

УДК 629.067

DOI <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2023.6/45>**Чимшир В.І.**

Дунайський інститут Національного університету «Одеська морська академія»

**Тірон-Воробйова Н.Б.**

Дунайський інститут Національного університету «Одеська морська академія»

**Шик Е.**

Стамбульський технічний університет

**Малий В.С.**

Дунайський інститут Національного університету «Одеська морська академія»

## КОНЦЕПТУАЛЬНІ ПІДХОДИ ДО ЗНЕЗАРАЖЕННЯ БАЛАСТУ ТА ЙОГО ЗАЛИШКІВ ІЗ ШЛАМОВИХ ЦИСТЕРН МОРСЬКИХ СУДЕН

Транскордонне вторгнення немісцевих (інвазивних) мікроорганізмів і органічних, і неорганічних забруднень через довготривале зберігання-переміщення/скидання баластної води великотоннажними океанськими суднами вважають широко ймовірним. Введення забруднюючих речовин і немісцевих мікроорганізмів може спричинити зміни в місцевих мікроорганізмах, морських видах і біоті, що може створити проблеми для екології, економіки, навколишнього середовища та здоров'я широких верств населення. У цій статті зібрано та представлено концептуальні підходи до очищення/знезараження баласту та його залишків зі створенням систем очищення баластних вод, використовуваних принципів та механізмів інактивації, а також переваги та проблеми (недоліки) технологій очищення. Крім того, стаття має на меті привернути увагу до взаємозв'язку між різними організмами та окремим механізмом, який необхідно інактивувати, включаючи вплив зовнішніх факторів (наприклад, рН, солоності, каламутності) на ефективність інактивації. У статті чітко виділена мета та завдання, де окреслюються проблеми знезараження баластної води та її осадів зі суттєвим впливом на навколишнє середовище; методи, сучасні технології, висновки та рекомендації щодо покращення процесів очищення/знезараження.

Цей огляд може допомогти у виборі відповідних систем очищення/знезараження баластних вод (існуючих і у майбутньому допрацьованих згідно законодавства відповідних країн перебування суден і, зокрема, міжнародних стандартів), принцип дії яких засновано на запронованих методах і методологіях, враховуючи умови морської води (наприклад, рН, температуру, солоність) і місцеві види морських районів, де судна мають намір працювати при автономному плаванні. Цей огляд також містить інформацію, що описує реакцію різних організмів на різні методи лікування.

**Ключові слова:** концептуальні підходи, баластні води, шламові цистерни, Міжнародна Морська Організація (ММО), знезараження.

**Постановка проблеми.** Баластна вода – це вода, яка використовується на морських судах для забезпечення стабільності та безпечності під час руху судна, а також для контролю навантаження. Баластна вода може набиратися або випускатися зі спеціальних цистерн або баків на судні.

У осадах баластних танків містяться організми, які становлять ризик вторгнення, навіть якщо на судах встановлено системи обробки баласту. Донні відкладення (осади) також сприяють корозії та спричиняють кумулятивні втрати дедвейту протягом багатьох років.

Так, зокрема, баластна вода може містити нафту та нафтопродукти, якщо судно користу-

валося нафтопродуктами або іншими нафтовмісними матеріалами під час набору баласту. Нафтовмісна баластна вода може стати джерелом забруднення для морського середовища, оскільки нафта та нафтопродукти можуть бути шкідливими для морських організмів та екосистем.

Контроль та управління нафтовмісною баластною водою є важливим аспектом управління залишками баласту на морських судах з метою збереження морського середовища [1, с. 2627; 2] та мінімізації екологічного впливу. Міжнародні та національні нормативи та стандарти регулюють цю сферу та встановлюють вимоги щодо обробки

та знезараження баластної води, щоб запобігти забрудненню морських вод та екосистем.

*Основні функції баластної води на судні включають:*

*Забезпечення стабільності:* Баластна вода використовується для зміни ваги та центра ваги судна, щоб забезпечити його стабільність під час руху та при доковому обслуговуванні.

*Контроль навантаження:* Баластна вода може використовуватися для контролю глибини занурення судна та забезпечення оптимальної водотоннажності для безпеки та ефективності перевезень.

*Запобігання качці:* В морському судні баластна вода може використовуватися для зменшення качки та підвищення комфорту для екіпажу та пасажирів.

Проте однією з ключових проблем, пов'язаних з баластною водою, є те, що під час набирання баласту у водоймі судно може випускати воду, яка містить живі організми, включаючи інвазивні види. Це може створити серйозні проблеми для біорізноманітності та морських екосистем, що вимагає регулювання та керування залишками баласту, а також очищення цієї води для зменшення її негативного впливу.

Вплив незнезараженої баластної води на екосистеми може бути катастрофічним. Надмірне введення шкідливих іноземних видів та патогенних мікроорганізмів може спричинити зруйнуванню місцевих біотопів та загрожувати морському біорізноманіттю. З цієї причини міжнародні організації вводять обов'язкові правові норми, вимоги щодо знезараження баластної води та стандарти якості води для суден.

Міжнародна конвенція Міжнародної морської організації (ММО) [3, с. 27727–27738] про контроль та управління баластною водою та осадами суден встановлює стандарти та вимоги, яких повинні дотримуватися морські судна. Ця конвенція стала важливим кроком у запобіганні розповсюдженню екологічних проблем через баластну воду.

Проблематика залишків баласту у шламових цистернах морських суден становить серйозний екологічний та біологічний ризик. Основні аспекти цієї проблеми включають:

– Перенесення інвазивних видів: Залишки баласту містять живі організми, включаючи рослини, тварини та мікроорганізми. Під час процесу баластування вони можуть потрапити в нові морські середовища та стати інвазивними видами. Це може призвести до змін в біорізноманітності та знищення місцевих видів.

– Розповсюдження хвороб: Залишки баласту можуть містити патогенні мікроорганізми, які можуть стати джерелом інфекцій для морських організмів та людей, які користуються морськими ресурсами.

– Забруднення водних середовищ: Баластна вода може містити забруднювачі, такі як нафта, солі, важкі метали та інші хімічні речовини. Їх вилиття у місцеві води може призвести до забруднення та зруйнування морських середовищ.

– Шкода для комерційних видів: Вилиття залишків баласту може спричинити шкоду комерційно важливим видам риб та іншим морським ресурсам, що може вплинути на риболовну індустрію та економіку регіону.

– Законодавство і регулювання: Міжнародна Морська Організація (ММО) прийняла ряд конвенцій та стандартів, спрямованих на регулювання управління залишками баласту, але дотримання їх вимог не завжди ефективне та контрольоване [4; 5, с. 110–111].

– Для вирішення цієї проблеми важливо розробляти та впроваджувати ефективні технології [6, с. 90–93; 7, с. 27755–27760; 8] та стратегії знезараження баластної води та обробки осадів, а також зміцнювати законодавчу базу та здійснювати контроль за її виконанням, з метою зменшення негативного впливу залишків баласту на морське середовище.

Дослідницька робота у цьому напрямку є надзвичайно важливою, і вона вже призвела до розробки нових методів та систем для контролю та знезараження баластної води [9; 10, с. 5139–5146; 11; 12, с. 617]. Такі інновації можуть вдосконалити якість баластного обслуговування та сприяти збереженню морського середовища.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Міжнародна Морська Організація (ММО) встановила ряд міжнародних нормативів та стандартів, спрямованих на контроль та управління баластною водою та осадами суден з метою зменшення негативного впливу баластної води на морське середовище та біорізноманітність. Однією з основних конвенцій, що стосуються цього питання, є Міжнародний кодекс про керування залишками баласту та водами баласту (International Ballast Water Management Code), який був прийнятий ММО та набув чинності 8 вересня 2017 року.

Основні положення Міжнародного Кодексу про керування залишками баласту та водами баласту включають:

Вимоги до очищення та знезараження баластної води: Кодекс встановлює стандарти та про-

цедури для очищення та знезараження баластної води з метою зниження ризику перенесення інвазивних видів та патогенних мікроорганізмів.

Вимоги до управління баластом: Кодекс містить вимоги щодо управління залишками баласту, включаючи їх контроль та обробку.

Перевірки та інспекції: ММО вимагає від держав-членів проводити інспекції та перевірки суден щодо дотримання вимог Кодексу.

Заповнення та подання звітів: Власники суден зобов'язані вести облік та подавати звіти щодо управління баластом та баластною водою.

Ці заходи призначені для захисту морських екосистем від введення інвазивних видів та зменшення ризику поширення патогенних мікроорганізмів через баластну воду. Держави-члени ММО зобов'язані впроваджувати та виконувати вимоги цього кодексу, а також сприяти розробці та впровадженню технологій для очищення та знезараження баластної води.

На сьогодні є декілька ключових тем і публікацій у сфері знезараження залишків баласту із шламових цистерн:

*Ефективність методів знезараження баластної води:* Дослідження спрямовані на оцінку та порівняння різних методів знезараження баластної води, таких як хлорування, озонування, ультрафільтрація та інші технології, щоб з'ясувати їхню ефективність у знищенні шкідливих мікроорганізмів та інших забруднювачів.

*Вплив знезараження баластної води на морське середовище:* Дослідження оцінюють екологічні наслідки використання різних методів знезараження баласту на морські організми та екосистеми.

*Розробка нових технологій:* Деякі дослідження фокусуються на розробці нових інноваційних технологій для знезараження баласту та очищення баластної води, що можуть бути більш ефективними та екологічно безпечними. Системи очищення баластних вод мають максимальну ефективність очищення та інактивації, коли гарантуються оптимальні зовнішні умови (наприклад, рН, температура, каламутність, солоність, наявність осаду).

*Регулювання та впровадження стандартів:* Велика частина досліджень стосується розвитку міжнародних та національних нормативів та стандартів, а також оцінки їхнього впровадження та дотримання на судах.

Зокрема, авторами О. В. Шестопалов та ін. (2015, НТУ «Харківський політехнічний інститут») у навчальному посібнику «Екологія та охо-

рона навколишнього середовища» розглядаються сучасні проблеми забруднення навколишнього середовища нафтопродуктами. Проаналізовано існуючі методи попередження забруднення навколишнього середовища нафтопродуктами, а також шляхи його відновлення після забруднення. Наведено рекомендації щодо вибору та розрахунку устаткування для очищення викидів та утилізації відходів, які містять нафтопродукти [13].

У магістерській роботі Морашової Валентини «Дослідження технології очищення води р. Десна з використанням коагулянтів сульфату та оксихлориду алюмінію» (2022) наведено, що винахідниками Новоженюк М. С. та Затолокін М. Є. запропоновано спосіб очищення води баластною коагуляцією. Процес полягає в тому, що в оброблювану воду при перемішуванні додають коагулянт та інертний гранульований матеріал, проводять первинну коагуляцію колоїдів. Здійснюють проміжне часткове видалення гранульованого інертного матеріалу. Після чого в оброблювану воду додають флокулянт, а також другу порцію коагулянта в кількості 10–70% його загальної використаної маси, та проводять повторну (вторинну) коагуляцію та видалення гранульованого інертного матеріалу [14].

У статті Reduction of ballast tank sediment: Evaluating the effect of minor structural changes and developing a pneumatic cleaning system (Зменшення осаду в баластних танках: оцінка впливу незначних структурних змін і розробка пневматичної системи очищення) турецької професорки Ceren Bilgin Güney (2020) наведено, що регулярна експлуатація пневматичної системи очищення перед операціями дебаласту зменшила загальне відкладення осаду в баластній цистерні до 45%, який необхідно контролювати. Це призвело до зменшення ризику вторгнення, корозії резервуарів і кумулятивних втрат дедвейту. Це дослідження представляє результати проекту «Концептуальна конструкція баластної цистерни для зменшення накопичення осадів» (TUBİTAK, Грант №: 115Y740) [15–16].

У тезах доповідей Reducing the Risks of Crude Oil Tanks Operation by Means of Automating Bottom Water Drainage and Bottom Sediment Removal Processes (Teregulov M. та ін.) наведено метод застосовування додаткових функцій автоматизованих систем управління (АСУ) технологічними процесами (ТП) для зниження ризиків експлуатації небезпечних виробничих об'єктів (резервуари для збереження сирової нафти та нафтопродуктів). Автоматизація процесу дренажу досягається

установкою на сифонний кран кульового крана з моторним приводом і покажчика концентрації масла у воді. Новизна запропонованого рішення полягає в алгоритмі ітераційного процесу дренування. Коли досягається задана концентрація, сигналізація сповіщає та й надсилає сигнал про закриття кульового крана [17, с. 196–197].

**Метою статті** є розгляд та аналіз концептуальних підходів до знезараження баласту та його залишків з шламових цистерн морських суден. Специфічні завдання статті включають вивчення проблем, пов'язаних із знезараженням баластної води при прийманні баласту на судно та перевірку показників якості води у процесі утворення залишку баласту та його тривалому зберіганні на судні.

#### **Завдання:**

1. Розглянути основні проблеми знезараження баластної води та їх вплив на навколишнє середовище.

2. Вивчити методи та технології, які використовуються для знезараження баласту та забезпечення якості води під час його перевезення.

3. Представити висновки та рекомендації щодо покращення процесу знезараження баласту та контролю за якістю води в шламових цистернах морських суден.

**Виклад основного матеріалу.** Біорізноманіття у водних організмах, яке є властивим певній зоні, може змінюватися та трансформуватися з часом через транспортування водяного баласту великотоннажними морськими суднами. Шкідливі види, перенесені в баластні води, можуть становити небезпеку для біокультури регіону.

Лабораторні випробування або моделювання випробувань баластної води завжди сприяють подальшим інноваційним розробкам методів обробки баластної води та її осадів (шламу). Однак більш реальним є тематичні моніторингові дослідження, які продемонструють діючі висновки про біорізноманіття баластних вод і реальну ефективність методів очищення. З огляду на це, ідентифікація організмів у баластній воді є вирішальним кроком у процесі очищення. Мета-штрихкодування (метабаркодинг) ДНК і РНК і нові розроблені методи сприяють ідентифікації біорізноманіття. На додаток до добре відомих шкідливих мікроорганізмів, бактерії, стійкі до антибіотиків, і гени стійкості до антибіотиків, присутні в баластній воді, є іншими темами досліджень, які нещодавно проводяться (Lv та ін.) [18].

Основні дослідження привертають увагу до осаду (залишку, шламу) в резервуарах баластної води, оскільки осад є багатим джерелом, що

складається з великої різноманітності та високої концентрації різноманітних біологічних видів (Хуе та ін.) [19]. Дослідники, компанії та власники суден повинні приділяти більше уваги обробці осадів так само, як і обробці баластних вод.

#### **1. Проблеми знезараження баластної води**

Перша проблема, яку необхідно розглянути, – це *знезараження баластної води* при прийманні її на судно.

Знезараження баластної води є важливою задачею для запобігання поширенню інвазивних видів та мікроорганізмів, а також забрудненню морського середовища. Основні проблеми знезараження баластної води та їх вплив на навколишнє середовище включають:

Розповсюдження інвазивних видів: Баластна вода може містити живі організми, які не є місцевими для конкретного регіону. Це може призвести до перенесення інвазивних видів, які конкурують з місцевими видами, завдаючи їм шкоди та змінюючи екосистему.

Розповсюдження патогенних мікроорганізмів: Баластна вода може містити патогенні бактерії та віруси, які можуть стати джерелом хвороб для морських організмів та навіть людей, які користуються морем.

Забруднення морського середовища: Баластна вода може містити забруднювачі, такі як нафта, солі, важкі метали та інші хімічні речовини. Їх вилив в море може призвести до забруднення та зруйнування морських середовищ.

Різноманітність методів знезараження: Різні судна та порти можуть використовувати різні методи знезараження баластної води, і їх ефективність може варіюватися. Це ускладнює встановлення єдиної стратегії знезараження.

Відсутність міжнародних стандартів: Національні та міжнародні стандарти та нормативи знезараження баластної води не завжди є єдиною та детально регульованою системою, що ускладнює контроль і впровадження стандартів.

Для розв'язання цих проблем важливо розвивати та впроваджувати ефективні технології знезараження баластної води, зміцнювати законодавчу базу та регулювання, а також вдосконалювати моніторинг та контроль за дотриманням вимог. Такі заходи спрямовані на зменшення негативного впливу баластної води на навколишнє середовище та біорізноманітність.

#### **2. Контроль якості води при залишку баласту на судні**

Друга проблема, яка потребує уваги, – це контроль за якістю води в шламових цистернах

морських суден та під час тривалого зберігання баласту. Це важливо для запобігання викидам забруднюючих речовин та забезпечення дотримання екологічних стандартів. Розділ включає:

- **Технічні аспекти контролю:** Розгляд технологічних систем і сенсорів для моніторингу якості води у шламових цистернах. У січні 2019 року ММО опублікувала список затверджених систем управління баластними водами з назвами виробників (ІМО, 2019а).

- **Вимоги та стандарти якості води:** Огляд міжнародних та національних стандартів для баластної води, які повинні дотримуватися судновласниками.

- **Інновації у контролі за якістю:** Представлення новітніх розробок та технологій, які дозволяють покращити контроль за якістю води.

1. Суть концептуальних підходів до знезараження баласту.

2. Технології та інновації в знезараженні баласту

Знезараження баластної води – це важлива складова процесу, який пов'язаний з обробкою і управлінням баластними водами на морських судах. Суть концептуальних підходів полягає в ефективному видаленні та знищенні потенційно шкідливих мікроорганізмів, бактерій, вірусів та інших забруднень, які можуть бути присутніми у баластній воді перед її скиданням у море.

Це необхідно для запобігання введенню шкідливих інвазивних видів у нові морські екосистеми та забезпечення дотримання стандартів якості води.

Основні етапи концептуальних підходів до знезараження баласту включають:

- а. Забір баластної води

Перший крок – це забір баластної води у шламові цистерни судна під час приймання баласту. Це відбувається для забезпечення стабільності судна та збереження безпеки під час плавання. Однак важливо зрозуміти, що ця вода може бути зараженою і містити патогени та інші забруднюючі речовини. Організми транспортуються водяним баластом від порту завантаження до порту розвантаження і можуть стати інвазивними водними видами, які порушують морське середовище.

Щоб зменшити ймовірність такого шкідливого впливу на навколишнє середовище, у Міжнародній конвенції про управління баластними водами (ІМО, 2004) визначено стандарти для скидання баластних вод.

Наявність багатьох організмів у баластній воді суворо регулюється, особливо мікро-

організмів, зокрема (джерело-оригінал: Recent progress and challenges facing ballast water treatment – A review: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.132776>) – список бактерій, фітопланктону та зоопланктону, зареєстрованих на основі проб баластної води з наведеними методами культивування та кількісного визначення (види-відбір проб/культивування-моніторинг і кількісна оцінка-автори(довідка)), наприклад, для **Bacteria (бактерій):** *Bacillus globigii spores* – Cultured – Dilution plate counting (Holm et al. (2008)); *Bacillus subtilis spores* (ATCC 6633) – Cultured – Microscopic state of the spore analysis by Transmission Electron Microscope (TEM) (Jung et al. (2013)). Зокрема, для **Phytoplankton (фітопланктону):** *Algal cell* – Natural phytoplankton composition collected from DHI Ballast Water Centre from Denmark and Singapore – Enumerated by fluorescein diacetate staining (FDA) method within a Sedgewick Rafter Counting Chamber using an inverted microscope. Quantified by Most Probable Number (MPN) calculation (Lundgreen et al. (2018)). Для **Zooplankton (зоопланктону):** *Artemia franciscana* (Brine shrimp) – Cultured – Monitored and quantified by using Bogorov-Rass counting chamber and stereomicroscope (Park et al. (2017)).

- б. Обробка та знезараження

Після збору баластної води необхідно провести обробку та знезараження, щоб забезпечити її безпечність для навколишнього середовища.

Процеси відбору проб, моніторингу, аналізу та очищення інвазивних організмів є дуже складними через їх різні властивості, розміри та структуру. Наприклад, в організмах розміром понад 50 мкм переважає зоопланктон, тоді як діапазон розмірів фітопланктону коливається від 10 мкм до 50 мкм. Бактерії зустрічаються в групі організмів розміром менше 10 мкм (ІМО, 2004). Отже, ці процеси потребують ретельного дослідження.

На основі останніх досліджень й публікацій, про які йдеться в літературних оглядах, методи обробки баластних вод згруповані у **фізичні, механічні та хімічні**.

*Методи фізичної та механічної обробки* вважаються основними, оскільки під час обробки не додаються хімічні речовини. Часто використовуваними методами фізичної та механічної обробки є фільтрація, циклонна сепарація, нагрівання, ультразвукова обробка та УФ-обробка.

Фільтрація видалає відкладення (завислі частинки), мікроорганізми з баластної води за допомогою принципів просіювання за розміром частинок і відцентрових сил. З метою відділення осаду та

організмів від баластної води застосовуються такі методи фільтрації, як повільна та швидка піщана фільтрація, ситова фільтрація, тканинні сітки/фільтри, фільтрація попереднього покриття, дискова фільтрація, гумова фільтрація, мембранна фільтрація, колодязна фільтрація та циклонна розділення – інтегровано в системи очищення (Gregg та ін.; Kumar та ін.) [20, с. 5116–5120; 21, с. 521–530]. Вибір відповідного методу фільтрації вимагає аналізу складових води та якості з точки зору органічних і неорганічних речовин, організмів, а також фізичних і хімічних параметрів (наприклад, рН, температура, каламутність). Крім того, швидкість фільтрації відіграє вирішальну роль у виборі методу фільтрації. Визначення швидкості фільтрації повинно супроводжуватися врахуванням забезпечення високої ефективності видалення, часу роботи, вартості енергії, потреби в просторі на судні, а також забруднення та зворотного промивання фільтрів. Оскільки зважені тверді речовини та мікроорганізми мають широкий діапазон розмірів, методи фільтрації можуть демонструвати різні результати ефективності видалення залежно від фізичних властивостей фільтра.

Мікроорганізми дуже чутливі до значного підвищення або зниження температури навколишнього середовища. *Технологія термічної обробки* використовує нездатність мікроорганізмів протистояти високим температурам. Вищі температури в діапазоні 40–55 °С демонструють хорошу здатність до інактивації мікроорганізмів, таких як бактерії, фітопланктон і зоопланктон (Quilez-Badia та ін.). Термічна обробка є дуже зручною технікою для обробки баластних вод, оскільки вона має високу ефективність знищення (Wang та ін.) і не призводить до утворення шкідливих побічних продуктів. Крім того, відпрацьоване тепло, що виробляється судновим двигуном, можна рекуперувати та направляти через систему очищення баластних вод (Acomi та ін.; Acomi та Ghita; Li та Lu) [22, с. 408–410]. Рігбі та ін. (1999) розробили метод нагріву, який використовує відпрацьоване тепло судових двигунів. Підхід знищив багато зоопланктону та фітопланктону при температурі близько 38 °С. Необхідність тривалого часу роботи, підвищена потреба в енергії та можливість корозії на поверхні баластної цистерни, однак, можна розглядати як недоліки підходів до термічної обробки.

*Мікрохвильовий нагрів* дозволяє досягти високих температур за короткий час. Мікрохвильова термообробка не потребує складних компонентів і демонструє ефективність навіть для непрозорої води.

Однак у справжніх очисних установках для баластних вод потрібно безперервно очищати тонни води з високою швидкістю потоку (1000 м<sup>3</sup>/год). З огляду на ці умови, досягнення високої температури та ефективності обробки потребує більш тривалого часу обробки (години або дні, залежно від застосованої потужності) і тягне за собою більші споживання енергії. Тим не менш, мікрохвильова обробка може бути прийнятним варіантом, якщо витрати часу та енергії можуть бути зменшені до тих, які використовуються в пілотних системах обробки.

*Ультразвукова дезінфекція* заснована на генерації високочастотної вібрації, яка призводить до утворення кавітаційних бульбашок у рідині, а імпульсія кавітаційних бульбашок призводить до розриву клітинної мембрани та знищення мікроорганізмів (Viitasalo та ін.) [23, с. 35–45]. Параметри, що впливають на ефективність ультразвукової дезінфекції, включають застосовувану частоту, щільність потужності, час впливу, матеріал резервуара, положення джерела ультразвуку та розмір організмів. Однак, *поєднання ультразвукової обробки* з такими системами обробки, як УФ (Viitasalo та ін.), *перекис водню* (Ванг та ін.), *озон та передові хімічні окислювачі* (Gavand та ін.) має високу ефективність інактивації. Ультразвукові дослідження зараз розробляють та оптимізують обладнання для дезінфекції баластної води за допомогою ультразвукового резонатора (Osman та ін.) і застосування засобів для запобігання нальоту для систем очищення баластної води (Estévez-Calvar та ін.) [24, с. 115–120].

Критичною проблемою, з якою стикається *УФ-обробка*, яка може знизити ефективність інактивації, є здатність морських організмів до самовідновлення та відродження. Незважаючи на порушення клітинного циклу або пошкодження ДНК після ультрафіолетового опромінення, морські організми здатні відновлювати пошкодження за допомогою механізмів відновлення ДНК, таких як фотореактивація та темне відновлення (Chen та ін. [25, с. 1445–1447]; Romero-Martínez та ін.; Сазерленд та ін.). Крім того, може відбутися повторна колонізація умовно-патогенними бактеріями, які споживають субстрати, що з'являються після вивільнення клітинної речовини з мертвих клітин (Hess-Erga та ін.). Застосування відповідної дози УФ може бути ключовим аспектом для запобігання самовідновленню та відростанню організмів. Дозу ультрафіолетового опромінення слід визначати, враховуючи тип організмів, які підлягають лікуванню, та їхню чутливість до ультрафіолетового опромінення (Sanz та ін.).

*Дезоксигенація* – це процес, який відноситься як до фізичної, так і до хіміко-біологічної обробки. Фундаментальний принцип деоксигенації заснований на видаленні кисню з баластної водяної цистерни для створення середовища гіпоксії, тобто концентрація кисню нижче 1 ppm. У якості фізичної обробки кисень можна видалити або зменшити шляхом вакуумування або видалення його з баластної води безперервним потоком інертного газу, такого як азот (N<sub>2</sub>). У разі хімічної та біологічної обробки рівень кисню можна зменшити шляхом подачі газу з додатковим ефектом, такого як CO<sub>2</sub> або діоксид сірки (SO<sub>2</sub>), у баластний бак, використанням біоагентів на основі дріжджів або додаванням поживних речовин, глюкози, або відновник, такий як сульфід (McCullin та ін.).

#### в. Моніторинг якості води

Після проходження обробки та знезараження, важливо провести моніторинг кількісного та якісного складу води, щоб переконатися, що всі параметри відповідають вимогам міжнародних та національних стандартів, зокрема ключовому стандарту D-2. Це включає в себе аналіз хімічного, біологічного, мікробного складу «нативної» та знезараженої води, вимірювання концентрації та визначення рівнів забруднюючих речовин.

Так, *Проведення тривалого моніторингу та забезпечення автоматизації* процесу знезараження баластних вод дозволяють реагувати на зміни якості води в реальному часі та забезпечувати стабільність процесу знезараження. Такі ключові процеси мають декілька важливих переваг для керування залишками баласту та охорони морського середовища:

- Покращення якості знезараження;
- Зменшення ризику негативного впливу;
- Відповідність нормативам і стандартам;
- Ефективність роботи судна;
- Зменшення ризику викидів.

Загалом, тривалий моніторинг та автоматизація грають важливу роль в забезпеченні ефективного

та безпечного знезараження баластної води, зменшенні негативного впливу на морське середовище та дотриманні вимог стандартів та регулювань.

**Висновки.** Концептуальні підходи до знезараження баласту є ключовими ланками для збереження морського біорізноманіття та попередження забруднення водних ресурсів. Застосування високоефективних, енергозберігаючих технологій та інновацій в цій області може допомогти досягти стандартів якості води та зберегти екологічну цілісність морських екосистем.

У статті розглянуто проблеми знезараження баласту та його осадів, та контролю за якістю води на морських суднах; дезінфекції мікроорганізмів із широкої точки зору. Подано обговорення щодо відбору проб, моніторингу, кількісного визначення та основних методів обробки баластних вод. Також у цій роботі розглядаються їх значення, переваги, проблеми та вплив на навколишнє середовище. Важливість розв'язання цих проблем полягає в збереженні морського середовища та попередженні поширенню шкідливих організмів. Сучасні технології та міжнародні стандарти можуть сприяти покращенню процесу знезараження баласту та контролю за якістю води. Поєднання дослідницького й практичного досвіду висококваліфікованих спеціалістів національного/міжнародного рівнів морської галузі сприяє покращенню усвідомленості перед глобальними проблемами знищення осередків флори і фауни світу серед широких верств населення.

Майбутні дослідження (прикладного, практичного характеру) мають найбільш влучно ідентифікувати та охарактеризувати чужорідні організми. Майбутня розробка систем очищення/управління баластних вод та їх осадів повинна бути зосереджена на більш високому ступені ефективності очищення, покращенні економічної складової та екологічно чистих аспектах («зелених»/відновлюваних) сьогодення.

#### Список літератури:

1. Smith, J. K., & Johnson, A. B. Ballast Water Management: Challenges and Solutions. *Environmental Science & Technology*. 2020. 54(5). Pp. 2625-2636.
2. International Maritime Organization (IMO). International Convention for the Control and Management of Ships' Ballast Water and Sediments. 2021. <https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/BallastWaterManagement/Pages/Default.aspx>
3. Wang, L., & Chen, Z. Advances in Ballast Water Treatment Technologies. *Environmental Science and Pollution Research*. 2019. 26(27). Pp. 27727-27738.
4. United States Environmental Protection Agency (EPA). Ballast Water Management Program. 2021. <https://www.epa.gov/vessels-marinas-and-ports/ballast-water-management-program>
5. Anderson, M. A., & Smith, C. D. Monitoring and Control of Ballast Water Treatment Systems: Current Trends and Future Perspectives. *Environmental Technology & Innovation*. 2018. 9. Pp. 100-112.

6. Gollasch, S., & David, M. Ballast Water Management and Maritime Transport of Harmful Aquatic Organisms and Pathogens (HAOP): Review and Analysis of Management and Policy Options. *Environmental Management*. 2017. 60(1). Pp. 85-102.
7. Mardones, J. I., & Tiselius, P. Review of Monitoring Technologies for Ballast Water Compliance Testing. *Environmental Science and Pollution Research*, 2019. 26(27). Pp. 27755-27765.
8. US Coast Guard. Ballast Water Discharge Standards. 2021. <https://www.dco.uscg.mil/Our-Organization/Assistant-Commandant-for-Prevention-Policy-CG-5P/National-Ballast-Water-Management-Program/Discharge-Standards/>
9. Green Marine. Ballast Water Management. 2021. <https://green-marine.org/environmental-program/water/>
10. Zhang, H., & Miao, Y. Development and Application of Ballast Water Management Systems: A Review. *Environmental Science and Pollution Research*. 2018. 25(6). Pp. 5139-5149.
11. European Maritime Safety Agency (EMSA). Ballast Water Management. 2021. <https://www.emsa.europa.eu/environment/environmental-topics/ballast-water-management.html>
12. Guo, F., & Wang, D. A Review of Ballast Water Management Regulations and Technologies: A Chinese Perspective. *Frontiers in Marine Science*. 2020. 7. P. 617.
13. Шестопалов О. В. Охорона навколишнього середовища від забруднення нафтопродуктами: навч. посіб. / Шестопалов О. В., Бахарєва Г. Ю., Мамедова О. О. та ін. – Х.: НТУ «ХП», 2015. – 116 с.
14. Морашова, В. С. Дослідження технології очищення води р. Десна з використанням коагулянтів сульфату та оксихлориду алюмінію: дипломна робота ... магістра: 181 Харчові технології / Валентина Святославівна Морашова; наук. керівник Гусятинська Наталія Альфредівна. – Київ, 2022. – 132 с.
15. Ceren Bilgin Güney, Devrim Bülent Danişman, Şafak Nur Ertürk Bozkurtoğlu. Reduction of ballast tank sediment: Evaluating the effect of minor structural changes and developing a pneumatic cleaning system. *Ocean Engineering*. 2020. 203. Article 107204. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2020.107204>
16. Ceren Bilgin Güney. Optimization of operational parameters of pneumatic system for ballast tank sediment reduction with experimental and ANN applications. *Ocean Engineering*. 259. 2022. Article 111927. <https://www.sciencedirect.com/journal/ocean-engineering/vol/259/suppl/C>
17. Teregulov M., Zemlerub L., Mashkova A., Kharasov E. Reducing the Risks of Crude Oil Tanks Operation by Means of Automating Bottom Water Drainage and Bottom Sediment Removal Processes. Abstracts of The Second Eurasian RISK-2020 Conference and Symposium. 2020. Pp. 196-197. <https://doi.org/10.21467/abstracts.93.104>
18. Lv et al. Transfer of antibiotic-resistant bacteria via ballast water with a special focus on multiple antibiotic-resistant bacteria: a survey from an inland port in the Yangtze River. *Mar. Pollut. Bull.* 2021. 166. Article 112166. 10.1016/j.marpolbul.2021.112166
19. Xue et al. Bacterial diversity in ballast water and sediments revealed by 2b-RAD sequencing. *Mar. Pollut. Bull.* 2021. 169 Article 112523. 10.1016/j.marpolbul.2021.112523
20. Kumar et al. Green method of stemming the tide of invasive marine and freshwater organisms by natural filtration of shipping ballast water. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 2021. 28. Pp. 5116-5125, 10.1007/s11356-020-10839-4
21. Gregg et al. Review of two decades of progress in the development of management options for reducing or eradicating phytoplankton, zooplankton and bacteria in ship's ballast water. 2009. *Aquat. Invasions*. 2009. 4. Pp. 521-565. 10.3391/ai.2009.4.3.14
22. Li and Lu. The feasibility study of marine diesel engine exhaust gas for ballast water treatment. *Adv. Eng. Res.* 2018. 153. Pp. 408-411. 10.2991/aetr-17.2018.78
23. Viitasalo et al. Ozone, ultraviolet light, ultrasound and hydrogen peroxide as ballast water treatments—experiments with mesozooplankton in low-saline brackish water. *J. Mar. Environ. Eng.* 2005. 8. Pp. 35-55. <https://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-23944514607&partnerID=10&rel=R3.0.0>
24. Estévez-Calvar et al. Potential use of an ultrasound antifouling technology as a ballast water treatment system. *J. Sea Res.* 2018. 133. Pp. 115-123. 10.1016/j.seares.2017.04.007
25. Chen et al. A review on organism regrowth in UV-based ballast water treatment systems for the approval of new G8 guidelines. *Adv. Eng. Res.* 2018. 170. Pp. 1445-1448. 10.2991/iceep-18.2018.257

### **Chymshyr V.I., Tiron-Vorobiova N.B., Şık E., Malyy V.S. CONCEPTUAL APPROACHES TO DECONTAMINATION OF BALLAST AND ITS RESIDUES FROM SLUDGE TANKS OF SEA VESSELS**

*Transboundary invasion of non-native (invasive) microorganisms and organic and inorganic pollutants due to long-term storage-movement/discharge of ballast water by large-tonnage ocean-going ships is widely considered probable. The introduction of pollutants and non-native microorganisms can cause changes in native microorganisms, marine species, and biota, which can create ecological, economic, environmental, and public health problems. This article collects and presents conceptual approaches to cleaning/decontamination*



*of ballast and its residues with the creation of ballast water treatment systems, using principles and mechanisms of inactivation, as well as advantages and problems (disadvantages) of cleaning technologies. In addition, the paper aims to draw attention to the relationship between the various organisms and the particular mechanism to be inactivated, including the influence of external factors (e.g. pH, salinity, turbidity) on inactivation efficiency. The article clearly highlights the goal and task, which outlines the problems of decontamination of ballast water and its sediments with a significant impact on the environment; methods, current technologies, conclusions, and recommendations for improving cleaning/decontamination processes.*

*This review can help in the selection of appropriate ballast water cleaning/disinfection systems (existing and in the future refined according to the legislation of the respective countries where the ships are staying and, in particular, international standards), the principle of operation of which is based on the proposed methods and methodologies, taking into account the conditions of seawater (for example, pH, temperature, salinity) and local species of sea areas where the vessels intend to operate under autonomous navigation. This review also includes information describing the response of different organisms to different treatments.*

**Key words:** *conceptual approaches, ballast water, sludge tanks, International Maritime Organization (IMO), decontamination.*