TANKER FLEET:
ANALYSIS OF TECHNICAL AND TECHNOLOGICAL SOLUTIONS**

This article provides a comprehensive analysis of the technical and technological factors that are of paramount importance for minimising the risks of marine pollution from the tanker fleet. The study covers a wide range of issues, including the design features of tankers, emergency prevention systems, and modern methods of collecting and eliminating pollution arising from the transport of oil products and other hazardous substances. Particular emphasis is placed on measures to prevent leaks and accidents, such as the use of double hulls, ship monitoring and emergency response systems. In addition, the article highlights advanced technological solutions, such as pollution detection and automated control systems, which contribute to the efficiency and safety of the tanker fleet. The article emphasises the importance of developing and implementing environmentally sustainable and innovative technologies in the tanker sector in order to minimise the negative impact on the environment and ensure the safe transportation of goods. The article also offers recommendations for improving the environmental safety of the tanker fleet based on best practices and innovative solutions. Overall, this article is a valuable analytical study of the technical and technological aspects aimed at reducing the risks of marine pollution in the course of tanker fleet operation.

Keywords: tanker fleet, marine pollution, environmental safety, oil product leaks, accident prevention systems, spill response technologies, innovative solutions.