

Міністерство освіти і науки України
Одеський національний морський університет

МЕЛЬНИК ОЛЕКСІЙ МИКОЛАЙОВИЧ



УДК 656.61: 656.13: 656.6

**МЕТОДОЛОГІЯ УПРАВЛІННЯ БЕЗПЕКОЮ РОБОТИ СУДЕН В
СИСТЕМІ МОРСЬКИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ**

05.22.01 – Транспортні системи

Реферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Одеса – 2024

Дисертацією є рукопис.
Робота виконана в Одеському національному морському університеті
Міністерства освіти і науки України.

Науковий консультант: самостійно підготовлена наукова праця

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Давідч Юрій Олександрович,
професор кафедри транспортних систем і логістики,
Харківський національний університет міського
господарства імені О.М. Бекетова, МОН України
м. Харків

доктор технічних наук, професор
Меленчук Тетяна Михайлівна,
завідувач кафедри автомобільного транспорту та
логістики, Національний університет «Одеська
політехніка», МОН України, м. Одеса

доктор технічних наук, професор
Петров Ігор Михайлович,
професор кафедри морських перевезень,
Національний університет «Одеська морська академія»,
МОН України, м. Одеса

Захист дисертації відбудеться «5» липня 2024 р. о 10 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 41.060.01 в Одеському національному морському університеті за адресою: 65029, Україна, м. Одеса, вул. Мечникова, 34.

З дисертацією можна ознайомитися в науково-технічній бібліотеці ім. проф. Г.К. Сулова Одеського національного морського університету за адресою: 65029, Україна, м. Одеса, вул. Мечникова, 34.

Дата розміщення реферату на офіційному веб-сайті ОНМУ «21» червня 2024 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради Д 41.060.01,
кандидат технічних наук, доцент



О.Л. Дрожжин

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми дослідження. Міжнародна торгівля продовжує розвиватися, і морські перевезення залишаються основним способом доставки вантажів між країнами. Однак зі зростанням обсягів транспортування природним чином зростає і потенційний ризик виникнення аварійних ситуацій. Непередбачувані події, які сприяють цьому, можуть мати серйозні наслідки, включно із загрозою людським життям, пошкодженням або загибеллю суден, забрудненням довкілля та економічними збитками. Таким чином, відбувається зміна парадигми в морському судноплаванні і в роботі морських суден, зокрема. Якщо раніше безпеку в судноплаванні сприймали як систему рекомендацій, що ініціюється на міжнародному рівні, то сьогодні безпека стає домінуючою умовою для роботи суден. Отже ефективність і безпека сприймаються як дві невід'ємних та взаємопов'язаних компонента в системі морських перевезень, але ж безпека набуває найвищого пріоритету. Такі зміни потребують розвитку відповідної теоретичної бази, як основи для розробки відповідних методів для забезпечення безпеки роботи морських суден та впровадження їх у практичну діяльність.

Проблемам безпеки приділяється значна увага у сучасних дослідженнях, багато видатних вчених таких як Бейкер Д., Батлер А., Формел К., Ньюман Т., Вельгош М., Вэйнтрит А., Хезерингтон А., Флін Р., Буркиу З., Фахрі А., Аббасі А., Стираліс П., Луїсіс К., Вентікос Н., зробили внесок у визначення шляхів розв'язання актуальних проблем у сфері безпеки морського транспорту та розробки методів, спрямованих на забезпечення ефективною та безпечною експлуатації суден. Такі науковці, такі як Лапкін О.І., Воєвудський Є.Н., Панарін П.Я., Шибаєв О.Г., Онищенко С.П., Кириллова О.В., Коскіна Ю.О., зробили значний внесок у розвиток теоретичної бази транспортних систем, дослідження їх різноманітних аспектів та проблем, а також у розроблення стратегій, методів і моделей оптимізації та підвищення ефективності функціонування транспортних процесів. Вчені, такі як Бугайко Д.О., Фулконіс Ф., Ліссілор Л., Юріаш Ж., Турпін, Е., Маківен В., внесли невід'ємний та визначальний вклад у теорію безпеки експлуатації суден, визначаючи актуальні напрямки для подальших досліджень та розробок, спрямованих на забезпечення комплексної безпеки та ефективності роботи суден в системі морських перевезень.

Останніми роками міжнародне співтовариство дедалі більше звертає увагу на проблеми довкілля та екологічну безпеку, оскільки судна можуть становити значну загрозу для морської екосистеми, особливо в разі аварійного розливу нафти або інших небезпечних речовин. У зв'язку з цим забезпечення безпеки роботи суден також прямо охоплює і захист довкілля, зумовлюючи необхідність у розробленні та застосуванні нових підходів і технологій, спрямованих на зниження негативного впливу суден на навколишнє середовище. Крім того, сучасний стан розвитку морських перевезень визначається постійним зростанням обсягів перевезення вантажів та кількістю суден, що природно призводить до підвищення потенційного ризику аварійних ситуацій. Це складне наукове протиріччя полягає в двох аспектах, що взаємодіють і вимагають комплексного підходу для їх ефективного вирішення.

1. *Протиріччя між традиційними та інноваційними підходами до забезпечення безпеки судноплавства.* Існуючі підходи, моделі та методи забезпечення безпеки роботи суден дедалі є неефективними або недостатньо пристосованими до сучасних умов та викликів, що виникають на морському транспорті створюючи протиріччя у порівнянні та взаємодії між старими та новими підходами.

2. *Протиріччя між потребами у забезпеченні безпеки та підвищенні ефективності роботи суден.* Сучасні методи та моделі забезпечення комплексної безпеки роботи суден вимагають введення додаткових обмежень або процедур, які впливають на ефективність морських перевезень. Таким чином, існує протиріччя між потребами безпеки, яка є основою для запобігання аваріям та збереження життя людей і довкілля, та потребами ефективності, яка визначається необхідністю забезпечення безперервної, екологічної та економічно вигідної діяльності судноплавства.

Розв'язання цих наукових протиріч полягає в розробленні та імплементації методів ефективною інтеграції сучасних технологій у систему організації та управління морськими перевезеннями. Тим не менш, слід зазначити, що існуючі розробки, як правило, стосуються виключно експлуатації обладнання та судових систем та спрямовані на забезпечення технічної безпеки суден. Рух суден з вантажем та виконання цілого ряду операцій пов'язаних з перевезенням є об'єктом вивчення на іншому рівні. Цей процес включає в себе множину дій, пов'язаних як з вантажем, так і врахування впливу інших учасників транспортного процесу. Тому забезпечення безпеки роботи суден в системі морських перевезень передбачає розгляд відповідної системи компонент та факторів впливу, розробку методів та заходів організаційно-технічної та управлінської спрямованості, які спрямовані на оцінку безпеки, її забезпечення та підвищення. Таким чином, виникає проблема формування методології та відповідних методів забезпечення безпеко-орієнтованої роботи суден, яка потребує вирішення для усунення наукових протиріч між існуючими вимогами сучасного судноплавства та морських перевезень з одного боку, та відсутністю відповідної теоретичної бази з іншого. Це обґрунтовує актуальність даного дослідження.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дослідження орієнтоване на впровадження та реалізацію державної політики України, зокрема Національної транспортної стратегії до 2030 року та Морської доктрини до 2035 року. Робота відповідає визначеним напрямкам наукових досліджень, враховуючи "Тематику наукових досліджень і науково-технічних (експериментальних) розробок МОН України" згідно з відповідним наказом № 109 від 03.02.2022 р., та спрямовано на вдосконалення транспортної та морської стратегій країни, враховуючи сучасні наукові та технічні аспекти.

Матеріали дисертаційної роботи використані у рамках виконання наукових досліджень, що проводилися в Одеському національному морському університеті за темами «Комплексне забезпечення безпеки експлуатації морських транспортних суден» (державний реєстраційний номер 0123U100791), де здобувач є науковим керівником. Науково-дослідні роботи, де здобувач є відповідальним виконавцем «Інформаційні системи управління та підтримки

прийняття рішень щодо розвитку інфраструктури морських перевезень в умовах воєнного стану» (державний реєстраційний номер 0124U001164). «Актуальні проблеми управління системними властивостями морських транспортних засобів в різних умовах експлуатації», (державний реєстраційний номер 0122U200859) та «Експлуатація торговельного та пасажирського флоту і технологія морських перевезень», (державний реєстраційний номер 0121U111853), де здобувач є виконавцем.

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є управління безпекою роботи морських суден на базі концепції, методів, моделей та засобів, що формують нову методологію безпеко-орієнтованої роботи суден в системі морських перевезень.

Для досягнення мети в дисертаційній роботі поставлено та вирішено наступні проблемні науково-технічні завдання:

- аналіз сучасних теорій, методів та заходів забезпечення безпеки з встановленням їх відповідності глобальним трендам у судноплаванні та виявленням ключових проблем, актуальних, але не вирішених питань;

- формування концепції безпеко-орієнтованої роботи суден та формалізація оцінки безпеки на базі ланцюга причинно-наслідкових зв'язків у системі безпеки роботи суден;

- розробка моделі динаміки безпеки роботи суден для двох рівнів - для рівня стратегічних дій судноплавної компанії, пов'язаних з безпекою, та для рівня рейсу в рамках виконання конкретного перевезення;

- формування системи заходів та засобів забезпечення безпеки роботи морських суден як протидія можливим ризикам порушення безпеки;

- розробка методів оцінки технічної безпеки судна для моніторингу безпеки функціонування критичного обладнання судових систем;

- розробка методів обґрунтування і принципів впровадження комплексних заходів для зменшення екологічних ризиків та підвищення екологічної безпеки роботи суден;

- побудова концептуальної моделі та методів оцінки забезпечення навігаційної безпеки судна в процесі виконання перевезень;

- розробка моделей і методів забезпечення технологічної безпеки роботи суден в процесі транспортування вантажів.

Об'єктом дослідження є процеси безпеко-орієнтованої роботи суден у системі морських перевезень.

Предметом дослідження є теорія, методи та засоби управління безпеко-орієнтовною роботою суден в системі морських перевезень.

Методи дослідження. При дослідженні використано: загальнотеоретичні методи та прийоми абстрагування, аналізу і синтезу, індукції та дедукції, порівняння та формалізації, методи та положення теорії ймовірності, математичне моделювання, теорія випадкових процесів, теорія марківських процесів. Експериментальні розрахунки проведено з використанням MS Excel, висновки та теоретичні результати були зіставлені, що вказує на достовірність результатів, отриманих за допомогою розроблених математичних моделей та аналітичних виразів.

Наукова новизна отриманих результатів дисертаційного дослідження.

Наукова новизна отриманих результатів полягає у розробці нової методології, концепцій, методів і моделей управління безпеко-орієнтованою роботою суден системі морських перевезень.

Вперше:

- розроблено концепцію безпеко-орієнтованої роботи суден, яка передбачає інтегральний розгляд об'єктів безпеки, систему факторів впливу, сукупність методів та засобів забезпечення безпеки у відповідності до декомпозиції безпеки за видами (компонентами), що враховує специфіку операцій виробничого процесу роботи судна та відповідає новій парадигмі безпеки у судноплаванні, а саме, переходу від максимізації ефективності при дотриманні вимог до безпеки, до проактивних дій, спрямованих на інтегроване оцінювання та забезпечення безпеки роботи суден при виконанні сукупності операцій в рамках виробничого процесу;

- розроблено метод оцінки безпеки роботи судна на базі ланцюга причинно-наслідкових зв'язків у відповідній системі, яка передбачає поетапну оцінку ймовірності безпеки роботи суден з урахуванням факторів впливу, їх вагомості та розподілу, операцій за етапами виробничого процесу та їх вагомості для кожного виду (компоненти) безпеки роботи судна, що надає можливість оцінювати безпеку роботи судна протягом рейсу з урахуванням специфіки операцій та прогнозуванням умов їх виконання;

- розроблено модель динаміки безпеки роботи судна на базі інтегрального розгляду марківських процесів зміни компонент безпеки судна, де результатом є визначення ймовірності станів безпеки роботи судна протягом рейсу, що надає можливість формування комплексу відповідних протидій прогнозованим ситуаціям порушення безпеки;

- розроблено метод оцінки безпеки судна на базі ланцюгу ймовірнісних оцінок, який дозволяє системно охопити об'єкти та наслідки порушення кібербезпеки судна, створюючи методологічну та методичну основу для комплексної оцінки технічної безпеки судна та визначення методів забезпечення кібербезпеки критичного обладнання судових систем;

- розроблено модель зміни навігаційних станів судна на базі марківського процесу, яка враховує складові навігаційного комплексу та динаміку їх станів, що є інструментом для аналізу та прогнозування станів навігаційної безпеки судна протягом рейсу;

- розроблено метод визначення оптимального маневру розходження шляхом зміни курсу та швидкості судна з врахуванням межі неприпустимих значень курсів і швидкостей, що надають можливість приймати рішення про оперативне визначення маневру розходження з метою мінімізації ризику зіткнення в умовах обмеженого простору.

Удосконалено та набуло подальшого розвитку:

- динамічна модель безпеки судна, яка дозволяє системно визначати та аналізувати рівень безпеки з врахуванням сукупності факторів впливу в структурі безпеки судна, що змінюється відповідно до контексту та подій, що сприймається

як значний крок у напрямку адаптивності систем безпеки суден до змінних умов експлуатації;

- систему заходів та засобів забезпечення комплексної безпеки роботи суден як протидія можливим ризикам порушення безпеки, яка включає в себе технічні, операційні та організаційні аспекти та відповідні множини заходів та засобів, які були охарактеризовані з урахуванням практичного використання, а також відповідного нормативного підґрунтя;

- метод інформаційного обміну в режимі судно-берег, з врахуванням кіберзагроз та ключових аспектів технічної та інформаційної безпеки суден для забезпечення безпеки та ефективності операцій, враховуючи ступінь вразливості систем судна під час обміну інформацією та захист від кібератак, який на відміну від існуючих методів відрізняється вдосконаленою системою захисту та ефективністю операцій;

- концептуальна модель узагальнення організаційних та технічних заходів запобігання експлуатаційному забрудненню навколишнього середовища на основі робочого циклу судна для визначення та імплементації необхідних заходів для мінімізації негативного впливу на довкілля;

- метод комплексного аналізу впливу людського фактору на ергатичні системи управління на транспорті та оцінку різних аспектів цього взаємозв'язку для поліпшення процесів взаємодії між фактором людини і ергатичними системами управління на транспорті;

- модель розрахунків зміни індексу енергоефективності конструкції судна в порівнянні з базовим значенням для різних сценаріїв що дозволяє здійснювати потенційну можливість оптимізації енергоефективності конкретного судна в залежності від умов та вимог та варіативності енергоефективності суден в різних сценаріях експлуатації;

- концептуальну модель процесу завантаження палубного вантажу, яка ґрунтується на узагальненні практичного досвіду та враховує масо-геометричні параметри вантажів та техніко-технологічні аспекти, що надає безпечне та ефективне поетапне планування та організацію вантажних операцій;

- модель зсуву вантажу та алгоритм забезпечення безпеки морського перевезення вантажів із високою щільністю, які базуються на принципах гідродинаміки та механіки матеріалів, що дозволяє визначити параметри безпеки та умови перевезення навалочних вантажів в під час морського переходу судна.

Практичне значення отриманих результатів. Розроблені в дисертаційній роботі теоретичні основи, методи і моделі, що формують нову методологію безпеко-орієнтованої роботи суден в системі морських перевезень, довели свою ефективність на практиці. Результати досліджень впроваджені у діяльність казенного підприємства «Морська пошуково-рятувальна служба», ТОВ «Чорноморський рибний порт», товариства «Lema Cargo Service» (Україна), компанії Shanghai Fuhai Shipping Service (КНР), компанії Tianjin Haida Shipping Construction (КНР), компанії Tianjin Wanlihe Shipping Service (КНР) та інших компаній. Також результати досліджень були впроваджені у навчальний процес Одеського національного морського університету. Запропоновані в дисертаційній роботі концепції, методи і моделі послужили основою для створення програмного

забезпечення для системи підтримки прийняття рішень щодо вибору маневру розходження з судном-ціллю шляхом зміни курсу або швидкості.

Отримані в ході дослідження результати важливі для розвитку теорії транспортних процесів і систем, зокрема, в контексті організації і управління безпекою експлуатації суден. Дані висновки розширюють та уточнюють теоретичні аспекти, пов'язані із підвищенням безпеки транспортних операцій на морському та внутрішньому водному транспорті. Тема дослідження адекватно відображає пріоритетні наукові напрями, визначені як ключові фундаментальні дослідження у галузях розвитку технічних наук, математичного моделювання та системного аналізу, інтелектуальних та інформаційних технологій, системи підтримки прийняття рішень, а також екологічних та енергоефективних технологій на транспорті. Висновки, представлені у роботі, віддзеркалюють суть теми дослідження та становлять науковий фундамент для подальшого розвитку аспектів безпеки на морському транспорті.

Особистий внесок здобувача. Наукові результати, висновки та положення, які представлені для захисту, розроблені автором самостійно. У спільних публікаціях автор має внесок, що відзначається новизною результатів дослідження. Особистий внесок здобувача підтверджується науковими публікаціями, де представлені розроблені підходи, методи та моделі забезпечення безпеко-орієнтованої роботи суден в системі морських перевезень. Наукові праці у співавторстві з позначенням особистого внеску здобувача окремо визначені в переліку публікацій за темою дисертації.

Апробація результатів дисертації. Основні положення і результати дисертаційного дослідження пройшли апробацію на 52 міжнародних та всеукраїнських науково-практичних конференціях, симпозіумах, семінарах та круглих столах.

Публікації результатів дослідження. За результатами дисертаційного дослідження опубліковано 90 друкованих праць, з них 2 монографії, 36 статей у фахових та закордонних рецензованих виданнях, з яких 14 входять до наукометричних баз даних SCOPUS та Web of Science (усі в періодичних виданнях), зокрема 6 публікацій за темою дисертації у виданнях, віднесених до другого квартиля (Q2) відповідно до класифікації SCImago Journal and Country Rank, 52 тези доповідей на міжнародних та всеукраїнських конференціях та наукових праць, з яких 11 опубліковано у виданнях, які входять до наукометричних баз даних SCOPUS та Web of Science (статей в журналах та збірниках конференцій), що також додатково відображають наукові результати дисертації.

Обсяг і структура дисертації. Робота складається зі вступу, шести розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Повний обсяг дисертації складає 452 сторінки, обсяг основного матеріалу – 340 сторінок. Матеріал дисертації містить 125 рисунків та 28 таблиць. Загальний список використаних джерел складає 378 найменувань. Додатки подано на 25 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У *вступі* обґрунтовано актуальність теми, сформульовано мету і задачі дослідження, визначено об'єкт та предмет дослідження, зазначено методи дослідження, а також наукову новизну та практичне значення отриманих результатів. Представлено інформацію щодо апробації і публікацій результатів дослідження та структуру дисертаційної роботи.

Перший розділ «Практичні передумови та теоретичні аспекти проблем безпеки в сучасному суднопластві» присвячено дослідженню існуючих моделей, методів та засобів запобігання аваріям та забезпеченню безпеки суднопластва. Виконано систематизований аналіз ключових проблем та потенційних загроз безпеці в сучасному морському суднопластві та досліджено взаємозв'язок між різноманітними проблемами та загрозами, класифіковано аварійні події та ситуацій, визначено фундаментальні аспекти, що лежать в основі виникнення таких проблем. Встановлено багатоаспектність поняття «судно» (рис. 1) та відповідні аспекти безпеки.

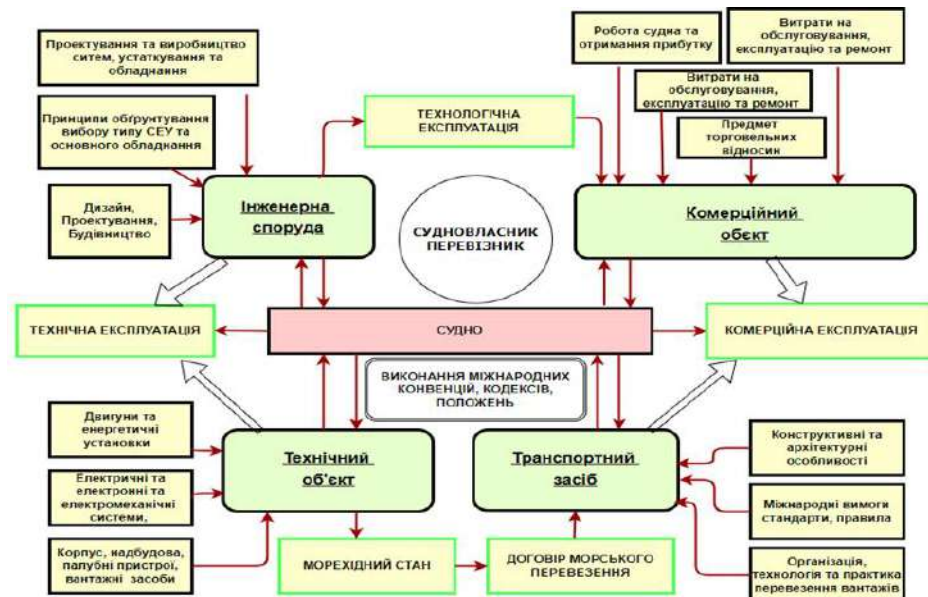


Рисунок 1 – Багатоаспектність поняття «судно»

Проаналізована сучасна теоретична база забезпечення безпеки експлуатації суден та основні дослідження, які пов'язані з питаннями безпеки у сфері морського транспорту взагалі та при роботі суден зокрема.

Встановлено, що у сучасних дослідженнях перевага віддається безпеці судна як технічного об'єкту, тому основні наукові результати пов'язані з безпекою технічної експлуатації суден. Обґрунтовано, що тільки інтегрований розгляд судна як технічного, комерційного об'єкту, транспортного засобу та інженерної споруди у питаннях безпеки забезпечить необхідний її рівень у процесі роботи суден при виконанні морських перевезень.

У *другому розділі «Концепція безпеко-орієнтованої роботи морських суден при перевезеннях вантажів»* запропонована концепція безпеко-орієнтованої роботи морських суден, яка передбачає системний підхід до

забезпечення безпеки з урахуванням специфіки транспортно-технологічного процесу та операцій виробничого процесу судна.

Встановлено та охарактеризовано передумови концепції безпеко-орієнтованої роботи морських суден в рамках трансформації поглядів на безпеку судноплавства (рис.2).

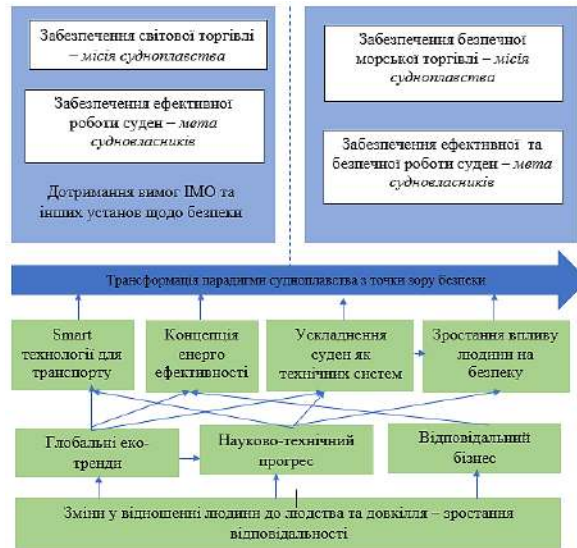


Рисунок 2 – Основні передумови концепції безпеко-орієнтованої роботи морських суден в рамках трансформації поглядів на безпеку судноплавства

Отже, дані передумови сформували підґрунтя для трансформації парадигми сучасного судноплавства, а безпека стає найвищим пріоритетом. Це обґрунтувало необхідність формування концепції безпеко-орієнтованої роботи суден, яка б системно відобразила всі необхідні аспекти, методи та засоби забезпечення безпеки в процесі роботи суден при виконанні морських перевезень.

Встановлено місце безпеки роботи суден у системі безпеки, пов'язаній з судноплавством (рис.3). Це дозволило встановити специфіку питань безпеки роботи суден та її відмінність від інших рівнів розгляду безпеки у судноплавстві.

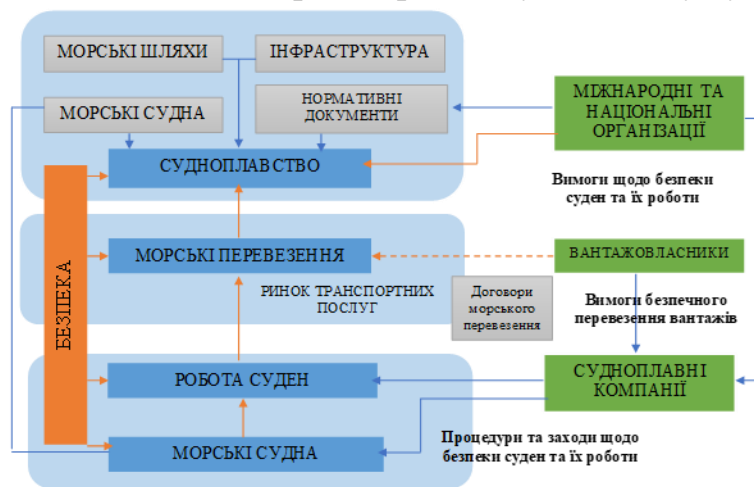


Рисунок 3 - Рівні безпеки у судноплавстві

Формування концепції безпеко-орієнтованої роботи суден передбачає визначення системи (рис. 4). Дана концепція реалізується на рівні компаній-перевізників. Об'єктами безпеки в цьому контексті є самі морські судна, а поняття

"безпека роботи суден" визначається як результат організації безпеко-орієнтованої діяльності.



Рисунок 4 – Сутність основних елементів концепції безпеко-орієнтованої роботи суден

Запропонована концепція безпеко-орієнтованої роботи суден включає чотири ключові аспекти: безпеку судна, яка охоплює фізичні аспекти, конструкцію та системи управління; безпеку екіпажу, яка передбачає готовність та кваліфікацію членів екіпажу; безпеку операцій, що включає управління процесами та дотримання міжнародних правил та вимог і безпеку довкілля, яка оцінює вплив від роботи судна на довкілля та дотримання екологічних норм.

Встановлено та охарактеризовано систему потенційних загроз, які можуть впливати на безпеку роботи суден при виконанні перевезень (рис.5).

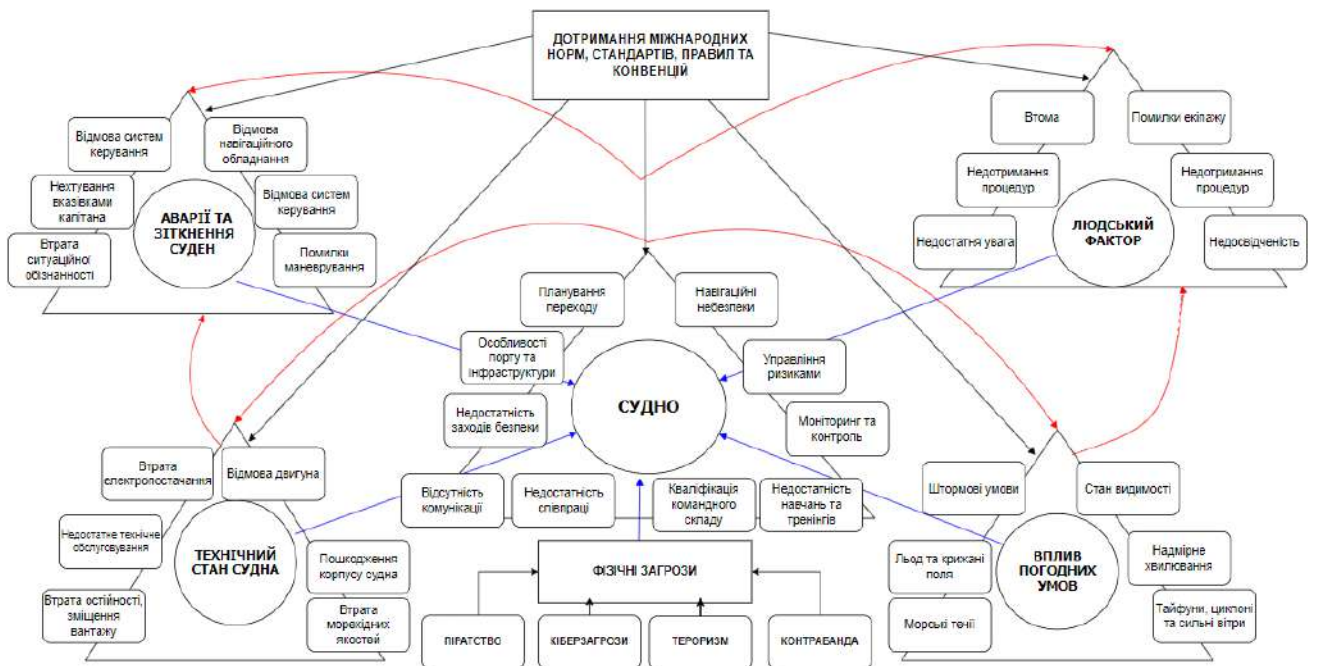


Рисунок 5 - Сукупність факторів впливу на безпеку роботи судна

Аналіз специфіки виробничого процесу роботи судна дозволив виділити чотири основних види (компоненти) безпеки: технічна, технологічна, навігаційна

і екологічна. Навігаційна безпека виникає з потреби управління рухом судна, технічна безпека пов'язана з технічними аспектами судна як системи, екологічна безпека стосується впливу судна на навколишнє середовище, а технологічна безпека враховує аспекти взаємодії судна з іншими учасниками транспортного процесу (рис.6). Сукупність цих видів (компонент) безпеки формує підсумкову безпеку всіх операцій виробничого процесу роботи суден.

Таким чином, на кожному етапі $l = \overline{1, L}$ виробничого процесу роботи судна подія S^l – безпека роботи судна є добутком подій $S^l_1, S^l_2, S^l_3, S^l_4$ - які полягають у тому, що під час роботи судна забезпечено технічну, навігаційну, екологічну та технологічну безпеку:

$$S^l = \prod_{i=1}^4 S^l_i, l = \overline{1, L}. \quad (1)$$

З урахуванням незалежності чотирьох видів (компонент) безпеки роботи судна, які було виділено саме з можливості та коректності їх відокремленого розгляду, ймовірність безпеки роботи судна на етапі виробничого процесу:

$$P(S^l) = \prod_{i=1}^4 P(S^l_i), l = \overline{1, L}. \quad (2)$$

Потребує зауваження кількість етапів виробничого процесу судна. На рис. 6 наведено чотири основних етапів, але ж насправді розподіл на етапи, як й розгляд операцій, може відбуватися з різним ступенем деталізації. Тому у даному дослідженні прийнята кількість етапів у загальному вигляді L , але ж у кожному випадку ця кількість визначається з урахуванням наявності інформації, тощо. Якщо на певному етапі не розглядається окремий вид безпеки, то відповідно він у (2) не враховується.

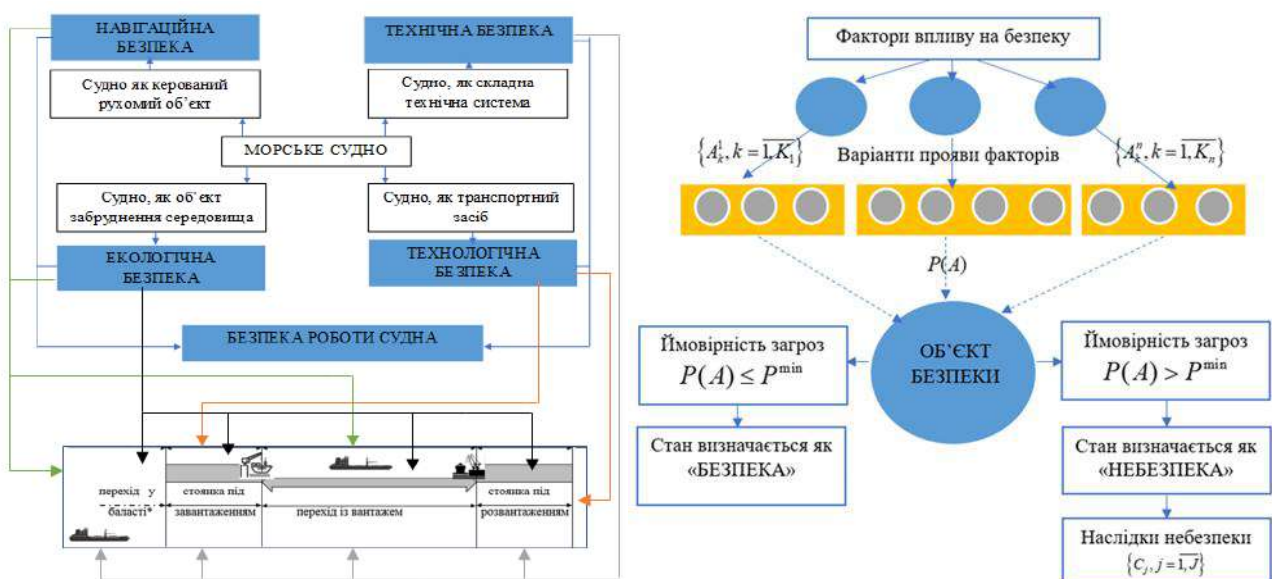


Рисунок 6 - Види (компоненти) безпеки за етапами виробничого процесу

Слід зазначити, що кожному етапу виробничого процесу судна відповідає множина операцій $O^{lj}, l = \overline{1, L}, j = \overline{1, M_l}$, які можуть бути розглянуто з різним ступенем деталізації (рис.7). Нехай подія S^{lj} - безпека виконання j -ої операції виробничого процесу роботи судна $j = \overline{1, M_l}$ на етапі $l = \overline{1, L}$, де M_l - загальна кількість операцій на l -ому етапі. Слід зазначити, що з урахуванням різної спрямованості та сутності операцій, тільки їх частина впливає на конкретний вид (компонент) безпеки $S^l, S^l_1, S^l_2, S^l_3, S^l_4$.

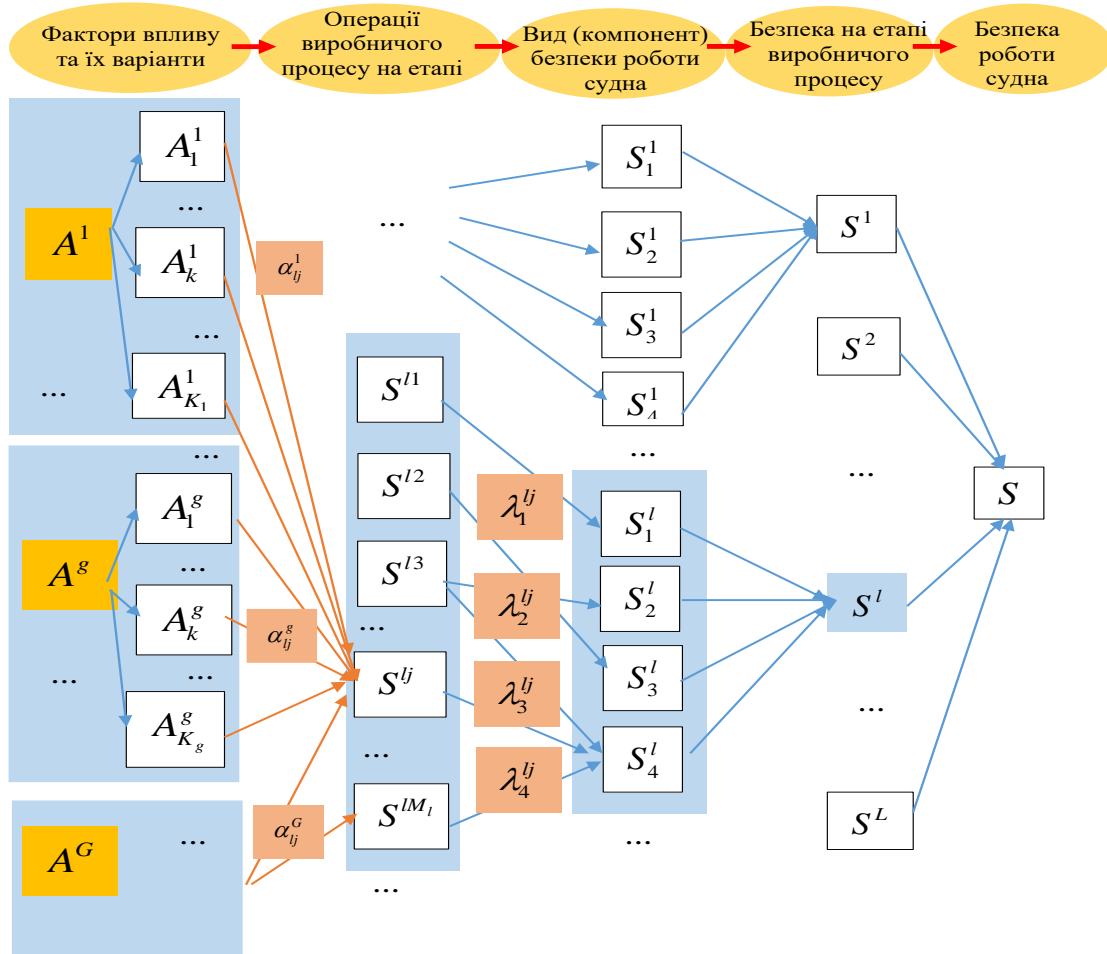


Рисунок 7 – Формування причинно-наслідкових зав'язків у системі безпеки роботи суден

Множину усіх операцій $O^{lj}, j = \overline{1, M_l}$ на l -ому етапі можна розподілити на чотири множини за спрямованістю с точки зору виду безпеки: $\Omega^l_1, \Omega^l_2, \Omega^l_3, \Omega^l_4 \subset \Omega^l$. Кожна множина $\Omega^l_1, \Omega^l_2, \Omega^l_3, \Omega^l_4$ відповідає певному виду безпеки.

Для врахування різного ступеню впливу операцій виробничого процесу судна на певному етапі та певний вид (компонент) безпеки роботи судна пропонується ввести до розгляду вагові коефіцієнти

$\lambda_1^{lj}, \lambda_2^{lj}, \lambda_3^{lj}, \lambda_4^{lj}, l = \overline{1, L}, j = \overline{1, M_l}$, які визначатимуть вагомість безпеки кожної операції для певного виду (компоненту) безпеки.

З урахуванням сутності вагових коефіцієнтів, вони мають відповідати наступним умовам:

$$\sum_{j \in \Omega_i} \lambda_i^{lj} = 1, i = \overline{1, 4}, l = \overline{1, L}, \quad (3)$$

Виходячи з цього, володіючи оцінками ймовірностей подій $S^{lj}, l = \overline{1, L}, j = \overline{1, M_l}$, а саме, $P(S^{lj}), l = \overline{1, L}, j = \overline{1, M_l}$ можна оцінити ймовірність кожного виду (компоненти) безпеки на кожному етапі виробничого процесу роботи судна $P(S_1^l), P(S_2^l), P(S_3^l), P(S_4^l)$:

$$P(S_i^l) = \sum_{j \in \Omega_i} \lambda_i^{lj} \cdot P(S^{lj}), i = \overline{1, 4}, l = \overline{1, L}. \quad (4)$$

У свою чергу, безпека кожної операції залежить від впливу множини факторів $A^1, A^2, \dots, A^g, \dots, A^G$ протягом виробничого процесу роботи судна. Кожен з факторів впливу має варіанти прояву, наприклад, якщо A^1 - погодні умови, то $A_1^1, A_2^1, \dots, A_k^1, \dots, A_{K_1}^1$ - варіанти стану погодних умов протягом виконання судном рейсу; якщо A^2 - технічний стан судна, то $A_1^2, A_2^2, \dots, A_k^2, \dots, A_{K_2}^2$ - варіанти цього стану.

Для врахування різного ступеню впливу розглянутої множини факторів $A^1, A^2, \dots, A^g, \dots, A^G$ введемо у розгляд вагові коефіцієнти $\alpha_{ij}^1, \alpha_{ij}^2, \dots, \alpha_{ij}^g, \dots, \alpha_{ij}^G$ за умови:

$$\sum_{g=1}^G \alpha_{ij}^g = 1, l = \overline{1, L}, j = \overline{1, M_l}. \quad (5)$$

Таким чином дані важелі враховують ступень впливу факторів у цілому на кожну операцію виробничого процесу судна – наприклад, як погодній умови в цілому впливають на безпеку виконання операцій.

Слід зазначити, що не тільки агреговані фактори впливу по різному впливають на безпеку виконання операцій, навидь окремі прояви факторів впливу мають різне значення для безпеки виконання операції протягом певного етапу роботи судна.

Слід зазначити, що множина прояв певного фактору впливу $A_1^g, A_2^g, \dots, A_k^g, \dots, A_{K_g}^g, g = \overline{1, G}$ складає повну групу подій – дійсно, дані події є незалежними та охоплюють усі можливі варіанти прояв фактору впливу. Отже:

$$\sum_{k=1}^{K_g} P(A_k^g) = 1, g = \overline{1, G}, k = \overline{1, K_g} . \quad (6)$$

Кожна проява фактору впливає на безпеку виконання операції, тому має місце множина умовних ймовірностей:

$$P_{A_k^g}(S^{lj}), l = \overline{1, L}, j = \overline{1, M_l}, \quad (7)$$

тобто ймовірностей безпеки виконання кожної операції $S^{lj}, l = \overline{1, L}, j = \overline{1, M_l}$ за умов того, що має місце подія A_k^g , тобто конкретний стан певного фактору впливу (його проява). Таким чином враховується вплив факторів на ймовірність безпеки виконання операцій.

Маючи оцінки ймовірностей (розподіл) для кожного фактору впливу $P(A_k^g), g = \overline{1, G}, k = \overline{1, K_g}$, можливо шляхом використання формули повної ймовірності оцінити ймовірності безпеки кожної операції $S^{lj}, l = \overline{1, L}, j = \overline{1, M_l}$ для кожного етапу виробничого процесу з урахуванням впливу множини факторів, а також ймовірностей їх прояв:

$$P(S^{lj}) = \sum_{g=1}^G \alpha_{lj}^g \sum_{k=1}^{K_g} P(A_k^g) \cdot P_{A_k^g}(S^{lj}), l = \overline{1, L}, j = \overline{1, M_l}, \quad (8)$$

де

$$\sum_{k=1}^{K_g} P(A_k^g) \cdot P_{A_k^g}(S^{lj}), l = \overline{1, L}, j = \overline{1, M_l}, g = \overline{1, G} \quad (9)$$

- ймовірність безпеки виконання операції j на етапі l виробничого процесу судна з урахуванням фактору впливу g . В свою чергу (9) враховує усі фактори впливу $A_1^g, A_2^g, \dots, A_k^g, \dots, A_{K_g}^g, g = \overline{1, G}$ та їх різний ступень впливу за допомогою коефіцієнтів $\alpha_{lj}^g, g = \overline{1, G}, l = \overline{1, L}, j = \overline{1, M_l}$.

Таким чином, формується ланцюг оцінки ймовірності безпеки роботи судна:

- фактори впливу $A^1, A^2, \dots, A^g, \dots, A^G$, їх вагомість $\alpha_{lj}^1, \alpha_{lj}^2, \dots, \alpha_{lj}^g, \dots, \alpha_{lj}^G$, прояви $A_1^g, A_2^g, \dots, A_k^g, \dots, A_{K_g}^g, g = \overline{1, G}$ та відповідний розподіл ймовірностей $P(A_k^g), g = \overline{1, G}, k = \overline{1, K_g}$;
- ймовірності безпеки операцій $P(S^{lj}), l = \overline{1, L}, j = \overline{1, M_l}$ на етапі виробничого процесу з урахуванням впливу множини факторів;
- ймовірності кожного виду (компоненти) безпеки роботи судна $P(S_1^l), P(S_2^l), P(S_3^l), P(S_4^l)$ на кожному етапі з урахуванням множини відповідних операцій $\Omega_1^l, \Omega_2^l, \Omega_3^l, \Omega_4^l$, що пливають, та їх ступеню впливу $\lambda_1^{lj}, \lambda_2^{lj}, \lambda_3^{lj}, \lambda_4^{lj}, l = \overline{1, L}, j = \overline{1, M_l}$;

- ймовірність безпеки роботи судна на кожному етапі виробничого процесу $P(S^l), l = \overline{1, L}$;
- ймовірність безпеки роботи судна протягом рейсу $P(S)$, яка оцінюється з урахуванням ймовірностей безпеки на усіх етапах виробничого процесу:

$$P(S) = \prod_{l=1}^L P(S^l). \quad (10)$$

Слід зазначити, що кожен компонент безпеки має відповідну структуру, наприклад, забезпечення навігаційної безпеки досягається при забезпеченні безпеки всіх навігаційних комплексів. Причому декомпозицію кожної компоненти безпеки можна здійснювати з різним ступенем деталізації, що визначається завданням і можливістю статистичної або експертної оцінки ймовірності для кожної складової компоненти безпеки.

"Безпека" є динамічною властивістю і змінюється під впливом різних чинників. Встановлено, що динаміку безпеки можна розглядати на двох основних рівнях - на рівні конкретного рейсу і на рівні судноплавної компанії в рамках, наприклад, річного відрізка часу.

Рівень компанії передбачає цілеспрямований вплив на стан судна в рамках відповідної системи заходів - оперативний або стратегічний рівні управління згідно з прийнятою часовою класифікацією прийнятих рішень, пов'язаних з роботою флоту. На цьому рівні формуються і здійснюються процедури, пов'язані з безпекою судна (рис. 8).

На стан безпеки судна впливають, крім управлінських процедур, проведені ремонти і модернізації, їхній обсяг і якість. Вік судна і його стан також визначає його придатність до роботи. На цьому рівні безпеку судна розуміють з погляду на нього як на об'єкт комерційної діяльності, адже навіть у договорах морського перевезення (рейсовому чартері) зазначено, що судовласник зобов'язаний надати "морехідне судно на момент початку рейсу", тобто судно має бути в такому стані, щоб бути здатним здійснювати транспортну роботу.

З урахуванням старіння судна динаміка його безпеки без будь-яких відповідних заходів (ремонти, зокрема) і процедур має чіткий характер зниження, це відразу ж визначає відповідну траєкторію зниження безпеки роботи судна. Тому перше є необхідним, але недостатнім для другого.

Динаміка безпеки на рівні рейсу (поточний рівень) більшою мірою пов'язаний з оцінкою наслідків з управління безпекою роботи судна на вищому рівні, з урахуванням певних умов виконання перевезень - погодних умов і специфіки конкретних портів заходу, маршруту прямування судна, специфіки вантажу, а також стану екіпажу та з урахуванням можливого впливу людського фактору. На даному рівні динаміка безпеки оцінюється з погляду на судно як на транспортний засіб, що здійснює перевезення вантажу.

Отже, на обох згаданих рівнях безпека є динамічною характеристикою, її поліпшення або погіршення відбувається як під впливом непередбачуваних чинників, так і цілеспрямованих впливів менеджменту компанії та екіпажу судна. З урахуванням зосередження цієї роботи на безпеці роботи судна, проаналізуємо її динаміку протягом рейсу.

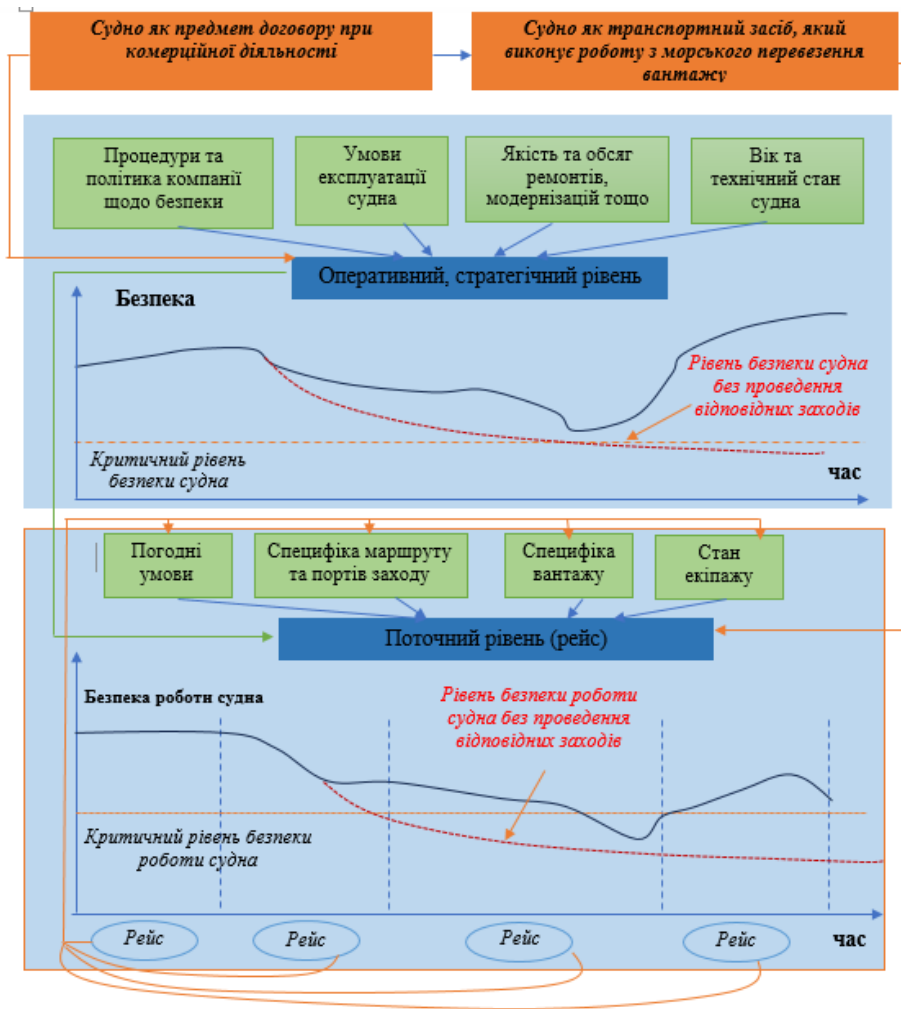


Рисунок 8 – Динаміка безпеки судна і роботи судна на рівні компанії

Стан кожної компоненти безпеки роботи судна (вид безпеки) можна подати у вигляді марківського процесу або у вигляді марківського процесу ухвалення рішень. Отже, можливі стани складових безпеки роботи судна подано на рис.9, характеристика станів подана в табл. 1.

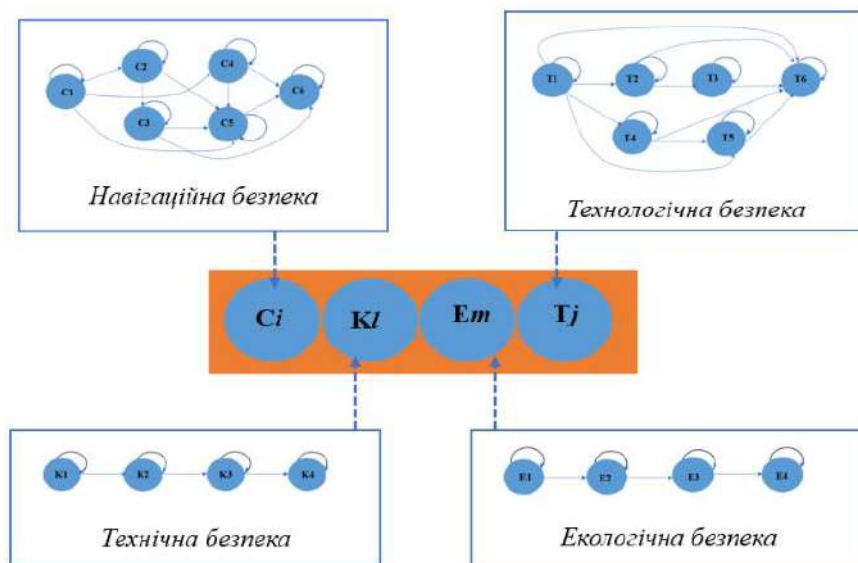


Рисунок 9 – Структура станів безпеки роботи судна в процесі її динаміки

Таблиця 1 – Характеристика основних станів компонент безпеки роботи судна

Вид безпеки	Стан	Характеристика стану
Навігаційна	C1	Безпека задовільна
	C2	Забезпечення параметрів руху без засобів зв'язку та безпеки
	C3	Забезпечення характеристик руху та керованості без інформації про його параметри та засоби зв'язку та безпеки
	C4	Забезпечення параметрів руху без роботи систем керування рухом
	C5	Судно не під контролем із справними системами індикації та зв'язку
	C6	Аварійний стан судна та втрата навігаційної безпеки
Технологічна	T1	Задовільні умови експлуатації та нормальний стан судна
	T2	Пошкодження або/та втрата вантажу
	T3	Пошкодження та втрата вантажу, пошкодження структурних елементів набору судна та палубного обладнання
	T4	Пошкодження структурних елементів судна та палубного обладнання внаслідок зсуву/зміщення вантажу/руйнування систем кріплення
	T5	Поява небезпечного крену, погіршення/втрата остійності судна внаслідок зсуву/зміщення вантажу
	T6	Незадовільний умови експлуатації та аварійний стан судна
Технічна	K1	Високий рівень безпеки
	K2	Середній рівень безпеки
	K3	Низький рівень безпеки
	K4	Відсутність безпеки
Екологічна	E1	Високий рівень безпеки
	E2	Середній рівень безпеки
	E3	Низький рівень безпеки
	E4	Відсутність безпеки

Зазначимо, що навігаційна та технологічна безпеки характеризуються складнішою системою станів і переходів між ними, що пояснюється значним впливом, наприклад, погодних умов, людським фактором, розташуванням або кріпленням вантажу, а також аварійними ситуаціями під впливом усіх зазначених факторів. Тоді як технічна та екологічна безпеки, які, по суті, визначаються станом судна та його систем, фактично меншою мірою залежать від впливу людських (екіпажу на судні) та сторонніх чинників не враховуючи цілеспрямованого втручання в інформаційну систему судна та можливої екологічної проблеми за поганих погодних умов). Тому вони можуть бути градуйовані за ступенем - висока, середня, низька, відсутність безпеки.

Можливі різні комбінації чотирьох компонент (видів) безпеки роботи судна, кожна з яких формує відповідний стан безпеки роботи судна загалом. Проте, при агрегованому розгляді різних станів, можна виділити чотири основні за аналогією з технічною та екологічною безпекою. Кожен такий агрегований стан відповідає цілій безлічі різних станів безпеки загалом, що відрізняються комбінаціями різних елементів безпеки роботи судна.

Прийняти наступні стани безпеки роботи судна:

V1 – високий (достатній) рівень безпеки;

V2- середній рівень безпеки;

V3- низький рівень безпеки;

V4 – небезпека (відсутність безпеки).

Структуру станів безпеки роботи судна та системне представлення її динаміки представлено на рис.10, де кожний стан безпеки роботи судна відповідає множині комбінацій станів окремих компонент (видів) безпеки роботи судна, тобто розглядаються відповідні множини $\Delta_{V1}, \Delta_{V2}, \Delta_{V3}, \Delta_{V4}$, кожне з яких пов'язане з відповідними наборами $\langle Ci, Tj, Kl, Em \rangle$ (табл.1).

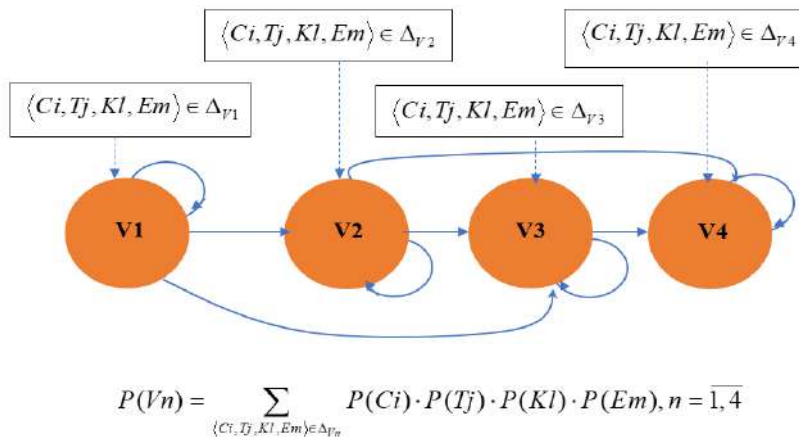


Рисунок 10 – Системне уявлення динаміки безпеки роботи судна

З урахуванням значної кількості наборів для кожного стану, у рамках цього дослідження не конкретизується зміст кожної множини станів безпеки роботи судна $\Delta_{V1}, \Delta_{V2}, \Delta_{V3}, \Delta_{V4}$, проте деякі комбінації елементів безпеки роботи судна є очевидними, з погляду належності до множин Δ_{V1}, Δ_{V4} :

$$\begin{aligned} &\langle C1, T1, K1, E1 \rangle \in \Delta_{V1}, \\ &\langle C6, T6, K4, E4 \rangle, \langle C5, T6, K4, E4 \rangle, \langle C6, T5, K4, E4 \rangle, \langle C5, T5, K4, E4 \rangle \in \Delta_{V4}, \\ &\langle C6, T4, K4, E4 \rangle, \langle C5, T3, K4, E4 \rangle, \langle C6, T3, K4, E4 \rangle, \langle C5, T4, K4, E4 \rangle \in \Delta_{V4}. \end{aligned}$$

За наявності матриць перехідних ймовірностей і початкових ймовірностей, можна оцінити ймовірність стану безпеки роботи судна в процесі виконання рейсу, що є основою для оцінки безпеки роботи судна та організації відповідних заходів, спрямованих на забезпечення безпеки та протидії можливим ризикам на певному етапі виробничого процесу.

В рамках дослідження розроблено систему заходів та засобів забезпечення безпеки роботи морських суден як протидія можливим ризикам порушення безпеки у рейсовому циклі, наведеному на рис.11.

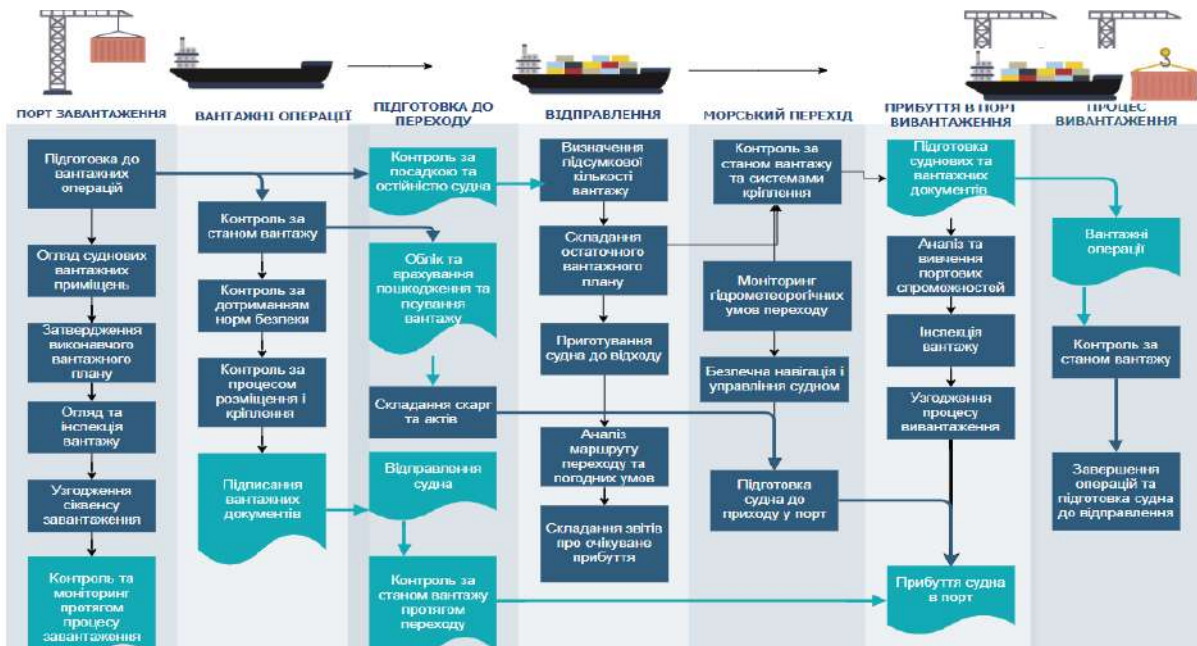


Рисунок 11 – Компоненти моніторингу безпеки роботи судна у рейсовому циклі

Дана система передбачає технічні, операційні та організаційні аспекти забезпечення безпеки роботи суден. Для кожного аспекту сформовано відповідні множини заходів та засобів, охарактеризовано їх практичне використання, а також нормативне підґрунтя для тих, які це передбачають. Це складає теоретичний базис для моніторингу стану безпеки у контексті кожної операції судна в рейсовому циклі.

Третій розділ «Забезпечення безпеки технічної експлуатації та критичного обладнання суден» присвячений розробці методів забезпечення технічної безпеки судна, що базується на належному функціонуванні критичних систем та обладнання. Обґрунтовано, що важливою складовою забезпечення технічної безпеки судна є комплексне забезпечення кіберзахисту, що гарантує надійність та безпеку функціонування судна в умовах сучасних технологій та потенційних кіберзагроз.

Проведено аналіз вразливості критичного обладнання суден з точки зору кібербезпеки та ідентифікацію множини елементів в системі технічної безпеки судна. Основними системами вантажного судна, вразливими для кібератак є системи представлені на рис.12;



Рисунок 12 - Ключові системи судна, вразливі для кібератак

Прийmemo G за кількість можливих цілей кібератак, а їх безліч описується як $A = \{A_g, g=1, \overline{G}\}$. Тобто кожна подія A_g характеризує конкретну загрозу кібербезпеки. Крім того, не слід забувати і про загрози кібербезпеки, які не є цільовими, а виникають внаслідок інших причин. Тому виділимо сукупність $U = \{U_l, l=1, \overline{L}\}$, що характеризує можливі загрози технічної безпеки, не пов'язані з цільовим впливом. Об'єктами, вразливими з погляду кібербезпеки, є різні системи судна, які сьогодні, природно, керуються та контролюються відповідним програмним забезпеченням та інформаційними системами. Таким чином, залежно від специфіки судна та ступеня агрегованості судових систем при оцінці технічної безпеки складається конкретний їх перелік – список суб'єктів технічної безпеки судна. Для формування узагальненої оцінки прийmemo кількість таких судових систем N та відповідну множину $B = \{B_n, n=1, \overline{N}\}$ де суть B_n - «Порушення безпеки n -ї судової системи».

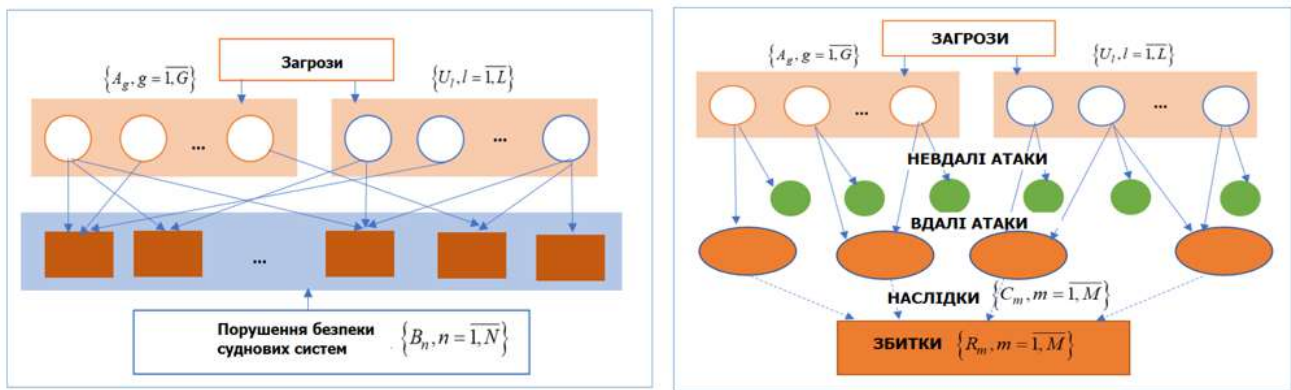


Рисунок 13 – Взаємозв'язок «загрози – судно» та «загрози»-«наслідки»

Тут слід зазначити, що кожна загроза A_g пов'язано з впливом на конкретні системи судна, загрози U_l характерно практично для всіх судових систем (рис. 13), але, враховуючи наявність особливостей кожного судна, розглянемо узагальнений варіант, у якому кожен тип загроз пов'язані з певним набором судових систем.

Таким чином, формуються численні перераховані вище судові системи, вразливі для кібератак судна:

$$\Omega_{A_g}^B, g = 1, \overline{G}, \quad (11)$$

$$\Omega_{U_l}^B, l = 1, \overline{L}, \quad (12)$$

пов'язаних, відповідно, з погрозами A_g і U_l .

Події $A = \{A_g, g = 1, \overline{G}\}$ та події $U = \{U_l, l = 1, \overline{L}\}$ є спільними, тобто можуть виникати одночасно. Кожну загрозу можна охарактеризувати ймовірнісною оцінкою. $0 \leq P(A_g) \leq 1$, що формується на основі експертних висновків з

урахуванням специфіки судна, вантажу та району його експлуатації. Ймовірності $0 \leq P(U_l) \leq 1$ визначаються з урахуванням статистики фахівцями з кібербезпеки.

Припустимо, що результатом успішних кібератак є варіантів M , що утворюють множину наслідків. $C = \{C_m, m = \overline{1, M}\}$, які мають грошову вартість $R = \{R_m, m = \overline{1, M}\}$.

Прикладами C_m може бути «затримка в переході», «збільшення часу рейсу» тощо. C_m можуть збігатися з загрозами (цілями) кібератак, сформульованими в наборі A . Тобто мета кібератаки або досягається, і тоді її результат збігається з загрозою, або мета не досягається, але можуть виникнути інші наслідки (наприклад, «збільшення часу переходу»). Іншим прикладом наслідків може бути «аварія через порушення безпеки мореплавання». Таким чином, різні порушення технічної безпеки судна можуть призвести до тих самих наслідків, у той час як порушення технічної безпеки однієї з судових систем під впливом певної кібератаки може призвести до різних наслідків. Кожен наслідок C_m пов'язано з підмножинами множин A і U (цільові та нецільові порушення технічної безпеки) та підмножиною множини B (суднові системи). Таким чином, кожному наслідку C_m відповідає множина Ω_{C_m} , елементами якої є ті пари атак і систем, які призводять до наслідку, що розглядається:

$$\Omega_{C_m} \supset \left(\bigcup_{g=1}^G \Omega_{A_g}^B \cup \bigcup_{l=1}^L \Omega_{U_l}^B \right), m = \overline{1, M}. \quad (13)$$

Виходячи із вартісних характеристик щоденного утримання судна, витрат на ремонт судна тощо, можна вивести збитки судовласника в коштах, а також слід врахувати витрати на екіпаж судна.

Зазначимо, що залежно від стану системи ТБ, кожен тип потенційної загрози може бути реалізований як кібератака (успішно чи ні) і призвести відповідно до наслідків чи ні. Бар'єром між атаками (внаслідок реалізації загрози) та наслідками є суднова система кібербезпеки, яка пов'язана з кожною системою судна.

Оскільки порушення кібербезпеки пов'язані з конкретними судовими системами, такі події

$$B_k \cdot A_g, B_k \in \Omega_{A_g}^B, g = \overline{1, G}, \quad (14)$$

$$B_s \cdot U_l, B_s \in \Omega_{U_l}^B, l = \overline{1, L} \quad (15)$$

відбивають той факт, що кібератака (порушення кібербезпеки) пов'язана з відповідною судовою системою.

У свою чергу, слідство C_m проявляється після настання подій (14) чи (15). Таким чином утворюються повні та неповні ланцюжки залежних подій:

$$A_g \cdot B_k, B_k \in \Omega_{A_g}^B, A_g \in A, \quad (16)$$

$$A_g \cdot B_k \cdot C_m, C_m \in C, B_k \in \Omega_{A_g}^B, A_g \in A, \quad (17)$$

$$U_l \cdot B_s, B_s \in \Omega_{U_l}^B, U_l \in U, \quad (18)$$

$$U_l \cdot B_s \cdot C_m, C_m \in C, B_s \in \Omega_{U_l}^B, U_l \in U. \quad (19)$$

Повні ланцюжки подій включають наслідки для судна та судовласника, неповні ланцюжки розглядають лише порушення кібербезпеки. Ймовірність кожного ланцюжка відповідно дорівнює:

$$P(A_g \cdot B_k) = P(A_g) \cdot P(B_k | A_g), \quad (20)$$

$$P(A_g \cdot B_k \cdot C_m) = P(A_g) \cdot P(B_k | A_g) \cdot P(C_m | A_g \cdot B_k), \quad (21)$$

$$P(U_l \cdot B_s) = P(U_l)P(B_s | U_l), \quad (22)$$

$$P(U_l \cdot B_s \cdot C_m) = P(U_l)P(B_s | U_l) \cdot P(C_m | U_l \cdot B_s). \quad (23)$$

Позначимо \bar{S} - Порушення кібербезпеки судна, подія, що представляє собою суму всіх подій, пов'язаних з різними видами кібератак (як цільових, так і нецільових). Припускати \bar{S}_1 - порушення кібербезпеки судна внаслідок цілеспрямованих кібератак, та \bar{S}_2 - Порушення кібербезпеки судна внаслідок нецільових атак. Зверніть увагу, що події \bar{S}_1 і \bar{S}_2 в їхньому теоретичному розгляді спільні, але, звичайно, ймовірність події \bar{S}_2 дуже мала, і ймовірність цих подій \bar{S}_1 і \bar{S}_2 тих, що відбуваються разом, ще менше. Проте у питаннях безпеки необхідно враховувати навіть незначні з погляду ймовірності події.

Математично розглянуті події описуються так:

$$\bar{S}_1 = \sum_{g=1}^G \sum_{B_k \in \Omega_{A_g}^B} A_g \cdot B_k, \quad (24)$$

$$\bar{S}_2 = \sum_{l=1}^L \sum_{B_s \in \Omega_{U_l}^B} U_l \cdot B_s, \quad (25)$$

$$\bar{S} = \bar{S}_1 + \bar{S}_2 = \sum_{g=1}^G \sum_{B_k \in \Omega_{A_g}^B} A_g \cdot B_k + \sum_{l=1}^L \sum_{B_s \in \Omega_{U_l}^B} U_l \cdot B_s. \quad (26)$$

Наведене дозволяє оцінити:

- 1) ймовірність порушення кібербезпеки судна $P(\bar{S})$;
- 2) ймовірність наслідків порушення кібербезпеки судна;
- 3) матеріальні збитки внаслідок порушення кібербезпеки судна.

Щоб оцінити $P(\bar{S})$ необхідно встановити збіг/невідбування подій, що утворюють \bar{S} в (26). Теоретично цільові та нецільові кібератаки можуть відбуватися одночасно, причому в різних системах судна, що визначає теоретичний збіг подій, що формують \bar{S} . Практично ці ймовірності прагнуть 0. Таким чином, при цілеспрямованій атаці хакери зазвичай прагнуть отримати контроль над системою конкретного судна. Ефект від нецільових атак проявляється і в конкретній судовій системі. Тому події, що формуються \bar{S} вважаються несумісними. Цей факт буде врахований при оцінці ймовірності цієї події та двох її складових:

$$P(\bar{S}_1) = \sum_{g=1}^G \sum_{B_k \in \Omega_{A_g}^B} P(A_g) \cdot P(B_k | A_g), \quad (27)$$

$$P(\bar{S}_2) = \sum_{l=1}^L \sum_{B_s \in \Omega_{U_l}^B} P(U_l) \cdot P(B_s | U_l), \quad (28)$$

$$P(\bar{S}) = \sum_{g=1}^G \sum_{B_k \in \Omega_{A_g}^B} P(A_g) \cdot P(B_k | A_g) + \sum_{l=1}^L \sum_{B_s \in \Omega_{U_l}^B} P(U_l) \cdot P(B_s | U_l). \quad (29)$$

Отже, (27) - (29) оцінюють відповідно до ймовірності цільових і нецільових порушень технічної безпеки судна, а також їх загальну ймовірність.

Результуючі $P(\bar{S})$ повинні бути ідентифіковані відповідно до заданої шкали кібербезпеки. Зокрема, має бути граничне значення $P \cdot (\bar{S})$, Який визначає межу допустимих значень $P(\bar{S})$, в

$$P(\bar{S}) \leq P \cdot (\bar{S}) \quad (30)$$

Ризик кібербезпеки класифікується як прийнятний, інакше — критичний. У свою чергу, ймовірність цілісності технічної безпеки судна (подія S):

$$P(S) = 1 - P(\bar{S}). \quad (31)$$

Зауважимо, що (22) і (23) описують ймовірності ланцюжків подій «атака-судно-система-послідовність»; ймовірність кожного наслідку враховує всі ланцюжки подій, що призводять до того чи іншого наслідку:

$$P(C_m) = \sum_{A_g \cdot B_k \in \Omega_{C_m}} P(A_g) \cdot P(B_k | A_g) \cdot P(C_m | A_g \cdot B_k) + \sum_{U_l \cdot B_s \in \Omega_{C_m}} P(U_l) P(B_s | U_l) \cdot P(C_m | U_l \cdot B_s), m = \overline{1, M}. \quad (32)$$

Кожен наслідок-подія $C_m, m = \overline{1, M}$ пов'язано з можливими втратами $R_m, m = \overline{1, M}$ внаслідок порушення кібербезпеки, середнє значення якого оцінюється як:

$$R = \sum_{m=1}^M R_m \cdot P(C_m). \quad (33)$$

Це значення відображає ризики судновласника внаслідок порушення кібербезпеки судна.

На базі циклу інформаційного обміну в режимі судно-берег для обміну інформацією для забезпечення безпеки та ефективності операцій запропоновано заходи які враховують вразливість систем судна під час процесу обміну інформацією для захисту судна від потенційних кібератак. Були розроблені та проаналізовані ключові аспекти забезпечення технічної та інформаційної безпеки суден, де визначено системи автоматичного управління та моніторингу для підвищення ефективності та забезпечення безпеки операцій. Запропоновано модель охорони судна яка враховує актуальні тенденції та визначає напрями для захисту від сучасних загроз.

Четвертий розділ «Теоретичні основи підвищення екологічної безпеки в процесі роботи суден» присвячений аналізу різноманітних форм забруднення, що виникають внаслідок діяльності морських суден, а також викиди шкідливих компонентів в атмосферу. Запропонована концептуальна модель узагальнення організаційних та технічних заходів запобігання експлуатаційному забрудненню навколишнього середовища на основі робочого циклу судна для визначення та імплементації необхідних заходів для мінімізації негативного впливу на довкілля. Систематизовані міжнародні конвенції та нормативи, які регулюють аспекти запобігання забрудненню води нафтопродуктами, контроль за забрудненням атмосферного повітря та управління баластними водами. Сформовано систему заходів щодо вдосконалення екологічної безпеки в процесі експлуатації суден, зокрема впровадження передових технологій та обладнання, таких як системи очищення баластних вод та шкідливих викидів, а також модернізація обладнання.

Встановлено, що одним з ключових аспектів екологічної безпеки судна є зниження його вуглецевого сліду та енергоспоживання. Розрахунковий показник енергоефективності (*EEDI*) визначає ефективність використання енергії під час експлуатації судна. Чим нижчий показник *EEDI*, тим ефективніше судно використовує енергію та менше викидає шкідливих речовин у навколишнє середовище. Досягнення встановлених граничних значень *EEDI* сприяє впровадженню новітніх технологічних рішень, відкриває можливості використання економніших двигунів, ефективну утилізацію тепла, використання альтернативних джерел енергії, а також можливість збільшити тоннаж та проектну швидкість завдяки оптимізації форми корпусу судна та роботі рушійної установки.

Коефіцієнт енергоефективності (*EEDI*) розраховується відповідно до загальної методології, яка була ухвалена ІМО в МЕРС 62/24/Add.1, введемо додаткові коефіцієнти що враховують специфічні особливості експлуатації судна,

як-от коефіцієнти використання енергії поновлюваних джерел, вплив погодних умов та ефективність системи управління енергоспоживанням:

$$EEDI = CF \times \frac{(SFC_{ME} \sum P_{ME} + SFC_{AE} P_{AE}) \times K_w \times K_r}{D_w \times V_{ref} \times K_e} \quad (34)$$

де: CF - коефіцієнт викидів вуглецю; (г-CO₂/г палива), SFC_{ME} - питома витрата палива головного двигуна, (г/кВт-год), SFC_{AE} - питома витрата палива допоміжного двигуна, (г/кВт-год); K_w – коефіцієнт впливу погодних умов на споживання палива, K_r - коефіцієнт використання поновлювальних джерел енергії, K_e - коефіцієнт ефективності системи управління енергоспоживанням на судні, D_w - для суховантажів, танкерів, газозовів, контейнеровозів, суден типу RO-RO та суден для перевезення генеральних вантажів, дедвейт слід використовувати як повну вантажопідйомність.

Резолюція ІМО МЕРС.203(62) впроваджується на етапах проектування, будівництва та експлуатації суден. У цьому дослідженні було проаналізовано використання комплексу заходів та методів для розрахунку EEDI, включаючи:

- впровадження МЕРС.1 Сірс. 681 до технічної документації;
- використання алгоритму для розрахунку EEDI;
- перевірка достовірності розрахунків.

Першим етапом є застосування робочої моделі для трансформації розрахункових формул, таблиць та графіків у аналітичну форму. Цей процес виконується за такою послідовністю де спочатку визначається максимальне значення $EEDI_{(max)}$ на базовій лінії за допомогою статичної емпіричної формули. Ця формула залежить від типу судна (відповідно до конвенції MARPOL, у діапазоні від 2,25 до 2,31) та його дедвейту.

$$EEDI_{max} = a_i \cdot (c_i \cdot j), \quad (35)$$

де a_i , c_i - емпіричні безрозмірні коефіцієнти i -го типу судна; $i = [\overline{1...7}]$, j - дедвейт (D_w) i -го типу судна, тоді $D_{w(i)(j)} \in [400; D_{w(max)(i)} T]$, відповідно a_i та c_i буде варіюватися для різних типів суден.

Для побудови кривої, що описується рівнянням відповідно до типу судна, значення $D_w(j)$ змінюється від $D_{w(min)} = 400$ т до максимального значення $D_{w(max)}$ для даного типу судна, величини та значення дедвейту судна, про яке йдеться, $D_w(c)$ з кроком $\Delta dw(f)$, що дорівнює $0,02D_{w(max)}$.

Результати розрахунків для індексу енергоефективності конструкції судна ($EEDI$) для судна типу балкер дедвейтом 35 тис. тонн в п'яти різних сценаріях (випадках) показали, що для першого випадку (Case 1) $EEDI$ склав 6.53. Порівняно з базовим значенням $EEDI$ ($BL EEDI$), це відповідає 100% ефективності. У другому випадку (Case 2) $EEDI$ зменшився до 6.23, що відповідає 95% ефективності в порівнянні з $BL EEDI$. У третьому випадку (Case 3) $EEDI$ склав 5.60, що відповідає 86% ефективності в порівнянні з $BL EEDI$. У четвертому випадку (Case 4) $EEDI$ становить 5.32, що відповідає 81% ефективності в порівнянні з $BL EEDI$. Найменше значення $EEDI$, 4.50 (59% від $BL EEDI$), було зафіксовано в п'ятому випадку (Case 5).

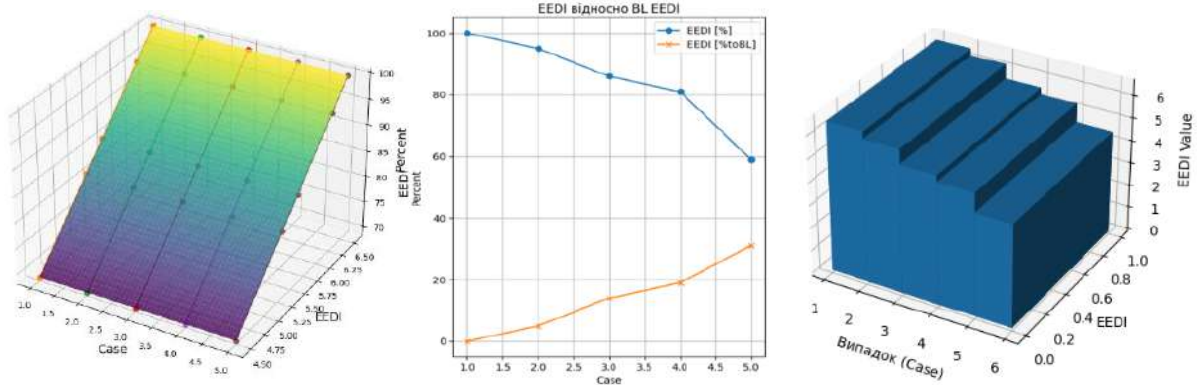


Рисунок 14 - Аналіз зміни енергоефективності судна в різних сценаріях

Проведені розрахунки дозволяють порівняти отримані значення *EEDI* для кожного випадку відносно базового значення *EEDI* та відсоткове відношення цих значень. Результати вказують на те, що в різних умовах та сценаріях судно що розглядається, може мати різний рівень енергоефективності. У випадках 4 та 5 судно виявилось найбільш енергоефективним порівняно з базовим значенням. Отже, ці дані можуть бути використані для оптимізації енергоефективності судна під час транспортної роботи в залежності від конкретних умов та вимог.

У *п'ятому розділі «Методи оцінки та забезпечення навігаційної безпеки судна в процесі виконання перевезень»* проведено аналіз основних причин навігаційних ризиків, встановлено структуру навігаційного комплексу судна та розроблено методи оцінки та забезпечення навігаційної безпеки, а також сформовано комплекс методів та засобів зниження ризику зіткнення. Розроблено методи оперативного визначення маневру розходження для запобігання зіткненню суден.

На базі аналізу специфіки навігаційної безпеки судна виділено шість його основних станів, значення яких присвоєно на основі експертних оцінок, виходячи з професійного досвіду та логічної послідовності можливих станів судна в тій чи іншій ситуації. Для виділення основних шести станів досліджуваного об'єкта «навігаційний комплекс», що складається з трьох основних систем, запропоновано розкласти зазначений стан на два варіанти (нормальний – проблемний) за трьома складовими: «Система керування і управління рухом», "Система індикації параметрів навігації та руху", "Система суднового зв'язку та безпеки". Такий підхід визначається, по-перше, специфікою експлуатації судна, яка виражається, наприклад, в особливостях обладнання. Це, відповідно, може призвести до певних порушень під час рейсу судна. Позитивні («нормальний» - 1) і негативні («є проблеми» - 0) оцінки кожного компонента формують наступну класифікацію основних станів стану судна, а також результуючий «стан судна з точки зору безпеки судноплавства», табл. 2.

Позначимо 1 - робочий стан компонента навігаційного комплексу, 0 - неробочий стан. Таким чином, зміну станів навігаційного комплексу в цілому можна представити наступним чином (рис.15). Компоненти навігаційного комплексу незалежні, і їх перехід у неробочий стан також не залежить від інших компонентів.

Перша позиція в комплексі на рис. 15 - система вимірювання та індикації, друга - система зв'язку та безпеки, третя - система керування рухом судна. Зміна станів навігаційного комплексу утворює марківський процес.

Дискретність часу враховується тим, що процес роботи судна (виконання рейсу) зазвичай розглядається з дискретним часом - годинами, днями. «Крок», протягом якого відбувається перехід від стану до стану, можна прийняти за 24 години (1 день). Враховуючи універсальність підходу для торговельних суден різного розміру, в тому числі і для коротких рейсів, доцільним є щоденний «крок».

Таблиця 2 - Основні стани навігаційної безпеки судна

Стан	Система керування і управління рухом	Система індикації параметрів руху та навігації	Суднова система зв'язку та безпеки	Стан судна з точки зору безпеки рейсу
C1	1	1	1	Безпека судна задовільна
C2	1	1	0	Забезпечення параметрів руху без засобів зв'язку та безпеки
C3	1	0	0	Забезпечення характеристик руху та керованості без інформації про його параметри та засоби зв'язку та безпеки
C4	1	0	1	Забезпечення параметрів руху без роботи систем керування рухом
C5	0	1	1	Судно без контролю за рухом але із справними системами індикації та зв'язку
	0	0	1	
	0	1	0	
C6	0	0	0	Аварійний стан судна та втрата навігаційної безпеки

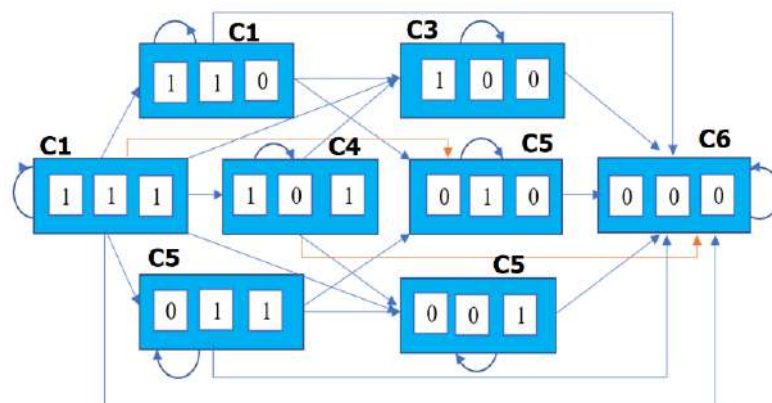


Рисунок 15 - Зміна стану навігаційного комплексу

Навігаційний комплекс може залишатися в кожному стані досить тривалий час. Стан повної відмови навігаційного комплексу (0,0,0) є поглинаючим, тобто в такому стані навігаційний комплекс залишається до ремонту або заміни окремих частин. Графічна модель марківського процесу (рис.15) відображає шляхи переходу від повністю працездатного стану трьох компонентів комплексу до неробочого стану повністю або неробочого навігаційного комплексу (який, слід

зазначити, має дуже низьку ймовірність, проте її не можна ігнорувати, коли мова йде про безпеку в будь-якому контексті).

З одного стану в інший стан навігаційний комплекс переходить відповідно до матриці ймовірностей переходу. Значення ймовірності переходу для кожного судна визначаються статистичним або експертним методом з урахуванням конкретного технічного стану елементів навігаційного комплексу. За відсутності необхідної кількості статистичних даних експерти оцінюють ймовірності з урахуванням технічних особливостей обладнання та умов його експлуатації.

Процес зміни станів навігаційного комплексу визначає процес зміни станів навігаційної безпеки судна. Така декомпозиція процесів необхідна з тієї причини, що не кожен із восьми станів навігаційного комплексу визначає окремий стан навігаційної безпеки. Зміни цих станів також утворюють марківський процес, оскільки зміни станів безпеки навігації базуються на змінах стану навігаційного комплексу (рис.16).

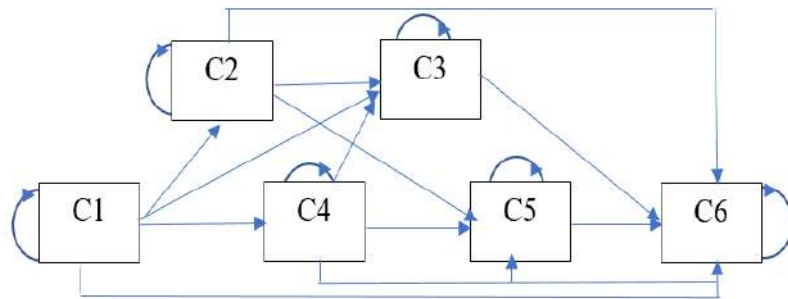


Рисунок 16 - Граф зміни стану навігаційної безпеки судна

Знаючи тривалість майбутнього рейсу $t=T$, можна розрахувати ймовірності станів безпеки рейсу на цей момент часу.

Експериментальні розрахунки проведені на базі наступної матриці ймовірності переходу:

$$P = [p_{ij}] = \begin{bmatrix} 0,99 & 0,008094 & 0,001 & 0,0009 & 0,000005 & 0,000001 \\ 0 & 0,99 & 0,0099 & 0 & 0,000095 & 0,000005 \\ 0 & 0 & 0,99991 & 0 & 0 & 0,00009 \\ 0 & 0 & 0,0009 & 0,99 & 0,00909 & 0,0001 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0,99 & 0,01 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad (36)$$

Припустимо, ми розглядаємо короткий рейс (короткий рейс) $T = 5$ діб. Початковий стан безпеки рейсу судна оцінюється як: $P_1(0)=1$; $P_2(0)=0$; $P_3(0)=0$; $P_4(0)=0$; $P_5(0)=0$; $P_6(0)=0$,

Ці ймовірності з єдиною ймовірністю відображають працездатний стан усіх компонентів навігаційного комплексу. Для п'ятого «кроку» (тобто в момент закінчення переходу судна з порту в порт) матриця переходу має вигляд:

$$(P)^4 = \begin{bmatrix} 0,9606 & 0,03141 & 0,00442 & 0,00349 & 0,00007 & 0,00001 \\ 0 & 0,96060 & 0,03900 & 0 & 0,00037 & 0,00003 \\ 0 & 0 & 0,99964 & 0 & 0 & 0,00036 \\ 0 & 0 & 0,00355 & 0,96060 & 0,03528 & 0,00058 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0,96060 & 0,03940 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad (37)$$

і ймовірності оцінено перехідні стани безпеки рейсу судна як: $P_1(5)=0,9606$; $P_2(5)=0,0314$; $P_3(5)=0,0044$; $P_4(5)=0,0035$; $P_5(5)=0,000072$; $P_6(5)=0,0000054$.

При єдиній ймовірності працездатності навігаційного комплексу на початку рейсу в рамках короткого переходу (5 днів), потенціал відмови одного з компонентів навігаційного комплексу (тобто систем індикації, зв'язку та керування рухом) незначний і перехід до іншого абсолютно безпечного стану має незначні можливості. Зокрема, стан С2 можливий з ймовірністю 0,03.

Для більш тривалого рейсу тривалістю $T=21$ день і менш оптимістичною оцінкою, початковий стан безпеки рейсу судна: $P_1(0)=0,99$; $P_2(0)=0,01$; $P_3(0)=0$; $P_4(0)=0$; $P_5(0)=0$; $P_6(0)=0$, ймовірність стану навігаційної безпеки судна матриця має вигляд:

$$(P)^{20} = \begin{bmatrix} 0,8179 & 0,1337 & 0,01545 & 0,01487 & 0,001501 & 0,000126 \\ 0 & 0,8179 & 0,1801 & 0 & 0,001569 & 0,000267 \\ 0 & 0 & 0,9982 & 0 & 0 & 0,00018 \\ 0 & 0 & 0,01637 & 0,8179 & 0,15019 & 0,015508 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0,8179 & 0,1821 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad (38)$$

і ймовірності станів судна під час рейсу $P_1(21)=0,8097$; $P_2(21)=0,1405$; $P_3(21)=0,017$; $P_4(21)=0,0147$; $P_5(21)=0,0015$; $P_6(21)=0,000127$.

Для ідентичної тривалості рейсу $T=21$ день, але з початковими ймовірностями $P_1(0)=0,985$; $P_2(0)=0,01$; $P_3(0)=0,05$; $P_4(0)=0$; $P_5(0)=0$; $P_6(0)=0$, ймовірності станів навігаційної безпеки є: $P_1(21)=0,8056$; $P_2(21)=0,1398$; $P_3(21)=0,022$; $P_4(21)=0,01464$; $P_5(21)=0,001494$; $P_6(21)=0,000127$.

Таким чином, зростає ймовірність станів навігаційної безпеки судна С2 і С3. Графічна ілюстрація ймовірностей станів представлена на рис. 17.

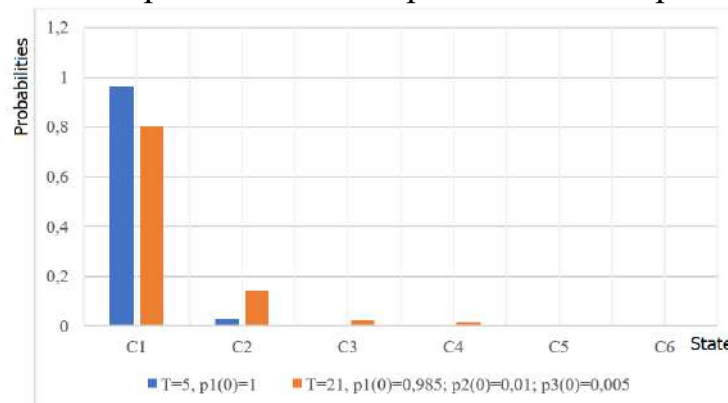


Рисунок 17 - Ймовірності станів навігаційної безпеки судна для різної тривалості рейсу та початкові ймовірності

Відповідно до поширеної морської практики, як правило, короткі рейси за тривалістю судна пов'язані з незначним ризиком поломки навігаційного обладнання, на цьому факті було побудовано дослідження. Також мінімізується вплив погодних умов на ступінь справності та надійності суднового обладнання, що характеризує ступінь прояву стану судна С1 на нетривалих переходах судна.

Як показують результати розрахунків, навігаційна безпека для коротких рейсів оцінюється як «нормальна» (ймовірність 0,96), але для більш тривалих рейсів і можливості станів С2 і С3 в початковий момент (коли судно відійшло) безпеку судна в процесі рейсу можна охарактеризувати як «задовільну» (ймовірність 0,8), а стани С2-С4 мають більш значну ймовірність (0,14; 0,022; 0,02 відповідно).

На даний час не існує шкали оцінки безпеки в судноплавстві в розрізі «нормально», «задовільно», «незадовільно». Тому при формуванні висновків за результатами розрахунків було прийнято підхід, згідно з яким ймовірність вище 0,95 для стану С1 є межею «нормального»; ймовірність станів С2-С6 вище 0,05 вже є «значною» (як прийнято в теорії ризику).

Забезпечення безпеки у процесі переходу судна, у тому числі, пов'язано з безпекою судноводіння, що значною мірою визначається своєчасним виявленням ситуації небезпечного зближення суден, а також оперативним вибором правильного маневру розходження в залежності від реалізованої зустрічної зони взаємних зобов'язань. У ситуації зближення в замкнутих водах наявність навігаційних небезпек може призвести до неможливості розходитися шляхом зміни курсу та призводить до необхідності маневрування шляхом зменшення швидкості судна.

Як правило, судно на ходу в стандартній ситуації розходження за допомогою маневру змінює один параметр руху: курс або швидкість, залишаючи другий параметр незмінним. Тому для вибору маневру рухомого судна доцільно використовувати одновимірну множину неприпустимих значень параметра маневрування судна для розходження.

Для вирішення даного питання була розроблена комп'ютерна програма, яка відображає множини M_K і M_V , дозволяє вибрати оптимальний маневр ухилення та перевірити його правильність.

Після введення параметрів ситуації небезпечного зближення на моніторі відображаються графічні зображення неприйнятних множин курсів M_K і швидкостей M_V (червоний) у даний момент часу (рис. 18), і множин курсів M_K показано горизонтальною червоною лінією на осі курсу судна, в даному випадку від 23° до 76° ;

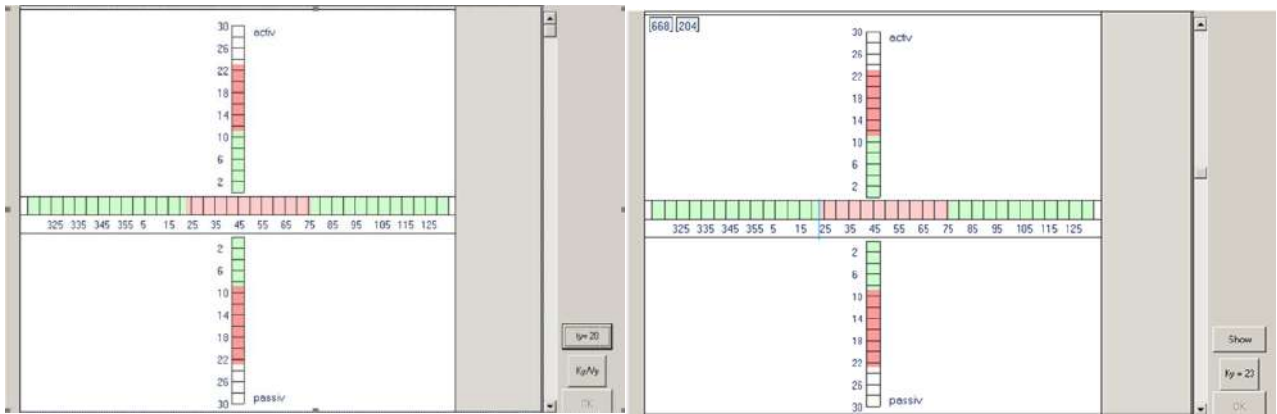


Рисунок 18 - Відображення множин M_K і M_V та вибір курсу ухилення

Для заданого курсу ухилення траєкторії істинного руху судна та відносного руху розходження з іншим судном, які зображені червоним та зеленим кольором відповідно, показані на рисунку 18. Траєкторія відносного руху є дотичною до кругової області, що підтверджує оптимальність обраного курсу ухилення для уникнення зіткнення.

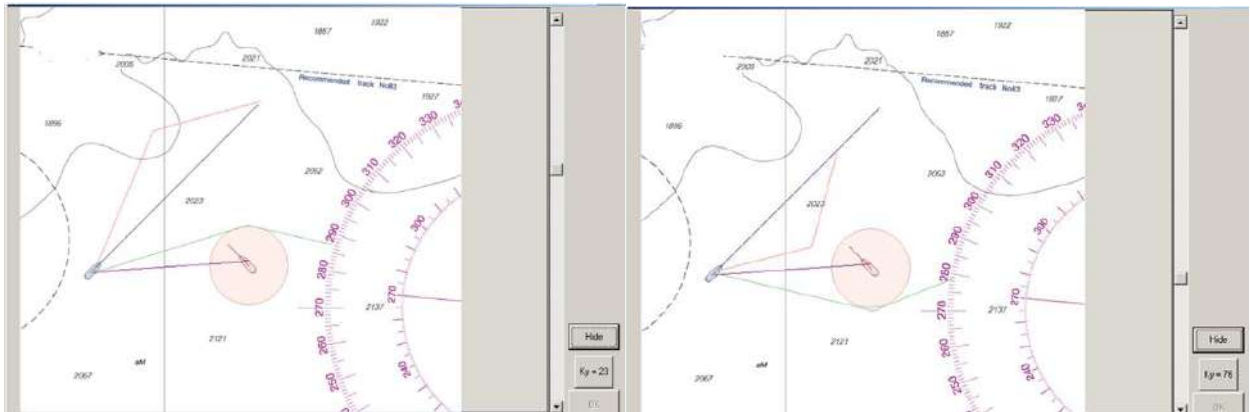


Рисунок 19 - Траєкторії розходження шляхом зміни курсу вліво

Для перевірки правильності вибору оптимального значення швидкості на екран монітора виводиться траєкторія відносного розходження, як показано на рис. 19. Важливо зазначити, що після перехідного процесу гальмування судна траєкторія відносного розходження стає дотичною до межі області безпеки судна, що підтверджує оптимальність обраного значення швидкості ухилення.

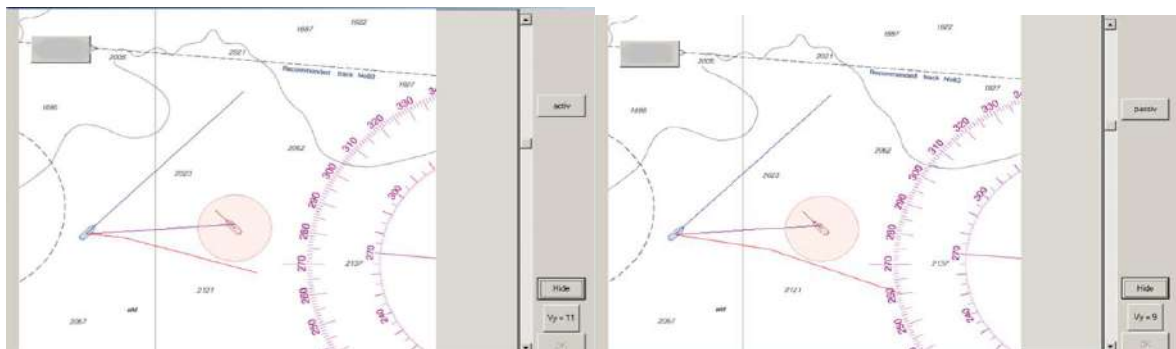


Рисунок 20 - Відносна розбіжність траєкторії при активному та пасивному гальмуванні

У разі вибору маневру розходження шляхом пасивного гальмування, значення швидкості для маневру ухилення необхідно вибирати з нижньої вертикальної ділянки та оптимальну швидкість пасивного гальмування.

Результати перевірки правильності вибору оптимального значення швидкості ухилення судна пасивним гальмуванням наведені на рис. 20. На рисунку показано відносну траєкторію розходження, яка є дотичною до кругової області, що підтверджує оптимальність вибору швидкості ухилення судна для запобігання зіткненню з ціллю.

Отже, даний метод дозволяє ефективно вирішувати завдання щодо уникнення ситуацій небезпечного зближення суден з використанням програмного забезпечення, яке аналізує варіанти можливих маневрів судна і дозволяє вибрати оптимальний курс ухилення або швидкість.

На відміну від існуючих цей метод дозволяє забезпечити безпеку морського перевезення шляхом інтелектуального аналізу небезпечних ситуацій та автоматизованого вибору оптимальних маневрів для уникнення зіткнень. Використання комп'ютерної програми спрощує процес прийняття рішень капітаном судна та зменшує його навантаження в умовах стресу та обмеженого часу. Такий підхід дозволяє ефективно використовувати сучасні технології для забезпечення безпеки судноплавства, а також сприяє оптимізації роботи судна та підвищенню рівня безпеки на морському транспорті.

Таким чином, розглянуто залежність оцінки рівня навігаційної безпеки судна під час процесу розходження від способу прийняття рішення щодо вибору безпечного маневру в умовах небезпечного зближення двох суден. Запропоновано підхід, який передбачає формування спільної стратегії для обох суден, що дозволяє ефективно запобігти їх зіткненню.

Дані методи набувають високої актуальності в умовах близькості навігаційних небезпек та в стиснених умовах плавання, що значно ускладнює процес судноводіння та впливає на його безпеку. Це особливо актуально в замкнутих водах, зонах інтенсивного руху та прибережних районах, де існують усі передумови для виникнення надзвичайних ситуацій.

У шостому розділі «Теоретичні основи забезпечення технологічної безпеки роботи суден» представлені методи забезпечення технологічної безпеки судна під час перевезення вантажів. Розроблено концептуальну модель та методи забезпечення безпеки процесу завантаження палубного вантажу. Також розроблено модель та алгоритм забезпечення безпеки перевезення вантажів із високою щільністю. Узагальнено, що оптимізація системи перевезень включає в себе впровадження технологічних інновацій та автоматизованих засобів управління операціями судна.

Палубні вантажі та навалювальні вантажі з високою щільністю схильні до розрядження можуть становити певні ризики для технологічної безпеки судна протягом рейсу. Врахування та дослідження їх технічних та транспортних характеристик та властивостей дозволяє забезпечити правильне розміщення та кріплення на судні, мінімізуючи ризик подій, таких як зміщення вантажу під час рейсу, що може призвести до втрати остійності та загрози перекидання судна. Узагальнюючи практичний досвід, стає можливим розроблення концептуальної

моделі, що передбачає поетапне планування та організацію вантажних операцій з палубними вантажами, враховуючи масо-геометричні параметри вантажів та техніко-технологічні аспекти процесу завантаження судна (рис. 20).

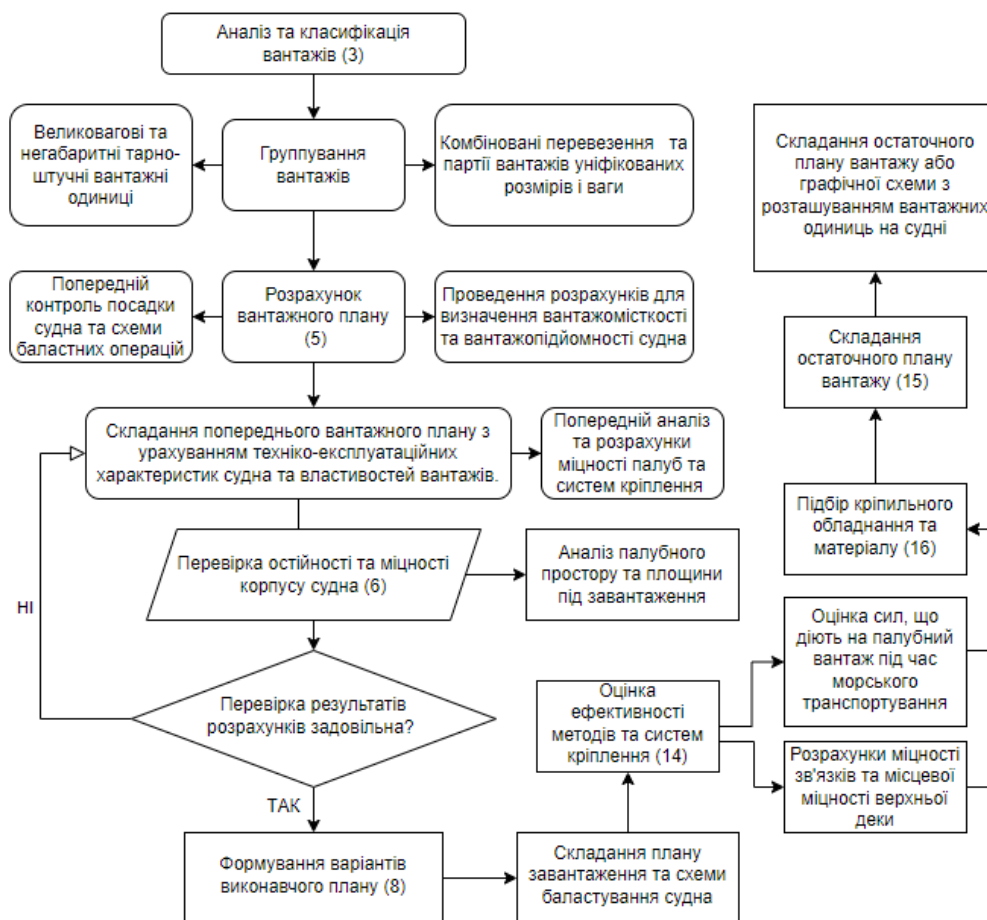


Рисунок 21 - Концептуальна модель процесу завантаження палубного вантажу

Концептуальна модель процесу завантаження палубного вантажу включає в себе комплекс дій та процедур, спрямованих на ефективно та безпечно розміщення вантажу на палубі судна та дозволяє ефективно планувати та виконувати процес завантаження, забезпечуючи безпеку судна та його екіпажу під час морських перевезень враховуючи різноманітні фактори, такі як тип та характер вантажу, геометрія корпусу та палуб судна, максимальна вантажопідйомність, а також умови експлуатації.

Для забезпечення безпечного перевезення навалювальних вантажів з високою щільністю необхідно вивчити фізико-хімічні та транспортні властивості навалочних вантажів і їхній вплив на судно та екіпаж у процесі морського перевезення. Для розрахунку площі контакту вантажу з судновими трюмами необхідно враховувати форму вантажу та його висоту в трюмі. Проте, для приблизної оцінки площі контакту можна використовувати припущення про рівномірний розподіл вантажу по всьому трюму, яка дорівнюватиме:

$$S = \frac{m}{\rho \cdot h} = \frac{m}{\rho \cdot \left(\frac{V}{S}\right)} = \frac{m \cdot S}{\rho \cdot V} \quad (39)$$

$$S = \frac{m \cdot V}{\rho \cdot V} = \frac{m}{\rho} \quad (40)$$

Розрідження призводить до розвитку плинності вантажу, що означає, що вантаж може ковзати і зміщуватися в одному напрямку. Це створює ефект вільної поверхні вантажу і може знижувати метацентричну висоту (GM) судна. Зниження GM може призвести до погіршення остійності судна, що є вкрай небезпечним.

Однією з моделей зсуву розрідженого вантажу є модель ковзання по поверхні вантажу під впливом крену судна. Припустимо, що вантаж розріджений і зісковзує в одному напрямку під впливом гравітації. У цій моделі використаємо закон Ньютона для руху похилою площиною. Рівняння для зсуву розрідженого вантажу на похилій площині приймає враховує гравітаційні сили, тертя та опір деформації вантажу, що забезпечує більш точне моделювання динаміки зсуву розрідженого вантажу на похилій площині.:

$$S_s = \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2 \cdot \sin(\theta) \quad (41)$$

де S_s - зсув вантажу (m^2), g - прискорення вільного падіння ($m/сек^2$), t - час, що минув від початку зсуву (год.), θ - кут крену судна (град.).

Також для розрахунку умовної моделі зсуву розрідженого вантажу на судні використаємо формулу, засновану на балансі сил. Одним із методів, запропонованих у даній роботі, є метод капілярно-когезійної моделі (Capillary-Coherent Model) для розподілу рідини в пористих середовищах, зокрема вологості ґрунту або пористих матеріалів. Цей метод базується на поєднанні капілярних та когезійних сил, які впливають на розподіл рідини в порах матеріалу, забезпечуючи більш точне моделювання і прогнозування поведінки рідини в пористих структурах а сили когезії між рідиною та поверхнею пор впливають на капілярний тиск та розподіл рідини у порах. В рамках цього методу використано математичні моделі, що описують ці процеси та дозволяють розрахувати розподіл вологості в пористих середовищах.

Формула для розрахунку зсуву розрідженого вантажу на борту судна має такий вигляд:

$$h = \frac{W \cdot \sin(\theta) \cdot \cos(\beta)}{\rho \cdot g \cdot (B - L \cdot \sin(\beta))} \quad (42)$$

Де: h - зсув вантажу (висота рівня вантажу, м), W - вага вантажу (т), θ - кут руху судна відносно фронту хвиль (курс судна, град.), β - кут крену судна (град.), ρ - щільність вантажу (t/m^3), g - прискорення вільного падіння ($m/сек^2$), B - ширина судна (м), L - довжина судна (м).

Однак, слід врахувати обмеження, такі як вплив морського хвилювання, неоднорідність вантажу, взаємодія з елементами конструкції на судні тощо. Тому для побудови моделі зсуву розрідженого вантажу на конкретному судні використано наступну послідовність:

1. Розрахунок сили зчеплення між вантажем і судном:

$$F_f = \mu \cdot N \cdot \cos(\alpha) + \eta \cdot \sqrt{N \cdot \sin(\alpha)} \quad (43)$$

де F_f - сила зчеплення (Н); μ - коефіцієнт тертя (можна розрахувати як $tg(\theta)$), де θ - кут внутрішнього тертя (град.); N - нормальна реакція (у цьому випадку дорівнює вазі вантажу, (Н)); α - кут нахилу поверхні; η - коефіцієнт внутрішнього тертя.

2. Розрахунок моменту, викликаного креном судна:

$$M_h = \rho \cdot g \cdot V_h \cdot S_k \cdot \sin(\theta_h) \quad (44)$$

де M_h - момент, викликаний креном судна (кН · м); ρ - густина води (г/см³), g - прискорення вільного падіння; V_h – об'єм судна, занурений унаслідок хитавиці (м³); S_k - площа кіля (м²); θ_h - кут крену (град.).

Проведені розрахунки ілюструють як зміна вологості вантажу впливає на його щільність, що може призводити до розрідження вантажу і погіршення морехідних якостей судна і потенційно підвищувати ризик інциденту на борту. Залежність рівня розрідження вантажу від вологовмісту, дає змогу наочно уявити, як змінюється рівень розрідження вантажу за різних ступенів вологості (рис.22), та дає змогу аналізувати ситуацію. Такий підхід може бути корисним для ухвалення рішень про контроль і управління станом вантажу, а також для оцінки впливу вологості на безпеку і остійність судна під час перевезення вантажу.

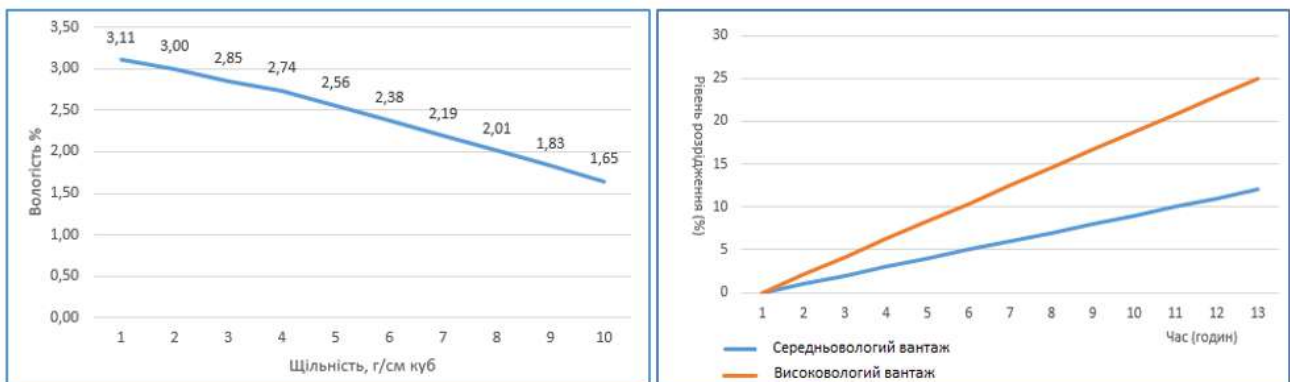


Рисунок 22 - Залежність між рівнем вологості і рівнем щільності вантажу та залежність рівня розрідження вантажу від часу

Отже, запропоновано новий підхід до класифікації та оцінки рівнів розрідження вологовмісту балкерних вантажів, таких як нікелева руда. Представлено графік (рис. 22), який дозволяє візуалізувати зміну рівня розрідження вантажу протягом зазначеного часового інтервалу (у цьому випадку 12 годин). На графіку демонструється, як рівень розрідження вантажу поступово зростає з часом при високому рівні розрідження (20-25%), а також показано зростання рівня розрідження для вантажу із середнім рівнем вологості на тому ж часовому інтервалі.

Такий підхід дозволяє більш точно прогнозувати поведінку навалочних вантажів під час транспортування, враховуючи їх вологовміст і динаміку розрідження, що має важливе значення для підвищення безпеки морських

перевезень та оптимізації умов транспортування вантажів схильних до розрідження. Представлені методи та моделі є важливим інструментом для прийняття ефективних рішень з метою підвищення безпеки та оптимізації процесів перевезення вантажу морським транспортом та дозволяють визначати зміни в стані вантажу з урахуванням впливу зовнішніх сил в заданий часовий інтервал та ефективно контролювати стан вантажу на основі встановлених умов.

ВИСНОВКИ

В результаті виконаного дослідження розв'язано актуальну науково-прикладну проблему, пов'язану з науковим розвитком методології управління безпекою роботи суден у системі морських перевезень. Отримані результати – концепція, моделі, методи та засоби - формують нову методологію безпеко-орієнтованої роботи суден в системі морських перевезень, що розвиває сучасну теоретичну базу організації та управління роботою суден при виконанні вантажних перевезень. Практична ефективність визначених теоретичних положень підтверджена результатами їх впровадження в діяльність українських та закордонних компаній. Основні висновки за результатами дослідження:

1. На основі аналізу сучасної теоретичної бази було встановлено, що використання методів комплексного управління безпекою морського транспорту є ефективним для реалізації безпечно-орієнтованої роботи суден в системі морських перевезень. Обґрунтовано необхідність розвитку методів інтегрованого забезпечення безпеки, які здатні реалізовувати переваги в межах сучасних систем безпеки суден під час перевезення вантажів.

Встановлено, що існуючі розробки, як правило, стосуються виключно роботи суднових систем та спрямовані на забезпечення безпечної технічної експлуатації суден. Робота суден є об'єктом іншого рівня та пов'язана з рухом суден з вантажем, виконанням цілої множини операцій, у тому числі, з вантажем, та наявністю впливу інших учасників транспортного процесу. Тому забезпечення безпеки роботи суден в системі морських перевезень передбачає розгляд відповідної системи компонент та факторів впливу, розробку методів та заходів організаційно-технічної та управлінської спрямованості, які спрямовано на оцінку безпеки, її забезпечення та підвищення.

Це обґрунтовує наявність проблеми формування методології та відповідних методів забезпечення безпеко-орієнтованої роботи суден, яка потребує вирішення для усунення протиріччя між існуючими вимогами сучасного судноплавства та морських перевезень з одного боку, та відсутністю відповідної теоретичної бази з іншого.

2. Розроблено концепцію безпеко-орієнтованої роботи суден, згідно якої безпека в процесі роботи судна означає безпеку для людини, середовища, судна і вантажу відповідно до чотирьохкомпонентної моделі, яку розглянуто з різним ступенем декомпозиції. З урахуванням специфіки виробничого процесу роботи судна, визначені чотири види безпеки: технічна, технологічна, навігаційна, екологічна. Ці чотири види безпеки під час роботи суден, з одного боку, пов'язані зі специфікою різних виробничих операцій у процесі морського перевезення, з

іншого боку, з різними аспектами розгляду судна. Сукупність цих видів безпеки забезпечує безпечну роботу судна. Встановлено ланцюг формування причинно-наслідкових зав'язків у системі безпеки роботи суден та розроблено формули для поетапної оцінки ймовірності безпеки роботи суден з урахуванням факторів впливу, їх вагомості та розподілу, операцій за етапами виробничого процесу та їх вагомості для кожного виду (компоненти) безпеки роботи судна.

3. Розроблено динамічну модель зміни стану безпеки судна у процесі роботи, яка відображає системний погляд як на структуру безпеки, так і на систему факторів впливу різної спрямованості з точки зору зменшення чи збільшення рівня безпеки. Модель дозволяє досліджувати системно безпеку роботи судна та оцінювати її зміни під впливом прогнозованих факторів чи подій. Ідентифіковано структуру системи факторів впливу на безпеку роботи судна, яка у повній мірі охоплює основні впливи на безпеку різної природи.

4. Розроблено систему заходів та засобів забезпечення безпеки роботи морських суден як протидія можливим ризикам порушення безпеки. Дана система передбачає технічні, операційні та організаційні аспекти забезпечення безпеки роботи суден. Для кожного аспекту сформовано відповідні множини заходів та засобів, охарактеризовано їх практичне використання, а також нормативне підґрунтя для тих, які це передбачають.

5. Встановлено схему процесу обміну інформацією судна. На базі циклу інформаційного обміну в режимі судно-берег для обміну інформацією для забезпечення безпеки та ефективності операцій запропоновано заходи які враховують вразливість систем судна під час процесу обміну інформацією для захисту судна від потенційних кібератак. Встановлено ключові аспекти забезпечення технічної безпеки суден, визначено, що системи автоматичного управління та моніторингу є ключовими для підвищення ефективності та забезпечення безпеки судових операцій. Запропоновано концептуальну модель охорони судна, яка враховує актуальні тенденції та визначає напрями для захисту від сучасних загроз.

Для інтегрованого управління кібербезпекою судна пропонується метод оцінки кібербезпеки, який базується на ланцюгу ймовірнісних оцінок:

- 1) порушення кібербезпеки судна ;
- 2) наслідків порушення кібербезпеки судна;
- 3) матеріальних збитків внаслідок порушення кібербезпеки судна.

6. Систематизовано міжнародні конвенції та нормативи, такі як Конвенція MARPOL, які охоплюють аспекти запобігання забрудненню морської екосистеми нафтопродуктами, контролю за забрудненням атмосферного повітря та управління баластними водами.

Запропоновано комплекс заходів щодо вдосконалення екологічної безпеки в процесі експлуатації суден, включно з впровадженням передових технологій та обладнання, таких як системи очищення баластних вод, контроль за шкідливими викидами, а також необхідність модернізації обладнання.

Розроблено модель зміни енергоефективності судна, яка враховує різноманітні умови та вимоги щодо енергоспоживання, сприяючи оптимізації використання енергії. Цей підхід дозволяє систематично враховувати фактори, що

впливають на споживання енергії судном, включаючи різні умови експлуатації та сценарії та визначає оптимальні шляхи зменшення витрат енергії та підвищення енергоефективності судна, що сприяє зменшенню екологічного впливу від роботи суден на середовище.

7. Встановлено структуру навігаційного комплексу судна, який складається з трьох підсистем - системи навігації та параметрів руху, систем морського зв'язку та безпеки, системи керування та управління рухом. Кожна підсистема має у складі певні компоненти, для кожної з них встановлено за статистичними даними щодо суден різної спеціалізації та дедвейту ймовірності відмови. Ймовірність відмови навігаційної системи, тобто ймовірність відсутності навігаційної безпеки, розглядається як ймовірність відмови усіх підсистем. Тем не менш, відмова тільки окремих підсистем призводить до втрати повної навігаційної безпеки, але ж до наявності певного стану навігаційної безпеки. Встановлено шість таких станів:

- безпека судна задовільна,
- забезпечення параметрів руху без засобів зв'язку та безпеки,
- забезпечення характеристик руху та керованості без інформації про його параметри та засоби зв'язку та безпеки,
- забезпечення параметрів руху без роботи систем керування рухом,
- судно позбавлене можливості керування із справними системами індикації та зв'язку,
- аварійний стан судна та втрата навігаційної безпеки.

3. Обґрунтовано, що зміна станів навігаційного комплексу є марківським процесом, у дослідженні сформовано графічну модель цього процесу. Зміна станів навігаційного комплексу викликає зміну станів навігаційної безпеки судна, що також є марківським процесом. Ідентифіковано шість станів навігаційної безпеки. Використання запропонованої моделі продемонстровано на конкретному прикладі розрахунку для різних періодів рейсу та початкових ймовірностей.

Проаналізовано вплив людського фактору у ризиках навігаційній безпеки. Узагальнено практичний досвід та сформовано комплекс методів та засобів зниження ризику зіткнення суден, який складається з факторів впливу на ймовірність людської помилки. Розроблено формулу оцінки ймовірності зіткнення суден для обґрунтування методів та засобів її зменшення, як інструмент оцінки ефективності методів та засобів з точки зору зменшення навігаційних ризиків.

Розроблено метод оперативного визначення маневру розходження судна зміною курсу або швидкості для запобігання зіткнення, який базується на принципі розходження шляхом зміни курсу або швидкості судна, також запропоновано метод оперативного визначення маневру розходження для уникнення зіткнення шляхом зниження швидкості активним і пасивним гальмуванням. Наведено аналітичні вирази для розрахунку меж неприпустимих значень курсів суден і неприпустимих значень їх швидкостей з урахуванням режиму гальмування. Виконано відповідні експериментальні розрахунки в рамках розробленого програмного забезпечення.

8. Запропоновано концептуальну модель послідовності завантаження палубного вантажу та модель зсуву навалочного вантажу які узгоджують масо-геометричні параметри та техніко-технологічні аспекти для досягнення ефективного планування та забезпечення безпеки вантажних операцій. Ці моделі враховують різноманітні характеристики вантажів, їх розміри та вагу, а також особливості технічних процесів завантаження та розвантаження. Застосування цих моделей дозволяє оптимізувати розташування та контролювати стан вантажів, мінімізуючи ризик зсуву вантажу та забезпечуючи ефективні та безпечні операції з обробки та перевезення вантажів за допомогою морського транспорту.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Монографії:

1. Melnyk, O., & Bychkovsky, Y. (2021). Research of the Role and Importance of Maritime Safety Leadership. *Innovative Science, Education, Production and Transport*, 4(2), 179-191. <https://doi.org/10.30888/2707-1685.2021-04-02> Автором досліджено аналіз ролі лідерства в контексті морської безпеки та запропоновано концепцію покращення практики лідерства на судах.
2. Melnyk, O.M., Ocheretna, V.V., & Shakhov, A.I. (2023). Intellectual Capital Is the Foundation of Innovative Development: Conceptual Principles of Ensuring Organizational and Technological Aspects of Ship Safety. *Monographic Series "European Science,"* 18, (1). <https://doi.org/10.30890/2709-2313.2023-18-01> Автором запропоновано концептуальні засади, які лежать в основі ідентифікації та подальшого забезпечення організаційних та технологічних аспектів безпеки суден.

Статті в міжнародних наукометричних виданнях:

3. Melnyk, O., Onyshchenko, S., & Koryakin, K. (2021). Nature and Origin of Major Security Concerns and Potential Threats to the Shipping Industry. *Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport*, 113, 145-153. ISSN: 0209-3324. <https://doi.org/10.20858/sjsutst.2021.113.11> (Scopus Q3) Автором проведено аналіз та ідентифікацію потенційних загроз безпеці судноплавства.
4. Melnyk, O., Bychkovsky, Y., & Voloshyn, A. (2022). Maritime Situational Awareness as a Key Measure for Safe Ship Operation. *Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport*, 114, 91-101. ISSN: 0209-3324. <https://doi.org/10.20858/sjsutst.2022.114.8> (Scopus Q3) Автором розроблено підходи до розуміння та моделювання ситуаційної обізнаності як ключового фактору експлуатаційної безпеки судна.
5. Melnyk, O., Onyshchenko S., Pavlova N., Kravchenko O., & Borovyk S. (2022). Integrated Ship Cybersecurity Management as a Part of Maritime Safety and Security System. *International Journal of Computer Science and Network Security*, 22(03), 135-140. <https://doi.org/10.22937/IJCSNS.2022.22.3.18> (WOS) Автором запропоновано розробку інтегрованих стратегій та методик ефективного управління кібербезпекою на судах, з урахуванням особливостей умов та

потенційних кіберзагроз.

6. Melnyk, O., Onishchenko, O., & Onyshchenko, S. (2023). Renewable Energy Concept Development and Application in Shipping Industry. *Lex Portus*, 9(6), 15–24. <https://doi.org/10.26886/2524-101X.9.6.2023.2> (Scopus Q2) Автором розроблено концепцію впровадження та застосування відновлюваних джерел на морському транспорті.

7. Burmaka, I., Vorokhobin, I., Melnyk, O., Burmaka, O., & Sagin, S. (2022). Method of Prompt Evasive Maneuver Selection to alter Ship's Course or Speed. *Transactions on Maritime Science*, 11(1). <https://doi.org/10.7225/toms.v11.n01.w01> (Scopus Q2) Автором запропоновано метод визначення маневру розходження судна зміною курсу або швидкості для запобігання зіткненню.

8. Onishchenko, O., Golikov, V., Melnyk, O., Onyshchenko, S., & Obertiur, K. (2022). 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*, 116, 223-235. <https://doi.org/10.20858/sjsutst.2022.116.14> (Scopus Q3) Автором запропоновано технічні та експлуатаційні заходи для зменшення викидів парникових газів від суден та встановлено взаємозв'язок між технічними рішеннями та їх впливом на екологічну безпеку суден.

9. Melnyk, O., & Onyshchenko, S. (2022). Navigational safety assessment based on Markov-model approach. *Scientific Journal of Maritime Research*, 36 (2), 328-337. <https://doi.org/10.31217/p.36.2.16> (Scopus Q2) Автором запропоновано модель марківського процесу зміни станів навігаційної безпеки судна.

10. Melnyk, O., Onyshchenko, S., Onishchenko, O., Lohinov, O., Ocheretna, V., & Dovidenko, Y. (2022). Basic aspects ensuring shipping safety. *Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport*, 117, 139-149. <https://doi.org/10.20858/sjsutst.2022.117.10> (Scopus Q3) Автором представлено концепцію та принципи основних аспектів, які забезпечення безпеки судноплавства, та запропонувати свої підходи до їх розв'язання проблем та викликів.

11. Melnyk, O., Onyshchenko, S., Onishchenko, O., Shumylo, O., Voloshyn, A., Koskina, Y., & Volianska, Y. (2022). Review of Ship Information Security Risks and Safety of Maritime Transportation Issues. *TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, 16, 4, 717-722. <https://doi.org/10.12716/1001.16.04.13> (Scopus Q3) Автором запропоновано методи та стратегії забезпечення інформаційної безпеки судна під час морського транспортування.

12. Melnyk, O., Onyshchenko, S., & Onishchenko, O. (2023). Development measures to enhance the ecological safety of ships and reduce operational pollution to the environment. *Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport*, 118, 195-206. <https://doi.org/10.20858/sjsutst.2023.118.13> (Scopus Q3) Автором представлені заходи та ініціативи, спрямовані на забезпечення екологічної безпеки суден, запропоновано методи та технології для зменшення забруднення внаслідок операцій судна.

13. Melnyk, O., Onyshchenko, S., Onishchenko, O., Lohinov, O., &

Ocheretna, V. (2023). Integral Approach to Vulnerability Assessment of Ship's Critical Equipment and Systems. *Transactions on Maritime Science*, 12(1). <https://doi.org/10.7225/toms.v12.n01.002> (Scopus Q2) *Автором запропоновано модель оцінки вразливості судна.*

14. Melnyk, O., Onishchenko, O., Onyshchenko, S., Voloshyn, A., & Ocheretna, V. (2023). Comprehensive Study and Evaluation of Ship Energy Efficiency and Environmental Safety Management Measures. *Studies in Systems, Decision and Control*, 481, 665-679. https://doi.org/10.1007/978-3-031-35088-7_38 (Scopus Q4) *Автором проведено комплексну оцінку заходів управління енергоефективністю та екологічною безпекою суден.*

Статті у наукових фахових виданнях України:

15. Мельник, О.М., Бичковський, Ю.В. (2021). Сучасна методика оцінки рівня безпеки судна та шляхи його підвищення. *Розвиток транспорту*, 2(9), 37-46. <https://doi.org/10.33082/td.2021.2-9.03> *Автором запропоновано методичний підхід до оцінки рівня безпеки судна.*

16. Мельник, О.М., Щербина, О.В., Корякін, К.С., Бурлаченко, Д.А. (2021). Огляд та перспективи використання сучасних систем курсовказання на морських суднах для забезпечення навігаційної безпеки. *Наукові вісті Давіського університету*, 21. <https://doi.org/10.33216/2222-3428-2021-21> *Автором проведено порівняльний аналіз систем курсовказання та запроваджено перспективи їх розвитку.*

17. Мельник, О.М., Онищенко, С.П., Логінов, О.В., Окулов, В.І., Пуляєв, І.О. (2021). Актуальні проблеми морської безпеки та сучасні шляхи забезпечення охорони судна. *Комунальне господарство міст*, 6(166), 204-210. [DOI: 10.33042/2522-1809-2021-6-166-204-210](https://doi.org/10.33042/2522-1809-2021-6-166-204-210)

Автором ідентифіковано сучасні проблеми морської безпеки та запропоновано способи організації безпеки судна.

18. Мельник, О.М., Онищенко, С.П., Волошин, А.О., Калініченко, Є.В., Заяц, С.В. (2021). Огляд основних механізмів управління енергоефективністю та контролю за викидами з морських суден. *Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту*, 197, 121–129. <https://doi.org/10.18664/1994-7852.197.2021.248314> *Автором наведено основні механізми управління енергоефективністю та оцінено їх ефективність.*

19. Бичковський, Ю.В., Мельник, О.М. (2022). Роль та місце людського елемента у ситуації навалу або зіткнення судна з причалом. *Вчені записки ТНУ ім. Вернадського. Технічні науки*, 33(72) № 1, 270–276. <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2022.1/41> *Автором досліджено ступінь впливу людського фактору у ситуаціях навалу або зіткнення судна з причалом та методика визначення оптимальних стратегій управління судном у екстремальних ситуаціях.*

20. Мельник, О.М., Волянська, Я.Б., Калініченко, Є.В., Логінов, О.В., Корякін, К.С., Бурлаченко, Д.А., Щенявський, Г.С. (2022). Використання інформаційних технологій на водному транспорті та перспективи їх розвитку. *Вчені записки ТНУ ім. Вернадського. Технічні науки*, 33(72) № 3, 99–105. <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2022.3/16> *Автором проведено аналіз та*

прогнозування тенденцій вдосконалення технологічних рішень для підвищення ефективності та безпеки водного транспорту.

21. Мельник, О.М., Онищенко, О.А., Васалатій, Н.В., Корякін, К.С., Пуляєв, І.О., & Щенявський, Г.С. (2022). Технології інформаційної взаємодії у процесі підвищення безпеки мореплавства. *Вчені записки ТНУ ім. Вернадського. Технічні науки*, 33(72), № 4, 260–265. <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2022.4/39>

Автором запропонована методика та принципи інформаційного обміну.

22. Мельник, О.М., Волошин, А.О., Онищенко, О.А., Логінов, О.В., Щербина, О.В. (2022). Огляд процесу модернізації та оснащення суден системами очищення баластних вод. *Вчені записки ТНУ ім. Вернадського. Технічні науки*, 33 (72) № 5, 299-304. <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2022.5/46>

Автором проведено аналіз останніх розробок, технологій та сучасних тенденцій у модернізації та впровадженні систем очищення баластних вод на судах.

23. Мельник, О.М., Волошин, А.О., Онищенко, О.А., Щербина, О.В., Васалатій, Н.В., & Никитюк, П.В. (2022). Організація забезпечення інформаційної безпеки морського судна. *Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту*, 201, 69–78. DOI: [10.18664/1994-7852.201.2022.267758](https://doi.org/10.18664/1994-7852.201.2022.267758) *Автором запропоновано методу організації інформаційної безпеки судна.*

24. Мельник, О.М., Калініченко, Є.В., Бурлаченко, Д.А., Никитюк, П.В., & Колесник, О.В. (2023). Забезпечення безпеки судноводіння шляхом розроблення стратегій попередження зіткнення на базі «моделі відкритого моря». *Водний транспорт*, 1(37), 71-79. doi.org/10.33298/2226-8553.2023.1.37.07

Автором проведено аналіз стратегій забезпечення безпеки судноводіння та розроблено модель попередження зіткнення.

25. Мельник, О.М. (2023). Моделювання взаємозв'язку енергоефективності та безпеки судна на основі множинної лінійної регресії. *Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту*, 204, 92–101. doi.org/10.18664/1994-7852.204.2023.284042

26. Мельник, О. (2023). Забезпечення безпеки морського перевезення навалочних вантажів із високою щільністю. *Розвиток транспорту*, 2(17), 143-154. <https://doi.org/10.33082/td.2023.2-17.12>

27. Мельник, О.М. (2023). Безекіпажне судноплавство як розвиток технологічних інновацій в морських перевезеннях. *Вчені записки ТНУ ім. Вернадського. Технічні науки*, 34 (73), 152-157. DOI: [10.32782/2663-5941/2023.2.2/26](https://doi.org/10.32782/2663-5941/2023.2.2/26)

28. Мельник, О.М. (2023). Сучасні шляхи забезпечення кібербезпеки морського перевезення вантажів. *Наука і техніка сьогодні*, 6 (20), 38-50. [https://doi.org/10.52058/2786-6025-2023-6\(20\)-38-50](https://doi.org/10.52058/2786-6025-2023-6(20)-38-50)

29. Мельник, О.М. (2023). Strategies for the development of maritime transportation and methods for efficient operation. *Наука і техніка сьогодні*, 8 (20), 324-335. [https://doi.org/10.52058/2786-6025-2023-8\(22\)-324-335](https://doi.org/10.52058/2786-6025-2023-8(22)-324-335)

30. Мельник, О.М. (2023). Дослідження впливу фактору людини на ергатичні системи управління на транспорті. *Транспортні системи та технології перевезень*, 25, 10-15. <https://doi.org/10.15802/tsst2023/284487>

31. Мельник, О.М. (2023). Аналіз впливу параметрів руху та маневрування судна на безпеку його експлуатації. *Вчені записки ТНУ ім. Вернадського. Технічні науки.* - 34 (73) № 3, Ч.2, 143-149. [DOI: 10.32782/2663-5941/2023.3.2/25](https://doi.org/10.32782/2663-5941/2023.3.2/25)

32. Мельник, О.М. (2023). Аналіз та оцінка рівня безпеки судна на прикладі багатопарової моделі. *Вісник Одеського національного морського університету: Зб. наук. праць*, 3(70), 34-46. [DOI: 10.47049/2226-1893-2023-3-34-46](https://doi.org/10.47049/2226-1893-2023-3-34-46)

33. Мельник, О.М. (2023). Оцінка впливу енергоефективності на безпеку експлуатації судна. *Подільський вісник: сільське господарство, техніка, економіка*, 2 (39), 76-81. <https://doi.org/10.37406/2706-9052-2023-2.11>

34. Мельник, О.М. (2023) Актуальні проблеми безпеки морського транспорту. Тенденції, ризики та стратегії врегулювання. *Водний транспорт*, 1(37), 116-126. doi.org/10.33298/2226-8553.2023.1.37.13

35. Мельник, О.М. (2023). Управління подіями та інцидентами в практиці безпеко-орієнтованої експлуатації судна. *Вісник Херсонського національного технічного університету*, 2(85), 58-64. <https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2023.2>

36. Мельник, О.М. (2023). Аспекти забезпечення безпеко-орієнтованого функціонування морського транспорту. *Вісник Херсонського національного технічного університету*, 86, 44-52. <https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2023.3.6>

37. Мельник, О.М. (2023). Обґрунтування концепції безпеко-орієнтованої роботи морських суден при перевезеннях вантажів. *Транспортні системи та технології перевезень*, 26, 68-75. <https://doi.org/10.15802/tsst2023/293356>

38. Мельник, О.М. (2023). Основні концепції безпечної обробки та транспортування палубних вантажів. *Вчені записки ТНУ ім. Вернадського. Технічні науки*, 34 (73) № 6, 271-257. <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2023.6/37>

Наукові праці які засвідчують апробацію матеріалів та додатково відображають наукові результати дисертації.

39. Melnyk, O., Volianska, Ya., Onishchenko, O., Onyshchenko, S., Kononova, O., & Vasalatii, N. (2022). Development of Computer-based Remote Technologies and Course Control Systems for Autonomous Surface Ships. *International Journal of Computer Science and Network Security*, 22 (09), 183-188. <https://doi.org/10.22937/IJCSNS.2022.22.9.27> (WoS) *Автором запропоновано метод дистанційного керування судном та стабілізації курсу з використанням комп'ютерних технологій.*

40. Melnyk, O., Onyshchenko, S., Onishchenko, O., Shcherbina, O., & Vasalatii, N. (2023). Simulation-Based Method for Predicting Changes in the Ship's Seaworthy Condition Under Impact of Various Factors. *Studies in Systems, Decision and Control*, 481, 653-664. https://doi.org/10.1007/978-3-031-35088-7_37 (Scopus Q4) *Автором розроблено імітаційний метод, що дозволяє прогнозувати зміни у морехідному стані судна при впливі різноманітних факторів.*

41. Melnyk, O., Bychkovsky, Y., Onishchenko, O., Onyshchenko, S., &

Volianska, Y. (2023). Development the Method of Shipboard Operations Risk Assessment Quality Evaluation Based on Experts Review. *Studies in Systems, Decision and Control*, 481, 695-710. https://doi.org/10.1007/978-3-031-35088-7_40 (Scopus Q4) Автором розроблено метод оцінювання якості оцінки ризиків суднових операцій на основі експертного огляду.

42. Melnyk, O., Onishchenko, O., Onyshchenko, S., Voloshyn, A., Kalinichenko, Y., Rossomakha, O., Naleva, G., Rossomakha, O. (2022). Autonomous Ships Concept and Mathematical Models Application in their Steering Process Control. *TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, 16 (3), 553-559. doi:10.12716/1001.16.03.18. (Scopus Q3) Автором розроблено концепцію застосування математичних моделей у процесі керування рухом безекіпажних суден.

43. Onyshchenko, S., Shibaev, O., Melnyk, O. (2021). Assessment of Potential Negative Impact of the System of Factors on the Ship's Operational Condition During Transportation of Oversized and Heavy Cargoes, *Transactions on Maritime Science*, 10 (1). <https://doi.org/10.7225/toms.v10.n01.009> (Scopus Q2) Автором запропоновано метод оцінки потенційно негативного впливу системи факторів на експлуатаційний стан судна.

44. Onyshchenko, S., Melnyk, O. (2021). Probabilistic Assessment Method of Hydrometeorological Conditions and their Impact on the Efficiency of Ship Operation. *Journal of Engineering Science and Technology Review*, 14 (6), 132 - 136. <https://doi.org/10.25103/jestr.146.15> (Scopus Q3) Автором представлено і обґрунтовано ймовірнісний метод оцінки гідрометеорологічних умов та їх впливу на ефективність операцій суден.

45. Onyshchenko, S., Melnyk, O. (2022). Efficiency of Ship Operation in Transportation of Oversized and Heavy Cargo by Optimizing the Speed Mode Considering the Impact of Weather Conditions. *Transport and Telecommunication Journal*, 23 (1), 73-80. <https://doi.org/10.2478/ttj-2022-0007> (Scopus Q3) Автором проведено аналіз ефективності операцій суден при транспортуванні вантажів та запропоновано метод оптимізації швидкісного режиму з урахуванням впливу погодних умов.

46. Melnyk, O., Onishchenko, O., Onyshchenko, S., Golikov, V., Sapiha, V., Shcherbina, O., Andrievska, V. (2022). Study of Environmental Efficiency of Ship Operation in Terms of Freight Transportation Effectiveness Provision. *TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, 16 (4), 723-722. <http://doi.org/10.12716/1001.16.04.14> (Scopus Q3) Автором представлено метод оцінки ефективності операцій суден з урахуванням екологічних аспектів.

47. Melnyk, O., Onishchenko, O., Onyshchenko, S., Shumylo, O., Volyanskyu, S., Bondar, A., Cheredarchuk, N. (2023). Application of Fuzzy Controllers in Automatic Ship Motion Control Systems. *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, 13 (4), 3958-3968. <http://doi.org/10.11591/ijece.v13i4.pp3948-3957> (Scopus Q2) Автором проведено аналіз можливостей та переваг застосування нечіткої логіки для оптимізації систем автоматичного керування курсом суден.

48. Onishchenko, O., Bukaros, A., Melnyk, O., Yarovenko, V., Voloshyn, A.,

Lohinov, O. (2023). Ship Refrigeration System Operating Cycle Efficiency Assessment and Identification of Ways to Reduce Energy Consumption of Maritime Transport. *Studies in Systems Decision and Control*, 481, 641-652. https://doi.org/10.1007/978-3-031-35088-7_36 (Scopus Q4) *Автором запропоновано оцінку ефективності роботи холодильної системи судна та ідентифікацію способів зменшення енергоспоживання на морському транспорті.*

49. Melnyk, O., Sagaydak, O., Shumylo, O., Lohinov, O. (2023). Modern Aspects of Ship Ballast Water Management and Measures to Enhance the Ecological Safety of Shipping. *Studies in Systems, Decision and Control*, 481, 681-694. https://doi.org/10.1007/978-3-031-35088-7_39 (Scopus Q4) *Автором проведено аналіз сучасних аспектів управління баластними водами на суднах та розроблено заходи, спрямовані на зменшення впливу баластних вод на морське довкілля.*

50. Melnyk, O., & Onyshchenko, S. (2022). Ensuring Safety of Navigation in the Aspect of Reducing Environmental Impact. *Lecture Notes in Network and Systems* 463, 1–9. https://doi.org/10.1007/978-3-031-03877-8_9 (Scopus Q4) *Автором проведено аналіз зв'язків між безпекою процесу навігації та заходами, спрямованими на зменшення екологічного впливу суден на навколишнє середовище.*

51. Мельник, О.М. Бичковський, Ю.В. (2021). Врахування фактору стресу у системі забезпечення безпеки мореплавства. *Вчені записки ТНУ ім Вернадського. Технічні науки*, 32(71) № 4, 260-264. <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2021.4/39> *Автором проведено аналіз та вплив психологічного аспекту управління безпекою на морі та запропоновано заходи для підвищення рівня безпеки в умовах стресових ситуацій.*

52. Мельник, О.М. (2023). Автоматизація процесів судноводіння, її роль у забезпеченні безпеки та підвищенні ефективності морських перевезень. *Наука і техніка сьогодні*, 5(19), 8-18. [https://doi.org/10.52058/2786-6025-2023-5\(19\)-8-18](https://doi.org/10.52058/2786-6025-2023-5(19)-8-18).

53. Мельник, О.М., Онищенко, О.А., Волошин, А.О., Васалатій, Н.В., Логінов, О.В., Корякін К.С. (2022). Розвиток дистанційних технологій керування судном як фактор забезпечення безпеки судноплавства *Розвиток транспорту*, 3 (14), 179- 191. <https://doi.org/10.33082/td.2022.3-14.13> *Автором запропоновано підходи та стратегії для підвищення ефективності морських перевезень.*

54. Melnyk, O., Shcherbina, O., Mikhailova, I., Obnyavko, T., & Korobko, T. (2023). Focused research on technological innovations in shipping industry: review and prospects. *Transport Development*, (1(16), 164-174. <https://doi.org/10.33082/td.2023.1-16.13> *Автором проведено систематичний огляд та окреслено перспективні напрями в технологічних інновацій у галузі морського транспорту.*

55. Мельник, О.М., Корякін, К.С. (2021). Сучасні шляхи підвищення стандартів точності та надійності супутникових навігаційних систем. *Вчені записки ТНУ ім Вернадського. Технічні науки*, 32(71) № 6, 225-230. <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2021.6/36> *Автором надано тенденції у вдосконаленні супутникових навігаційних систем, спрямованих на поліпшення точності та надійності курсовказання.*

56. Мельник, О.М., Корякін, К.С., & Логінов, О.В. (2022). Супутникові компаси у системі забезпечення безпеки навігації суден. *Розвиток транспорту*,

1(12), 54–63. <https://doi.org/10.33082/td.2022.1-12.05> Автором виконано аналіз характеристик супутникових компасів та їхню ефективність у порівнянні з іншими методами орієнтування.

57. Мельник, О.М., Котенко, О.В., Корбан, В.Х., Васильченко, О.Є., Чеча, О.П. (2023). Організація і управління боротьбою з пожежами на морських суднах. *Наука і техніка сьогодні*, №4 (18), 309-320. [https://doi.org/10.52058/2786-6025-2023-4\(18\)-309-320](https://doi.org/10.52058/2786-6025-2023-4(18)-309-320) Автором проаналізовано методи організації протипожежних заходів на суднах і удосконалено сучасні підходи до боротьби з пожежами.

58. Мельник, О.М., Онищенко, О.А., Парменова, Д.Г. (2023). Методика організації самооцінки ефективності системи управління безпекою судноплавної компанії. *Водний транспорт*, 1(37), 154-160. <https://doi.org/10.33298/2226-8553.2023.1.37.17> Автором розроблено методуку організації самооцінки ефективності системи управління безпекою судноплавної компанії.

59. Melnyk, O., Okulov, V., Pulyayev, I., & Koryakin, K. (2021). Crew change problems under global pandemic conditions of COVID-19. *The scientific heritage*, 61(1), 54–57. <https://doi.org/10.24412/9215-0365-2021-61-1-54-57> Автором досліджено проблематику зміни екіпажів суден під час глобальної пандемії та проаналізовано вплив карантинних обмежень на безпеку експлуатації суден.

60. Мельник, О.М., Корякін, К.С., Саф'ян, О.С., Заяц, С.В., & Щенявський, Г.С. (2021). Актуальні питання кібербезпеки морських портів. *Modern scientific researches*, 18(1), 81-87. <https://doi.org/10.30889/2523-4692.2021-18-01-019> Автором розглянуто актуальні аспекти кібербезпеки морських портів, надано огляд сучасних досліджень у цій галузі.

61. Melnyk, O., Onishchenko, O., Vasalatii, N., Varlan, T. (2022). Introduction of modern marine technologies in ship navigation process. *International scientific journal Grail of Science*, 18-19, 181-185. <https://doi.org/10.36074/grail-of-science.26.08.2022.33> Автором розроблено алгоритм впровадження сучасних морських технологій у процес навігації суден.

62. Мельник, О. М., Волошин, А. О., Пуляєв, І. О., Бурлаченко, Д. А., & Щенявський, Г. С. (2022). Огляд міжнародної практики забезпечення кібербезпеки в морській галузі. *Міжнародний науковий журнал "Інтернаука"*, (10). <https://doi.org/10.25313/2520-2057-2022-10> Автором досліджено методи та підходи, які використовуються в системі кіберзахисту судна, представлено аналіз існуючих технологій та практик.

63. Мельник, О.М., Онищенко, О.А., Васалатій, Н.В., Никитюк, П.В., Корякін, К.С., Варлан, Т.Є. (2022). Розвиток цифрових морських інформаційних систем для забезпечення безпеки мореплавства. *Modern Engineering and Innovative Technologies*, 22(1), 135–140. <https://doi.org/10.30890/2567-5273.2022-22-01-022> Автором проведено аналіз інноваційних технологій та тенденцій в галузі, розглянуто можливості вдосконалення існуючих систем.

64. Melnyk, O., Bychkovsky, Yu., Shumylo, O., Onyshchenko, S., Onishchenko, O., Voloshyn, A., Cheredarchuk, N. (2022). Study of the risk assessment quality dependence on the ships accidents analysis. *Scientific Bulletin of Naval Academy*, XXV, 136-146. <https://doi.org/10.21279/1454-864X-22-11-015> Автором запропоновано метод оцінювання якості оцінки ризиків на базі аналізу

аварійності суден.

65. Мельник, О., Волошин, А., Бичковський, Ю., & Щенявський, Г. (2022). Судно в процесі експлуатації як елемент ергатичної транспортної системи. *Collection of Scientific Papers «ЛОГОΣ»*, 119–121. <https://doi.org/10.36074/logos-12.08.2022.35> Автором досліджено принципи та роль взаємодії судна у функціонуванні ергатичної транспортної системи.

66. Melnyk, O., Volianska, Ya., Onishchenko, O., Onyshchenko, S., Bondar, A., Golovan, A., Cheredarchuk, N., Honcharuk, I., Obnyavko, T. (2023). Marine incidents management and information exchange technologies in the process of safe ship operation. *International journal of computer science and network security*, 23 (01), 64-70. <https://doi.org/10.22937/IJCSNS.2023.23.1.9> Автором розроблено алгоритми управління морськими інцидентами та обміну інформацією в процесі безпечної експлуатації суден.

67. Мельник, О., Корякін, К., Пастернак, О., Чеча, О., Никитюк, П. (2023). Огляд нормативного регулювання кібербезпеки у морській галузі. *Collection of scientific papers «SCIENTIA»*, 167-171. <https://doi.org/10.36074/scientia-24.02.2023> Автором проведено аналіз аспектів регулювання та окреслено ключові вимоги та стандарти забезпечення безпеки інформаційного простору в галузі.

68. Мельник, О. М., Бурлаченко, Д. А., Пастернак, О. Я., Чеча, О. П., Никитюк, П. В. (2023). Особливості складання вантажного плану судна та розміщення вантажів на борту. *Міжнародний науковий журнал "Інтернаука"*, 3. <https://doi.org/10.25313/2520-2057-2023-3-8618> Автором запропоновано методіку планування та координацію ключових етапів оптимального розподілу вантажів для забезпечення ефективності та безпеки морських перевезень.

69. Мельник, О.М., Онищенко, С.П., Корякін, К.С. (2020). Ступень морехідності судна. «Наукові дослідження: парадигма інноваційного розвитку», матеріали міжнародної науково-практичної конференції, тези доповідей, 31-34. Автором розглянуто та систематизовано аспекти, пов'язані із ступенем морехідності судна.

70. Мельник, О.М., Пастернак, О.Я., Чеча, О.П. (2021). Визначення параметрів морських суден для ефективного прогнозування руху. "Інноваційні технології в сучасному інженерному просторі", матеріали міжнародної науково-практичної конференції, тези доповідей, 47-49. <https://doi.org/10.36074/20-03-01-047> Автором запропоновано методіку визначення параметрів для прогнозування руху суден.

71. Мельник, О.М., Бичковський, Ю.В. (2021). Дослідження ролі і значення лідерства в забезпеченні безпеки мореплавства. "Innovative science, education, production and transport '2021», 29-30 липня, міжнародний науковий симпозіум, тези доповідей. Автором визначено роль та значення лідерства у забезпеченні цілісності та ефективності морських операцій.

72. Мельник, О.М., Бичковський, Ю.В., Волошин, А.О. (2021). Analysis of the stress components and its impact on seafarers. «Наука - основа розвитку сучасного світу», міжнародна інтернет-конференція, м. Запоріжжя, 30 липня 2021 р., збірник наукових матеріалів, 5-8. Автором проведено аналіз факторів стресу та їх наслідки для морських працівників.

73. Мельник, О.М., Бичковський, Ю.В. (2021). Stress factors' impact on navigational safety. «Прогресивні технології засобів транспорту», перша міжнародна науково-технічна конференція, м. Миргород, 23-24 вересня 2021 р., збірник матеріалів конференції, 43-44. *Автором представлено аналіз впливу факторів стресу людини на навігаційну безпеку судна.*

74. Мельник, О.М., Онищенко, С.П., Волошин, А.О., Корякін, К.С., Бурлаченко, Д.А. (2021). Аналіз показників аварійності світового флоту та шляхи їх зниження. У Традиційні та інноваційні підходи до наукових досліджень: матеріали II міжнародної наукової конференції, м. Одеса, 10 вересня 2021 р., 115-117. <https://doi.org/10.36074/mcnd-10.09.2021> *Автором досліджено показники аварійності світового флоту та запропоновано шляхи їх зниження.*

75. Мельник, О.М., Онищенко, С.П., Волошин, А.О., Кауров, М.Ю. (2021). Аналіз основних інструментів управління енергоефективністю судна. The process and dynamics of the scientific path: collection of scientific papers «SCIENTIA» with Proceedings of the II International Scientific and Theoretical Conference (September 17, 2021. Athens), 1, 105-107. <https://doi.org/10.36074/scientia-17.09.2021> *Автором представлено аналіз ефективності основних інструментів управління енергоефективністю судна.*

76. Мельник, О.М., Окулов, В.І., Пуляєв, І.О., Заяц, С.В., Щенявський, Г.С. (2021). Заходи щодо зниження ризиків проникнення на судно під час перебування в порту. Наукові тренди постіндустріального суспільства, матеріали II Міжнар. наук. конф., м. Запоріжжя, 3 грудня, 2021 р. (Т.2), 103-105. *Автором розроблено заходи щодо зниження ризиків проникнення на судно під час перебування в порту.*

77. Мельник, О.М., Корякін, К.С., Окулов, В. І., Пуляєв, І.О., Щенявський, Г.С. (2021). Морський тероризм як загроза судноплавству. Морська безпека Балто-Чорноморського регіону: виклики та загрози, матеріали міжнародної наукової конференції, 1, 259-261. *Автором досліджено причини виникнення та представлено методика протидії морському тероризму.*

78. Мельник, О.М. (2021). Сучасні технічні системи забезпечення безпеки морських портів. Морська безпека Балто-Чорноморського регіону: виклики та загрози: матеріали міжнар. наук. конф., м.Одеса, 23 грудня, 2021 р. (Т.1) С.400-402.

79. Мельник, О.М., Окулов, В.І., Пуляєв, І.О., Заяц, С.В. (2021). Забезпечення контролю безпеки судна. Trends in the development of science and practice. Abstracts of XV International Scientific and Practical Conference, 391-392. *Автором проведено аналіз проблеми, систематизацію існуючих та розробку нових заходів забезпечення контролю безпеки судна.*

80. Мельник, О.М., Бурлаченко, Д.А., Окулов, В.І., Пуляєв, І.О., Заяц, С.В. (2021). Інноваційні підходи до забезпечення безпеки морського перевезення генеральних вантажів. Теорія і практика сучасної науки та освіти, матеріали IV Міжнародної науково-практичної конференції, (м. Львів, 30-31 грудня 2021 р.) 4, 55-57. *Автором проведено аналіз проблем безпеки морського перевезення генеральних вантажів, систематизовано інноваційні підходи та розроблено заходи для забезпечення безпеки.*

81. Мельник, О.М., Корякін, К.С., Окулов В.І., Бурлаченко, Д.А., Пуляєв, І.О., Заяц, С.В. (2021). Мінімізація ризиків відмови або порушення працездатності судна за критерієм безпеки. Зимові наукові читання - 2021: матеріали LXXVII Міжнародної інтернет-конференції, (м. Чернівці, 30 грудня 2021 р.) 120-123. *Автором проведено комплексний аналіз можливих ризиків відмови або порушення працездатності судна та визначено критерії безпеки для мінімізації ризиків.*

82. Melnyk, O., Onyshchenko, S. (2022). Ship Cybersecurity Assurance Measures. In: Innovations Technologies in Science and Practice. Proceedings of the VI International Scientific and Practical Conference, (Haifa, Israel) 489-452. *Автором запропоновано заходи забезпечення кібербезпеки суден.*

83. Мельник, О.М., Волошин, А.О., Щенявський, Г.С (2022). Підвищення ефективності заходів спрямованих на охорону і безпеку морських суден. Здобутки та досягнення прикладних та фундаментальних наук XXI століття, матеріали III Міжнародної наукової конференції, (м. Черкаси, 29 липня, 2022 р.) 167-169. *Автором запропоновано перелік заходів, спрямованих на підвищення ефективності охорони та безпеки морських суден.*

84. Мельник, О.М., Волошин, А.О., Корякін, К.С., Щенявський, Г.С. (2022). Проблеми забруднення атмосферного повітря морським транспортом. The current state of development of world science: characteristics and features, collection of scientific papers «SCIENTIA» with Proceedings of the III International Scientific and Theoretical Conference, (August 5, 2022. Lisbon) 89-91. <https://doi.org/10.36074/scientia-05.08.2022> *Автором систематизовано характеристики та особливості проблем екології морського транспорту та запропоновано шляхи їх вирішення.*

85. Бичковський, Ю.В., Мельник, О.М., Чередарчук, Н.І., Ломановський, В.В. (2022). Впровадження вимог щодо управління безпекою на суднах. Formation of innovative potential of world science: collection of scientific papers «SCIENTIA» with Proceedings of the III International Scientific and Theoretical Conference, (Tel Aviv, August 19, 2022) 141-143. <https://doi.org/10.36074/scientia-19.08.2022> *Автором запропоновано формування та впровадження вимог, які покликані підвищити рівень безпеки на морських суднах.*

86. Мельник, О.М., Бичковський, Ю.В., Ломановський, В.В. (2022). Якість виконання оцінки ризику на суднах щодо аналізу аварійності суден з 2012 року по 2022 рік. «Modern innovations and promising ways of development of culture and science», proceedings of the XXXI International Scientific and Practical Conference (August 09 – 12, 2022, Boston, USA) 121-127. <https://doi.org/10.46299/ISG.2022.1.31> *Автором виявлено фактори впливу на якість оцінки ризику, а також запропонувати способи покращення цього процесу.*

87. Melnyk, O., Onishchenko, O., Vasalatii, N., Varlan, T. (2022). Introduction of modern marine technologies in ship navigation process. An integrated approach to science modernization: methods, models and multidisciplinary, proceedings of the IV Correspondence International Scientific and Practical Conference (August, 26, 2022). <https://doi.org/10.36074/grail-of-science.26.08.2022> *Автором виконано аналіз сучасних технологій, що використовуються у навігації, оцінку їхнього впливу на безпеку та ефективність судноплавства.*

88. Мельник, О., Пастернак, О., Чеча, О., Никитюк, П., Варлан, Т. (2023). Інформаційна безпека судна та її надійність. Sectoral research XXI: characteristics and features, V International Multidisciplinary Scientific and Theoretical Conference (February 3, Chicago, USA) 133-135. <https://doi.org/10.36074/scientia-03.02.2023> *Автором проаналізовано методи та заходи забезпечення інформаційної безпеки на судах, вивчення проблем та викликів, пов'язаних із забезпеченням надійності судноплавства.*
89. Мельник, О., Пастернак, О., Чеча, О., Никитюк, П., Варлан, Т. (2023). Проблеми забруднення навколишнього середовища та шляхи їх вирішення. Традиційні та інноваційні підходи до наукових досліджень, матеріали IV міжнародної спеціалізованої наукової конференції, (10 лютого 2023 р., Житомир) 149-150. <https://doi.org/10.36074/mcnd-10.02.2023> *Автором розроблено низку пропозицій щодо зменшення негативного впливу від експлуатації суден.*
90. Мельник, О., Корякін, К., Пастернак, О., Чеча, О., Никитюк, П. (2023). Огляд нормативного регулювання кібербезпеки у морській галузі. Modernization of today's science: experience and trends, proceedings of the III International Scientific and Theoretical Conference, (February 24, 2023. Singapore) 167-171. <https://doi.org/10.36074/scientia-24.02.2023> *Автором проведено огляд нормативного регулювання кібербезпеки в морській галузі та надано пропозиції щодо вдосконалення цих нормативів.*

АНОТАЦІЯ

Мельник О.М. Методологія управління безпекою роботи суден в системі морських перевезень. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.22.01 «Транспортні системи» (275 – Транспортні технології). – Одеський національний морський університет Міністерства освіти і науки України, Одеса, 2024.

Дисертація присвячена розробці нової методології управління безпекою-орієнтованою роботою суден в системі морських перевезень. Метою роботи є управління безпекою роботи морських суден на базі концепції, методів, моделей та засобів, що формують нову методологію безпекою-орієнтованої роботи суден в системі морських перевезень. Об'єктом дослідження є процеси безпекою-орієнтованої роботи суден у системі морських перевезень. Предметом дослідження є теорія, методи та засоби управління безпекою-орієнтованою роботою суден в системі морських перевезень. При дослідженні використано: загальнотеоретичні методи та прийоми абстрагування, аналізу і синтезу, індукції та дедукції, порівняння та формалізації, методи та положення теорії ймовірності, математичне моделювання, теорія випадкових процесів, теорія марківських процесів. Експериментальні висновки та теоретичні результати були зіставлені, що вказує на достовірність результатів, отриманих за допомогою розроблених математичних моделей та аналітичних виразів.

Розроблено концепцію безпеко-орієнтованої роботи суден, яка передбачає інтегральний розгляд об'єктів безпеки, систему факторів впливу, сукупність методів та засобів забезпечення безпеки у відповідності до декомпозиції безпеки за видами (компонентами), що враховує специфіку операцій виробничого процесу роботи судна та відповідає новій парадигмі безпеки у судноплаванні, а саме, переходу від максимізації ефективності при дотриманні вимог до безпеки, до проактивних дій, спрямованих на інтегроване оцінювання та забезпечення безпеки роботи суден при виконанні сукупності операцій в рамках виробничого процесу.

Розроблено метод оцінки безпеки роботи судна на базі ланцюга причинно-наслідкових зв'язків у відповідній системі, яка передбачає поетапну оцінку ймовірності безпеки роботи суден з урахуванням факторів впливу, їх вагомості та розподілу, операцій за етапами виробничого процесу та їх вагомості для кожного виду (компоненти) безпеки роботи судна, що надає можливість оцінювати безпеку роботи судна протягом рейсу з урахуванням специфіки операцій та прогнозуванням умов їх виконання.

Розроблено модель динаміки безпеки роботи судна на базі інтегрального розгляду марківських процесів зміни компонент безпеки судна, де результатом є визначення ймовірності станів безпеки роботи судна протягом рейсу, що надає можливість формування комплексу відповідних протидій прогнозованим ситуаціям порушення безпеки.

Розроблено метод оцінки безпеки судна на базі ланцюгу ймовірнісних оцінок, який дозволяє системно охопити об'єкти та наслідки порушення кібербезпеки судна, створюючи методологічну та методичну основу для комплексної оцінки технічної безпеки судна та визначення методів забезпечення кібербезпеки критичного обладнання суднових систем

Розроблено модель зміни навігаційних станів судна на базі марківського процесу, яка враховує складові навігаційного комплексу та динаміку їх станів, що є інструментом для аналізу та прогнозування станів навігаційної безпеки судна протягом рейсу. Крім того, розроблено метод визначення оптимального маневру розходження з судном-ціллю з метою мінімізації ризику зіткнення, особливо в умовах замкнутої акваторії, який враховує обмеження, пов'язані з маршрутами руху, маневреністю судна, а також динамікою оточуючого середовища. Такий підхід сприяє оптимальному та безпечному руху судна в умовах обмеженого простору.

Ключові слова: безпека морських перевезень, робота судна, судноплавання, екологічна безпека, людський фактор, технологічні інновації, методи оцінки безпеки, ризику аварій, моделювання станів, кібербезпека суден, технології перевезень, навігаційна безпека, управління безпекою, транспортні системи.

ABSTRACT

Melnyk O.M. Methodology of ship safety management in the maritime transportation system. – Manuscript.

Dissertation for obtaining the scientific degree of the doctor of technical sciences in the specialty 05.22.01 "Transport Systems" (275 - Transport Technologies) - Odesa National Maritime University of the Ministry of Education and Science of Ukraine, Odesa, 2024.

The dissertation is devoted to the development of a new methodology for the management of ship safety-oriented operation in the maritime transportation system. The purpose of the work is to manage the safety of ships based on the concept, methods, models and tools that form a new methodology for safety-oriented operation of ships in the maritime transportation system. The object of research is the processes of safety-oriented operation of ships in the maritime transportation system. The subject of the study is the theory, methods and means of managing the safety-oriented operation of ships in the maritime transportation system. The research was based on general theoretical methods and techniques of abstraction, analysis and synthesis, induction and deduction, comparison and formalization, methods and provisions of probability theory, mathematical modeling, theory of random processes, theory of Markov processes. Experimental findings and theoretical results were compared, which indicates the reliability of the results obtained using the developed mathematical models and analytical expressions.

The concept of safety-oriented ship operation is developed, which provides for an integrated consideration of safety objects, a system of influence factors, a set of methods and means of ensuring safety in accordance with the decomposition of safety by type (component), which takes into account the specifics of the ship's production process operations and corresponds to the new paradigm of safety in shipping, namely, the transition from maximizing efficiency while complying with safety requirements to proactive actions aimed at integrated assessment and ensuring the safety of ship operation.

A method for assessing ship safety based on a chain of causal relationships in the relevant system has been developed, which provides for a step-by-step assessment of the probability of ship safety, taking into account the factors of influence, their weight and distribution, operations by stages of the production process and their weight for each type (component) of ship safety, which makes it possible to assess the safety of the ship during the voyage, taking into account the specifics of operations and forecasting the conditions of their implementation.

A model of ship safety dynamics based on an integral consideration of Markov processes of change in ship safety components is developed, where the result is the determination of the probability of ship safety states during the voyage, which makes it possible to form a set of appropriate countermeasures to predicted safety violations.

A method for assessing ship security based on a chain of probabilistic estimates has been developed, which allows to systematically cover the objects and consequences of a ship cybersecurity breach, creating a methodological and methodological basis for a comprehensive assessment of ship technical security and determining methods for ensuring cybersecurity of critical equipment of ship systems.

A model of changes in navigational states of a ship based on the Markov process, which takes into account the components of the navigation complex and the dynamics of their states, has been developed, which is a tool for analyzing and predicting the states

of navigational safety of a ship during a voyage. In addition, a method has been developed to determine the optimal maneuver to divergence from the target vessel in order to minimize the risk of collision, especially in confined waters, which takes into account the limitations associated with the routes of movement, maneuverability of the vessel, and the dynamics of the environment. This approach contributes to the optimal and safe movement of the vessel in confined spaces.

Keywords: maritime transportation safety, shipping technologies, environmental safety, human factor, technological innovations, safety assessment methods, accident risks, safety state modeling, ship cybersecurity, efficiency, navigation safety, safety management, transport systems.