

УДК 656.61.052:004.94:620.9

DOI: 10.31498/2225-6733.52.2025.351131

**МЕТОДИЧНІ ОСНОВИ ФОРМУВАННЯ ПІДСИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ СУДНОВИХ
ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ У СКЛАДІ СИСТЕМИ КОМПЛЕКСНОГО ЗНИЖЕННЯ
ЕНЕРГЕТИЧНИХ ВТРАТ ТОРГОВИХ СУДЕН****Гончарук І.П.**канд. техн. наук, доцент, Одеський національний морський університет, м. Одеса,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5306-4206>, e-mail: h.onmu@ukr.net

У статті розглянуто проблему формування підсистеми моніторингу суднових технічних засобів у складі системи комплексного зниження енергетичних втрат торгових суден, актуальність якої зумовлена зростанням вимог до енергетичної ефективності флоту та необхідністю підвищення обґрунтованості управлінських рішень у процесі експлуатації суден. Метою роботи є обґрунтування та формалізація методичних основ формування підсистеми моніторингу суднових технічних засобів як складової інтегрованої системи управління енергетичними втратами. У дослідженні застосовано системний підхід, методи структурно-логічного моделювання, функціонально-структурного аналізу та логіко-аналітичного узагальнення, що дозволило формалізувати процес моделювання та побудови інформаційної системи моніторингу. Основним результатом роботи є розроблення узагальненої структурно-логічної схеми методики формування підсистеми моніторингу суднових технічних засобів, яка відображає послідовність етапів її реалізації та визначає взаємозв'язки між інформаційними, аналітичними та експлуатаційними процесами. Показано, що запропонована методика створює методичне підґрунтя для інтеграції підсистеми моніторингу з процесами експлуатації та технічного обслуговування судна і може бути використана при проєктуванні та модернізації бортових інформаційних систем, орієнтованих на зниження енергетичних втрат. Наукова новизна роботи полягає у формалізації методичних основ формування підсистеми моніторингу як елемента системи комплексного зниження енергетичних втрат торгових суден. Практична значущість визначається можливістю застосування запропонованої методики для підвищення ефективності використання даних моніторингу у задачах управління енергоефективністю суден. Подальші дослідження доцільно спрямувати на розвиток прогностичних і прескриптивних алгоритмів на основі результатів моніторингу.

Ключові слова: підсистема моніторингу, суднові технічні засоби, енергетичні втрати, енергоефективність судна, інформаційна система, методичні основи, структурно-логічна схема, експлуатація суден.

Постановка проблеми

Підвищення енергетичної ефективності торгових суден є однією з ключових задач сучасного морського транспорту, що зумовлено зростанням вартості енергоресурсів, посиленням міжнародних екологічних вимог та необхідністю зниження експлуатаційних витрат флоту. Значна частина енергетичних втрат у процесі експлуатації суден пов'язана з відхиленнями технічного стану та нераціональними режимами роботи суднових технічних засобів (СТЗ), які своєчасно не виявляються або недостатньо враховуються в системах управління енергоефективністю.

Незважаючи на активний розвиток бортових автоматизованих систем контролю, існуючі підходи до моніторингу суднових технічних засобів, як правило, орієнтовані на вирішення локальних задач технічної діагностики та не забезпечують комплексного інформаційного супроводу процесів зниження енергетичних втрат судна. Відсутність єдиної методичної основи формування підсистеми моніторингу призводить до фрагментарності інформаційних потоків, ускладнює інтеграцію даних з процесами експлуатації та технічного обслуговування (ТО) і знижує ефективність прийняття управлінських рішень.

Таким чином, наукова проблема, що розглядається у статті, полягає у відсутності узагальненої методики формування підсистеми моніторингу суднових технічних засобів, яка б забезпечувала її системну

інтеграцію в контур управління комплексним зниженням енергетичних втрат торгових суден. Вирішення цієї проблеми потребує визначення структурних і функціональних складових підсистеми моніторингу, формалізації етапів її моделювання та побудови, а також обґрунтування взаємозв'язків між інформаційними, аналітичними та експлуатаційними процесами.

Предметом дослідження є методи та підходи до формування підсистеми моніторингу суднових технічних засобів у складі системи комплексного зниження енергетичних втрат торгових суден. Основними аспектами дослідження є структурна організація підсистеми моніторингу, принципи формування інформаційних потоків, а також інтеграція результатів моніторингу з процесами експлуатації та технічного обслуговування судна.

Актуальність дослідження зумовлена необхідністю створення методично-обґрунтованих рішень, які дозволяють підвищити ефективність використання даних про технічний стан і режими роботи суднових технічних засобів у задачах управління енергетичними втратами. У цьому контексті особливого значення набуває розроблення узагальненої методики, здатної стати основою для подальшої реалізації прогностичних і прескриптивних підходів до управління енергоефективністю торгових суден.

Вирішення поставленої проблеми передбачає формування методичних основ побудови підсистеми

моніторингу, що визначає логіку та послідовність її реалізації і створює передумови для підвищення енергетичної ефективності суден у сучасних умовах експлуатації.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Проблематика комплексного зниження енергетичних втрат на торгових судах у сучасних дослідженнях розвивається за кількома взаємопов'язаними напрямками: (1) енергоефективне проектування та експлуатація судових енергосистем; (2) побудова та інтеграція систем моніторингу технічного стану і режимів роботи СТЗ; (3) застосування інтелектуальних та даних-орієнтованих методів для раннього виявлення деградації та оптимізації режимів. Водночас у значній частині робіт відсутня узагальнена методика формування саме підсистеми моніторингу СТЗ як складової системи комплексного зниження енергетичних втрат, що ускладнює відтворюваність рішень, їх масштабування та інтеграцію з експлуатаційними процесами.

Дослідження, орієнтовані на енергоефективність життєвого циклу судна, наголошують на потребі врахування заходів енергозбереження ще на ранніх етапах проектування, а також на важливості безперервного моніторингу для виявлення джерел втрат енергії в обладнанні та допоміжних системах [1]. Окремим напрямом є практичні методології побудови систем вимірювання параметрів енергопостачання: запропоновано підхід до встановлення систем моніторингу якості електроенергії з використанням взаємопов'язаних вимірювальних приладів у локальних мережах для оптимізації критичних навантажень [2]. Такі роботи демонструють прикладну цінність мережевих вимірювань, однак переважно фокусуються на окремих підсистемах (електроенергетиці) без методичного узгодження з моніторингом стану СТЗ як джерела енергетичних втрат. Суттєвий пласт робіт стосується інтеграції моніторингу технічного стану з бортовими автоматизованими системами та передаванням даних на берег. У сучасних дослідженнях показано, що інтеграція підсистем моніторингу з бортовими автоматизованими системами керування та сигналізації дозволяє реалізувати контроль технічного стану судового обладнання в режимі реального часу, а також забезпечити передавання діагностичної інформації до берегових служб. Важливим є й підхід до інтегрованих систем зменшення енерговитрат, де підсистема моніторингу розглядається як елемент загального рішення [3]. Разом із тим у цих публікаціях недостатньо формалізовано саме поетапну методіку побудови підсистеми моніторингу СТЗ (від постановки цілей і структури даних до інтеграції з ТО та експлуатаційними рішеннями).

Окремі дослідження зосереджені на методологіях підвищення енергоефективності судових енергетичних систем [4]. Окремі дослідження зосереджені на побудові інтегрованих систем моніторингу морських дизельних двигунів з метою зниження експлуатаційних

витрат та підвищення безпеки. Разом з тим у таких роботах фокус, як правило, обмежується окремими класами судових технічних засобів, що не забезпечує комплексного підходу до зниження енергетичних втрат судна в цілому. Їхнім сильним боком є орієнтація на практичні сценарії експлуатації двигунів, однак фокус здебільшого зужений до одного класу СТЗ (дизельні двигуни), тоді як комплексне зниження енергетичних втрат потребує узгодженого моніторингу ширшого переліку СТЗ (енергетична установка, електромережа, допоміжні механізми, системи теплопостачання тощо).

У напрямі інтелектуалізації моніторингу запропоновано системи оцінювання експлуатаційних властивостей судового енергетичного обладнання на основі марковських ланцюгів, імовірнісних моделей та багатокритеріальної оптимізації [5]. Також показано, що даних-орієнтовані методи діагностики з використанням машинного навчання дозволяють на ранній стадії виявляти несправності, що розвиваються, і тим самим створюють передумови підвищення енергоефективності [6]. Перевагою цих підходів є потенціал прогнозування й автоматизації, однак у багатьох випадках залишаються відкритими питання уніфікації даних, узгодження моделей із експлуатаційними режимами, а також вбудовування результатів моніторингу в контур прийняття рішень (експлуатація/ТО) для саме комплексного зниження енергетичних втрат. Розвиток інформаційно-діагностичних комплексів для оцінювання технічного стану обладнання також підтверджує важливість систематизації даних і алгоритмів у реальних технологічних системах [7]. Поряд із цим представлено інформаційні системи для моніторингу та прогнозування технічного стану енергетичної установки судна [8], а також обчислювальні методи моніторингу енергоспоживання та оцінки прихованих втрат енергії в технологічних системах [9]. Дані результати демонструють, що моніторинг має бути поєднаний з аналітикою й прогнозом, однак у цих працях не завжди відображено методичний зв'язок між: (а) моделлю предметної області СТЗ; (б) структурою бази даних; (в) правилами/алгоритмами оцінювання; (г) механізмами інтеграції з експлуатаційним контуром зниження втрат.

Публікації, присвячені технічним та експлуатаційним заходам скорочення викидів і підвищення екологічної та енергетичної ефективності суден, дають ширший контекст, однак, як правило, не деталізують питання побудови підсистеми моніторингу СТЗ як інструменту керування енергетичними втратами [10]. Водночас існують фундаментальні підходи до оцінки та прогнозування технічного стану складних технічних систем суден у складних умовах [11], а також методи оцінки економічних вигод від інтеграції відновлюваних джерел енергії та накопичувачів у судовій енергосистемі [12]. Ці роботи важливі як теоретична та економічна основа, проте вони не замінюють потреби у структурованій методиці побудови підсистеми

моніторингу СТЗ, яка забезпечує збір релевантних даних і зворотний зв'язок для управління втратами.

Важливим напрямом сучасних досліджень є розвиток методів технічного обслуговування суднових енергетичних і допоміжних систем на основі даних моніторингу, що безпосередньо пов'язано зі зниженням енергетичних втрат у процесі експлуатації. Так, у роботі автора Головань А.І. розглянуто особливості оптимізації плану технічного обслуговування термоелектричних генераторів суднових пропульсивних систем із використанням підходів інтелектуальної оптимізації та аналізу експлуатаційних даних [13]. Отримані результати демонструють, що ефективність технічного обслуговування суттєво залежить від якості та повноти інформації про технічний стан обладнання, що підкреслює необхідність наявності структурованої підсистеми моніторингу як джерела вхідних даних для оптимізаційних процедур. У контексті забезпечення надійності та енергоефективності суднових систем електропостачання заслуговує на увагу робота, присвячена оптимізації періодичності контролю залишкової ємності свинцево-кислотних акумуляторів аварійних джерел живлення суден на основі імітаційного моделювання методом Монте-Карло [14]. Автори показують, що обґрунтований вибір частоти вимірювань параметрів технічного стану дозволяє знизити ризики відмов і водночас оптимізувати витрати на обслуговування. Разом з тим у зазначеній роботі питання інтеграції процедур моніторингу в загальну систему управління енергетичними втратами судна розглядається опосередковано, без формалізації методики побудови відповідної підсистеми моніторингу. Подальший розвиток даного напрямку представлено в дослідженні, присвяченому цифровим двійникам та IoT як інструментам підвищення ефективності інформаційного обміну в системах технічного обслуговування суден. Запропонована авторами комплексна цифрова рамка демонструє потенціал інтеграції даних моніторингу, моделей технічного стану та експлуатаційних процесів у єдиному інформаційному середовищі. Водночас зазначене дослідження зосереджене переважно на інформаційній взаємодії та цифровій інфраструктурі, залишаючи відкритим питання методичного поетапного формування підсистеми моніторингу суднових технічних засобів саме з позицій комплексного зниження енергетичних втрат. Таким чином, результати робіт [15] підтверджують зростаючу роль систем моніторингу, цифрових технологій та даних-орієнтованого технічного обслуговування у підвищенні енергоефективності та надійності суден. Разом з тим вони також підкреслюють наявність методичної прогалини, що полягає у відсутності узагальненої, структурно формалізованої методики формування підсистеми моніторингу суднових технічних засобів, інтегрованої в систему комплексного зниження енергетичних втрат. Усунення цієї прогалини і становить науково-методичну основу поданого дослідження.

Отже, аналіз сучасних публікацій показує наявність значних напрацювань щодо окремих

компонентів (моніторинг якості електроенергії, інтеграція з AMS/двигуном, інтелектуальні методи діагностики, прогноз стану, оцінка прихованих втрат), однак недостатньо дослідженим залишається питання методичного (поетапного) формування підсистеми моніторингу суднових технічних засобів саме як частини системи комплексного зниження енергетичних втрат, включаючи: узгодження цілей і KPI; побудову архітектури та структури даних; визначення алгоритмів обробки й оцінювання; механізми інтеграції з експлуатацією та технічним обслуговуванням. Саме усунення цієї прогалини і визначає напрям власного дослідження та обґрунтовує доцільність розроблення узагальненої методики, представленої у вигляді структурно-логічної схеми.

Мета статті

Метою статті є обґрунтування та формалізація методичних основ формування підсистеми моніторингу суднових технічних засобів як складової системи комплексного зниження енергетичних втрат торгових суден шляхом розроблення узагальненої структурно-логічної схеми моделювання та побудови відповідної інформаційної системи.

Матеріали та методи

Об'єктом дослідження є процеси інформаційного забезпечення моніторингу технічного стану та режимів роботи суднових технічних засобів торгових суден у контурі управління енергетичними втратами.

Предметом дослідження є методи та підходи до формування підсистеми моніторингу суднових технічних засобів як складової інформаційної системи комплексного зниження енергетичних втрат судна.

Як матеріали дослідження використано узагальнені дані про структуру та функціонування суднових технічних засобів, режими їх експлуатації, а також типові інформаційні потоки, що формуються бортовими автоматизованими системами контролю та управління. Аналіз здійснювався без прив'язки до конкретного типу судна, що забезпечує універсальність запропонованої методики.

У роботі застосовано системний підхід до аналізу та синтезу інформаційної системи моніторингу, що дозволило розглядати підсистему моніторингу як елемент ієрархічної структури системи управління енергетичними втратами судна. Для формалізації взаємозв'язків між елементами підсистеми використано структурно-логічне моделювання, результатом якого є узагальнена схема методики моделювання та побудови інформаційної системи моніторингу.

При формуванні методичних основ використано методи декомпозиції складних технічних систем, функціонально-структурного аналізу, а також логіко-аналітичного узагальнення результатів аналізу наукових публікацій і практичного досвіду експлуатації суднових технічних засобів. Для оцінювання логічної

узгодженості етапів методики застосовано методи експертного аналізу та порівняльного зіставлення варіантів побудови підсистеми моніторингу.

Інструментально дослідження виконувалося із застосуванням засобів структурного моделювання інформаційних систем, що забезпечило формалізоване представлення етапів формування підсистеми моніторингу та можливість її подальшої адаптації до конкретних умов експлуатації суден.

Таким чином, використані матеріали та методи забезпечують відтворюваність запропонованої методики, а також її практичну придатність для застосування на різних типах торгових суден без втрати узагальненого характеру результатів.

Виклад основного матеріалу

Сучасні підходи до підвищення енергетичної ефективності торгових суден передбачають перехід від фрагментарного контролю окремих параметрів суднових технічних засобів до інтегрованих інформаційних систем, здатних забезпечити комплексний моніторинг їх технічного стану та режимів роботи. У таких умовах особливого значення набуває формування підсистеми моніторингу, яка повинна не лише акумулювати дані від різнорідних джерел, але й забезпечувати їх узгоджене використання в задачах зниження енергетичних втрат судна.

Аналіз існуючих рішень у галузі суднової автоматизації показує, що на практиці підсистеми моніторингу суднових технічних засобів часто реалізуються ізольовано, без чітко визначеної методичної основи їх інтеграції з системами управління енергетичною ефективністю та процесами експлуатації. Це призводить до обмеженого використання потенціалу наявних інформаційних ресурсів і ускладнює прийняття обґрунтованих рішень щодо оптимізації режимів роботи суднових технічних засобів.

У зв'язку з цим виникає необхідність методичного узагальнення процесу формування підсистеми моніторингу суднових технічних засобів, яке б враховувало її місце у структурі системи комплексного зниження енергетичних втрат торгових суден. Таке узагальнення має забезпечувати поетапне моделювання інформаційної системи моніторингу, визначення її архітектури, функціональних зв'язків та взаємодії з експлуатаційними і технічними процесами.

Для вирішення зазначеної науково-практичної задачі у роботі запропоновано узагальнену методику моделювання та побудови інформаційної системи моніторингу суднових технічних засобів, яка формалізує основні етапи формування відповідної підсистеми та встановлює логічні взаємозв'язки між ними. Методика орієнтована на застосування в умовах реальної експлуатації торгових суден і може бути адаптована до різних типів суднових енергетичних установок та рівнів автоматизації.

З урахуванням поставленої мети у роботі під формуванням підсистеми моніторингу суднових технічних засобів розуміється не лише вибір засобів контролю та каналів збору даних, а методично обґрунтований процес побудови цілісного інформаційного контуру, який забезпечує: (i) систематичне отримання достовірних даних про технічний стан і режими роботи СТЗ; (ii) їх перетворення в показники енергетичних втрат і неефективності; (iii) підтримку управлінських рішень щодо режимів експлуатації та технічного обслуговування у межах системи комплексного зниження енергетичних втрат торгових суден.

Методичні основи формування підсистеми моніторингу в даному дослідженні базуються на таких положеннях:

1. цільова орієнтація – встановлення цілей моніторингу та набору індикаторів (KPI), що пов'язують параметри СТЗ з енергетичними втратами;

2. системність і сумісність – узгодження підсистеми моніторингу з бортовими автоматизованими системами, структурою енергетичної установки та умовами експлуатації;

3. єдність даних і моделей – формування структури даних (БД), моделей предметної області та правил інтерпретації вимірювань для виявлення відхилень і причин втрат;

4. замкнений контур «моніторинг → рішення → контроль ефекту» – інтеграція результатів моніторингу з процесами експлуатації та технічного обслуговування з подальшим оновленням еталонів, моделей і порогів за результатами роботи судна.

Для забезпечення відтворюваності підходу зазначені положення формалізовано у вигляді узагальненої структурно-логічної схеми, що відображає послідовність етапів моделювання та побудови відповідної інформаційної системи: від постановки цілей і вибору архітектурного рішення до розроблення структури даних, алгоритмів обробки, інтерфейсів подання результатів і організації взаємодії з експлуатаційними процедурами. Саме така формалізація дозволяє трактувати підсистему моніторингу СТЗ як функціонально завершений елемент системи комплексного зниження енергетичних втрат і забезпечує можливість її адаптації до різних типів торгових суден та рівнів автоматизації (рис. 1).

У межах даного дослідження систему комплексного зниження енергетичних втрат торгового судна розглянуто як сукупність організаційно-технічних та інформаційно-алгоритмічних заходів, спрямованих на мінімізацію різниці між підведеною енергією (паливо, електроенергія, теплота) та корисною роботою пропульсивної й допоміжних систем. Джерела втрат доцільно групувати на теплові (неповне використання відпрацьованої теплоти, втрати в теплообмінниках), механічні (зростання тертя, деградація гвинто-рульового комплексу), електричні (низький коефіцієнт потужності, гармоніки, перевантаження), гідродинамічні (обротання, невідповідність швидкісного режиму) та

експлуатаційні (неоптимальні режими навантаження, простій). За цих умов підсистема моніторингу суднових технічних засобів має формувати єдиний інформаційний контур «вимірювання → синхронізація і нормалізація → оцінювання енергетичних втрат → виявлення відхилень → рекомендації/заявки ТО → контроль ефекту», інтегруючи дані бортових систем (ACMS/AMS/IAS/EMS) з контекстом рейсу (швидкість, осадка/вантаж, гідрометеорологічні умови) та забезпечуючи розрахунок показників енергоефективності й технічного стану. Вихідними продуктами

підсистеми є діагностичні повідомлення, ранжування причин зростання втрат, рекомендації щодо оптимізації режимів роботи та пріоритети технічного обслуговування.

Подальший виклад основного матеріалу присвячено опису зазначеної методики, представленій у вигляді структурно-логічної схеми, що відображає послідовність етапів формування підсистеми моніторингу та її інтеграцію в систему комплексного зниження енергетичних втрат торгових суден (рис. 1).

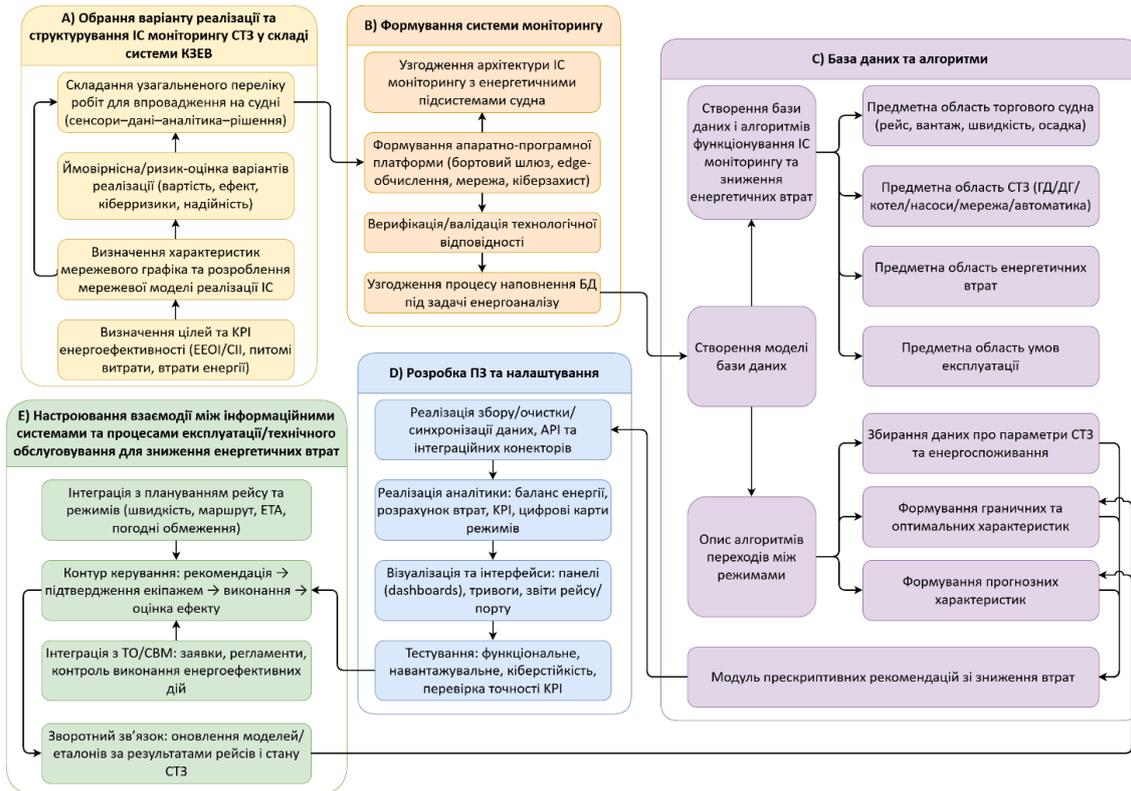


Рис. 1 – Загальна методика моделювання та побудови інформаційної системи моніторингу суднових технічних засобів у складі системи комплексного зниження енергетичних втрат торгових суден

На рис. 1 представлено узагальнену структурно-логічну схему методики моделювання та побудови інформаційної системи моніторингу суднових технічних засобів у складі системи комплексного зниження енергетичних втрат торгових суден. Запропонована методика відображає поетапний процес формування підсистеми моніторингу, починаючи від постановки цілей та вибору варіанта реалізації і завершуючи інтеграцією результатів моніторингу з процесами експлуатації та технічного обслуговування судна.

На першому етапі здійснюється визначення цілей функціонування підсистеми моніторингу та її місця у загальній системі комплексного зниження енергетичних втрат. На цьому етапі формуються ключові критерії енергоефективності, визначаються контрольовані показники та обґрунтовуються вимоги до

інформаційного забезпечення. Паралельно виконується вибір варіанта реалізації підсистеми з урахуванням технічних, експлуатаційних та економічних обмежень, а також проводиться оцінювання можливих ризиків і очікуваного ефекту від впровадження.

Другий етап присвячений формуванню архітектури інформаційної системи моніторингу суднових технічних засобів. На цьому етапі визначається склад апаратно-програмних компонентів, принципи збору та передавання даних, а також узгодження підсистеми моніторингу з існуючими бортовими автоматизованими системами. Особлива увага приділяється забезпеченню сумісності підсистеми з енергетичними підсистемами судна та вимогами до надійності й безперервності інформаційного обміну.

На третьому етапі здійснюється формування бази даних та моделей предметної області, що забезпечують функціонування підсистеми моніторингу. В рамках цього етапу структуруються дані про технічний стан і режими роботи суднових технічних засобів, умови експлуатації судна, а також джерела та складові енергетичних витрат. Паралельно формуються аналітичні та інформаційні моделі, які дозволяють здійснювати нормування параметрів, порівняння фактичних і еталонних характеристик та підготовку інформації для подальшого аналізу.

Четвертий етап передбачає розроблення алгоритмів функціонування підсистеми моніторингу, включаючи алгоритми збору, обробки та аналізу даних. На цьому етапі реалізуються процедури оцінювання поточного технічного стану суднових технічних засобів, виявлення відхилень від оптимальних режимів роботи та формування інформаційних ознак зростання енергетичних витрат. Отримані результати слугують основою для формування рекомендацій щодо коригування режимів експлуатації та технічних рішень.

На п'ятому етапі виконується програмна реалізація та налаштування підсистеми моніторингу, що включає інтеграцію розроблених алгоритмів з апаратними засобами збору даних, реалізацію інтерфейсів користувача та проведення тестування працездатності системи. Цей етап забезпечує перевірку адекватності запропонованої методики в умовах реальної експлуатації судна.

Завершальним етапом методики є інтеграція підсистеми моніторингу з процесами експлуатації та технічного обслуговування судна. На цьому етапі результати моніторингу використовуються для підтримки прийняття рішень щодо оптимізації режимів роботи суднових технічних засобів, планування технічного обслуговування та оцінювання ефективності заходів зі зниження енергетичних витрат. Передбачений зворотний зв'язок забезпечує уточнення моделей і параметрів підсистеми на основі накопиченого експлуатаційного досвіду.

Таким чином, наведена на рис. 1 схема відображає цілісну методику формування підсистеми моніторингу суднових технічних засобів, яка поєднує інформаційні, аналітичні та експлуатаційні аспекти і створює методичне підґрунтя для комплексного зниження енергетичних витрат торгових суден.

Практична цінність отриманих результатів полягає у можливості безпосереднього використання запропонованої методики та структурно-логічної схеми при проектуванні, впровадженні та модернізації бортових інформаційних систем моніторингу суднових технічних засобів, орієнтованих на комплексне зниження енергетичних витрат торгових суден.

Запропонована схема дозволяє:

- уніфікувати процес формування підсистеми моніторингу суднових технічних засобів на етапах технічного проектування та експлуатації суден;

- забезпечити інтеграцію даних про технічний стан і режими роботи СТЗ з процесами аналізу енергетичних витрат і витрат у межах єдиного інформаційного контуру;
 - підвищити обґрунтованість управлінських рішень щодо вибору режимів експлуатації та технічного обслуговування суднових технічних засобів з урахуванням їхнього впливу на енергетичну ефективність;
 - скорочувати експлуатаційні витрати за рахунок своєчасного виявлення неефективних режимів роботи та відхилень технічного стану, що призводять до зростання енергетичних витрат;
 - створити методичну основу для впровадження елементів прогностичного та прескриптивного управління енергетичними процесами судна на базі даних моніторингу.
- Отримані результати можуть бути використані:
- судноплавними компаніями – при розробленні та адаптації систем енергетичного менеджменту суден;
 - проектними та інжиніринговими організаціями – при створенні або модернізації бортових автоматизованих систем;
 - експлуатаційними службами флоту – для підтримки рішень у сфері технічного обслуговування та підвищення енергоефективності суден;
 - у науково-освітній діяльності – при підготовці фахівців з експлуатації суднових енергетичних установок та цифрових систем управління.

Висновки

Обґрунтовано необхідність формування підсистеми моніторингу СТЗ як ключового інформаційного елемента системи комплексного зниження енергетичних витрат торгових суден.

Формалізовано методичні основи формування підсистеми моніторингу СТЗ, що визначають послідовність етапів від постановки цілей і КРІ витрат енергії до інтеграції з експлуатацією та технічним обслуговуванням.

Основним результатом є узагальнена структурно-логічна схема, яка описує етапи моделювання та побудови інформаційної системи моніторингу (архітектура, дані/БД, алгоритми обробки, інтерфейси, механізми інтеграції).

Показано, що запропонована методика забезпечує замкнений контур «моніторинг → оцінка/виявлення витрат → рішення (режими/ТО) → контроль ефекту», створюючи основу для прогностичних і прескриптивних процедур управління енергоефективністю.

Практична значущість полягає у можливості використання методики як уніфікованої основи для

проектування, впровадження та модернізації бортових ІС моніторингу СТЗ на різних типах торгових суден.

Перелік використаних джерел

- [1] Electrical design for efficiency: Technical and operational measures for optimizing the use of electrical power on ships / Sanabria Vargas Ó. A., Vergara Pestana H. D., Mendoza Iglesias R. R., Salas Berrocal G. G. *Ciencia y Tecnología de Buques*. 2023. Vol. 17(33). Pp. 33-41. DOI: <https://doi.org/10.25043/19098642.240>.
- [2] Dallas S. E., Skoufis A. D., Prousalidis J. M. Introducing a ship electric power quality monitoring system for green shipping. *2014 International Conference on Electrical Machines (ICEM)*, Berlin, Germany, 02-05 September 2014. Pp. 2312-2318. DOI: <https://doi.org/10.1109/ICELMACH.2014.6960508>.
- [3] Asalomia L. B., Samoilescu G. Naval Energy Management System. *Knowledge-based organization : International Conference*, Sibiu, Romania, 11-13 June 2020. Vol. 26(3). Pp. 20-25. DOI: <https://doi.org/10.2478/kbo-2020-0109>.
- [4] Katelieva E. Methodology for energy efficiency improvement of ship motor driven systems. *Journal of Marine Technology and Environment*. 2022. Vol. 2. Pp. 28-33. DOI: <https://doi.org/10.53464/JMTE.02.2022.05>.
- [5] A. Yanenko. Intelligent system for monitoring the operational properties of ship power equipment. *Вісник Приазовського державного технічного університету. Серія: Технічні науки*. 2024. Вип. 48. С. 205-219. DOI: <https://doi.org/10.31498/2225-6733.48.2024.310713>.
- [6] Cheliotis M., Lazakis I., Theotokatos G. Machine learning and data-driven fault detection for ship systems operations. *Ocean Engineering*. 2020. Vol. 216. Article 107968. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2020.107968>.
- [7] Improving the methodology for assessing the technical condition of equipment during the transportation of energy carrier in energy systems and complexes / Gaponenko S. O., Shakurova R. Z., Kondratiev A. E., Dimova R. *E3S Web of Conferences*. 2019. Vol. 124. Article 01021. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201912401021>.
- [8] Information system for monitoring of a ship power plant and prediction of technical condition / V. Mateichyk et al. *Transportation Research Procedia*. 2023. Vol. 74. Pp. 1179-1186. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2023.11.259>.
- [9] Pleskach, B. Energy Consumption Monitoring with Evaluation of Hidden Energy Losses. *International Journal of Computing*. 2022. Vol. 21, iss. 4. Pp. 482–488. DOI: <https://doi.org/10.47839/ijc.21.4.2784>.
- [10] Technical and operational measures to reduce greenhouse gas emissions and improve the environmental and energy efficiency of ships / O. Onishchenko et al. *Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport*. 2022. Vol. 116. Pp. 223-235. DOI: <https://doi.org/10.20858/sjsutst.2022.116.14>.
- [11] Devising a method for the estimation and prediction of technical condition of ship complex systems / V. Vychuzhanin et al. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2016. Vol. 6, № 9(84). Pp. 4-11. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.85605>.
- [12] Tsekouras G. J., Kanellos F. D., Prousalidis J. Simplified method for the assessment of ship electric power systems operation cost reduction from energy storage and renewable energy sources integration. *IET Electrical Systems in Transportation*. 2015. Vol. 5(2). Pp. 61-69. DOI: <https://doi.org/10.1049/iet-est.2013.0011>.
- [13] Features of Op-timization of Maintenance Plan for Thermoelectric Generators of Marine Propulsion Systems / A. Golovan et al. *TRANSBALTICA XV: Transportation Science and Technology : Proceedings of the 15th International Conference*, Vilnius, Lithuania, 19-20 September 2025. Pp. 26-35. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-85390-6_3.
- [14] Golovan A., Gritsuk I., Honcharuk I. Reliable Ship Emergency Power Source: A Monte Carlo Simulation Approach to Optimize Remaining Capacity Measurement Frequency for Lead-Acid Battery Maintenance. *SAE International Journal of Electrified Vehicles*. 2023. Vol. 13(2). Pp. 179-189. DOI: <https://doi.org/10.4271/14-13-02-0009>.
- [15] Enhancing Information Exchange in Ship Maintenance through Digital Twins and IoT: A Comprehensive Framework / A. Golovan et al. *Computers*. 2024. Vol. 13(10). Article 261. DOI: <https://doi.org/10.3390/computers13100261>.

METHODOLOGICAL BASIS FOR THE FORMATION OF A SUBSYSTEM FOR MONITORING SHIP MACHINERY AS PART OF A SYSTEM FOR THE COMPREHENSIVE REDUCTION OF ENERGY LOSSES IN MERCHANT SHIPS

Honcharuk I.P.

PhD (Engineering), associate professor, Odesa National Maritime University, Odesa, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5306-4206>, e-mail: h.onmu@ukr.net

The article discusses the problem of forming a subsystem for monitoring ship machinery as part of a comprehensive system for reducing energy losses in merchant ships, the relevance of which is due to the growing requirements for the

energy efficiency of the fleet and the need to improve the soundness of management decisions in the process of ship operation. The purpose of the work is to substantiate and formalize the methodological foundations for the formation of a subsystem for monitoring ship machinery as a component of an integrated energy loss management system. The study uses a systematic approach, methods of structural-logical modeling, functional-structural analysis, and logical-analytical generalization, which made it possible to formalize the process of modeling and building an information monitoring system. The main result of the work is the development of a generalized structural-logical diagram of the methodology for forming a subsystem for monitoring ship machinery, which reflects the sequence of stages of its implementation and defines the relationships between information, analytical, and operational processes. It is shown that the proposed methodology creates a methodological basis for integrating the monitoring subsystem with the processes of operation and maintenance of the vessel and can be used in the design and modernization of on-board information systems aimed at reducing energy losses. The scientific novelty of the work lies in the formalization of the methodological foundations for the formation of a monitoring subsystem as an element of a comprehensive system for reducing energy losses in merchant ships. The practical significance is determined by the possibility of applying the proposed methodology to improve the efficiency of using monitoring data in the tasks of managing the energy efficiency of ships. Further research should be directed towards the development of predictive and prescriptive algorithms based on monitoring results.

Keywords: monitoring subsystem, ship machinery, energy loss, ship energy efficiency, information system, methodological foundations, structural-logical diagram, ship operation.

References

- [1] Ó.A. Sanabria Vargas, H.D. Vergara Pestana, R.R. Mendoza Iglesias, and G.G. Salas Berrocal, "Electrical design for efficiency: Technical and operational measures for optimizing the use of electrical power on ships," *Ciencia y Tecnología de Buques*, vol. 17, no. 33, pp. 33-41, 2023. doi: [10.25043/19098642.240](https://doi.org/10.25043/19098642.240).
- [2] S.E. Dallas, A.D. Skoufis, and J. M. Prousalidis, "Introducing a ship electric power quality monitoring system for green shipping," in *Proc. of the Int. Conf. on Electrical Machines (ICEM)*, Berlin, Germany, Sept. 02-05, 2014, pp. 2312-2318. doi: [10.1109/ICELMACH.2014.6960508](https://doi.org/10.1109/ICELMACH.2014.6960508).
- [3] L.B. Asalomia, and G. Samoilescu, "Naval Energy Management System," in *Proc. of the Int. Conf. «Knowledge-based organization»*, Sibiu, Romania, June 11-13, 2020, vol. 26, no. 3, pp. 20-25, 2020. doi: [10.2478/kbo-2020-0109](https://doi.org/10.2478/kbo-2020-0109).
- [4] E. Katelieva, "Methodology for energy efficiency improvement of ship motor driven systems," *Journal of Marine Technology and Environment*, no. 2, pp. 28-33, 2022. doi: [10.53464/JMTE.02.2022.05](https://doi.org/10.53464/JMTE.02.2022.05).
- [5] A. Yanenko, "Intelligent system for monitoring the operational properties of ship power equipment," *Visnyk Pryazovskoho derzhavnoho tekhnichnoho universytetu. Seriya: Tekhnichni nauky – Reporter of the Priazovskyi State Technical University. Section: Technical Sciences*, no. 48, pp. 205-219, 2024. doi: [10.31498/2225-6733.48.2024.310713](https://doi.org/10.31498/2225-6733.48.2024.310713).
- [6] M. Cheliotis, I. Lazakis, and G. Theotokatos, "Machine learning and data-driven fault detection for ship systems operations," *Ocean Engineering*, vol. 216, article 107968, 2020. doi: [10.1016/j.oceaneng.2020.107968](https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2020.107968).
- [7] S.O. Gaponenko, R.Z. Shakurova, A.E. Kondratiev, and R. Dimova, "Improving the methodology for assessing the technical condition of equipment during the transportation of energy carrier in energy systems and complexes," *E3S Web of Conferences*, vol. 124, article 01021, 2019. doi: [10.1051/e3sconf/201912401021](https://doi.org/10.1051/e3sconf/201912401021).
- [8] V. Mateichyk, I. Gritsuk, M. Smieszek, B. Ghita, V. Chernenko, and O. Polishchuk, "Information system for monitoring of a ship power plant and prediction of technical condition," *Transportation Research Procedia*, vol. 74, pp. 1179-1186, 2023. doi: [10.1016/j.trpro.2023.11.259](https://doi.org/10.1016/j.trpro.2023.11.259).
- [9] B. Pleskach, "Energy consumption monitoring with evaluation of hidden energy losses," *International Journal of Computing*, vol. 21, iss. 4, pp. 482-488, 2022. doi: [10.47839/ijc.21.4.2784](https://doi.org/10.47839/ijc.21.4.2784).
- [10] O. Onishchenko, V. Golikov, O. Melnyk, S. Onyshchenko, and K. Obertiur, "Technical and operational measures to reduce greenhouse gas emissions and improve the environmental and energy efficiency of ships," *Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport*, no. 116, pp. 223-235, 2022. doi: [10.20858/sjsutst.2022.116.14](https://doi.org/10.20858/sjsutst.2022.116.14).
- [11] V. Vychuzhanin, N. Rudnichenko, V. Boyko, N. Shibaeva, and S. Konovalov, "Devising a method for the estimation and prediction of technical condition of ship complex systems," *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, vol. 6, no. 9 (84), pp. 4-11, 2016. doi: [10.15587/1729-4061.2016.85605](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.85605).
- [12] G.J. Tsekouras, F.D. Kanellos, and J. Prousalidis, "Simplified method for the assessment of ship electric power systems operation cost reduction from energy storage and renewable energy sources integration," *IET Electrical Systems in Transportation*, vol. 5, no. 2, pp. 61-69, 2015. doi: [10.1049/iet-est.2013.0011](https://doi.org/10.1049/iet-est.2013.0011).
- [13] A. Golovan, I. Gritsuk, I. Honcharuk, O. Volska, Y. Grytsuk, and V. Hritsuk, "Features of optimization of maintenance plan for thermoelectric generators of marine propulsion systems," in *Proc. of the Proc. of the 15th Int. Conf. «Transportation Science and Technology TRANSBALTICA XV»*, Vilnius, Lithuania, Sept. 19-20, 2025, pp. 26-35. doi: [10.1007/978-3-031-85390-6_3](https://doi.org/10.1007/978-3-031-85390-6_3).

- [14] A. Golovan, I. Gritsuk, and I. Honcharuk, "Reliable ship emergency power source: A Monte Carlo simulation approach to optimize remaining capacity measurement frequency for lead-acid battery maintenance," *SAE International Journal of Electrified Vehicles*, vol. 13, no. 2, pp. 179-189, 2023. doi: **10.4271/14-13-02-0009**.
- [15] A. Golovan, et al., "Enhancing information exchange in ship maintenance through digital twins and IoT: A comprehensive framework," *Computers*, vol. 13, no. 10, article 261, 2024. doi: **10.3390/computers13100261**.

Стаття надійшла 12.11.2025

Стаття прийнята 02.12.2025

Стаття опублікована 29.12.2025

Цитуйте цю статтю як: Гончарук І. П. Методичні основи формування підсистеми моніторингу суднових технічних засобів у складі системи комплексного зниження енергетичних втрат торгових суден. *Вісник Приазовського державного технічного університету. Серія: Технічні науки*. 2025. Вип. 52. С. 205-213. DOI: <https://doi.org/10.31498/2225-6733.52.2025.351131>.