

The developed multifunctional ballast water management system is designed for large-tonnage vessels and fully complies with D-2 standard requirements. Experimental studies have confirmed the high efficiency of the proposed technology in eliminating pathogenic microorganisms and purifying ballast water, as documented by laboratory test results. Currently, the system is undergoing type approval and certification procedures in accordance with international standards.

Keywords: ballast water, marine vessels, treatment, disinfection, invasive species, control system

УДК 358.42:623.76(422)

doi.org/10.33298/2226-8553.2024.3.41.02

Заєць А.Ю., Коскіна Ю.О., Дрожжин О.Л.

АНАЛІЗ ОЦІНЮВАННЯ РИЗИКІВ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ROV ДЛЯ ОБСЛУГОВУВАННЯ ВИДОБУВНИХ ШЕЛЬФОВИХ КОМПЛЕКСІВ

У статті розглядаються ризики, пов'язані з експлуатацією дистанційно керованих апаратів (ROV) у видобувних шельфових комплексах. Основну увагу приділено аналізу специфічних загроз, що виникають у морських умовах, таких як механічні пошкодження, відмова систем управління, вплив несприятливих погодних умов та забруднення середовища. В статті обґрунтовано необхідність комплексного підходу до оцінки ризиків, що включає використання сучасних технологій, таких як багатопроточні ехолоти та системи контролю натягу троса, а також наведено рекомендації для підвищення безпеки та ефективності операцій з ROV шляхом розробки адаптивних стратегій управління ризиками.

Ключові слова: оцінка ризиків, дистанційно керовані апарати, морські операції, видобувні шельфові комплекси, управління ризиками, безпека, буксирування.

Вступ. Оцінка ризиків є критично важливою складовою успішного проведення морських досліджень, особливо коли йдеться про використання складного обладнання, як-от дистанційно керовані апарати (ROV) у проекті Silas 3D Trials. Silas 3D Trials – це інноваційний проект, спрямований на збір детальних даних за допомогою платформи Geo Ocean III та ROV CS2 для дослідження морського дна. Враховуючи специфіку роботи на морі та підвищений рівень небезпеки, пов'язаний із суворими погодними умовами, великими хвилями, туманом, а також роботою з важким та складним обладнанням, оцінка ризиків є необхідною для забезпечення безпеки персоналу, захисту обладнання та довкілля.

Процес оцінки ризиків у цьому проекті передбачає ідентифікацію, класифікацію та аналіз ризиків із подальшим впровадженням заходів контролю. Основними завданнями є мінімізація ризиків для здоров'я та безпеки команди, запобігання інцидентам, що можуть пошкодити обладнання, та забезпечення безперервності досліджень. Для досягнення цих цілей розроблено детальний план, який базується на використанні матриці оцінки ризиків, що дозволяє оцінити ймовірність та тяжкість можливих інцидентів.

Проект також зосереджується на дотриманні міжнародних стандартів безпеки та відповідних регуляцій, а також передбачає застосування спеціалізованих засобів індивідуального захисту (ЗІЗ) та проведення інструктажів для всіх членів команди. Особливу увагу приділено підготовці до екстрених ситуацій та налаштуванню каналів зв'язку для швидкого реагування у випадку небезпеки. Це дозволяє підвищити загальний рівень безпеки та уникнути значних втрат.

Аналіз літератури та постановка проблеми. Морські операції та дослідження з використанням високотехнологічного обладнання, як-от дистанційно керовані апарати (ROV), мають критично важливе значення для розвитку підводних досліджень, зокрема для проекту Silas 3D Trials. Однак морське середовище є надзвичайно нестабільним і небезпечним, що значно підвищує ризики для персоналу, обладнання та навколишнього середовища. Однією з основних проблем є складність передбачення та управління ризиками в умовах морської непередбачуваності, що включає суворі погодні умови, обмежену видимість, ризик зіткнення із суднами, рибальським спорядженням та підводними об'єктами. Традиційні методи оцінки ризиків часто не враховують специфіку морського середовища, тому потрібні адаптовані підходи для підвищення надійності й безпеки таких операцій.

Застосування сучасної ризикової матриці та передового обладнання для моніторингу ризиків дозволяє забезпечити більш гнучке й ефективне управління ризиками. Проте наявні підходи потребують вдосконалення для врахування нових загроз та використання сучасних технологій, таких як сенсори, багатопроменеві ехолоти й інтегровані системи зв'язку, що дозволяють краще прогнозувати небезпеки. Отже, наукова проблема полягає у необхідності вдосконалення підходів до оцінки ризиків у морських операціях, розробці адаптивних стратегій та впровадженні інноваційних технологій для управління загрозами під час проведення морських досліджень.

Експлуатація дистанційно керованих апаратів (ROV) у сфері обслуговування видобувних шельфових комплексів є критично важливою для забезпечення безпеки та ефективності підводних операцій. Останні дослідження зосереджені на розробці методологій оцінки ризиків, пов'язаних із використанням ROV, з метою мінімізації потенційних загроз для обладнання, персоналу та навколишнього середовища.

Автори статті [1] аналізують ризики, пов'язані з використанням дистанційно керованих апаратів (ROV) у складних морських умовах, та пропонують методи їх мінімізації шляхом вдосконалення технологій управління та навігації. Це дослідження підкреслює важливість впровадження сучасних систем моніторингу та контролю для забезпечення безпеки та ефективності операцій з ROV.

Робота [2] представляє структурований імовірнісний підхід до оцінки операційних збоїв роботичних систем, що використовуються в офшорних умовах, зокрема для підводних операцій. Використовуючи методику аналізу дерева збоїв, дослідження виявляє критичні елементи і взаємозв'язки, які впливають на надійність системи ROV, особливо у складних арктичних водах. Результати дозволяють прогнозувати ймовірність збоїв і надають важливі дані для управління цілісністю і планування профілактичного обслуговування, з метою мінімізації ризиків повного збою системи.

Автори роботи [3] аналізують підготовку персоналу та розробку стандартних операційних процедур для зниження ризиків при експлуатації дистанційно керованих апаратів (ROV). Дослідження підкреслює важливість систематичного навчання операторів та впровадження чітких протоколів для забезпечення безпеки та ефективності підводних операцій.

Стаття [4] аналізує вплив морських течій та хвиль на стабільність дистанційно керованих апаратів (ROV) та пропонує методи їх компенсації. Дослідження підкреслює важливість розуміння гідродинамічних сил, що діють на ROV під час підводних операцій, та розробки ефективних стратегій для забезпечення стабільності та керованості апаратів у складних морських умовах.

Публікація [5] надає детальний аналіз впливу корозії та зносу на компоненти ROV та пропонує методології для оцінки та управління ризиками, пов'язаними з їх деградацією під час експлуатації в офшорних умовах.

У статті [6] надається детальний аналіз впливу електромагнітних завад на системи управління ROV та пропонує інноваційні підходи до підвищення їх стійкості та ефективності під час виконання підводних завдань.

У публікації [7] розглядаються основні виклики, з якими стикаються оператори дистанційно керованих апаратів (ROV) під час виконання підводних робіт у морських умовах. Автори аналізують вплив складних умов, таких як сильні течії, обмежена видимість, зміни температури та тиск на надійність і ефективність ROV. В публікації також акцентується увага на ризиках,

пов'язаних з механічними пошкодженнями, відмовами систем управління та впливом електромагнітних завад на апаратуру.

Особлива увага приділяється розробці стратегій для мінімізації цих ризиків, включаючи покращення підготовки операторів, вдосконалення навігаційного обладнання та впровадження сучасних систем контролю і моніторингу. Автори рекомендують регулярні тренування для персоналу та оновлення протоколів безпеки з урахуванням змін у технологіях та умовах експлуатації. Публікація надає практичні рекомендації, які можуть бути корисними для компаній, що займаються обслуговуванням офшорних об'єктів та використовують ROV для обслуговування морської інфраструктури.

Стаття [8] присвячена застосуванню процесу управління ризиками, спеціально адаптованого для операцій з автономними підводними апаратами в небезпечних морських середовищах. Оцінка ризиків здійснюється за допомогою суб'єктивного судження та знань експертів, а також на основі детальної статистики. У роботі проведено формальний процес експертної оцінки, де світові фахівці визначають ймовірність втрати автономних підводних апаратів внаслідок різних несправностей та інцидентів. З використанням непараметричного оцінювача Каплана-Майєра авторам вдалося створити модель для прогнозування виживаності автономних підводних апаратів залежно від дистанції місії, ілюстровану числовими прикладами з практичних місій в Антарктиці.

Метою роботи є вдосконалення підходів до управління ризиками під час проведення морських операцій на прикладі проекту Silas 3D Trials шляхом аналізу можливих загроз, розробки відповідних заходів контролю та забезпечення безпеки персоналу та обладнання.

Основна частина.

Методологія оцінки ризиків. У проекті Silas 3D Trials для оцінки ризиків використовувалася спеціалізована методологія, що базується на ризиковій матриці. Цей підхід дозволяє класифікувати ризики за двома основними показниками: тяжкістю наслідків та ймовірністю виникнення, що забезпечує системний підхід до ідентифікації й управління загрозами. У рамках цієї методології кожен ризик оцінюється за шкалою тяжкості від 1 (незначний) до 5 (дуже високий), а ймовірність виникнення оцінюється від 1 (майже неімовірно) до 5 (дуже ймовірно) [9, 10].

1. *Оцінка тяжкості наслідків.* Визначення тяжкості відбувається на основі потенційного впливу на персонал, довкілля та фінансові аспекти. Наприклад:

1 – Незначний: подія не призведе до травм або значних збитків (менше €5,000),

5 – Дуже високий: інцидент може призвести до фатальних наслідків або великої екологічної катастрофи (збитки понад €1 мільйон).

2. *Оцінка ймовірності виникнення.* Оцінка ймовірності залежить від частоти можливого виникнення події:

1 – Майже неімовірно: подія може статися лише раз протягом усього проекту,

5 – Дуже ймовірно: подія може статися щодня або щотижня під час звичайних умов роботи.

3. *Комбінація тяжкості та ймовірності.* Об'єднання цих двох показників у ризикову матрицю дозволяє класифікувати ризики за рівнем небезпеки та визначити необхідні дії:

Рівень ризику 1-6: низький ризик, який не потребує негайних дій.

Рівень ризику 8-12: середній ризик, для якого потрібні додаткові консультації з експертами та можливі коригування завдань.

Рівень ризику 15-25: високий ризик, завдання з таким рівнем ризику не можуть бути розпочаті без зниження ризику до прийнятного рівня.

4. *Процес управління ризиками.* На основі визначених рівнів ризику для кожної операції розроблено заходи контролю, що включають використання відповідних засобів індивідуального захисту, перевірку та сертифікацію обладнання, проведення інструктажів, а також чітке визначення відповідальних осіб для кожної операції. Ці заходи забезпечують, що кожен виявлений ризик контролюється та зменшується до прийнятного рівня.

Застосування ризикової матриці в Silas 3D Trials дозволяє підвищити ефективність управління ризиками, зменшити ймовірність інцидентів і забезпечити високу надійність усіх

процесів. Завдяки цьому підходу команда може швидко приймати обґрунтовані рішення щодо виконання завдань, адаптуючись до змінних умов на морі.

Аналіз загальних ризиків і заходи контролю. У процесі підготовки та виконання проекту Silas 3D Trials було виявлено ряд загальних ризиків, що виникають під час підйому та переміщення обладнання, виконання гарячих робіт, електричних та гідравлічних операцій. Для кожного з виявлених ризиків були визначені заходи контролю, які дозволяють зменшити ймовірність інцидентів та забезпечити безпеку як персоналу, так і обладнання [9].

1. *Підйом обладнання та вантажів.* Під час використання суднових або берегових кранів існує високий ризик серйозних травм або пошкодження обладнання через падіння вантажів або зіткнення з рухомими частинами.

Заходи контролю: проводиться чітка комунікація між усіма учасниками підйомної операції; перевіряється наявність дійсних сертифікатів на підйомне обладнання; проводяться інструктажі перед початком робіт; у місцях підйому встановлюються бар'єри для обмеження доступу сторонніх осіб.

2. *Ручне маневрування обладнання.* Транспортування обладнання вручну може призвести до травмування персоналу та пошкодження обладнання через неправильну техніку або недостатню кількість персоналу.

Заходи контролю: по можливості застосовуються спеціальні засоби для підйому; визначається безпечний маршрут без перешкод; контролюється розподіл навантаження, щоб уникнути перевантаження окремих працівників.

3. *Гарячі роботи (зварювання, різання, шліфування).* Виконання гарячих робіт несе ризик опіків, впливу газів, небезпеку займання або вибуху.

Заходи контролю: проводиться інструктаж перед роботою; перевіряється стан обладнання та наявність вогнегасників у зоні виконання гарячих робіт; використовуються додаткові засоби індивідуального захисту, як-от зварювальні маски, рукавиці, протипожежні комбінезони.

4. *Електротехнічне обслуговування та ремонт.* Роботи з електрообладнанням на борту судна можуть призвести до ураження струмом, електричних дуг та займання.

Заходи контролю: роботи проводяться лише кваліфікованими працівниками; перед початком робіт електрообладнання відключається та ізолюється; проводиться огляд кабелів і заземлення; у зонах високої напруги встановлюються попереджувальні знаки.

5. *Гідравлічне обладнання.* Використання гідравлічних систем несе ризики розбризкування рідини під високим тиском, що може спричинити травми.

Заходи контролю: роботи з гідравлічними системами виконуються лише кваліфікованим персоналом; перевіряються шланги та з'єднання на відсутність пошкоджень і корозії; використовується система блокування перед початком робіт.

6. *Роботи на висоті.* Виконання завдань на висоті створює ризики падіння персоналу або інструментів.

Заходи контролю: проводиться інструктаж з техніки безпеки перед кожною операцією; встановлюються бар'єри та страхувальні системи; персонал використовує засоби для захисту від падіння, а роботи проводяться в парі для контролю один одного.

Загальні ризики та відповідні заходи контролю були чітко визначені для кожного етапу проекту, що забезпечує належну підготовку персоналу та зменшує ймовірність виникнення інцидентів. Такий підхід до управління ризиками підвищує загальний рівень безпеки та дозволяє проводити операції на морі з високою надійністю.

Ризики під час операцій з аналоговим обладнанням. Під час проекту Silas 3D Trials використовувалось аналогове обладнання для збору даних з морського дна, що створює особливі ризики під час його запуску, відновлення та роботи. Додаткові загрози виникають через можливі зіткнення з підводними об'єктами, невідповідні умови та неправильне поводження з обладнанням [11].

1. *Запуск і відновлення SVP (прилад для вимірювання швидкості звуку у воді).* Ризик пошкодження обладнання або травмування персоналу під час маніпуляцій із приладом.

Заходи контролю: перед кожною операцією проводиться детальний інструктаж; погодні умови оцінюються перед запуском; забезпечується чітка комунікація з містком судна.

2. *Ризик пошкодження обладнання під час транспортування.* При перевезенні та розміщенні аналогового обладнання існує загроза його пошкодження через зіткнення з іншими предметами або натяг кабелів.

Заходи контролю: дотримуються чіткі процедури транспортування, які включають попередній аналіз умов роботи; під час операцій використовуються страхувальні системи та засоби захисту.

3. *Пошкодження обладнання через підводні об'єкти.* Використання буксируваних приладів може призвести до пошкодження обладнання в разі зачеплення за підводні об'єкти.

Заходи контролю: використовується система маяків для відстеження місця розташування датчиків; перед початком роботи проводиться аналіз підводного рельєфу з метою уникнення небезпечних зон.

4. *Зниження ефективності роботи через втому персоналу.* Довготривала робота з аналоговим обладнанням підвищує ризик втоми, що може призвести до помилок.

Заходи контролю: організовується чіткий графік змін та підтримується система «напарників» для моніторингу ознак втоми.

Контроль за ризиками під час роботи з аналоговим обладнанням у Silas 3D Trials є важливим елементом загальної системи безпеки. Використання спеціалізованих заходів знижує імовірність пошкодження обладнання та запобігає можливим інцидентам під час роботи на морі.

Ризики під час операцій з дистанційно керованими апаратами (ROV). Під час проекту Silas 3D Trials використовувались дистанційно керовані апарати (ROV) для дослідження морського дна. Виконання операцій з ROV включає певні ризики, пов'язані з безпекою персоналу, захистом апаратів та збереженням обладнання платформи. ROV – це складний технічний засіб, який потребує суворого дотримання процедур безпеки під час запуску, експлуатації та відновлення [7, 11, 12].

1. *Запуск і відновлення ROV.* Основний ризик полягає у можливості контакту ROV з іншими предметами на палубі або з персоналом, а також у пошкодженні апарату під час невдалого запуску або відновлення.

Заходи контролю: операції проводяться лише кваліфікованим персоналом з відповідним досвідом; перед запуском проводиться інструктаж, і встановлюється зв'язок із містком для координації дій.

2. *Відмова підйомного обладнання або кабелю ROV.* Пошкодження підйомної системи може призвести до падіння ROV, що становить небезпеку для персоналу та викликає ризик втрати апарата.

Заходи контролю: підйомне обладнання сертифіковане та регулярно тестується; проводиться перевірка стану кабелів перед кожним запуском.

3. *Пошкодження ROV через підводні перешкоди.* Під час руху ROV під водою може зіткнутися з різними об'єктами на морському дні, що може призвести до втрати контролю.

Заходи контролю: перед запуском проводиться аналіз підводної місцевості за допомогою гідролокаторів; апарат оснащений переднім сканувальним сонаром для уникнення зіткнень.

4. *Погіршення видимості під водою.* Наближення до морського дна може спричинити підйом осаду, що ускладнює видимість та підвищує ризик зіткнення.

Заходи контролю: ROV працює на максимальній можливій висоті від дна; використовуються додаткові датчики для забезпечення навігації; розроблено аварійні процедури на випадок втрати зв'язку або контролю над апаратом.

5. *Втрата живлення на борту судна або в контрольному центрі.* Перебої з живленням можуть спричинити втрату зв'язку з ROV, що створює ризик зіткнення або пошкодження апарата.

Заходи контролю: система живлення контролюється за допомогою бортової системи сигналізації; підтримується зв'язок між командою ROV та містком судна.

6. *Взаємодія з гвинтами судна.* Недостатньо продумане розташування ROV може призвести до втягування кабелів апарата в гвинти судна.

Заходи контролю: розробляється план позиціонування судна та ROV; для запобігання втягуванню кабелів використовується система контролю тяги.

Ці заходи контролю забезпечують високий рівень безпеки під час операцій з ROV, захищають обладнання та запобігають виникненню інцидентів під час роботи. Дотримання стандартів безпеки для ROV у Silas 3D Trials дозволяє ефективно виконувати завдання без ризику для персоналу та технічних засобів.

Ризики буксирування ROV. Буксирування дистанційно керованих апаратів (ROV) під час морських операцій несе значні ризики для обладнання, персоналу та навколишнього середовища. Цей процес вимагає ретельного планування і використання спеціалізованого обладнання для забезпечення безпеки. Основними ризиками, пов'язаними з буксируванням ROV, є механічні пошкодження, забруднення середовища, а також людський фактор, що може вплинути на операції під час несприятливих умов [2, 8, 13].

1. *Механічні ризики.* Під час буксирування ROV можливі значні механічні пошкодження через складність контролю за апаратом у динамічному морському середовищі. Одним з найбільших ризиків є ймовірність втрати керованості ROV або пошкодження кабелів та інших частин. Зіткнення з морським дном або підводними перешкодами може спричинити пошкодження, що унеможливить продовження операцій або призведе до значних фінансових втрат. Регулярне технічне обслуговування та перевірка обладнання перед початком буксирування знижують ймовірність інцидентів, але не повністю усувають ризики.

Важливу роль відіграє налаштування ROV та правильний вибір тросу для буксирування. Наприклад, використання тросів з високою стійкістю до натягу допомагає зменшити ризик їх обриву, особливо у випадках високих хвиль або сильних течій. Крім того, рекомендовано уникати занадто довгого троса, оскільки це може призвести до неконтрольованих рухів ROV, особливо в умовах сильного хвилювання (Smith et al., 2021).

2. *Ризики забруднення навколишнього середовища.* Буксирування ROV несе ризики забруднення, пов'язані з можливими витокami мастильних матеріалів, гідравлічних рідин або пошкодженнями корпусу апарата. Випадкове зіткнення з морським дном або перешкодами може призвести до витоків шкідливих речовин, що спричинить забруднення води і потенційно вплине на морську екосистему. Для зменшення цих ризиків необхідно регулярно проводити перевірку гідравлічних систем та використовувати екологічно безпечні мастильні матеріали.

Документ «Project Risk Assessment» також рекомендує мати на борту спеціалізовані комплекти для швидкого реагування на випадок розливу, що включає сорбенти та контейнери для збору забруднених матеріалів. Це дозволяє мінімізувати наслідки можливих інцидентів і знизити ризик поширення забруднень.

3. *Ризики, пов'язані з погодними умовами та морським середовищем.* Погодні умови мають значний вплив на процес буксирування ROV. Підвищена хвилястість, сильні течії та інші природні фактори можуть дестабілізувати буксирувальний процес, збільшуючи ймовірність зіткнень з підводними об'єктами або заплутування тросів. Моніторинг погодних умов та наявність плану дій у випадку погіршення обстановки допомагає мінімізувати ці ризики. Відповідно до документа «Project Risk Assessment», перед початком буксирування необхідно оцінити погодні умови і можливі зміни в режимі реального часу.

4. *Людський фактор та ризики неправильного управління.* Людський фактор є одним з найбільших джерел ризику під час буксирування ROV. Неправильне управління апаратом або помилки в комунікації між членами екіпажу можуть призвести до серйозних інцидентів. Недостатній досвід операторів ROV або недостатнє знання місцевих умов також можуть підвищити ймовірність виникнення помилок. Тому документ передбачає обов'язкове навчання персоналу та проведення інструктажів перед кожною операцією з буксирування.

Оператори мають добре розуміти всі аспекти управління ROV, включаючи особливості його поведінки у воді, особливо в умовах сильного хвилювання. Крім того, важливо забезпечити постійну комунікацію між операторами ROV, командою на борту і керівництвом. Це дозволяє швидко реагувати на зміни умов і знижує ймовірність помилок, пов'язаних з людським фактором.

5. *Стратегії зниження ризиків буксирування ROV.* Для зниження ризиків, пов'язаних з буксируванням ROV, документ рекомендує застосування комплексного підходу до управління ризиками. Це включає регулярну перевірку обладнання, постійний моніторинг погодних умов і спеціальні інструктажі для персоналу. Зокрема, рекомендовано використовувати передові технології для візуалізації та моніторингу процесу буксирування, такі як системи візуалізації підводних об'єктів та автоматизовані системи попередження про небезпеку.

Також важливо забезпечити резервне обладнання та матеріали на борту для швидкого реагування на непередбачені ситуації, такі як обрив троса або пошкодження корпусу ROV. Наявність запасних частин та можливість швидкого ремонту дозволяють мінімізувати простої та знизити ризики під час буксирування.

6. *Інноваційні технології для підвищення безпеки буксирування ROV.* Інноваційні технології, такі як автоматичні системи контролю натягу троса, системи запобігання зіткненням і сенсори для моніторингу стану ROV у реальному часі, також сприяють підвищенню безпеки буксирування. Автоматизовані системи дозволяють знизити ризик механічних пошкоджень і уникнути людських помилок, оскільки вони забезпечують стабільне управління апаратом навіть в умовах несприятливих погодних умов.

Системи попередження про зіткнення також є важливим компонентом для забезпечення безпеки під час буксирування ROV. Вони дозволяють оперативно виявляти перешкоди та здійснювати необхідні коригування курсу, що знижує ймовірність інцидентів.

Висновки. Експлуатація ROV у складних морських умовах супроводжується значними ризиками, що потребують ретельної оцінки та контролю. Серед основних загроз — можливі механічні пошкодження, збої в системах управління, несприятливі погодні умови та ризики забруднення середовища.

Використання сучасних технологій, таких як багатопроменеві ехолоти, системи моніторингу стану ROV та автоматизовані системи контролю натягу троса, значно знижує ймовірність виникнення інцидентів під час експлуатації.

Запропоновано комплексний підхід до управління ризиками, що включає розробку детальних операційних протоколів, проведення навчань для операторів та впровадження спеціалізованих засобів захисту.

Для ефективного управління ризиками необхідне постійне вдосконалення методологій оцінки, адаптація до змінних умов навколишнього середовища та регулярний моніторинг технічного стану обладнання.

REFERENCES

1. Fun Sang Cepeda M, Freitas Machado MdS, Sousa Barbosa FH, Santana Souza Moreira D, Legaz Almansa MJ, Lourenço de Souza MI, Caprace J-D. Exploring Autonomous and Remotely Operated Vehicles in Offshore Structure Inspections. *Journal of Marine Science and Engineering*. 2023; 11(11):2172. <https://doi.org/10.3390/jmse11112172>.
2. S. Nitonye, S. Adumene, C. U. Orji, and A. Effiong Udo. Operational failure assessment of Remotely Operated Vehicle (ROV) in harsh offshore environments. *Pomorstvo*. vol. 35, no. 2, pp. 285–296, 2021.
3. Sharkh A. S. M., Griffiths G. Energy Storage Systems for Unmanned Underwater Vehicles. *Underwater Technology*. 2003. Vol. 25, no. 3. P. 143–148. URL: <https://doi.org/10.3723/175605403783379714> (date of access: 09.11.2024).
4. Zhang D, Wang X, Zhao M, Hong L, Li X. Numerical Investigation on Hydrodynamic Characteristics and Drag Influence of an Open-Frame Remotely Operated Underwater Vehicle. *Journal of Marine Science and Engineering*. 2023; 11(11):2143. <https://doi.org/10.3390/jmse11112143>.
5. G. Wang, J. Spencer, H. Sun, Assessment of corrosion risks to aging ships using an experience database, *J. Offshore Mech. Arctic Eng.* 127 (2003) 167–174, <https://doi.org/10.1115/1.1894404>.
6. Hu, R.; Lu, D.; Xiong, C.; Lyu, C.; Zhou, H.; Jin, Y.; Wei, T.; Yu, C.; Zeng, Z.; Lian, L. Modeling, characterization and control of a piston-driven buoyancy system for a hybrid aerial underwater vehicle. *Appl. Ocean Res.* 2022, 120, 102925. <https://doi.org/10.1016/j.apor.2021.102925>

7. Chris Ritter. The Challenges of ROV Operations at Sea. <https://deepoceaneducation.org/resources/the-challenges-of-rov-operations-at-sea>.
8. Brito MP, Griffiths G, Challenor P. Risk analysis for autonomous underwater vehicle operations in extreme environments. Risk Anal. 2010 Dec;30(12):1771-88. doi: 10.1111/j.1539-6924.2010.01476.x.
9. Project Risk Assessment "Silas 3D Trial – Geo Ocean III & CS2 ROV". GEOxyz, 2020. 21 p.
10. Rigaud, M., Buekers, J., Bessems, J. et al. The methodology of quantitative risk assessment studies. Environ Health 23, 13 (2024). <https://doi.org/10.1186/s12940-023-01039-x>.
11. Umofia A. N. Risk-based Reliability Assessment of Subsea Control module for Offshore Oil and Gas production : thesis. 2014. URL: <http://dspace.lib.cranfield.ac.uk/handle/1826/9256/>
12. Allina Abdullah, Mohd. Hasri Hassan, Siti Hartini Hamdan; The occupational risk assessment of remotely operated underwater vehicle (ROV) operations at onshore engineering industry. AIP Conf. Proc. 28 March 2024; 2923 (1): 050002. <https://doi.org/10.1063/5.0195482>.
13. B. Buckham, M. Nahon, M. Seto, X. Zhao, C. Lambert. Dynamics and control of a towed underwater vehicle system, part I: model development. Ocean Engineering. Volume 30, Issue 4. 2003. P. 453-470. [https://doi.org/10.1016/S0029-8018\(02\)00029-X](https://doi.org/10.1016/S0029-8018(02)00029-X).

Zaiets A.Yu., Koskina Yu.O., Drozhzhyn O.L.

RISK ASSESSMENT ANALYSIS FOR THE OPERATION OF ROVS IN SERVICING OFFSHORE EXTRACTION COMPLEXES

The article discusses the risks associated with the operation of remotely operated vehicles (ROVs) in offshore extraction complexes. The focus is on analyzing specific threats that arise in marine conditions, such as mechanical damage, control system failures, adverse weather conditions, and environmental pollution. The article argues for a comprehensive approach to risk assessment that includes the use of modern technologies, such as multibeam echosounders and tension control systems, and provides recommendations for enhancing the safety and efficiency of ROV operations through the development of adaptive risk management strategies.

Keywords: risk assessment, remotely operated vehicles, marine operations, offshore extraction complexes, risk management, safety, towing