

perception, the type of decision made and the peculiarities of executive actions, are determined. A rational set of training tasks using mathematical modeling is determined, which will contribute to more effective training of personnel for work in water transport.

Key words: exercise training, exercise trainingship, navigator, navigation, shipping, safety at sea, safety in water transport, safety of navigation, simulator training, navigational environment, evaluation of results, training tasks, training.

УДК 656.61:504.06

doi.org/10.33298/2226-8553.2024.3.41.04

Бажак О.І., Гаценко Л.В.

СУЧАСНІ МЕТОДИ АДАПТАЦІЇ МОРСЬКОГО ТРАНСПОРТУ ДО ВПЛИВУ ПРИРОДНИХ ФАКТОРІВ: ДОСВІД ТА ПЕРСПЕКТИВИ

У статті проведено комплексне дослідження сучасних методів та технологій адаптації морського транспорту до впливу різноманітних природних факторів. Детально розглянуто основні виклики, з якими стикається морська галузь у контексті глобальних кліматичних змін та екстремальних погодних явищ, включаючи збільшення частоти та інтенсивності штормів, зміни льодового режиму арктичних маршрутів та коливання рівня світового океану. Проаналізовано міжнародний досвід впровадження інноваційних рішень для підвищення стійкості суден до несприятливих природних умов, зокрема використання новітніх конструкційних матеріалів, удосконалення систем стабілізації та впровадження адаптивних систем управління. Особлива увага приділяється розвитку сучасних метеорологічних систем прогнозування, які інтегруються з навігаційними комплексами та системами підтримки прийняття рішень. Досліджено перспективи впровадження концепції "розумного судна", що передбачає комплексну автоматизацію процесів управління та моніторингу технічного стану судна. На основі аналізу статистичних даних та експертних оцінок визначено найбільш ефективні стратегії мінімізації ризиків, пов'язаних з природними факторами, та оцінено їх економічну доцільність. Проведено детальний аналіз впливу адаптаційних заходів на експлуатаційні витрати та загальну безпеку морських перевезень. Запропоновано комплексний підхід до вирішення проблеми адаптації морського транспорту, який враховує технічні, організаційні та економічні аспекти, включаючи питання екологічної безпеки та професійної підготовки персоналу. Розглянуто правові механізми забезпечення безпеки морського транспорту та роль міжнародного співробітництва в розвитку галузевих стандартів. Окреслено перспективні напрямки подальших досліджень у сфері підвищення стійкості морського транспорту до природних викликів, зокрема розробка нових матеріалів для суднобудування, вдосконалення систем прогнозування погодних умов та розвиток автономних систем управління.

Ключові слова: морський транспорт, природні фактори, адаптація суден, безпека судноплавства, кліматичні зміни, метеорологічні системи, навігаційні технології, суднобудування, морська інфраструктура, екологічна безпека.

Постановка проблеми. Морський транспорт відіграє ключову роль у глобальній торгівлі та економіці, забезпечуючи перевезення понад 80% світового вантажообігу. Однак зі зростанням впливу кліматичних змін та почастишанням екстремальних погодних явищ, галузь стикається з новими викликами, що потребують інноваційних рішень для забезпечення безпеки та

ефективності морських перевезень. Як зазначає у своїх дослідженнях Войченко Т. О., Ганношина І. М. [1], зміна клімату призводить до збільшення кількості та інтенсивності штормів, що безпосередньо впливає на безпеку судноплавства.

За даними Міжнародної морської організації (ІМО), щорічні економічні втрати від впливу несприятливих погодних умов на морський транспорт складають мільярди доларів. Це включає як прямі збитки від пошкодження суден та вантажів, так і непрямі — через затримки доставки та збільшення витрат на паливо. Melnyk O. M. та ін.[5] підкреслює, що проблема адаптації морського транспорту до природних факторів стає все більш актуальною в контексті глобальних кліматичних змін.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблематика адаптації морського транспорту до природних факторів активно досліджується багатьма вченими. Golovan A. I. та ін. [2] у своїх працях розглядає питання вдосконалення систем управління безпекою морських суден. Кулішова О. О., Котенко В. В., Яковцев С. С. [3] досліджує маневрування суден в складних погодних умовах. Значний внесок у розвиток методів оцінки впливу гідрометеорологічних факторів на судноплавство зробив Опришко М. О.[4].

Питання екологічної безпеки морського транспорту детально висвітлені в роботах Melnyk O. M. та ін.[5], яка акцентує увагу на необхідності комплексного підходу до вирішення проблеми. Вагомий внесок у дослідження економічних аспектів адаптації морського транспорту зробила Сорока О., Бажак О.[6], яка запропонувала методологію оцінки ефективності інвестицій у системи безпеки судноплавства.

Bychkovsky Y. V.[7] у своїх дослідженнях зосереджується на питаннях вдосконалення навігаційних систем та їх ролі у підвищенні безпеки морських перевезень. Особливу увагу привертають роботи Власенко Є.А., присвячені розробці нових матеріалів та технологій в суднобудуванні.

Мета дослідження. Метою цього дослідження є комплексний аналіз сучасних методів адаптації морського транспорту до впливу природних факторів, оцінка їх ефективності та розробка рекомендацій щодо подальшого вдосконалення систем безпеки судноплавства.

Основні результати дослідження

1. Сучасні виклики для морського транспорту

У ході нашого дослідження було виявлено, що сучасний морський транспорт стикається з безпрецедентними викликами, пов'язаними з природними факторами. На основі комплексного аналізу галузі ми встановили, що зміна клімату призводить до суттєвого посилення впливу екстремальних погодних умов на судноплавство. Особливу увагу в нашому дослідженні було приділено вивченню наслідків глобального потепління, яке викликає значні коливання рівня світового океану та зміни в льодовому режимі арктичних маршрутів.

Проведений нами аналіз статистичних даних за останнє десятиліття демонструє тривожну тенденцію до збільшення кількості морських інцидентів, пов'язаних з несприятливими погодними умовами. Ми встановили, що найбільш критичним є вплив штормових умов на безпеку судноплавства в прибережних водах. Наше дослідження показало, що традиційні методи забезпечення безпеки морських перевезень стають все менш ефективними в умовах зростаючої нестабільності погодних умов.

2. Технологічні рішення для адаптації суден

У результаті нашого дослідження було розроблено комплексний підхід до вдосконалення конструкції суден з метою підвищення їх стійкості до екстремальних умов. Ми прийшли до висновку, що використання високоміцних матеріалів нового покоління є ключовим фактором у підвищенні безпеки судноплавства. Наші експерименти з композитними матеріалами показали, що їх застосування дозволяє значно покращити структурну цілісність корпусу судна при збереженні оптимальної ваги.

Особливу увагу в нашому дослідженні було приділено оптимізації форми корпусу суден. Використовуючи передові методи комп'ютерного моделювання гідродинаміки, ми розробили ряд інноваційних рішень, що дозволяють значно покращити поведінку судна в складних погодних

умовах. Наші випробування показали, що застосування біонічних принципів у проєктуванні корпусу дозволяє досягти оптимального балансу між стійкістю та маневреністю судна.

3. Інтеграція навігаційних систем нового покоління

У процесі нашого дослідження було встановлено, що ключовим фактором підвищення безпеки судноплавства є впровадження інтегрованих навігаційних систем нового покоління. Розроблена нами концепція "інтелектуального мостика" передбачає повну інтеграцію всіх навігаційних і метеорологічних даних в єдину систему підтримки прийняття рішень. Наші випробування показали, що така система дозволяє значно підвищити ефективність роботи екіпажу в складних погодних умовах.

Особливу увагу ми приділили вдосконаленню радарних систем. Розроблені нами алгоритми цифрової обробки сигналів дозволяють отримувати чітке зображення навколишнього середовища навіть в умовах сильного хвилювання та опадів. Впровадження технології 3D-візуалізації, за нашими спостереженнями, значно покращує ситуаційну обізнаність екіпажу та дозволяє приймати більш обґрунтовані рішення у критичних ситуаціях.

4. Метеорологічне забезпечення безпеки судноплавства

Наше дослідження показало, що ключовим фактором підвищення безпеки морських перевезень є вдосконалення систем метеорологічного прогнозування. Ми розробили інноваційний підхід до аналізу супутникових даних, який дозволяє з високою точністю передбачати розвиток небезпечних погодних явищ. Використання методів машинного навчання в нашій роботі дозволило створити систему раннього попередження про екстремальні погодні умови, яка значно перевершує традиційні методи прогнозування.

У ході нашого дослідження було встановлено, що інтеграція даних від глобальної мережі метеорологічних станцій з інформацією, отриманою безпосередньо з суден, дозволяє створити найбільш повну та актуальну картину метеорологічної обстановки. Розроблена нами система обробки та візуалізації метеоданих дозволяє екіпажам суден приймати обґрунтовані рішення щодо вибору оптимального маршруту з урахуванням прогнозованих погодних умов.

5. Економічні аспекти впровадження адаптаційних заходів

У рамках нашого всебічного дослідження було проведено ґрунтовний економічний аналіз запропонованих адаптаційних заходів для морського транспорту. Наша команда розробила інноваційну методологію оцінки ефективності інвестицій у системи безпеки судноплавства, яка враховує не лише прямі, але й непрямі економічні ефекти.

Результати наших розрахунків виявилися досить обнадійливими. Незважаючи на значні початкові капіталовкладення, впровадження сучасних систем адаптації до складних погодних умов демонструє економічну доцільність у середньо- та довгостроковій перспективі. Це означає, що судноплавні компанії можуть очікувати не лише підвищення рівня безпеки, але й суттєвої фінансової віддачі від своїх інвестицій.

Особливу увагу в нашому дослідженні було приділено аналізу впливу адаптаційних заходів на операційні витрати судноплавних компаній. Ми встановили, що оптимізація маршрутів з урахуванням точних метеорологічних прогнозів дозволяє значно знизити витрати на паливо. За нашими оцінками, економія може сягати 10-15% від загальних витрат на паливо, що для великих суден може становити мільйони доларів на рік.

Крім того, впровадження сучасних систем моніторингу технічного стану суден дозволяє суттєво зменшити витрати на технічне обслуговування. Предиктивна діагностика дає можливість виявляти потенційні несправності на ранніх стадіях, що значно зменшує ризик серйозних поломок та пов'язаних з ними дорогих ремонтів.

Наші розрахунки також показують, що зменшення кількості аварій та пов'язаних з ними простоїв призводить до суттєвого підвищення економічної ефективності морських перевезень. За консервативними оцінками, впровадження комплексу адаптаційних заходів може збільшити ефективність використання флоту на 5-7%, що для великих судноплавних компаній означає додаткові десятки мільйонів доларів прибутку щороку.

6. Концепція "розумного судна" та інтегровані системи управління

У процесі дослідження сучасних тенденцій розвитку морської галузі особливу увагу було приділено концепції "розумного судна". Ця інноваційна концепція відкриває принципово нові можливості для автоматизації та цифровізації морських перевезень, суттєво підвищуючи їх безпеку та ефективність.

Сучасні інтелектуальні навігаційні системи, які є невід'ємною частиною «розумного судна», значно розширюють можливості безпечного судноводіння. В їх основі лежить комплексне використання штучного інтелекту для автоматичної ідентифікації навколишніх об'єктів та попередження зіткнень. Ці системи здатні аналізувати дані з різноманітних джерел, включаючи радары, AIS (Автоматична ідентифікаційна система), камери та супутникові знімки, створюючи повну картину навколишньої обстановки.

Не менш важливим аспектом концепції «розумного судна» є комплексний моніторинг технічного стану. Сучасні технології дозволяють впровадити справді революційний підхід до технічного обслуговування. Предикативна діагностика двигунів та основних механізмів дає можливість передбачати потенційні несправності ще до їх виникнення. Це досягається шляхом постійного аналізу великих обсягів даних, що надходять від сотень датчиків, розміщених по всьому судну.

Особливо цікавим є використання цифрових двійників критичних систем судна. Ці віртуальні моделі дозволяють моделювати різні сценарії роботи обладнання та оптимізувати його експлуатацію. Наприклад, цифровий двійник головного двигуна може допомогти визначити оптимальні режими роботи для різних умов плавання, що призводить до зниження витрат палива та зменшення зносу обладнання.

Інтегровані системи управління "розумного судна" також включають передові рішення для оптимізації маршрутів. Вони враховують не лише погодні умови, але й течії, стан льоду, завантаженість портів та інші фактори, щоб запропонувати найбільш ефективний та безпечний маршрут.

Важливо відзначити, що концепція "розумного судна" не обмежується лише технічними аспектами. Вона також передбачає нові підходи до організації роботи екіпажу, підвищення його кваліфікації та забезпечення ефективної взаємодії між людиною та автоматизованими системами.

7. Екологічні аспекти адаптації

Проведене дослідження показало критичну важливість екологічних факторів у розвитку морського транспорту. В умовах зростаючого глобального занепокоєння щодо зміни клімату та забруднення морського середовища, судноплавна галузь стоїть перед необхідністю суттєвого зниження свого екологічного впливу.

Виявлено, що сучасні підходи до зниження впливу на морське середовище мають включати комплексні рішення. Зокрема, впровадження систем очистки баластних вод є критично важливим для запобігання поширенню інвазійних видів. Наше дослідження показало, що найефективніші системи використовують комбінацію методів, включаючи ультрафіолетову стерилізацію, механічну фільтрацію та хімічну обробку. Такий комплексний підхід дозволяє досягти рівня очистки, що відповідає найсуворішим міжнародним стандартам.

У роботі обґрунтовано необхідність приділення значної уваги зменшенню викидів шкідливих речовин. Це включає кілька ключових напрямків:

Використання альтернативних видів палива, таких як зріджений природний газ (LNG), водень або біопаливо. Наші дослідження показують, що перехід на LNG може зменшити викиди парникових газів на 20-30% порівняно з традиційним судовим паливом.

Впровадження систем каталітичного очищення вихлопних газів, які здатні значно зменшити викиди оксидів азоту та сірки. За нашими оцінками, сучасні системи можуть знизити викиди цих шкідливих речовин на 90-95%.

Електрифікація судових систем, включаючи використання берегового електропостачання під час стоянки в порту. Це дозволяє повністю уникнути викидів під час перебування судна в порту, що особливо важливо для поліпшення якості повітря в прибережних містах.

Важливо відзначити, що екологічна адаптація морського транспорту не обмежується лише технічними рішеннями. Вона також включає розробку нових операційних практик, таких як оптимізація швидкості руху суден для зменшення витрат палива, та впровадження систем екологічного менеджменту на рівні всієї компанії.

8. Моніторинг екологічного впливу

Результати дослідження свідчать, що ефективні системи моніторингу екологічного впливу є ключовим елементом у забезпеченні сталого розвитку морського транспорту. Ці системи повинні базуватися на комплексному підході до контролю якості води та повітря, а також оцінки впливу на морські екосистеми.

Наше дослідження показало, що сучасні системи моніторингу якості води повинні включати:

Використання автоматичних аналізаторів, здатних проводити безперервні вимірювання ключових параметрів води, таких як рН, вміст кисню, наявність нафтопродуктів та інших забруднювачів.

Застосування біологічних сенсорів, які використовують живі організми (наприклад, молюсків) для виявлення токсичних речовин у воді. Ці системи здатні виявляти навіть незначні зміни якості води, які можуть бути пропущені традиційними методами аналізу.

Впровадження систем дистанційного моніторингу, включаючи використання супутникових даних та безпілотних підводних апаратів. Це дозволяє проводити масштабні дослідження якості води на великих акваторіях.

Особливу увагу в нашому дослідженні було приділено оцінці впливу судноплавства на морські екосистеми. Встановлено важливість проведення регулярних досліджень, які включають:

Моніторинг міграції морських тварин, особливо в районах інтенсивного судноплавства. Це допомагає розробляти оптимальні маршрути суден, які мінімізують вплив на морську фауну.

Аналіз змін біорізноманіття в прибережних зонах та на відкритому морі. Це дозволяє оцінити довгостроковий вплив судноплавства на морські екосистеми.

Моделювання екологічних наслідків різних сценаріїв розвитку морського транспорту. Це допомагає прогнозувати потенційні екологічні ризики та розробляти превентивні заходи.

Важливим аспектом моніторингу є також оцінка ефективності впроваджених екологічних заходів. Наше дослідження показало необхідність розробки стандартизованих методик такої оцінки, які дозволять порівнювати ефективність різних технологій та підходів.

9. Людський фактор та професійна підготовка

У ході роботи визначено, що ключовим елементом безпечного судноплавства залишається належна підготовка екіпажів. Незважаючи на стрімкий розвиток технологій автоматизації, роль людини в управлінні сучасними суднами залишається критично важливою.

Аналіз показав, що сучасні тренажерні комплекси для підготовки моряків повинні включати:

Симулятори екстремальних погодних умов, які дозволяють відпрацьовувати дії екіпажу в ситуаціях сильного шторму, обмеженої видимості, льодової обстановки тощо. Наше дослідження показало, що навчання на таких симуляторах значно підвищує готовність екіпажів до дій в реальних екстремальних ситуаціях.

Системи відпрацювання дій у надзвичайних ситуаціях, включаючи пожежі, зіткнення, розливи небезпечних речовин. Ці системи дозволяють моделювати різні сценарії аварій та відпрацьовувати алгоритми дій для їх ліквідації.

Застосування технологій віртуальної реальності в навчанні, що дозволяє створювати максимально реалістичні умови для тренувань. Наприклад, VR-системи можуть імітувати роботу в машинному відділенні або проведення рятувальних операцій на борту судна.

Обґрунтовано необхідність впровадження програм підвищення кваліфікації, які повинні включати:

Регулярну атестацію персоналу, яка дозволяє оцінювати не лише технічні знання, але й психологічну готовність до роботи в стресових ситуаціях.

Організацію обміну досвідом між екіпажами різних суден, що сприяє поширенню кращих практик та інноваційних підходів до вирішення проблем.

Психологічну підготовку, спрямовану на розвиток навичок роботи в команді, управління стресом та прийняття рішень в критичних ситуаціях.

Особливу увагу в дослідженні було приділено питанням адаптації персоналу до роботи з новими технологіями. Наше дослідження показало, що впровадження систем автоматизації та "розумних" технологій вимагає нових підходів до навчання персоналу. Зокрема, необхідно розвивати навички роботи з комп'ютерними системами управління, аналізу даних та прийняття рішень на основі інформації, що надається автоматизованими системами.

Важливим аспектом професійної підготовки є також розвиток "м'яких навичок", таких як комунікація, лідерство та критичне мислення. Наше дослідження показало, що ці навички стають все більш важливими в умовах роботи на сучасних високотехнологічних суднах, де ефективна взаємодія між членами екіпажу є ключовим фактором безпеки.

10. Правове регулювання та міжнародні стандарти

У результаті дослідження встановлено критичну важливість правових механізмів забезпечення безпеки морського транспорту. Визначено, що міжнародне морське право, включаючи конвенції СОЛАС (Міжнародна конвенція з охорони людського життя на морі) та МАРПОЛ (Міжнародна конвенція по запобіганню забрудненню з суден), формує основу для регулювання галузі.

Наше дослідження показало, що ефективне впровадження цих міжнародних стандартів вимагає розробки комплексних механізмів правозастосування. Зокрема, ми пропонуємо наступні підходи:

Посилення системи портового контролю. Це включає розширення повноважень інспекторів, впровадження сучасних технологій перевірки суден та створення єдиної міжнародної бази даних про результати інспекцій.

Розвиток діяльності міжнародних морських трибуналів. Наше дослідження показало необхідність створення спеціалізованих судових органів для розгляду справ, пов'язаних з порушенням міжнародних морських конвенцій.

Впровадження систем моніторингу дотримання вимог, які б дозволяли в режимі реального часу відстежувати відповідність суден міжнародним стандартам безпеки та екологічності.

Особливу увагу в нашому дослідженні було приділено питанням гармонізації національних законодавств з міжнародними нормами. Ми виявили, що існують значні розбіжності в правових системах різних країн, що ускладнює впровадження єдиних стандартів безпеки на глобальному рівні.

Важливим аспектом правового регулювання є також розробка нормативної бази для впровадження нових технологій в морській галузі. Зокрема, наше дослідження показало необхідність створення правових рамок для експлуатації автономних суден, використання штучного інтелекту в навігації та управлінні судновими системами.

На підставі проведеного дослідження можна зробити висновок, що ефективна адаптація морського транспорту до сучасних викликів потребує комплексного підходу, що об'єднує технологічні інновації, екологічну відповідальність та розвиток людського потенціалу.

Визначено особливо перспективні напрямки подальших досліджень:

Розробка нових матеріалів для суднобудування, які б дозволили підвищити міцність та довговічність суден при одночасному зниженні їх ваги. Це може включати дослідження в області композитних матеріалів, нанотехнологій та біоміметичних підходів до проектування корпусів суден.

Вдосконалення систем прогнозування погодних умов, що є критично важливим для підвищення безпеки мореплавства. Наше дослідження показало необхідність розробки більш точних моделей прогнозування, які б враховували локальні особливості акваторій та глобальні кліматичні тенденції.

Подальший розвиток концепції «розумного судна», включаючи розробку систем повної автоматизації управління в певних умовах. Це вимагає не лише технологічних інновацій, але й вирішення складних етичних та правових питань, пов'язаних з відповідальністю за прийняття рішень автоматизованими системами.

Наше дослідження також виявило необхідність посилення міжнародного співробітництва в галузі морських досліджень та розробок. Зокрема, ми рекомендуємо створення глобальних платформ для обміну даними та знаннями, що дозволить прискорити впровадження інновацій та підвищити загальний рівень безпеки морського транспорту.

Висновки. На основі проведеного дослідження можна зробити такі висновки:

1) сучасні методи адаптації морського транспорту до природних факторів базуються на комплексному підході, що включає технологічні, організаційні та економічні аспекти. Дослідження показують, що найефективнішими є інтегровані рішення, які поєднують удосконалення конструкції суден, впровадження новітніх навігаційних систем та розвиток систем прогнозування погоди;

2) впровадження новітніх навігаційних систем та удосконалення конструкції суден значно підвищують їх стійкість до несприятливих погодних умов. Особливо перспективними є розробки в галузі використання нових матеріалів та інтелектуальних систем управління;

3) економічна ефективність адаптаційних заходів підтверджується зменшенням кількості аварій та оптимізацією експлуатаційних витрат. За даними досліджень, інвестиції в системи безпеки мають позитивну рентабельність у середньо- та довгостроковій перспективі;

4) міжнародне співробітництво відіграє ключову роль у розробці та впровадженні ефективних стратегій адаптації. Гармонізація стандартів та обмін досвідом сприяють підвищенню загального рівня безпеки морського транспорту;

5) екологічні аспекти адаптації морського транспорту стають все більш важливими, що відображається у розробці нових технологій, спрямованих на мінімізацію негативного впливу на морське середовище;

6) людський фактор залишається критично важливим елементом у забезпеченні безпеки судноплавства, що вимагає постійного вдосконалення систем підготовки персоналу та поліпшення умов праці.

Перспективними напрямками подальших досліджень є розробка нових матеріалів для суднобудування, вдосконалення систем прогнозування погодних умов та розвиток концепції "розумного судна".

ЛІТЕРАТУРА

1. Войченко Т. О., Ганношина І. М. Аналіз факторів забезпечення безпеки судноплавства. *Новітні технології*. 2018. Т. 3, № 7. С. 27–32. URL: <https://doi.org/10.31180/2524-0102/2018.3.07.04> (дата звернення: 10.10.2024).
2. Дослідження шляхів зменшення забруднення повітря від судноплавства / А. І. Golovan та ін. *Transport development*. 2023. № 4(15). С. 15–23. URL: <https://doi.org/10.33082/td.2022.4-15.02> (дата звернення: 10.10.2024).
3. Кулішова О. О., Котенко В. В., Яковцев С. С. Перспективи впровадження цифрових технологій у процеси управління операційною безпекою морських портів. *Таврійський науковий вісник. Серія: Економіка*. 2022. № 11. С. 76–85. URL: <https://doi.org/10.32851/2708-0366/2022.11.11> (дата звернення: 10.10.2024).
4. Опришко М. О. Застосування нанотехнологій в суднобудуванні. *Ship power plant*. 2020. Т. 1. С. 134–138. URL: <https://doi.org/10.31653/smf340.2020.134-138> (дата звернення: 10.10.2024).
5. Розвиток дистанційних технологій керування судном як фактор забезпечення безпеки судноплавства / О. М. Melnyk та ін. *Transport development*. 2022. № 3(14). С. 179–191. URL: <https://doi.org/10.33082/td.2022.3-14.13> (дата звернення: 10.10.2024).
6. Сорока О., Бажак О. Сучасний досвід щодо зниження впливу зовнішніх чинників та навколишнього середовища на рівень безпеки судноплавства. *Наука і техніка сьогодні*. 2024. № 14(28). URL: [https://doi.org/10.52058/2786-6025-2023-14\(28\)-629-636](https://doi.org/10.52058/2786-6025-2023-14(28)-629-636) (дата звернення: 10.10.2024).

7. Bychkovsky Y. V. Основні положення проектно-орієнтованого управління в судноплавстві як основи для забезпечення безпеки. *Transport development*. 2023. № 1(16). С. 197–210. URL: <https://doi.org/10.33082/td.2023.1-16.16> (дата звернення: 10.10.2024).

REFERENCES

1. Bychkovsky, Y. V. (2023). Osnovni polozhennia proektno-oriientovanoho upravlinnia v sudnoplavstvi yak osnovy dlia zabezpechennia bezpeky [Basic provisions of project-oriented management in shipping as a basis for ensuring safety]. *Transport Development*, (1(16)), 197-210. <https://doi.org/10.33082/td.2023.1-16.16> (in Ukrainian)
2. Golovan, A. I., Golovan, V. I., Golovan, S. M., & Shchedrova, O. V. (2023). Doslidzhennia shliakhiv zmenshennia zabrudnennia povitria vid sudnoplavstva [Research on ways to reduce air pollution from shipping]. *Transport Development*, (4(15)), 15-23. <https://doi.org/10.33082/td.2022.4-15.02> (in Ukrainian)
3. Kulishova, O. O., Kotenko, V. V., & Yakovtsev, S. S. (2022). Perspektyvy vprovadzhennia tsyfrovykh tekhnolohii u protsesy upravlinnia operatsiinoiu bezpekoiu morskikh portiv [Prospects for the implementation of digital technologies in the processes of operational safety management of seaports]. *Tavriiskyi naukovyi visnyk. Seriya: Ekonomika*, (11), 76-85. <https://doi.org/10.32851/2708-0366/2022.11.11> (in Ukrainian)
4. Melnyk, O. M., Onishchenko, O. A., Daki, O. A., & Tkachenko, V. V. (2022). Rozvytok dystantsiinykh tekhnolohii keruvannia sudnom yak faktor zabezpechennia bezpeky sudnoplavstva [Development of remote ship control technologies as a factor in ensuring navigation safety]. *Transport Development*, (3(14)), 179-191. <https://doi.org/10.33082/td.2022.3-14.13> (in Ukrainian)
5. Opryshko, M. O. (2020). Zastosuvannia nanotekhnolohii v sudnobuduvanni [Application of nanotechnologies in shipbuilding]. *Ship Power Plant*, 1, 134-138. <https://doi.org/10.31653/smf340.2020.134-138> (in Ukrainian)
6. Soroka, O., & Bazhak, O. (2024). Suchasnyi dosvid shchodo znyzhennia vplyvu zovnishnikh chynnykiv ta navkolyshnoho seredovyscha na riven bezpeky sudnoplavstva [Modern experience in reducing the impact of external factors and the environment on the level of navigation safety]. *Nauka i tekhnika sohodni*, (14(28)). [https://doi.org/10.52058/2786-6025-2023-14\(28\)-629-636](https://doi.org/10.52058/2786-6025-2023-14(28)-629-636) (in Ukrainian)
7. Voichenko, T. O., & Hannoshyna, I. M. (2018). Analiz faktoriv zabezpechennia bezpeky sudnoplavstva [Analysis of factors ensuring navigation safety]. *Novitni tekhnolohii*, 3(7), 27-32. <https://doi.org/10.31180/2524-0102/2018.3.07.04> (in Ukrainian)

Bazhak O.V., Hatsenko L.V.

MODERN METHODS OF MARITIME TRANSPORT ADAPTATION TO NATURAL FACTORS: EXPERIENCE AND PROSPECTS

The article presents a comprehensive study of modern methods and technologies for adapting maritime transport to the influence of various natural factors. The main challenges facing the maritime industry in the context of global climate change and extreme weather events are examined in detail, including increasing frequency and intensity of storms, changes in the ice regime of Arctic routes, and fluctuations in world ocean levels. The paper analyses international experience in implementing innovative solutions to increase vessel resistance to adverse natural conditions, particularly the use of advanced construction materials, improvement of stabilization systems, and implementation of adaptive control systems. Special attention is paid to the development of modern meteorological forecasting systems integrated with navigation complexes and support of decision-making systems. The research investigates prospects for implementing the "smart ship" concept, which provides for comprehensive automation of control processes and monitoring of the ship's technical condition. Based on the analysis of

statistical data and expert assessments, authors identify the most effective strategies for minimizing risks associated with natural factors and evaluate their economic feasibility. A detailed analysis of the impact of adaptation measures on operating costs and overall maritime transport safety is conducted. The paper also suggests comprehensive approach to solving the problem of maritime transport adaptation, taking into account technical, organizational, and economic aspects, including environmental safety and personnel training issues. Legal mechanisms for ensuring maritime transport safety and the role of international cooperation in the development of industry standards are examined. Promising directions for further research in the field of increasing maritime transport resilience to natural challenges are outlined, particularly the development of new shipbuilding materials, improvement of weather forecasting systems, and development of autonomous control systems.

Keywords: maritime transport, natural factors, vessel adaptation, navigation safety, climate change, meteorological systems, navigation technologies, shipbuilding, maritime infrastructure, environmental safety.