

their collision. The proposed solutions contribute to the creation of a method of controlling the movement of vessels during the occurrence of various situations of their dangerous approaching.

The obtained results indicate the possibility of using the developed analytical expressions in modern electronic automatic systems operating on a real-time basis for the purpose of determining and solving divergence tasks, which are essential support for navigation officers during situations of the vessel dangerous divergences.

Key words: *control method, maritime transport, navigation situation, safety of navigation, ship collisions prevention, ship movement management, ship movement.*

УДК 656.6

doi.org/10.33298/2226-8553.2023.2.38.21

Булгаков М.П., Бурлаченко Д.А., Никитюк П.В., Щенявський Г.С., Кучеренко В.П.

ІННОВАЦІЙНІ ПІДХОДИ ДО УПРАВЛІННЯ БАЛАСТНИМИ ВОДАМИ НА СУДНАХ ШЛЯХОМ ДИСТАНЦІЙНОГО МОНІТОРИНГУ ТА КОНТРОЛЮ ЗА ЇХ ЯКІСТЮ

Зростання обсягів морської діяльності та транспортування вантажів призводить до значного викиду баластних вод у природне середовище. Це викликає серйозні екологічні проблеми, оскільки тисячі видів водних організмів переносяться через баластні води, поруч з іншими формами забруднення. В даній статті розглядається важливість контролю та управління баластними водами, оцінюючи різні методи моніторингу. Зокрема, розглядаються можливості використання технологій дистанційного моніторингу, які дозволяють уникнути затримок, пов'язаних із зразками води при вході суден у порт. У статті проаналізовані різні підходи до моніторингу, розглянуті схеми встановлення додаткових вузлів, роботи та обробки отриманої інформації. Впровадження передових технологій дистанційного моніторингу баластних вод сприятиме економії часу для суден, оминаючи необхідність збору та аналізу проб баластної води до початку вантажних операцій в порту що призведе до оптимізації часу, який раніше витрачався на ці процеси, сприяючи ефективності та швидкості обробки суден в порту.

Ключові слова: система обробки баластної води, моніторинг, датчик, біологічні показники, BW-монітор

Вступ. Сьогодні морська діяльність активно зростає, обсяг вантажів, що переміщуються морем, становить близько 90% від загального обсягу транспортних вантажів, що супроводжується збільшенням обсягу баластних вод, які скидаються в навколишнє середовище [1]. Тисячі видів водних організмів транспортуються з одного місця в інше по морю та океану через баластні води. При інших видах забруднення, таких як розливи нафти, можна вжити заходів для поліпшення і відновлення навколишнього середовища, але вплив чужорідних видів практично неможливо відновити [2]. Щороку у світі збитки, спричинені чужорідними організмами під час циркуляції суднових баластних вод, становлять до 10 мільярдів доларів США на рік, тому управління та контроль за чужорідними організмами через експлуатацію баласту є дуже важливим [4].

Моніторинг та забезпечення дотримання вимог повинні бути послідовними, суворими та ефективними [2]; їх можна розділити на дві основні частини: відбір проб баластних вод та

аналіз проб, кожна з яких пов'язана з певними труднощами. Низка інструментів і технологій розробляється як для відбору проб, так і для їх аналізу, а нещодавні дослідження показали багатообіцяючі результати щодо пристроїв для відбору проб. Для аналізу зразків можуть застосовуватися два типи методів: "індикативний" або "детальний" аналіз. "Детальний" аналіз, такий як мікроскопія, забезпечує пряме і точне вимірювання кількості життєздатних організмів у зразку, що, як правило, вимагає великого наукового досвіду, дорогого обладнання та часових рамок, як правило, занадто довгих для сценарію забезпечення дотримання вимог[3]. На противагу цьому, "індикативні" методи аналізу повинні бути швидкими і простими у використанні, зазвичай вони вимірюють біологічні, фізичні або хімічні параметри, які можуть бути пов'язані з кількістю життєздатних організмів у зразку, щоб вказати на потенційну невідповідність (грубе перевищення) Регламенту D-2 [3,6]. Сучасні тенденції в модернізації суден із фокусом на системи очищення баластних вод, перспективи технологічних інновацій у морській промисловості, аспекти управління баластними водами та заходи для збільшення екологічної безпеки морського транспорту розглянуто в [8-10].

Постановка проблеми. Міжнародна морська організація прийняла Міжнародну конвенцію з контролю суднових баластних вод і осадів та управління ними у 2004 році з метою мінімізації перенесення шкідливих водних організмів і патогенів у суднових баластних водах (ІМО, 2004). Правило D-2 обмежує концентрацію життєздатних організмів розміром ≥ 50 мкм у мінімальному вимірі при скиданні до < 10 життєздатних організмів на кубічний метр, а організмів розміром < 50 мкм і ≥ 10 мкм у мінімальному вимірі (далі - 10-50 мкм) - до < 10 на мілілітр (ІМО, 2004). Тепер, коли Міжнародна конвенція з управління баластними водами повністю ратифікована, існує нагальна потреба в тому, щоб судна планували встановлення систем очищення баластних вод, а регуляторні органи планували імплементацію Конвенції з управління баластними водами в своє національне законодавство і програми інспекцій державного портового контролю.

Мета статті. Мета даної статті полягає у проведенні аналізу роботи систем очищення баластних вод, виявленні основних показників, за якими можна контролювати ступінь очищення та впровадження заходів та рекомендацій щодо поліпшення моніторингу баластних вод.

Основна частина. Системи очищення баластних вод призначені для зменшення кількості живих організмів, що скидаються в баластні води. Таке зменшення кількості цих організмів допоможе знизити ризик створення життєздатних популяцій у нових водоймах. Щоб переконатися, що системи очищення працюють належним чином після встановлення на судні, можна збирати та аналізувати зразки оброблених баластних вод, а також відстежувати конкретні робочі параметри системи очищення, щоб опосередковано перевірити, чи досягає система очищення запланованих рівнів на постійній основі [5].

Вимірювання ефективності очищення баластних вод може включати різні методи, починаючи від відбору проб баластних вод для аналізу на наявність цільових організмів і закінчуючи моніторингом робочих параметрів технологій очищення, щоб переконатися, що вони не виходять за встановлені межі. Системи моніторингу можуть також включати функції, що забезпечують автоматизовану роботу і сигналізацію, а також звітність і реєстрацію даних для забезпечення безперервної роботи очисних систем відповідно до специфікацій виробника. Будемо вважати, що існують наступні категорії моніторингу:

- фізичні/хімічні показники ефективності очищення;
- біологічні показники перевищень;
- моніторинг баластних вод на наявність залишкових біоцидів та похідних біоцидів.

Моніторинг фізико-хімічних показників ефективності очищення. Фізичні/хімічні показники ефективності очищення можуть бути використані для перевірки того, що система очищення баластних вод працює відповідно до вимог виробника. Більшість систем очищення

баластних вод мають обладнання для контролю і самодіагностики, наприклад, датчики, які безперервно вимірюють параметри очищення для перевірки ефективності. Датчики, які зазвичай входять до складу найбільш поширених систем, включають витратоміри, датчики рН, датчики розчиненого кисню, окислювально-відновлюваного потенціалу (ОВП) і амперометричні (TRO) датчики, а також он-лайн аналізатори хлору. Всі ці лічильники і датчики мають широке застосування в галузі водопостачання та очищення стічних вод і доступні в готовому вигляді у багатьох великих постачальників обладнання. Інші системи очищення баластних вод забезпечуються вимірювальними приладами або наборами, такими як портативні монітори хлору і розчиненого озону, для перевірки адекватних рівнів хімічних реагентів, які підтримуються в баластних танках. Оператори суден можуть контролювати і записувати ці дані, а також здійснювати коригування, обслуговування або ремонт системи обробки баластних вод, щоб забезпечити належне функціонування обладнання. У табл. 2.1 наведено передбачуване контрольне обладнання та потенційні метрики моніторингу та звітності для фізичних/хімічних показників за технологією очищення.

Системи очищення баластних вод проектується і виготовляються з різними датчиками та іншим контрольним обладнанням для автоматичного моніторингу та регулювання умов експлуатації системи, щоб забезпечити належну роботу і попередити персонал судна про необхідність втручання, технічного обслуговування або ремонту. Датчики та інше контрольне обладнання, з'єднані з моніторинговим обладнанням для реєстрації робочих параметрів, також допомагають операторам суден визначати тенденції даних, забезпечуючи при цьому механізм для перевірки постійного дотримання вимог. Посібник з експлуатації та технічного обслуговування постачальника зазвичай визначає відповідні датчики та інше контрольне обладнання для системи очищення баластних вод, діапазон стабільних умов експлуатації системи, фактори, які можуть впливати на умови експлуатації, і будь-які коригування, необхідні для досягнення або підтримання стабільних умов експлуатації.

Таблиця 1. Контрольне обладнання та потенційні показники моніторингу

Тип технології	Вимірювання	Датчик контролю потенціалу	Обладнання або процедура	Можливі показники, що підлягають звітуванню
1	2	3	4	5
Алкіламіни	рН	рН-датчик	рН	показання рН
	Алкіламіни	Хімічний аналіз і моніторинг обробки	-Концентрація алкіламінів при впорскуванні -Дозування і використання алкіламінів	-Концентрація алкіламінів у зразках -Дозування і використання алкіламінів
Хлору-вання: електроліз або додавання хлору (наприклад, гіпохлорит або діоксид хлору діоксид)	Окислювально-відновлювальний потенціал (ОВП)	Датчик ОВП	ОВП при впорскуванні	Показання ОВП
	Загальний вміст залишкових окислювачів (TRO)	Показання амперометричного датчика	TRO при впорскуванні	Показання TRO

1	2	3	4	5
	Хлор	Онлайн N,N діетил-п фенілен діаміну (DPD) датчик, зразок аналіз та обробка моніторинг	-Концентрація хлору при впорскуванні дозування та використання хлору (якщо додавання хлору)	-Показання хлору з обох датчиків, як з датчика, так і зі зразка в режимі онлайн аналіз -дозування та використання хлору (якщо додавання хлору)
Нагрівання	Температура	Термістор	Температура обробки	Показання температури
Озон	ОВП	Датчик ОВП	ОВП при впорскуванні	Показання ОВП
Фільтрація	Чистота води	Оглядове скло, зразок води, датчик мутності	Прозорість фільтрованої води	Показання чистоти
UV та UV+TiO	Споживання потужності, напруги і току	Діагностика живлення системи	Споживання потужності УФ-модуля, напруги і струму	Споживання потужності УФ-модуля, напруги і струму

Очікується, що моніторинг і реєстрація системи будуть безперервними під час скидання.

Якщо спрацьовує аварійна сигналізація або якщо датчики показують, що система очищення баластних вод не функціонує належним чином, дотримання обмежень на скид не може бути гарантоване. Щоб забезпечити якість стічних вод, що відповідає вимогам безпеки судна і екіпажу, судна не повинні скидати баластну воду під час тривоги або в аварійних ситуаціях і повинні відновити скидання тільки після усунення проблем з системою і відновлення стабільних умов експлуатації.

Планове технічне обслуговування системи очищення баластних вод і процедури усунення несправностей, як правило, визначені в інструкції з експлуатації та технічного обслуговування системи, що зберігається на борту судна. Всі роботи з технічного обслуговування, пов'язані з системою моніторингу баластних вод і блоком управління скиданням за борт, можуть бути записані, а інформація може зберігатися на борту судна для цілей інспекції. Крім того, навчання судового персоналу може включати ознайомлення з експлуатацією та обслуговуванням обладнання для контролю та моніторингу скидання баластних вод за борт. Системи очищення баластних вод можна перевіряти щомісяця для визначення короткострокових і довгострокових потреб у технічному обслуговуванні, як зазначено в посібнику з експлуатації та технічного обслуговування постачальника.

Моніторинг біологічних індикаторів перевищень. Біологічні індикатори ефективності очищення - це оцінки кількості живих організмів або біомаси у стічних баластних водах після очищення, незалежно від виду. Метою моніторингу біологічних показників є вимірювання кількості живих організмів або біомаси в невеликому об'ємі очищеної баластної води. Якщо в невеликому об'ємі баластної води спостерігається значна кількість живих організмів або біомаси, то система очищення баластної води, швидше за все, неефективна, і моніторинг великих об'ємів очищеної баластної води для підрахунку кількості конкретних організмів не має особливого значення. У табл 2.1 наведені можливі показники ефективності очищення для моніторингу відповідності біологічних показників, які можуть слугувати непрямими вимірами кількості живих організмів, що залишилися в баластній воді після очищення.

При відборі проб баластної води для підрахунку живих організмів слід дотримуватися обережності. Наприклад, для вимірювання організмів розміром від 10 до 50 мікрон на рівні 0,01 особини на мілілітр необхідні зразки об'ємом до 6 000 літрів (USEPA, 2010a). Через великі обсяги проб, необхідних для аналізу, і очікувані витрати при підрахунку великих організмів, самостійний моніторинг шляхом підрахунку великих класів живих організмів у баластній воді може бути дорогим, а знайти достатню кількість кваліфікованих науковців і лабораторій може бути складно.

Моніторинг баласту на наявність залишкових біоцидів. Деякі системи очищення баластних вод виробляють або використовують біоциди (наприклад, діоксид хлору) для зменшення кількості живих організмів, присутніх у резервуарі для баластних вод. Наприклад, Агентство з охорони навколишнього середовища Сполучених Штатів Америки (EPA) вимагає, щоб у будь-якій технології обробки баластних вод не використовувався біоцид, який є "пестицидом" у розумінні Федерального закону про інсектициди, фунгіциди та родентициди, якщо тільки цей біоцид не був зареєстрований для використання в обробці баластних вод відповідно до цього закону. Крім того, EPA вимагає, щоб судна, які використовують активні речовини, проводили додатковий моніторинг як умову отримання дозволу.

Щоб переконатися, що судна не скидають шкідливих кількостей активних речовин, для тих суден, які мають системи очищення баластних вод, що додають або генерують біоциди для очищення (наприклад, хлор, діоксид хлору, озон тощо), судно повинно проводити моніторинг скидання баластних вод на наявність залишкових біоцидів. Наприклад, якщо при обробці баластних вод як біоцид використовується хлор, судовласник/оператор судна може перевірити наявність залишкового хлору в баластних водах судна. Для перевірки концентрації залишкових біоцидів у баластних водах оператори суден можуть спочатку відібрати кілька проб протягом перших кількох місяців експлуатації системи (наприклад, 3-5 проб протягом 3 місяців), а потім продовжувати відбирати додаткові проби щороку (наприклад, 2-4 проби на рік), щоб переконатися, що рівень залишкових біоцидів не перевищує допустимі норми скидання.

Усі відбори проб і тестування на залишкові біоциди слід проводити з використанням достатньо чутливих методів щоб гарантувати отримання високоякісних даних. Датчики або інше випробувальне обладнання, яке безперервно контролює залишкові біоциди у баластних водах, що скидаються, повинні бути достатньо чутливими для вимірювання концентрацій біоцидів до і після будь-якого процесу нейтралізації для перевірки концентрацій у скиданнях і контролю дози нейтралізатора.

Впровадження системи моніторингу баластних вод. Моніторинг якості роботи системи очищення баластних вод (BWTS) зазвичай проводиться тільки в інститутах під час тестування будь-яких систем-кандидатів. Відбір проб є звичайним методом моніторингу, а новітні технології відбору проб скорочують час, необхідний для проведення якісного аналізу. Зразки на судах, що прибувають, відбираються якраз під час досліджень, щоб з'ясувати потенційну небезпеку для води, що досліджуються.

Досвід відбору проб якості вантажу на різних продуктових танкерах і танкерах-хімовозах свідчить про проблеми, пов'язані з якістю рідин. Існує багато судових процесів, які доводять провину власників судноплавних компаній або постачальників вантажу в портах навантаження, коли якість наливного вантажу була визнана неналежною.

Час, необхідний для якісного аналізу наливних вантажів у лабораторії, становить від 3 до 7 годин, іноді навіть більше.

Що стосується моніторингу якості BWTS, очікується, що час, необхідний для якісного аналізу зразків баластної води в будь-якій лабораторії, буде однаковим. Все це - втрати часу, яких можна було б уникнути завдяки використанню нової технології.

Всі постачальники і продавці нових моделей BWTS (21 винахідник моделей BWTS має підтвердження сертифікату схвалення ІМО до серпня 2011 року) заявляють, що їхні моделі стійкі до морської солоної води і до умов сильного хвилювання на морі. Але немає жодних доказів цієї стійкості протягом 10 або 20 років. Інший досвід показує, що всі судові трубопроводи і системи ходових механізмів пошкоджуються під впливом моря і умов експлуатації судна протягом багатьох років. Це також є причиною необхідності моніторингу, окрім інших причин, пов'язаних з якістю обробки.

Система очищення баластних вод, як правило, включає блок для видалення великих (органічних) частинок і блок дезінфекції залишків. Найчастіше це фільтр з розміром комірок 20-50 мк, а два основних типи дезінфекційних установок використовують ультрафіолетове опромінення або виробляють реактивний хлор. Монітор BW складається з двох датчиків: один для моніторингу частинок і, отже, ефективності роботи фільтра, а другий - для вимірювання флуоресценції хлорофілу, тобто індикатора життєздатних водоростей і ефективності процесу дезінфекції. Монітор BW працює без додавання хімічних речовин або маніпуляцій з відібраними зразками в баластній лінії (in-line) і надає оператору або майстру миттєвий (своєчасний) аналіз і результати. Він може вимірювати і повідомляти про продуктивність попередньої обробки і ефективність дезінфекційної установки вчасно для повторного запуску, ремонту або повторної обробки. У разі несправності він миттєво подає сигнал тривоги і може миттєво попередити оператора. Датчики BW-монітора розташовані в двох положеннях: до і після блоків попередньої обробки та дезінфекції.

Монітор BW-монітор відображає і зберігає дані на борту, дозволяючи капітану судна або судовласнику використовувати їх для оцінки ефективності системи управління баластними водами (СУБВ). Коли даних стане багато, це дасть змогу розвивати потенціал прогнозного технічного обслуговування, що також представляє великий інтерес для виробника BWMS. Очевидно, що державний портовий контроль, який повинен перевіряти відповідність системи управління водними ресурсами, може використовувати ці дані, щоб переконатися, що не відбувається грубого перевищення критеріїв життєздатності. Хмарний центр обробки даних також пропонується як опція, що забезпечує як механізм резервного копіювання, так і комбінований аналіз продуктивності СУБ з плином часу, аналіз продуктивності декількох ідентичних систем або різних систем за схожих умов.

Система BW-монітора складається з декількох індивідуально виготовлених частин, які призначені для моніторингу, аналізу та відображення стану монітора. Схема на рис. 1 показує розташування наступних компонентів системи:

- Data-HUB - концентратор НМІ і місце керування
- два датчики BW-монітора
- інтерфейс вводу-виводу - інтерфейс вводу-виводу, який збирає дані з різних датчиків, встановлених на борту (наприклад, температура, ТРО, солоність, геопозиція, робота BWMS).

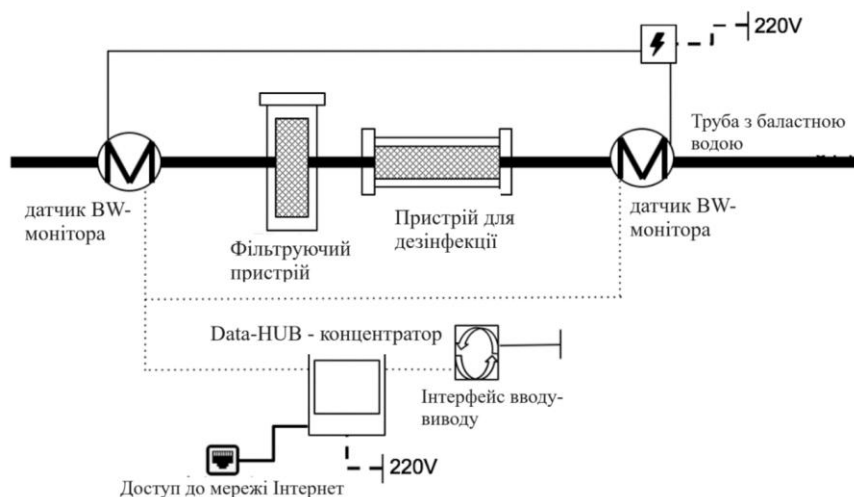


Рисунок. 1 – Схема встановлення системи BW-моніторингу

Модель моніторингу. Важливо з'єднати блок датчиків з хорошим передавальним блоком, який пересилає виявлені дані в наземний віддалений офіс. Люди в цьому офісі можуть дистанційно запускати систему на судні і зупиняти роботу після завершення виявлення. Капітан судна або старший помічник капітана спостерігатиме за роботою системи на моніторі у вантажній рубці або на навігаційному містку, якщо там є відповідна індикація. Всі згадані дії можуть бути легко і просто попередньо розраховані звичайним способом, який також є комп'ютеризованим.

Можливість такого супутникового зв'язку між судном і віддаленим офісом вже існує, і вона використовується в усьому світі для дистанційного обслуговування (рис. 2).

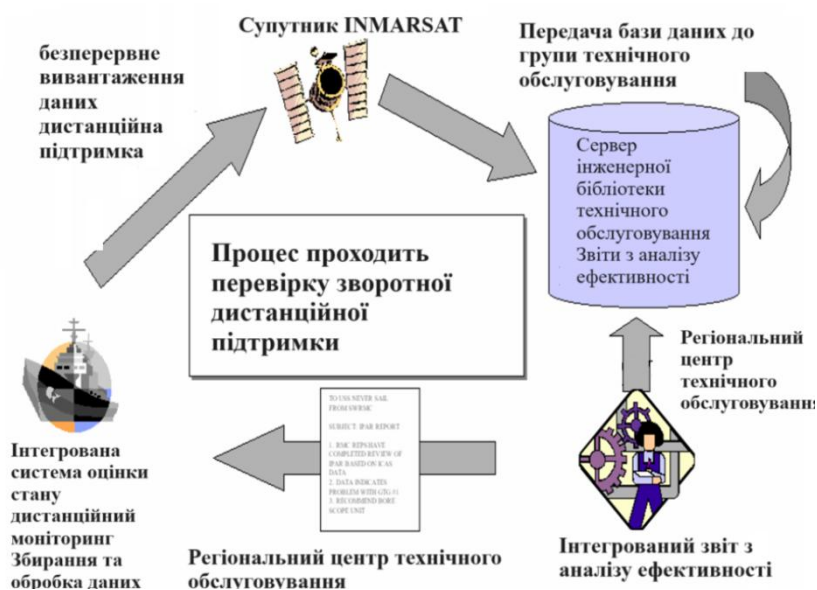


Рисунок.2 – Схема пропонуваного дистанційного моніторингу

Кваліфікована сервісна команда підключається до судових систем за допомогою супутникового зв'язку та аналізує несправності. Акредитований технічний спеціаліст може дистанційно підключитися до судна для перевірки, аналізу, усунення несправностей та вжиття подальших заходів до наступного візиту в порт.

Висновки. Проведений аналіз показує на актуальність і необхідність контролю за різноманітними аспектами баластних вод, охоплюючи як інвазійні види, так і фізико-хімічні показники ефективності очищення та наявність залишкових біоцидів. Важливо враховувати широкий спектр параметрів для повноцінної оцінки якості баластних вод.

Дистанційний моніторинг баластних вод, доступний за допомогою існуючих технічних засобів, визначається як ефективний і безперервний метод. Це забезпечить суднам можливість підтверджувати чистоту баластної води при входженні у порти, уникнувши витрат часу на відбір проб і проведення аналізів. Цей підхід сприятиме ефективній і стандартизованій процедурі контролю якості баластних вод та сприятиме підтримці екологічних стандартів у морській індустрії.

ЛІТЕРАТУРА

1. Hurley, W., Schilling, S.S, and Mackey, T. (2001). Contract Designs for Ballast Water Treatment Systems on Container Ship R.J. Pfeiffer and Tanker Polar Endeavor. Marine Environmental Engineering Technology Symposium (MEETS). Arlington, VA. June 1, 2001.
2. International Maritime Organization (IMO). (2008). Resolution Marine Environmental Protection Committee (MEPC) 174(58), Guidelines for Approval of Ballast Water Management Systems (G8).
3. Global Maritime Transport and Ballast Water Management Issues and Solution, Dr. Matej David Stephan Gollasch, , Springer, Hamburg, Germany, 2023, VII, 335 p.
4. Monitoring of Ballast Water Quality, Ministry of Environment and Food of Denmark Environmental Protection Agency, report, 2019, 38 p
5. Contract Designs for Ballast Water Treatment Systems on Container Ship R.J. Pfeiffer and Tanker Polar Endeavor. Marine Environmental Engineering Technology Symposium (MEETS). Arlington, VA. June 1, 2001.
6. Albert, R.J., Lishman, J.M., Saxena, J.R.: “Ballast Water Regulations and the move toward concentration-based numeric discharge limits”, *Ecol Appl* 23(2), pp.289-300, 2013.
7. Голуб'ятників Н. І. Захист водойм від забруднення при судноплавстві / Н. І. Голуб'ятників / Одеса: Фенікс, 2009. – 430 с.
8. Мельник О.М., Волошин А.О., Онищенко О.А., Логінов О.В., Щербина О.В. (2022). Огляд процесу модернізації та оснащення суден системами очищення баластних вод. *Вчені записки ТНУ ім. Вернадського. Технічні науки.* - 33 (72) № 5 – С. 299-304. DOI:<https://doi.org/10.32782/2663-5941/2022.5/46>
9. O. Melnyk, O., Shcherbina, O., Mykhailova, I., Obnyavko, T., & Korobko, T. (2023). Focused research on technological innovations in shipping industry: review and prospects. *Transport Development*, (1(16), 164-174. <https://doi.org/10.33082/td.2023.1-16.13>
10. Melnyk, O., Sagaydak, O., Shumylo, O., Lohinov, O. (2023). Modern Aspects of Ship Ballast Water Management and Measures to Enhance the Ecological Safety of Shipping. *Studies in Systems, Decision and Control*, vol 481, 681-694. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-35088-7_39

Bulgakov M., Burlachenko D., Nykytyuk P, Shcheniavskiy G., Kucherenko V.
**INNOVATIVE APPROACHES TO BALLAST WATER MANAGEMENT ON SHIPS
 THROUGH REMOTE MONITORING AND QUALITY CONTROL**

The growth of maritime activities and cargo transportation leads to a significant release of ballast water into the environment. This causes serious environmental problems, as thousands of species of aquatic organisms are transported through ballast water, along with other forms of pollution. This

article discusses the importance of ballast water control and management by evaluating different monitoring methods. In particular, the possibilities of using remote monitoring technologies to avoid delays associated with water samples when ships enter a port are considered. The article analyzes various approaches to monitoring, considers schemes for installing additional nodes, operation and processing of the information received. The introduction of advanced technologies for remote monitoring of ballast water will save time for ships by bypassing the need to collect and analyze ballast water samples before the start of cargo operations in the port, which will lead to optimization of the time previously spent on these processes, contributing to the efficiency and speed of ship handling in the port.

Keywords: ballast water treatment system, monitoring, sensor, biological indicators, BW-monitor

REFERENCES

1. Hurley, W., Schilling, S.S., & McKee, T. (2001). Contract designs of ballast water treatment systems on the container ship R.J. Pfeiffer and the tanker Polar Endeavor. Marine environmental engineering technologies symposium (MEETS). Arlington, VA. June 1, 2001.
2. International Maritime Organization (IMO). (2008). Marine Environment Protection Committee (MEPC) Resolution 174(58), Guidelines for the approval of ballast water management systems (G8).
3. Global maritime transport and ballast water management, problems and solutions, Dr. Matei David Stefan Gollasch, , Springer, Hamburg, Germany, 2023, VII, 335 pp.
4. Ballast water quality monitoring, Ministry of Environment and Food Denmark Environmental Protection Agency, report, 2019, 38 p.
5. Contract designs for ballast water treatment systems on the container ship R.J. Pfeiffer and the tanker Polar Endeavor. Marine Environmental Engineering Technologies Symposium (MEETS). Arlington, VA. June 1, 2001.
6. Albert, R.J., Lishman, J.M., Saxena, J.R.: 'Ballast Water Regulations and the move towards concentration-based numeric discharge limits', *Ecol Appl* 23(2), pp.289-300, 2013.
7. Golub'yatnikiv N. I. Zakhist water vid obstruction in ship navigation / N. I. Golub'yatnikiv / Odessa: Fenix, 2009. - 430 c.
8. Melnyk O.M., Voloshin A.O., Onishchenko O.A., Loginov O.V., Shcherbina O.V. (2022). Review of the process of modernization and equipping ships with ballast water treatment systems. *Vcheni zapiski TNU im. Vernadskyi. Technichni nauki.* - 33 (72) № 5 - C. 299-304. DOI:<https://doi.org/10.32782/2663-5941/2022.5/46>
9. Melnyk, O., Shcherbina, O., Mikhailova, I., Obnyavko, T., & Korobko, T. (2023). Targeted research on technological innovation in the shipping industry: review and perspectives. *Transportation Development*, (1(16), 164-174. <https://doi.org/10.33082/td.2023.1-16.13>
10. Melnyk, O., Sagaidak, O., Shumylo, O., Lokhinov, O. (2023). Modern aspects of ship ballast water management and measures to improve environmental safety of shipping. *Research in Systems, Decisions and Control*, Vol. 481, 681-694. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-35088-7_39