

10.31653/smf47.2023.131-147

Сагін С.В., Колегаєв М.О., Парменова Д.Г.

Національний університет «Одеська морська академія»

**ЗНИЖЕННЯ РИЗИКІВ ІНВАЗІЙНОГО ЗАБРУДНЕННЯ
МОРСЬКИХ АКВАТОРІЙ ПІД ЧАС ЕКСПЛУАТАЦІЇ СУДЕН
МОРСЬКОГО ТА ВНУТРІШНЬОГО ВОДНОГО ТРАНСПОРТУ**

Постановка проблеми в загальному вигляді. Україна – велика морська держава. Безумовним законом нашої країни, як і інших держав-членів Міжнародної морської організації (ІМО), є девіз цієї організації: за безпечне судноплавство та чистий океан. Екологічна безпека морського транспорту вимагає участі фахівців усіх напрямів людської діяльності, що стосуються судноплавної індустрії та захисту морського середовища – від судових інженерів та судовласників, агентів та експедиторів до інженерів-екологів та вчених-біологів. Наша країна активно працює у всіх комітетах ІМО, у тому числі бере активну участь у роботі Комітету захисту морського середовища. Одна з найсерйозніших проблем, які вирішує Комітет – перенесення небезпечних водних організмів та патогенів із судовим водним баластом. Швидко зростаючий рух суден між різними частинами Світу та їх швидко зростаючі швидкості впливають на довкілля, як і на добробут людини. Внаслідок змін в технології судноплавства в середині ХІХ століття вода стала використовуватися як баласт, а з середини 1950-х років повністю замінила твердий баласт на судах, що перевозили важкі вантажі. Системи баластної води в даний час є невід'ємною частиною судової конструкції та роблять свій внесок у стійкість і осідання судна, так само як і в конструктивну міцність корпусу. Баластна вода закачується в спеціально сконструйовані танки, розподілені по корпусу судна, коли судно перебуває без вантажу, і знову відкачується за борт після прибуття в порт навантаження. В залежності від конструкційних характеристик судна баластні танки розміщуються в донній (найбільша частина), носовій (в районі форпіку судна), кормовій (в районі ахтерпіку судна) частині судна, а також біля бортів судна. До системи баластної води також входять донні та бортові кінгстони (крив яких забортна вода потрапляє на судно), фільтри забортної води (що запобігають потраплянню в систему забруднюючих речовин), насоси забортної води (що забезпечують закачування та викачування морської води), а також прилади

контролю та управління. Схема перевезення водного баласту морськими суднами зрозуміла з рис. 1.

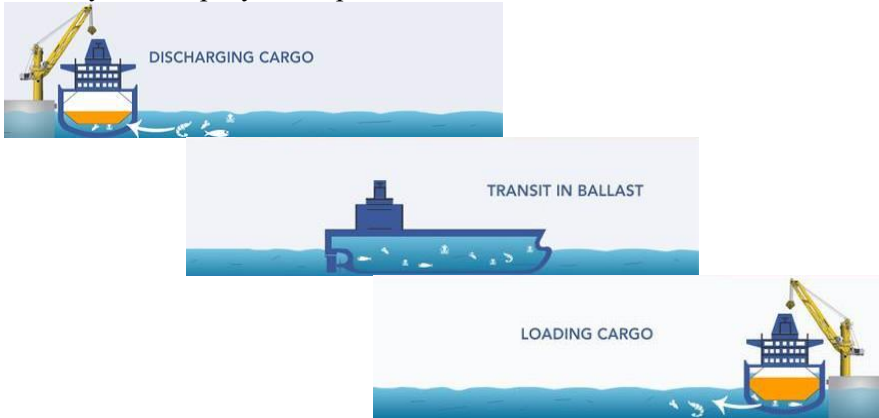


Рис. 1. Схема перевезення водного баласту морськими суднами

Разом з баластною водою в суднові танки потрапляють морські організми, ікра, личинки, рослини, а також збудники небезпечних хвороб. Під час скидання баласту в інших географічних районах морські організми та рослини, не зустрічаючи, найчастіше, природних ворогів, починають активно розмножуватися. Наслідки цього процесу в багатьох куточках Світу руйнівні. Сторонні для даної географічної зони біологічні види, що випускаються в морське середовище, призводять до порушення природної екологічної рівноваги, руйнування гідротехнічних споруд, прямим нанесенням значних збитків морським господарствам, створюють загрозу здоров'ю і життю людей і, в кінцевому підсумку, ведуть до екологічної катастрофи.

Потрапляння в морську екосистему сторонніх для даного регіону експансіоністських морських видів вважається однією з чотирьох (поряд із забрудненням води, надмірною експлуатацією морських ресурсів і руйнуванням морського хабітату) найнебезпечніших загроз Світовому океану. Операції скидання баластних вод вважаються потенційно небезпечними не тільки ІМО, але також і Всесвітньою організацією охорони здоров'я. Нанесений чужорідними морськими організмами збиток ліквідувати практично неможливо, принаймні, на сьогоднішній день науці невідомі досить ефективні та нешкідливі способи відновлення балансу морської екосистеми. Підтримка екологічного стану морських акваторій різноманітних регіонів Світу забезпечується суворим виконанням вимог відповідних конвенції, що

спрямовані на захист біологічного стану відповідних територіальних районів (рис.2).



Рис. 2. Райони дії міжнародних конвенцій, спрямованих на захист морського середовища від забруднення баластними водами

Таким чином, транспортування чужорідних морських організмів на морських судах є не тільки великою біологічною проблемою та проблемою безпеки мореплавства, рибальства, рибництва, сільського господарства, але, і, в кінцевому підсумку, – великою економічною проблемою.

Постановка завдання. Завданням дослідження було визначення та аналіз методів очищення суднових баластних вод та зменшення таким чином інвазійного забруднення морських акваторій під час експлуатації суден морського та внутрішнього водного транспорту.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Одним з основних міжнародних документів, який регламентує скидання водяного баласту, є Міжнародна конвенція про контроль суднових баластних вод й осадів та управління ними (BWMC). Дана конвенція – найважливіша міжнародна міра з охорони довкілля, яка спрямована на припинення поширення потенційно інвазійних водних видів в баластній воді з суден, набула чинності 8 вересня 2017 року. Відповідно до конвенції BWMC потрібно, щоб судна були оснащені системами для очищення баластної води шляхом видалення, знешкодження або запобігання надходження або скидання морських організмів і патогенів в баластних водах і осадах. Конвенцією дозволяється для існуючих суден застосовувати як метод заміни баласту, так і метод знешкодження баласту; новим суднам – тільки метод знешкодження, заснований на повному знищенні живих організмів в баластній воді [1].

Конвенція вимагає, щоб всі судна, які беруть участь в міжнародній торгівлі, замінювали водяний баласт або очищали ці води і осадки відповідно до плану управління баластними водними ресурсами. Усі судна повинні мати журнал операцій з баластними водами, міжнародний сертифікат щодо управління баластними водами та свідоцтво про схвалення відповідними організаціями типового зразка установки для очищення водяного баласту.

На сьогоднішній день діють два стандарти, що відповідають двом варіантам – рис. 3.

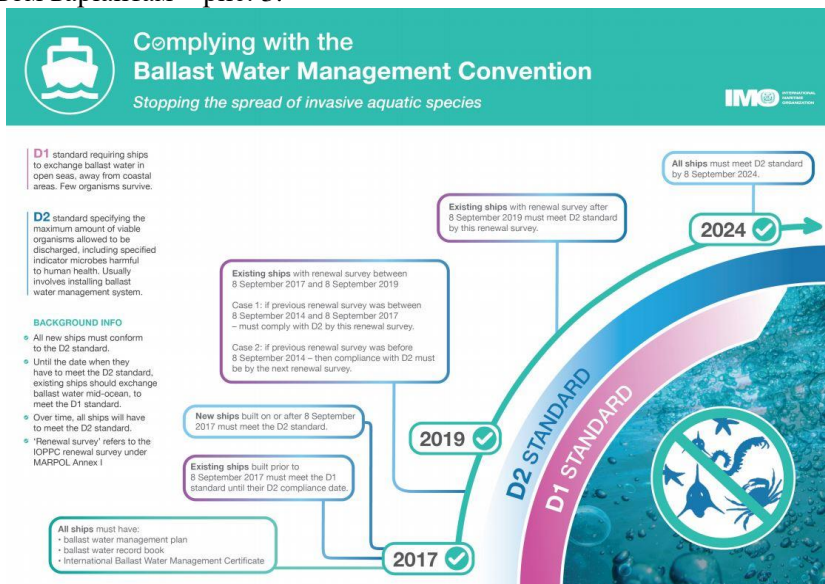


Рис. 3. Вимоги конвенції BWMC

Судна, що плавають під прапором країни, яка прийняла Конвенцію з управління судновими баластними водами, повинні мати на борту судна спеціальні системи очищення суднового баласту, схвалені ІМО, за винятком суден, які використовують спосіб скидання баласту на відстані 200 миль від берега або на приймальні споруди [2, 3].

Конвенція містить два основні стандарти: D-1 – стандарт, що регулює заміну баластних вод, та стандарт D-2 – стандарт, що регулює якість баластних вод. Країни, які виконують зобов'язання цієї Конвенції, повинні керуватися стандартами D-1 і D-2 як під час експлуатації, так і при будівництві нових суден.

Стандарт D-1 вимагає від суден заміну баластної води у відкри-

тому морі, далеко від прибережних вод. В ідеалі це означає відстань не менше 200 морських миль від берега і в воді глибиною не менше 200 метрів. Таким чином, це зменшує шанси для мікроорганізмів на виживання, і тому менше можливостей до потрапляння потенційно небезпечних видів при скиданні баластної води. Судна, що виконують заміну баластних вод відповідно до стандарту D-1, повинні це забезпечувати з ефективністю заміни баластних вод, що становить щонайменше 95 відсотків за обсягом. Для суден, які виконують заміну баластних вод методом прокачування, прокачування триразового обсягу кожного танка водяного баласту вважається таким, що відповідає стандарту. Прокачування менше триразового обсягу може прийматися, якщо судно може продемонструвати, що виконана заміна становить щонайменше 95 % за обсягом.

Стандарт D-2 це показник ефективності, який визначає максимальну кількість життєздатних організмів, яке може знаходитися в воді, що зливається за борт, включаючи певні індикаторні мікроби, шкідливі для здоров'я людини. Відповідно до стандарту D-2, судна, які здійснюють управління баластними водами, повинні скидати менше 10 життєздатних організмів на один кубічний метр, мінімальний розмір яких дорівнює 50 мікрометрів або більше, та менше 10 життєздатних організмів на один мілілітр, мінімальний розмір яких менше 50 мікрометрів і дорівнює 10 мікрометрів або більше; при цьому скидання індикаторних бактерій не перевищує встановлених концентрацій щодо холерного вібриону, кишкової палички та кишкових ентерококів [1, 3].

З сьогоднішнього дня будуються судна, які повинні будуть відповідати стандарту D-2, в той час як вже експлуатуються судна, що повинні відповідати стандарту D-1. Залученими організаціями був узгоджений графік впровадження стандарту D-2, заснований на дату проведення повторного огляду на підтвердження Міжнародного свідоцтва про запобігання забрудненню нафтою (ІОРРС), який повинен проводитися не рідше одного разу на п'ять років.

В кінцевому підсумку, в найближчому майбутньому всі судна повинні будуть відповідати стандарту D-2. Для більшості суден це означає установку спеціального бортового обладнання, яка забезпечує очищення баластних вод від інвазійних мікроорганізмів та подальше запобігання інвазійного забруднення морських акваторії під час експлуатації суден морського та внутрішнього водного транспорту [1, 4].

Виклад основного матеріалу дослідження. В 2000 році Глобальний екологічний фонд та Програма розвитку ООН ініціювали Глобальну програму з управління баластною водою (GloBallast) для усунення перешкод в ефективному впровадженні між контролю та управління баластною водою та зменшення перенесення шкідливих організмів з судновою баластною водою та осадами, а також впровадження керівництва ІМО з баластної води.

Під час оцінки екологічних ризиків, що виникають внаслідок неконтрольованого скидання баластних вод, необхідно враховувати основні вимоги та рекомендації програми GloBallast, які імplementовані всіма провідними країнами. У різних регіонах Світового океану містяться характерні лише їм біологічні організми. Число їх видів (відповідно до аналізу баластних вод) для Тихого, Атлантичного та Індійського океанів, а також Середземноморського басейну наведено на рис. 4. Даний аналіз виконаний для різної кількості морських регіонів (морів та заток) та різної кількості морських суден (від 30 до 50) та далі модульований для 1000 суден. Оцінка ризику інвазійного забруднення баластними водами суден повинна проводитись на державному рівні, і кожна держава має визначити для себе найбільш прийнятний підхід щодо управління водяним баластом. Держава може застосовувати такий режим для всіх суден, що входять до його портів, одноманітно або спробувати оцінити загрозу, що виходить від кожного конкретного судна, застосовувати цей режим вибірково до тих суден, які є найнебезпечнішими. В рамках програми GloBallast вирішено, що оцінку ризику інвазійного забруднення баластними водами суден буде виконано, щоб допомогти країнам проекту (державам порту) вибрати відповідний їх можливостям та умовам варіант перевірки суден, що заходять до їхніх портів [3].

Ризик інвазійного забруднення з баластними водами морських суден також залежить від відстані до берегової лінії, на якій здійснюється експлуатація судна і, відповідно, його баластування. На рис. 5 наведені результати з визначення утворення відкладень біомаси на поверхнях баластних танків в разі використання методу заміни баласту. Аналіз виконано для сьомі найбільш розповсюджених в регіонах, де проводились дослідження, інвазійних елементів. Зрозуміло, що у випадку відсутності операції щодо знезараження організмів, які знаходяться в баластній воді, наведена кількість інвазійних елементів потрапляє до прибережних вод та акваторії та сприяє її стрибкоподібному забрудненню.

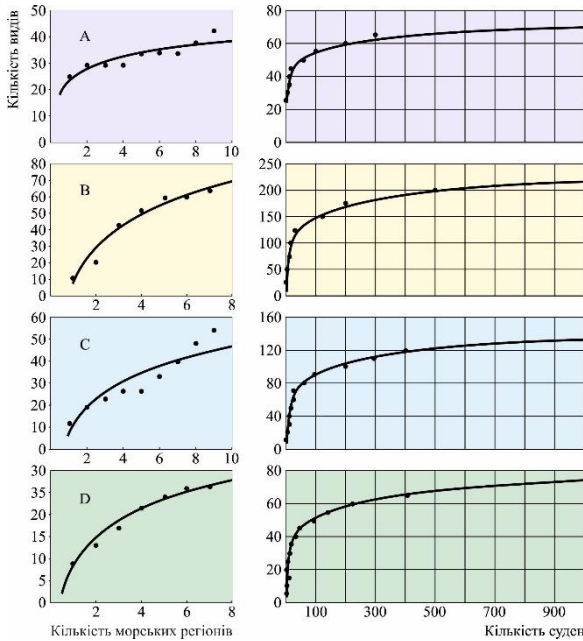


Рис. 4. Зміна числа видів біологічних організмів в залежності від кількості морських регіонів, в яких проводилися дослідження, та кількості оглянутих суден (А – Індійський океан; В – Тихий океан; С – Атлантичний океан; D – Середземноморський басейн); ліворуч – за результатами досліджень, праворуч – за результатами моделювання

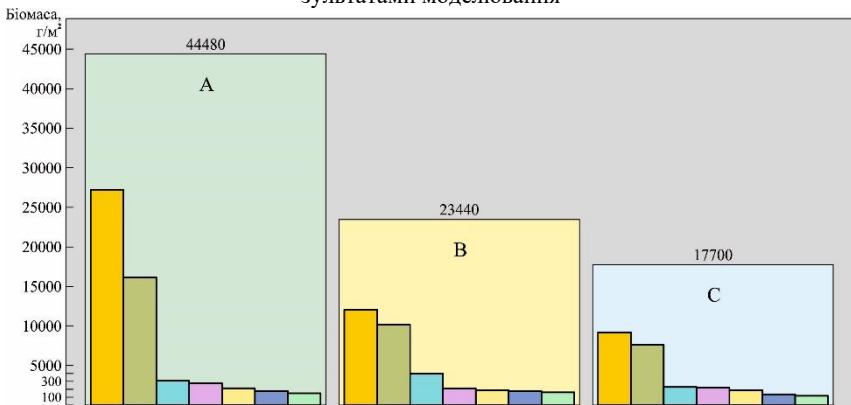


Рис. 5. Зміна біомаси на поверхні баластних танків (для семи видів найпоширеніших інвазійних елементів):

А – робота у прибережних акваторіях (у територіальних водах однієї чи кількох країн); В – робота в морських регіонах (внутрішніх морях та на відстані до 200 миль від берега); С – робота на океанських переходах

В зв'язку з тим, що баластування суден є в даний час невід'ємною частиною морських перевезень, основним шляхом припинення інвазійного забруднення морських акваторій небажаними мікроорганізмами є запобігання їх скиданню з суден в портах, що досягається обробкою баласту під час навігаційного переходу судна.

Під час вибору методу обробки баласту керуються наступними критеріями:

- • безпека для екіпажу і судна;
- • сумісність із загально-судновими системами та судном в цілому, виключення нанесення шкоди довкіллю;
- • економічність;
- • ефективність.

Можливі напрямки і методи обробки водяного баласту представлені на рис. 6.

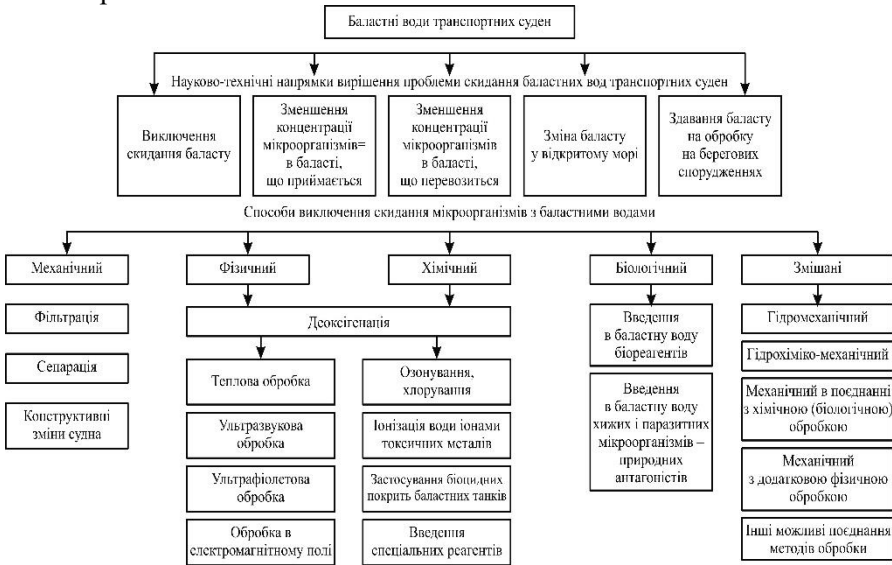


Рис. 6. Можливі методи та способи обробки водяного баласту транспортних суден

Більшість морських держав вже проводили дослідження щодо застосування різних методик обробки баластних вод у суднових умовах [8].

Аналіз результатів, отриманих щодо різних методик обробки баласту, показує, що з них немає досить ефективних і економічних. Так, наприклад, механічна обробка займає багато часу і не забезпе-

чує видалення бактерій та мікроводоростей. Застосування хімікатів, як найдоступніший спосіб, саме собою тягне за собою ряд проблем: очевидний ризик для здоров'я екіпажу, корозія трубопроводів і насосів, забруднення морського середовища при скиданні баласту. Фізична дія ультрафіолетовими променями, ультразвуком, нагрівання баластної води також небезпечна для здоров'я екіпажу, може посилити корозію, при скиданні в акваторії порту – викликати термальне забруднення. В даний час більшість розвинених країн продовжують шукати вирішення проблеми знезараження водяного баласту в судових умовах з метою запобігання біологічним інвазіям [5].

Раніше основним способом захисту морського середовища від інвазійних забруднень була заміна баластних вод у нейтральних водах, перед заходом в порт, не менше 95 % обсягу старого баласту на новий. У результаті цей спосіб був визнаний ІМО неефективним задля запобігання перенесенню інвазійних мікроорганізмів. ІМО розцінює обмін водного баласту у відкритому морі як тимчасовий захід: остаточна мета полягає в тому, щоб створити безпечні та ефективні системи обробки баластної води саме під час її приймання на борт судна або транспортування в баластних танках, щоб запобігти біологічну загрозу інвазійного забруднення морських акваторії під час експлуатації суден морського та внутрішнього водного транспорту.

На даний момент найбільш актуальним способом обробки води є очищення баластної води на борту судна з використанням механічних, фізичних та хімічних методів. Згідно з прийнятою Конвенцією, всі судна повинні мати на борту спеціалізовані системи очищення судового баласту, крім суден, які спочатку не були сконструйовані для прийняття рідкого баласту. Це обладнання має бути сертифіковане та схвалено ІМО, класифікаційними товариствами та владою прапора. Тим не менш, виникає питання раціонального вибору судовласником відповідних систем обробки для суден, оскільки слід підібрати найбільш безпечну систему як для запобігання забрудненню моря, так і для безпеки судна і членів екіпажу.

Сучасні системи обробки судового баласту є сукупністю різних технічних складових, що включають роботу кількох основних блоків: механічної фільтрації та дезінфекції (рис. 7).

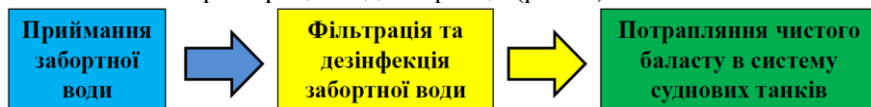


Рис. 7. Типова схема обробки баластних вод

Механічна фільтрація являє собою попереднє очищення за допомогою різних фільтрів та мультигідроциклонів, яка не дозволяє потрапляти та осідати в баластових танках морським організмам та рослинам. Пропускна здатність таких фільтрів зазвичай не перевищує 50 мкм. Аналіз систем обробки баласту, схвалених ІМО, свідчить про те, що в комплексі механічної фільтрації переважною технологією очищення є використання фільтрів за рахунок їх швидкої роботи, розмірів та простоти їх експлуатації та заміни.

Наступним етапом обробки баластових вод є сегмент дезінфекції, що включає обробку баласту, який служить для остаточного знищення мікробів та вірусів, а також суперечка рослин за допомогою різних способів: обробки ультрафіолетом, електролізу, озонування, хлорування та бромовання. Така обробка поділяється на два основні методи: хімічний та фізичний. Найбільш розповсюджені методи обробки баластних вод наведені в таблиці 1.

Таблиця 1. Методи обробки баластних вод

Механічні	Фізичні	Хімічні
Фільтрація Використання мульти-гідро- циклонів	Обробка ультрафіолетом Обробка ультразвуком Електроліз Озонування Нагрівання	Електрохлорування Обробка діоксидом хлору Обробка перексидом водню Обробка гіпохлоритом натрію Обробка хлорною кислотою

Фірми різних країн сконцентрували свої зусилля на розробці зазначених основних методів і засобів обробки водяного баласту (таблиця 2).

Таблиця 2. Розвиток методів обробки водяного баласту

Метод обробки водяного баласту	Країни-учасники розробки
Сепарація	Німеччина, Канада, Норвегія, США
Фільтрація	Австралія, Великобританія, Німеччина, США, Сінгапур
Нагрівання	Австралія, Великобританія, Нова Зеландія, Польща, Японія
Озонування	Австралія, Норвегія, США, Сінгапур
Ультрафіолетове опромінення	Австралія, Великобританія, Німеччина, Канада, Норвегія, США, Сінгапур
Хлорування	Австралія, Німеччина, США

В даний час використання технологій обробки хлором і ультрафіолетовим опроміненням є найбільш поширеними серед виробників. Обробка хлором відбувається під час прийому баласту в систему проточним способом. Хлор на судні одержують внаслідок протікання процесу електролізу. Час згубної дії не перевищує чотирьох годин. При цьому даний спосіб хімічної обробки має такий істотний недолік, як поява корозії металу, що, у свою чергу, через високу концентрацію, може призвести до руйнування металевих танків баластної системи судна [5, 6].

Ультрафіолетове опромінення використовується в більшості випадків разом з механічним способом обробки – фільтрацією. Після того як забортна вода пройшла перший ступінь очищення фільтрами, судновий баласт піддається ультрафіолетовому опроміненню, внаслідок чого утворюються гідроксильні радикали, які остаточно вражають мікроорганізми, що залишилися після фільтрації. Вражаюча дія даного способу діє тільки протягом процесу обробки, не чинячи руйнівного впливу на конструкції баластної системи судна.

Аналіз існуючих системи обробки баласту, схвалених ІМО, свідчить, що в комплексі механічної фільтрації переважаючою технологією очищення є використання фільтрів за рахунок їх швидкої роботи, розмірів та простоти їх експлуатації та заміни. Також слід зазначити, що такі способи дезінфекції, як використання фізичного методу обробки ультрафіолетовими хвилями та озонування, а також хімічного методу хлорування, є в даний час найбільш затребуваними. Відсоткове співвідношення цих трьох технологій серед існуючих методів наведено на рис. 8.

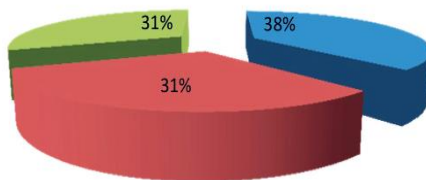


Рис. 8. Відсоткове розподілення найбільш розповсюджених методів обробки баласту: синій – ультрафіолетове опромінення; червоний – хлорування; зелений – озонування

Необхідно відзначити, що існуючі в даний час установки здійснюють згадані процеси очищення та знезараження в момент прийому забортної води як баласту або під час відкачування забортної води за борт, коли виникає необхідність видалення баласту. Ця обставина

вимагає забезпечення великої продуктивності роботи очисних та знезаражувальних пристроїв, що може негативно впливати на якість очищення та знезараження баластної води. Враховуючи, що на прийом баластування та дебаластування відводиться незначний час, фактор часу стає лімітуючим під час організації та здійснення всіх операцій із баластною водою [6].

Одна з технологій очищення та знезараження баластної води наведена на рис. 9. Головною відмінністю запропонованої технології є видалення мікроорганізмів з основного обсягу баластної води за допомогою коагуляції та седиментації та формування осаду цієї суспензії.

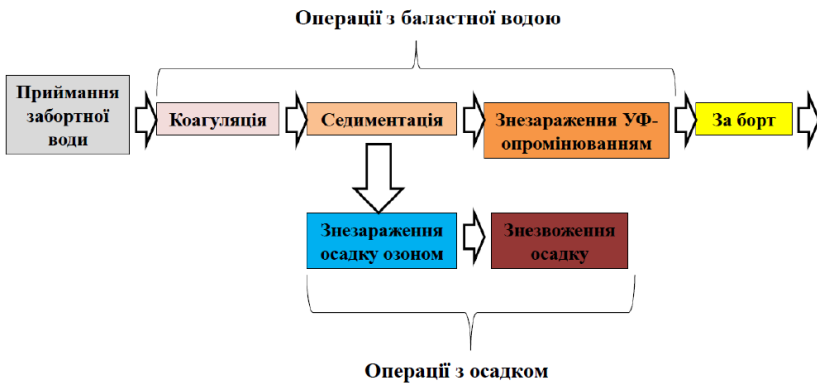


Рис. 9. Технологія очищення та знезараження баластної води

Поділ всього об'єму баластної води на два потоки (основний – це баластна вода 95...98 % від початкового об'єму та вищезгаданий осад 2...5 %) дозволяє усі подальші необхідні операції з цими потоками здійснювати окремо та незалежно один від одного. Видалення зваженої субстанції з баластної води седиментацією, інтенсифікованою коагуляцією забезпечує її очищення від мікроорганізмів. Очищений таким способом баласт додатково піддається знезараженню ультрафіолетовим опроміненням під час знаходження баласту в суднових танках, а не в потоці в момент прийому баласту або його відкачування за борт. Загалом використання цього часу є позитивною особливістю запропонованої технології. Така організація процесу очищення седиментацією та обробки ультрафіолетовим опроміненням створює найкращі умови для проведення процесу знезараження. Можливість та достатність застосування ультрафіолетового опромінення визначається двома наступними факторами. По-перше, виділення зваже-

них домішок знижує рівень бактеріологічної небезпеки баластної води рівня, який допускає ефективне застосування ультрафіолетового опромінення. По-друге, наявність достатнього часу для здійснення даної операції, тому що переходи з баластом здійснюються, як правило, протягом кількох діб і більше.

Осад накопичується в невеликому обсязі, що дозволяє ефективно знезаражувати його, використовуючи меншу кількість знезаражувачого реагенту, наприклад озону. Після знезараження осад представлятиме бактеріологічно безпечну суспензію, яку можна після зневоднення спалювати в судових печах для спалювання відходів або зберігати до подальшої передачі на спеціалізовані берегові приймальні пункти. У процесі знезараження осаду, що характеризується великими значеннями солі-індексу, використовується озонування, що знайшло застосування у судовому природоохоронному устаткуванні.

Пропонована технологія реалізується за допомогою системи, принципова схема якої наведена на рис. 10.

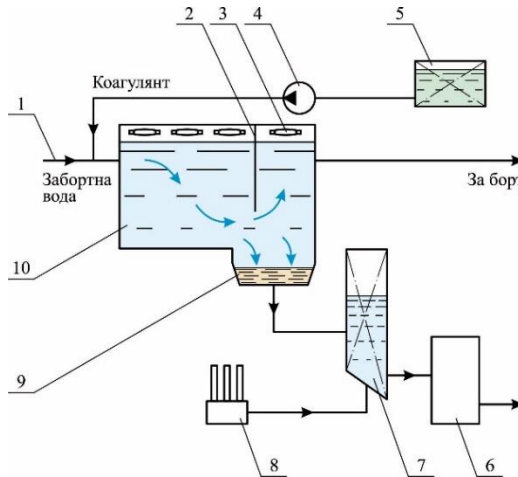


Рис. 10. Принципова схема установки для очищення та знезараження баластної води:

- 1 – приймальний трубопровід; 2 – перебирання; 3 – ультрафіолетові лампи;
- 4 – насос-дозатор; 5 – ємність з реагентом; 6 – пристрій для зневоднення;
- 7 – контактна колона; 8 – генератор озону; 9 – збірник; 10 – суднова баластна ємність

Усі операції з очищення та знезараження баластної води здійснюються в статичних умовах, що підвищує їх ефективність.

Під час прийому баласту забортна вода за приймальним трубопроводом 1 надходить в суднову баластну ємність 10. У приймальний трубопровід 1 одночасно з цим з реагентної ємності 5 насосом-дозатором 4 подається коагулянт. Такий спосіб подачі коагулянту забезпечує найкраще його перемішування з баластною водою. Зважені частинки, що знаходяться в баластній воді, які самі можуть представляти мікроорганізми або бути їх носіями, починають коагулювати, утворюючи більші агрегати, які починають відстоюватися, утворюючи осад [7]. В процесі коагуляції суспензії та подальшої її седиментації живі організми в вигляді осаду суспензії концентруються в невеликій частині об'єму баластної води і накопичуються в збірнику 9. При цьому наявність збірника не вимагає перебудови корпусу судна, оскільки як такий збірник може бути більш глибока частина похилого днища. Більш ефективному відділенню суспензії від основного обсягу баластної води сприяє перебирання 2, яке кріпиться до кришки баластної ємності та не доходить до її днища. Таким чином, простий відстійник, яким одночасно є баластна ємність, перетворюється на каскадний. Зі збірника 9 осад направляється в контактну колону 7, куди одночасно подається озоноповітряна суміш від генератора озону 8. Застосування озону, що є одним з найсильніших окислювачів, забезпечує діючі вимоги до якості води, яка скидається за борт. У контактній колоні осад знезаражується, після чого надходить у пристрій для зневоднення 6. Зневоднення може бути здійснено в прес-фільтрі або пристрої відцентрового типу. Зневоднений осад прямує на спалювання в судновому інсинераторі. Додатковий знезаражуючий ефект основного об'єму баласту забезпечується ультрафіолетовими лампами 3, встановленими у верхній частині ємності 10.

Найбільш помітно переваги пропонованих технологічних рішень проявляються під час їх використання в суднових установках, тому що умови їх експлуатації характеризуються значними обмеженнями у просторі та у часі. Дана технологія передбачає здійснення частини операцій (коагуляції, седиментації) та знезараження ультрафіолетовими лампами у самих баластових ємностях, що дозволяє значно економити простір суднових приміщень. Розміщення пристроїв, що забезпечують знезараження та подальшу обробку осаду може бути виконано як в агрегатованому варіанті, також у вигляді окремих пристроїв, розміщених у різних місцях суднового простору.

Пристрій, що реалізує цю технологію, може бути розміщений не тільки на судні, але і на позасуднових (плавучих або берегових) очисних спорудах. На берегових очисних спорудах можуть бути прийняті й інші компоновальні рішення, наприклад, із застосуванням мобільного комплексу, на якому розміщено обладнання для знезараження осаду.

Висновки і перспективи подальших досліджень. Аналіз стану проблеми захисту водних об'єктів від мікроорганізмів, які можуть бути перенесені з баластною водою та сприяти інвазійному забрудненню морських прибережних акваторій, дає змогу резюмувати наступні висновки. Характер норм сучасного законодавства щодо стану та характеристик вод, які скидаються з морських суден за борт, вимагає відсутності мікроорганізмів в баластній воді, що знаходиться в баластних танках судна. Це може бути забезпечено як процесами очищення, так і процесами знезараження. Застосування процесів очищення забезпечує вилучення мікроорганізмів з баластної води, проте вимагає подальшого їх знищення, наприклад, знезараженням за умови забезпечення стану, що вимагається Міжнародною конвенцією з управління судновими баластними водами та осадами.

Особливостями розв'язання проблеми забезпечення необхідної якості очищення та знезараження баластної води є великі обсяги баласту, що приймається на борт судна, і необхідність швидкого заповнення баластних танків. Здійснення основних операцій у технології очищення та знезараження баласту має бути організовано під час його знаходженні в суднових баластних танках на протязі навігаційного переходу судна та транспортування баласту, тобто за умов наявності достатнього часу задля забезпечення ефективності здійснюваних процесів. Попередження інвазійного забруднення морських акваторій під час експлуатації суден морського та внутрішнього водного транспорту досягається шляхом керованого впливу на судову систему баластної води та забезпечує екологічні [8, 9] та енергетичні [10, 11] показники роботи суден морського та внутрішнього водного транспорту. Також при цьому підвищується рівень експлуатаційної надійності [12, 13] суднових систем та механізмів, за допомогою яких виконуються операції з проведення баластування та дебаластування морських суден, та знижується витрати енергії [14, 15] на введення в дію цих механізмів, що призводить до збільшення енергетичної ефективності судового пропульсивного комплексу [16].

Перелік використаних джерел

1. Міжнародна конвенція про контроль суднових баластних вод й осадів та управління ними 2004 року / Ballast Water Management Convention (BWMC): Міжнародна морська організація; Конвенція, Правила, Форма, Міжнародний документ від 13.02.2004 з поправками. International Maritime Organization: веб-сайт. URL: <http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/BallastWaterManagement/BWMCConventionandGuidelines.aspx>.
2. Kraus R. Ballast Water Management in Ports: Monitoring, Early Warning and Response Measures to Prevent Biodiversity Loss and Risks to Human Health // *Journal of Marine Science and Engineering*. – 2023. – Vol. 11. – 2144. <https://doi.org/10.3390/jmse11112144>.
3. Wang B., Lu H., Zhang H., Li W., Hong J., Cui M. Experimental Inactivation of Microalgae in Marine Ballast Water by Microbubbles Generated through Hydrodynamic Cavitation // *Journal of Marine Science and Engineering*. – 2023. – Vol. 11. – 241. <https://doi.org/10.3390/jmse11020241>.
4. Hasanspahić, N.; Pećarević, M.; Hrdalo, N.; Ćampara, L. Analysis of Ballast Water Discharged in Port – A Case Study of the Port of Ploče (Croatia) // *Journal of Marine Science and Engineering*. – 2022. – Vol. 10. – 1700. <https://doi.org/10.3390/jmse10111700>.
5. Liu Q., Lu Z., Liu Z., Lin P., Wang X. Ballast Water Dynamic Allocation Optimization for Revolving Floating Cranes Based on a Hybrid Algorithm of Fuzzy-Particle Swarm Optimization with Domain Knowledge // *Journal of Marine Science and Engineering*. – 2022. – Vol. 10. – 1454. <https://doi.org/10.3390/jmse10101454>.
6. Hyun B., Cha H.-G., An Y.-K., Park Y.-S., Jang M.-C., Jang P.-G., Shin K. Potential Applications of a Novel Ballast Water Pretreatment Device: Grinding Device // *Journal of Marine Science and Engineering*. – 2021. – Vol. 9. – 1213. <https://doi.org/10.3390/jmse9111213>.
7. Ivošević Š., Kovač N., Momčilović N., Vukelić G. Evaluation of the Corrosion Depth of Double Bottom Longitudinal Girder on Aging Bulk // *Journal of Marine Science and Engineering*. – 2022. – Vol. 10. – 1425. <https://doi.org/10.3390/jmse10101425>.
8. Sagin S.V., Kuropyatnyk O. A., Zablotskyi Yu. V. Gaichenia O. V. Supplying of Marine Diesel Engine Ecological Parameters // *Nase More : International Journal of Maritime Science and Technology*. – 2022. – Vol.69(1). – P. 53-61. DOI 10.17818/NM/2022/1.7.
9. Sagin S.V., Karianskyi S., Sagin S.S., Volkov O., Zablotskyi Y., Fomin O., Pišt'ek V., Kučera P. Ensuring the safety of maritime trans-

portation of drilling fluids by platform supply-class vessel // *Applied Ocean Research*. – 2023. – Vol. 140. – 103745. <https://doi.org/10.1016/j.apor.2023.103745>.

10. Sagin S., Karianskyi S., Madey V., Sagin A., Stoliaryk T., Tkachenko I. Impact of Biofuel on the Environmental and Economic Performance of Marine Diesel Engines // *Journal of Marine Science and Engineering*. – 2023. – Vol. 11(1). – 120. <https://doi.org/10.3390/jmse11010120>.

11. Sagin S., Kuropyatnyk O., Sagin A., Tkachenko I., Fomin O., Pištěk V., Kučera P. Ensuring the Environmental Friendliness of Drilling Operations during Their Operation in Special Ecological Regions of Northern Europe // *Journal of Marine Science and Engineering*. – 2022. – Vol. 10(9). – 1331. <https://doi.org/10.3390/jmse10091331>.

12. Мельник О.М., Онищенко О.А., Парменова Д.Г. Методика організації самооцінки ефективності системи управління безпекою судноплавної компанії // *Водний транспорт. Збірник наукових праць Державного університету інфраструктури та технологій*. – 2023. – Вип. 1(37). – С. 154-160. doi.org/10.33298/2226-8553.2023.1.37.17.

13. Sagin S.V. Determination of the optimal recovery time of the rheological characteristics of marine diesel engine lubricating oils // *Materials of the International Conference “Process Management and Scientific Developments” (Birmingham, United Kingdom, January 16, 2020. Part 4)*. – P. 195-202. DOI. 10.34660/INF.2020.4.52991.

14. Сагін С.В. Зниження механічних втрат у суднових середньооборотових дизелях // *Суднові енергетичні установки : наук.-техн. зб.* – 2020. – Вип. 40. – Одеса : НУ «ОМА». – С. 5-11. DOI : 10.31653/smf340.2020.5-11.

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

16. Sagin S.V. Decrease in mechanical losses in high-pressure fuel equipment of marine diesel engines // *Materials of the International Conference “Scientific research of the SCO countries: synergy and integration”*. Part 1. August 31, 2019. Beijing, PRC. – P. 139-145. DOI. 10.34660/INF.2019.15.36258.