

ФОРМУВАННЯ ЦИФРОВИХ СТРАТЕГІЙ ДЛЯ ВИРІШЕННЯ ЗАДАЧ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ВАНТАЖНИХ СУДЕН

В сучасному динамічному світі, морський транспорт, зокрема вантажні судна, відіграють невід'ємну роль у глобальних ланцюгах постачання та міжнародній торгівлі. Забезпечення надійності, ефективності та безпеки їхньої діяльності стає насуцними проблемами, оскільки невчасні поломки та недоліки в системах технічного обслуговування можуть призвести до серйозних втрат, великих затримок та загроз для екології. У зв'язку з цим, важливим завданням є розробка ефективних стратегій для підвищення якості та ефективності систем технічного обслуговування вантажних суден. Цифрові технології та інноваційні підходи здатні вирішити ряд завдань, пов'язаних з прогнозуванням поломок, оптимізацією процесів обслуговування та моніторингом стану обладнання. Однак несвоєчасне впровадження таких стратегій може призвести до втрат конкурентоспроможності та невиправданих витрат. Метою даної статті є розробка концептуального рішення щодо підвищення ефективності систем технічного обслуговування вантажних суден на основі цифрових стратегій. Аналізуючи сучасні підходи, обґрунтовуючи їх переваги та недоліки, автор прагне визначити оптимальні методи та рішення, що сприятимуть поліпшенню ефективності обслуговування, зниженню витрат та забезпеченню безпеки судноплавства. Відчутна потреба в розробці цифрових стратегій для технічного обслуговування вантажних суден акцентує увагу на актуальності цього дослідження. Шляхом аналізу сучасного стану та найновіших досліджень у цій області, автор сподівається зробити свій внесок у підвищення ефективності водного транспорту та розв'язання важливих проблем транспортної галузі. Впровадження цифрових стратегій у технічне обслуговування вантажних суден призведе до підвищення ефективності системи технічного обслуговування вантажних суден. Завдяки цим інструментам, система стане більш адаптивною, передбачуваною та ресурсозберігаючою, що в кінцевому підсумку покращить якість технічного обслуговування та зменшить витрати.

Ключові слова: цифрові стратегії, процес технічного обслуговування, вантажні судна, предиктивна аналітика, прескриптивна аналітика, цифрова модель, цифрова тінь, цифровий двійник, ефективність технічного обслуговування.

A.I. Golovan. Formation of digital strategies for solving problems of increasing the efficiency of cargo ship maintenance systems. In today's ever-changing world, maritime transportation, and cargo ships, specifically, hold a crucial position in global supply chains and international trade. Guaranteeing the reliability, effectiveness, and safety of their operations is an increasingly urgent concern, as unexpected malfunctions and inadequacies in maintenance systems have the potential to cause significant losses, lengthy delays, and environmental hazards. In this regard, developing effective strategies to enhance the quality and efficiency of cargo ship maintenance systems is crucial. Digital technologies and innovative approaches can resolve various issues related to predicting breakdowns, optimizing maintenance processes, and monitoring equipment conditions. Nevertheless, delayed implementation of these strategies can result in loss of competitiveness and unnecessary expenses. The objective of this article is to devise a conceptual solution that enhances the efficiency of cargo ship maintenance systems through digital strategies. By assessing existing approaches, substantiating their pros and cons, the author endeavors to

* канд. техн. наук, доцент, Одеський національний морський університет, м. Одеса, ORCID: 0000-0001-6589-4381, g.onmu@ukr.net

recognize the most apt methodologies and resolutions that enhance maintenance productivity, curtail expenses, and guarantee safe navigation. The concrete necessity to design digital strategies for cargo ship maintenance highlights the importance of this study. By analyzing the current research in the field, this study aims to enhance waterborne transport efficiency and address key issues in the transportation sector. The implementation of digital strategies in cargo ship maintenance would enhance the efficiency of the maintenance system. Thanks to these tools, the system will become more adaptable, predictable, and resource-efficient, ultimately improving the quality of maintenance, and lowering costs.

Key words: *digital strategies, maintenance process, cargo ships, predictive analytics, prescriptive analytics, digital model, digital shadow, digital twin, maintenance efficiency.*

Постановка проблеми. В сучасних умовах і викликах функціонування морського транспорту виникає загострена потреба в оптимізації систем технічного обслуговування вантажних суден для забезпечення їх надійності, ефективності та безпеки плавання. Наявність низки факторів, таких як непланові поломки, затримки, великі витрати та недостатнє використання сучасних технологій, ставить під загрозу нормальний режим експлуатації суден та призводить до серйозних економічних втрат.

Ключові аспекти проблеми:

1. Непередбачуваність і втрати часу: Відсутність ефективної системи передбачення поломок та недостатнє планування ремонтів спричиняють нестабільність у роботі суден та незаплановані зупинки.

2. Високі витрати: Значні витрати на технічне обслуговування та ремонт, а також недостатньо оптимізоване використання ресурсів, призводять до непереборних фінансових втрат.

3. Застарілість систем: Відсутність цифрових стратегій та застарілі системи моніторингу та управління призводять до обмеженої можливості вчасно виявляти проблеми та реагувати на них.

4. Недостатня безпека: Ризики для безпеки плавання та навколишнього середовища зростають через неконтрольовані поломки та можливість витоків.

5. Потреба в оптимізації процесів: Недостатня інтеграція та координація між різними аспектами обслуговування суден вимагає впровадження нових підходів для оптимізації процесів.

Важливість вирішення проблеми: Ефективне технічне обслуговування вантажних суден є критичним для підтримання їх операційної діяльності, конкурентоспроможності та безпеки. Впровадження цифрових стратегій та оптимізованої структурно-логічної схеми може вирішити наведені вище проблеми та забезпечити більш плавний режим роботи суден, зниження витрат та покращення якості обслуговування.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У розглянутих статтях йдеться про те, що сучасні цифрові інструменти і технології можуть оптимізувати процеси технічного обслуговування вантажних суден. Автори статті [1] розглядають використання нових інформаційних технологій, таких як хмарні обчислення і технологія RFID, для підвищення ефективності і зниження операційних витрат. Автори статті [2] припускають, що використання 3D наземного лазерного сканування і інструментів спільного управління життєвим циклом продукції може знизити витрати і підвищити продуктивність в процесах технічного обслуговування суден. Дослідження [3] пропонує платформу управління технічним обслуговуванням суден на основі хмарних обчислень для управління бізнес-інформацією, яка стане ядром управління інформацією про судна. Дослідження [4] пропонує застосування технології прогнозування і управління станом (РНМ) для поліпшення програм технічного обслуговування обладнання і графіків ремонту, з прикладом оптимізованої системи РНМ для енергетичної системи земснаряда Бюро водних шляхів. Загалом, у існуючих дослідженнях показано, що сучасні цифрові інструменти та технології можуть підвищити ефективність, надійність та економічну ефективність процесів технічного обслуговування вантажних суден.

Також у проаналізованих роботах припускається, що сучасні цифрові інструменти та технології можуть оптимізувати процеси технічного обслуговування вантажних суден. Дослідження [5] пропонує підхід до аналізу процесів для оцінки ефективності технічного обслуговування на борту судна і рекомендує вдосконалення для підвищення функціональності обраного програмного забезпечення з точки зору балансу робочого навантаження, розумного планування та

безпечного робочого середовища. Автор роботи [6] досліджує потенційні економічні вигоди від впровадження адитивного виробництва (3D-друк) і програмного забезпечення для спільного управління життєвим циклом продукції (CPLM) в діяльності військово-морських сил з технічного обслуговування і пропонує значне скорочення часу циклу і потенційну економію коштів у розмірі 1,49 мільярда доларів США на рік. Автори дослідження [7] представляють поточне і потенційне використання технології цифрових двійників (ЦД) в експлуатації і управлінні суднами і дає уявлення про те, як технологія ЦД створить можливості для розвитку судноплавного сектора. Дослідження [8] пропонує модель, засновану на процесах, для полегшення вибору відповідних цифрових допоміжних систем для підтримки операцій з технічного обслуговування у виробничих галузях, які можуть перетворити можливості діагностичного технічного обслуговування на прогнозоване і рекомендаційне технічне обслуговування.

Проведений аналіз показав, що існують деякі потенційні проблеми, які можуть бути вирішені шляхом підвищення ефективності систем технічного обслуговування вантажних суден на основі цифрових стратегій, а саме:

1. Скорочення затримки в обслуговуванні: Вантажні судна можуть часто зазнавати затримок через непланові поломки або необхідність ремонту. Це може викликати великі втрати як у вигляді часу, так і грошей.

2. Поліпшення ефективності планування технічного обслуговування: Відсутність оптимізованого планування обслуговування може призводити до зайвих витрат через неправильний розподіл ресурсів, простої та непланові зупинки.

3. Оптимізацію витрат на обслуговування: Технічне обслуговування суден може бути дорогим процесом, особливо коли потрібні запасні частини або дорогоцінні роботи.

4. Покращення передбачуваності ремонтів: Нездатність передбачити важливі ремонти може призвести до несподіваних зупинок, що впливає на графік доставки та ефективність операцій.

5. Впровадження централізованого моніторингу: Відсутність системи моніторингу стану обладнання на судні може спричинити втрати часу та ресурсів на виявлення та виправлення неполадок.

6. Спрощення і уніфікація обміну інформацією: Наявність багатьох застарілих систем та технологій може призвести до проблем з обміном інформацією між різними частинами обслуговування та управління судном.

7. Зниження ризиків для безпеки: Технічні неполадки можуть призвести до ситуацій, коли судно та екіпаж опиняються під загрозою, зокрема в небезпечних умовах чи під час плавання в важких умовах шторму.

8. Покращення впливу на навколишнє середовище: Неконтрольовані поломки або витіки можуть мати негативний вплив на навколишнє середовище через викиди токсичних речовин.

Означені проблеми та їх наслідки надають змогу визначити ключові аспекти, які потребують уваги при створенні структурно-логічної схеми для вирішення проблеми підвищення ефективності технічного обслуговування вантажних суден на основі цифрових стратегій.

Мета статті полягає у синтезі концептуального підходу, який базується на використанні сучасних цифрових інструментів та технологій для оптимізації процесів технічного обслуговування вантажних суден.

Виклад основного матеріалу. З метою досягнення поставленої мети у вигляді розробки структурно-логічної схеми вирішення проблеми підвищення ефективності систем технічного обслуговування вантажних суден за допомогою цифрових стратегій було проведено докладний аналіз сучасних підходів до технічного обслуговування вантажних суден, вивчено принципи та важливість цифрових технологій у галузі морського транспорту, а також визначено ключові аспекти, які варто враховувати під час розробки цифрових стратегій.

Цифрові стратегії – це планові та організовані підходи до використання цифрових технологій з метою досягнення конкретних цілей або розв’язання конкретних завдань. Це може включати, але не обмежується:

1. Діджиталізація процесів: перехід від ручних методів до автоматизованих, що залучає цифрові технології.

2. Використання аналітики: збір та аналіз великих обсягів даних для підтримки прийняття рішень.

3. Моделювання та симуляція: використання цифрових двійників або інших цифрових моделей для прогнозування та оптимізації.

4. Цифрова взаємодія із стейкхолдерами: використання онлайн платформ, мобільних додатків тощо для покращення досвіду стейкхолдерів.

5. Інтеграція технологій: з'єднання різних систем та платформ для створення цілісних рішень.

У контексті технічного обслуговування вантажних суден, цифрові стратегії включають використання цифрових моделей, цифрових тіней, цифрових двійників (рис. 1) у поєднанні із аналітикою даних (рис. 2, рис. 3) для підвищення ефективності технічного обслуговування, прогнозування потреб та визначення оптимальних програм обслуговування та ремонту.

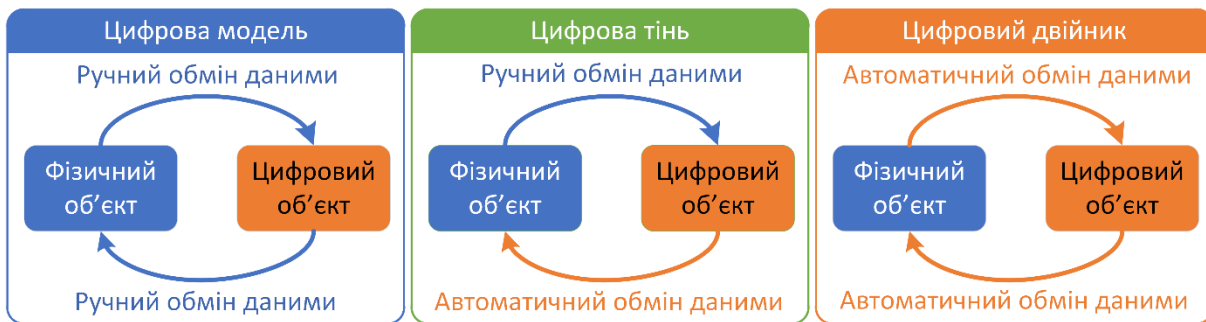


Рис. 1 – Відмінності в топології даних між цифровою моделлю, цифровою тінню та цифровим двійником

Цифрова модель: Автоматизований обмін даними між двома структурами відсутній. Внесення даних для синхронізації здійснюється вручну.

Цифрова тінь: Існує лише односторонній потік даних від фізичного об'єкта до цифрового аналога. Дані, що надходять від фізичного об'єкта, оновлюють цифровий об'єкт, але не навпаки. Це вимагає взаємодію між фізичним об'єктом і цифровою моделлю за принципом «людина в циклі» (Human-in-the-loop, HITL).

Цифровий двійник: Повністю інтегрований потік даних доступний там, де встановлено двосторонній автоматизований канал передачі даних. Обидва об'єкти перебувають у синхронізованому стані в режимі реального часу, і фізичний об'єкт може автоматично впливати на цифровий об'єкт.

Під час проведення дослідження було розроблено «Класифікацію методів предиктивної (прогностичної) аналітики», зображену на рис. 2, яка включає в себе три основні категорії методів: «Машинне навчання / Інтелектуальний аналіз даних», «Імовірнісні моделі» та «Статистичний аналіз». Ця класифікація стала важливим компонентом проведеного дослідження, який відображає різнобічні підходи та методи, що використовуються для передбачення та прогнозування подій у галузі технічного обслуговування вантажних суден.

1. **Машинне навчання / Інтелектуальний аналіз даних:** Ця категорія включає широкий спектр методів, що базуються на використанні алгоритмів машинного навчання та інтелектуального аналізу даних. Вона враховує використання нейронних мереж, методів класифікації та кластеризації, ансамблів моделей, а також аналізу текстових даних та зображень. Важливим аспектом є здатність цих методів до автоматичного виявлення складних закономірностей у великих обсягах даних та передбачення на їхній основі.

2. **Імовірнісні моделі:** Ця категорія враховує використання імовірнісних методів та моделей для передбачення подій. Сюди входять методи, такі як байєсівська статистика, методи прогнозування на основі розподілів імовірностей, а також Монте Карло марковських ланцюгів. Імовірнісні моделі дозволяють враховувати невизначеність та варіабельність даних, що є важливим аспектом при передбаченні невизначених подій.

3. **Статистичний аналіз:** Ця категорія включає методи статистичного аналізу даних для виявлення зв'язків та залежностей між різними параметрами. Вона враховує використання регресійного аналізу, аналізу варіантності, кореляційного аналізу та інших статистичних методів. Ці

методи дозволяють встановлювати та оцінювати статистичні взаємозв'язки між різними змінними.

Розроблена класифікація є цінним інструментом, що допомагає структурувати та узагальнити різні підходи до передбачення подій у контексті технічного обслуговування вантажних суден. Вона сприяє кращому розумінню основних категорій методів та допомагає вибирати оптимальний підхід для конкретних завдань.

Розроблена «Класифікація методів предиктивної (прогностичної) аналітики» є важливим внеском у галузь технічного обслуговування вантажних суден. Вона допоможе науковцям та практикам обирати та застосовувати ефективні методи передбачення подій на основі їх характеристик та специфіки.

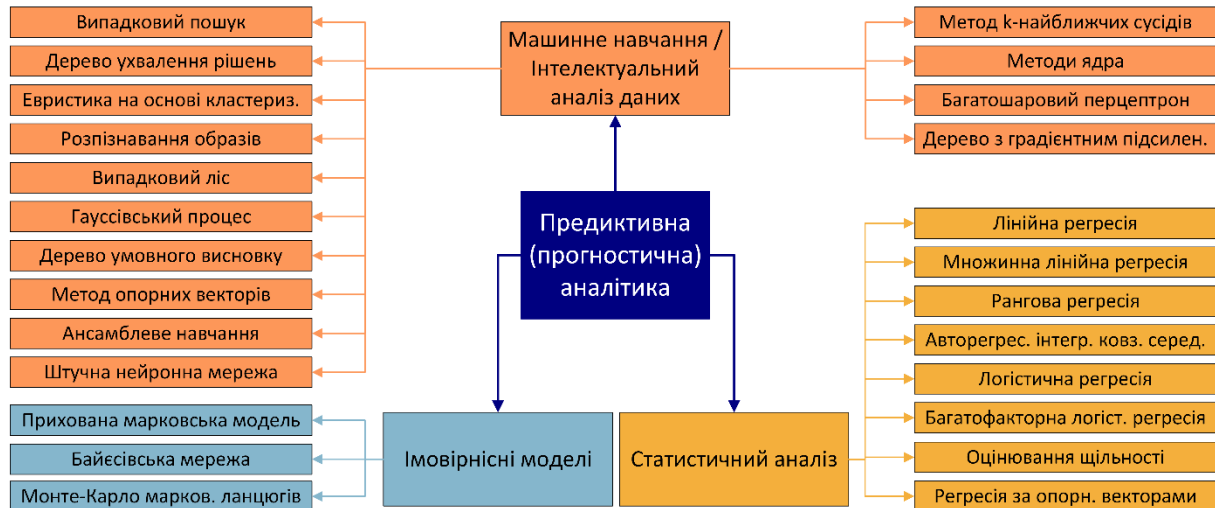


Рис. 2 – Класифікація методів предиктивної (прогностичної) аналітики

Було проаналізовано різноманітні підходи, що вже існують у галузі технічного обслуговування вантажних суден. Основний акцент було зроблено на визначенні основних недоліків та викликів цих підходів, таких як нестабільність графіку обслуговування, недостатня точність передбачення поломок та високі витрати.

Було проведено дослідження ролі та важливості цифрових технологій у галузі морського транспорту. Зокрема, було розглянуто застосування даних з сенсорів та платформ для моніторингу стану обладнання, аналізу даних для передбачення поломок, а також використання аналітики даних для оптимізації ресурсів та планування обслуговування.

Під час проведення дослідження також було розроблено «Класифікацію методів прескриптивної (рекомендаційної) аналітики», зображену на рис. 3, яка включає шість основних категорій методів. Ця класифікація є важливим кроком у систематизації та розумінні різних підходів до надання рекомендацій та вирішення прийняття рішень у галузі технічного обслуговування вантажних суден.

1. Машинне навчання / Інтелектуальний аналіз даних: Ця категорія об'єднує методи, що базуються на застосуванні алгоритмів машинного навчання та інтелектуального аналізу даних для генерації рекомендацій. Вона включає в себе використання нейронних мереж, методів класифікації та кластеризації, рекомендуючі системи, а також аналіз текстових даних та обробку зображень для отримання інформації.

2. Еволюційне обчислення: Ця категорія містить доступні до використання методи, які моделюють еволюційні процеси в технічному обслуговуванні для вирішення оптимізаційних задач. Методи, такі як генетичні алгоритми, різні види еволюційних стратегій, допомагають знаходити оптимальні рішення на основі пошукових процесів.

3. Імітаційне моделювання: Ця категорія містить доступні до використання імітаційні моделі та симуляції для створення віртуальних середовищ, де можна аналізувати різні сценарії та

вирішувати задачі оптимізації. Це може бути корисно для вирішення складних проблем, де важко використовувати аналітичні методи.

4. Імовірнісні моделі: Ця категорія враховує використання імовірнісних методів та моделей для надання рекомендацій. Це можуть бути методи, які враховують розподіл імовірностей для прийняття рішень, враховуючи невизначеність та ризики.

5. Моделі на основі логіки: Ця категорія включає методи, що базуються на застосуванні логічних моделей для прийняття рішень. Це можуть бути різні види логічних систем, формальні методи дедукції та інші логічні підходи.

6. Математичне програмування: Ця категорія передбачає використання математичних методів та оптимізаційного програмування для знаходження оптимальних рішень. Це можуть бути методи лінійного програмування, динамічного програмування та інші.

Розроблена класифікація (рис. 3) є важливим інструментом для структурування та розуміння різних підходів до прескриптивної аналітики. Вона допомагає систематизувати різноманітні методи та вибирати найбільш відповідні для вирішення конкретних завдань.

Класифікація (рис. 3) має великий потенціал в галузі технічного обслуговування вантажних суден. Вона допоможе дослідникам та практикам вибирати та застосовувати ефективні методи прийняття рішень для оптимізації обслуговування суден та підвищення їхньої ефективності.



Рис. 3 – Класифікація методів прескриптивної (рекомендаційної) аналітики

На наступному етапі дослідження було виділено ключові аспекти, які мають важливе значення під час розробки та впровадження цифрових стратегій у системи технічного обслуговування. До таких аспектів відносяться точність датчиків та засобів моніторингу, адаптація алгоритмів передбачення поломок до конкретних умов, раціональний розподіл ресурсів для забезпечення оптимального планування обслуговування.

Після цього було здійснено порівняння двох класифікацій (рис. 2 і рис. 3). Основною метою цього порівняння було встановлення рівня відповідності цілям та завданням при розробці «Структурно-логічної схеми вирішення проблеми підвищення ефективності систем технічного обслуговування вантажних суден на основі цифрових стратегій», яка зображена на рис. 4.

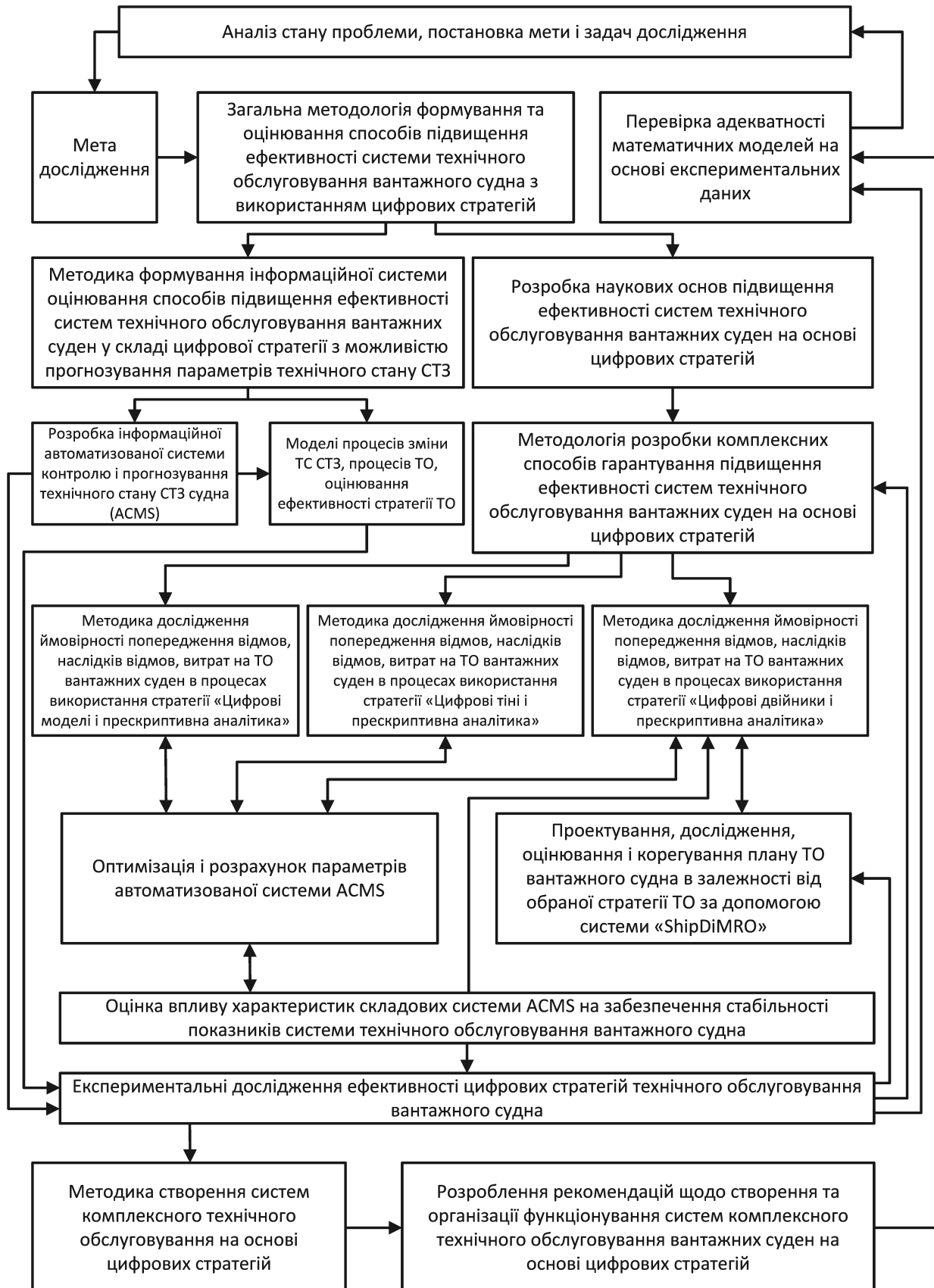


Рис. 4 – Структурно-логічна схема вирішення проблеми підвищення ефективності систем технічного обслуговування вантажних суден на основі цифрових стратегій

Проведений аналіз показав, що найбільший рівень доцільності має «Класифікація методів прескриптивної (рекомендаційної) аналітики». Це рішення було прийняте на підставі його відповідності дослідницьким цілям, специфіці задачі підвищення ефективності технічного обслуговування вантажних суден та застосуванням цифрових стратегій. Ця класифікація надає структурований підхід до надання рекомендацій та прийняття рішень у відповідності з різними видами аналітичних методів. Відповідно до отриманих висновків, ця класифікація є найбільш пристосованою для вирішення проблеми підвищення ефективності систем технічного обслуговування вантажних суден на основі цифрових стратегій.

Обираючи цю класифікацію (рис. 3), автор звертає увагу на рекомендаційний характер аналітики та висновків, що можуть бути важливими для підвищення ефективності технічного обслуговування вантажних суден. Такий підхід може відігравати важливу роль у вдосконаленні стратегій та прийнятті оптимальних рішень, спрямованих на забезпечення безперебійної та ефективної роботи суден. Отже, на підставі проведеного аналізу автор визнав, що «Класифікація методів прескриптивної (рекомендаційної) аналітики» найкраще відповідає меті створення «Структурно-логічної схеми вирішення проблеми підвищення ефективності систем технічного обслуговування вантажних суден на основі цифрових стратегій».

На наступному етапі, на основі аналізу та визначення ключових аспектів, було розроблено структурно-логічну схему для впровадження цифрових стратегій у системи технічного обслуговування вантажних суден (рис. 4). Схема включає кроки передбачення поломок, моніторингу стану обладнання, аналізу даних та оптимізації ресурсів.

Автор докладно розглянув потенційні переваги та вигоди, які можуть впливати з впровадження розробленої структурно-логічної схеми. Серед них – зменшення витрат на неплановий ремонт, підвищення надійності та безпеки суден, збільшення ефективності використання ресурсів.

В завершенні дослідження було розглянуто практичні аспекти впровадження розробленої схеми в реальних умовах експлуатації вантажних суден, а також вказано на можливості подальших досліджень у цій галузі, таких як розробка більш точних алгоритмів передбачення поломок та врахування специфіки різних типів суден.

З врахуванням проведеного аналізу, автор впевнений, що розроблена структурно-логічна схема може послужити основою для реалізації ефективних цифрових стратегій в системах технічного обслуговування вантажних суден, що сприятиме покращенню ефективності, зниженню витрат та забезпеченню безпеки плавання.

Висновки

Впровадження цифрових стратегій, а саме: цифрових моделей, цифрових тіней, цифрових двійників у поєднанні із прескриптивним аналізом, в систему технічного обслуговування вантажних суден призведе до ряду позитивних змін та покращень:

1. Автоматизація моніторингу: Сенсори та інші засоби збору даних будуть надавати безперервний потік інформації про стан судна, це дозволить відстежувати поточний стан обладнання в реальному часі (цифрові двійники).

2. Детальне моделювання: Цифрові двійники дозволять створювати детальні моделі судна для аналізу його поведінки в різних умовах, допомагаючи передбачити потенційні проблеми.

3. Прогнозування та оптимізація: Прескриптивний аналіз використовуватиме зібрані дані для визначення науково-обґрунтованих часових рамок наступного технічного обслуговування та ремонту, оптимізуючи робочі процеси та знижуючи витрати.

4. Підвищення надійності: Система буде в змозі виявляти і передбачати потенційні несправності задовго до того, як вони стануть критичними, зменшуючи ризик відмов суднових технічних засобів, збоїв та аварій.

5. Ефективність ресурсів: Завдяки аналізу даних та прескриптивним рекомендаціям, судновласник може використовувати ресурси (як-то запасні частини, робочий час екіпажу) набагато ефективніше.

6. Освіта та навчання: Інтелектуальна система може також служити інструментом для навчання та підвищення кваліфікації екіпажу, демонструючи оптимальні підходи до обслуговування та реагування на непередбачені обставини.

В цілому, такий підхід до технічного обслуговування робить його більш прогнозованим, ефективним та надійним, що неодмінно призведе до зниження витрат, підвищення продуктивності та збільшення життєвого циклу судна.

Впровадження цифрових стратегій у технічне обслуговування вантажних суден призведе до підвищення ефективності системи технічного обслуговування вантажних суден. Завдяки цим інструментам, система стане більш адаптивною, передбачуваною та ресурсозберігаючою, що в кінцевому підсумку покращить якість технічного обслуговування та зменшить витрати.

Перелік використаних джерел:

1. Mišanović L., Ristov P., Belamarić G. Use of New Information Technologies in the Maintenance of Ship Systems. *Pomorstvo*. 2016. Vol. 30(1). Pp. 38-44. DOI: <https://doi.org/10.31217/p.30.1.5>.
2. Ford D.N., Housel T.J., Mun J. Ship Maintenance Processes with Collaborative Product Lifecycle Management and 3D Terrestrial Laser Scanning Tools: Reducing Costs and Increasing Productivity. *Proceedings of the ninth Annual Acquisition Research Symposium*. 2011. Pp. 199-215. DOI: <https://doi.org/10.21236/ada543988>.
3. Research of Ship Maintenance Management Platform Based on Cloud Computing / X. Liu, Q. Zhang, S. Wang, X. Cheng, J. Tang. *Proceedings of the 4th International Conference on Mechatronics, Materials, Chemistry and Computer Engineering*. 2015. Pp. 2997-3001. DOI: <https://doi.org/10.2991/icmmce-15.2015.580>.
4. Research on PHM Technology Application of Ship Maintenance Program Optimization / X. Xu, S. Fan, H. Huang, H. Zhu, W. Quan. *Proceedings of the 2013 IEEE Conference on Prognostics and Health Management (PHM)*. 2013. Pp. 1-6. DOI: <https://doi.org/10.1109/icphm.2013.6621438>.
5. Bayer D., Aydin O., Celik M. An ICOR Approach towards Ship Maintenance Software Development. *International Journal of Maritime Engineering*. 2018. Vol. 160. Pp. A11-A19. DOI: <https://doi.org/10.3940/rina.ijme.2018.a1.444>.
6. Michael E. Kenney. Cost reduction through the use of additive manufacturing (3D printing) and collaborative product life cycle management technologies to enhance the Navy's maintenance programs : M.S. thesis. Naval Postgraduate School, Monterey, California, USA, 2013. 85 p.
7. Solmaz M.S., Aşan C., Şihmantepe A. Digital Transformation in Ship Operations and Management. *Management Strategies for Sustainability, New Knowledge Innovation, and Personalized Products and Services*. 2022. Pp. 116-139. DOI: <https://doi.org/10.4018/978-1-7998-7793-6.ch005>.
8. A Process Model for Enhancing Digital Assistance in Knowledge-Based Maintenance / K. Kovacs, F. Ansari, C. Geisert, E. Uhlmann, R. Grepl, W. Sihn. *Machine Learning for Cyber Physical Systems*. 2018. Pp. 87-96. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-662-58485-9_10.

References:

1. Mišanović L., Ristov P., Belamarić G. Use of new information technologies in the maintenance of ship systems. *Pomorstvo*, 2016, vol. 30, no. 1, pp. 38-44. doi: <https://doi.org/10.31217/p.30.1.5>.
2. Ford D.N., Housel T.J., Mun J. Ship Maintenance Processes with Collaborative Product Lifecycle Management and 3D Terrestrial Laser Scanning Tools: Reducing Costs and Increasing Productivity. *Proceedings of the ninth Annual Acquisition Research Symposium*, 2011, pp. 199-215. doi: <https://doi.org/10.21236/ada543988>.
3. Liu X., Zhang Q., Wang S., Cheng X., Tang J. Research of Ship Maintenance Management Platform Based on Cloud Computing. *Proceedings of the 4th International Conference on Mechatronics, Materials, Chemistry and Computer Engineering*, 2015, pp. 2997-3001. doi: <https://doi.org/10.2991/icmmce-15.2015.580>.
4. Xu X., Fan S., Huang H., Zhu H., Quan W. Research on PHM Technology Application of Ship Maintenance Program Optimization. *Proceedings of the 2013 IEEE Conference on Prognostics and Health Management (PHM)*, 2013, pp. 1-6. doi: <https://doi.org/10.1109/icphm.2013.6621438>.
5. Bayer D., Aydin O., Celik M. An ICOR Approach towards Ship Maintenance Software Development. *International Journal of Maritime Engineering*, 2018, vol. 160, pp. A11-A19. doi: <https://doi.org/10.3940/rina.ijme.2018.a1.444>.
6. Michael E. Kenney. *Cost reduction through the use of additive manufacturing (3D printing) and collaborative product life cycle management technologies to enhance the Navy's maintenance programs*. M.S. thesis. Naval Postgraduate School, Monterey, California, USA, 2013. 85 p.

7. Solmaz M.S., Aşan C., Şihmantepe A. Digital Transformation in Ship Operations and Management. *Management Strategies for Sustainability, New Knowledge Innovation, and Personalized Products and Service*, 2022, pp. 116-139. doi: <https://doi.org/10.4018/978-1-7998-7793-6.ch005>.
8. Kovacs K., Ansari F., Geisert C., Uhlmann E., Grepl R., Sihh W. A Process Model for Enhancing Digital Assistance in Knowledge-Based Maintenance. *Machine Learning for Cyber Physical Systems*, 2018, pp. 87-96. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-662-58485-9_10.

Рецензент: І.В. Грицук
д-р техн. наук, проф., ХДМА

Стаття надійшла 11.04.2023

Стаття прийнята 16.05.2023

УДК 656.621

doi: 10.31498/2225-6733.46.2023.288185

© Маранов О.В.*

МЕТОД МОНІТОРИНГУ ТА ПІДВИЩЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ТОЧНОСТІ СУДНОВОГО СУПУТНИКОВОГО НАВІГАЦІЙНОГО ОБЛАДНАННЯ

Метою дослідження є вдосконалення підходів до контролю й управління радіоелектронними системами водного транспорту, а також самого навігаційного забезпечення для підвищення безпеки судноплавства на основі розробки методу моніторингу та підвищення точних характеристик суднового супутникового навігаційного обладнання в реальних умовах експлуатації. У статті розглянуто значення сучасних суднових радіонавігаційних систем для забезпечення безпеки судноплавства та висвітлено обмеження, які можуть виникнути у процесі експлуатації цих систем. У зв'язку з цим авторами статті запропоновано підхід до моніторингу та підвищення точності супутникової навігаційної апаратури судна в реальних умовах експлуатації судна. У статті розглянуто застосування наземного контрольно-вимірювального пункту для контролю точних характеристик суднового супутникового навігаційного обладнання. Цей пункт встановлюється на березі і працює на основі основного рівняння метрології. Система позиціонування судна лазерного локатора описується таким чином: GPS-навігаційний космічний апарат посилає лазерний промінь на оптичний кутовий відбивач, встановлений на судні, а потім наземний контрольно-вимірювальний пункт вимірює час, необхідний для проходження лазерного променя до відбивача і від нього, що дає можливість розрахувати відстань до судна. Отримані дані передаються призначеному для користувача обладнанню на судні, яке використовує їх спільно з даними GPS-навігатора космічного апарату для визначення місця розташування, часу і швидкості судна. Особливостями такого підходу є його висока точність і застосовність в різних умовах, включаючи погану видимість. Для врахування геометричних розбіжностей між антенами наземного контрольно-вимірювального пункту й апаратурою користувача, а також для врахування крену і диференту, автори пропонують використовувати геометричні співвідношення. Використання запропонованого у статті методу контролю точності суднового супутникового навігаційного обладнання на базі наземного контрольно-вимірювального пункту дозволяє з високою точністю визначати похибки в різних умовах реальної експлуатації, що сприяє підвищенню безпеки плавання.

* канд. техн. наук, доцент, Державний університет інфраструктури та технологій, м. Київ, ORCID: 0000-0002-5854-0240