

Горбань А.В., Carjova K.

ІНТЕГРАЛЬНЕ ОЦІНЮВАННЯ РИЗИКІВ ВИНИКНЕННЯ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ У МОРСЬКИХ ПЕРЕВЕЗЕННЯХ

Забезпечення безпеки на водному транспорті є одним із пріоритетних завдань транспортних стратегій підприємств. Оскільки виникнення надзвичайних ситуацій (НС) у процесі переміщення вантажів/пасажирів у часі та просторі відбувається внаслідок негативного впливу різної природи факторів, актуальним є завдання запобігання або зниження їх негативного впливу. Слід зазначити, що до процесу мультимодальних перевезень залучені, як правило, кілька видів транспорту, технологічних ліній, засобів малої механізації, спеціалістів різних напрямків. Для виконання перевезень необхідно реалізувати значну кількість різнопланової діяльності, серед яких важливе значення має проектування транспортно-логістичних систем (ТЛС) вантажів. Важливим розділом проектів ТЛС є опрацювання питань забезпечення безпеки, що і визначає актуальність виконання магістерської роботи. у ході дослідження виконані такі завдання: визначено та систематизовано структуру факторів ризику надзвичайних ситуацій у морських та мультимодальних вантажоперевезеннях; розроблено методичні підходи до оцінювання ризику та прогнозування виникнення надзвичайних ситуацій у процесі морських та мультимодальних вантажоперевезень; розроблено метод інтегральної оцінки ризиків надзвичайної ситуації, критерії оцінки, ефективності та безпеки транспортно-логістичних схем морських та мультимодальних вантажоперевезень

Ключові слова: морські перевезення, навігація, надзвичайні ситуації

Мета дослідження полягає у підвищенні рівня безпеки при організації морських перевезень за рахунок методу інтегральної оцінки ризиків та способів управління ними при надзвичайних ситуаціях.

Аналіз останніх досліджень і публікацій, у яких започатковано розв'язання даної проблеми, і на які спираються автори. Проблеми безпеки вантажоперевезень на транспорті розглядалися у роботах багатьох вітчизняних та зарубіжних науковців. Так, Желібо Є.П. [1] розглянув деякі методичні підходи до управління ризиками та можливість їх застосування для вирішення практичних завдань у галузі мореплавання.

Лук'янова В.В. розглядає проблеми виникнення природних і техногенних надзвичайних ситуацій, акцентуючи особливу увагу на їх запобігання та ліквідацію наслідків в умовах мирного та воєнного часу. Питання державного регулювання у сфері захисту населення та територій від НС розглядаються у відповідних нормативних документах. Аналіз проблем безпеки морських вантажоперевезень показує, що рівень аварійності морського флоту залишається високим.

На даний час проблема управління ризиками та їх оцінка у різних галузях, зокрема, в мореплаванні є актуальною, їй присвячені роботи багатьох вітчизняних та зарубіжних авторів. Теоретичні та практичні аспекти управління ризиками досліджували багато вчених. Проте саме аналіз стану управління ризиками на транспортних підприємствах недостатньо висвітлений у літературі.

Діяльність транспортних підприємств тісно пов'язана з екологічними ризиками. Тому праця О.О. Бакуліч, І.Р. Кіс, В.О. Занори [3] про тенденції управління екологічними ризиками транспортних проектів є досить актуальною, але містить обмежене коло

аналітичної інформації.

Теоретичні аспекти ризиків у транспортних процесах висвітлює І.О. Ткаченко [4]. Управління ризиками та змінами у процесах прийняття управлінських рішень розглядають О.Б. Данченко та В.О. Занора [5], проте саме ризики на транспорті не розкриті. Ризики на транспортних підприємствах через призму оцінки їх інтегральної стійкості досліджено у праці С.М. Семенової, І.С. Ковової, С.М. Шуляренко, О.М. Шпирко, Т.О. Букорос [6], де серед основних показників зазначено обсяги перевезень, кількість підприємств, чисельність працівників, рентабельність діяльності.

У своїй праці І.В. Федулова та Г.Т. П'ятницька [7] основну увагу приділяють методиці та інструментам управління ризиками щодо фінансової безпеки підприємства, виділяючи причини (ідентифікація ризиків) та наслідки (ідентифікація кризи).

Серед наслідків ризику: втрати, збитки, порушення ліквідності, платоспроможності, погіршення рентабельності та стійкості визначаються як ідентифікатори кризи, які в подальшому можуть посилювати ризик продовження негативних тенденцій на підприємстві. Висвітлюючи питання інформаційного забезпечення аналізу ризиків, О.А. Зоріна [8] наголошує на складності ідентифікації та класифікації ризиків через їх різноманітність і неоднозначність трактування, неоднорідність й динамічність інформації про бізнес-процеси, залежність від внутрішніх і зовнішніх факторів. Поділяємо ці погляди науковця і пропонуємо оцінювати стан управління ризиками транспортних підприємств на основі результативних внутрішніх і зовнішніх показників.

Виклад основного матеріалу. Транспорт впливає на розвиток виробничої та будівельної галузей, торгівлі, сільського господарства та науки, а також цілого ряду інших галузей, сталий розвиток яких залежить від нього.

Сьогодні як ніколи є актуальними проблеми безпеки. Саме тому на державному рівні розробляються законодавчі акти, що визначають правові основи безпеки діяльності людини і вантажних перевезень на всіх видах транспорту. У дослідженнях, присвячених надійності та безпеці вантажоперевезень наголошується, що безпека є специфічною властивістю технологічних процесів, яку не слід змішувати із властивістю надійності [9; 10].

Останнім часом в Україні і за кордоном викликає тривогу збільшення кількості техногенних аварій та стихійних лих. Розвиток транспорту в останні роки здійснювався відповідно до окремих цільових державних та галузевих програм. Проте ці програми, розроблені без належної ув'язки одна з одною, не підкріплювалися відповідною бюджетною підтримкою.

Що стосується морського транспорту, то з недавнього часу у діяльності ряду класифікаційних товариств та великих судноплавних компаній застосовується методичний підхід до зменшення кількості аварій на морі – формалізована оцінка безпеки (ФОБ) або (Formal Safety Assessment, FSA). Міжнародна морська організація (ІМО) визначає його так: «Структурована і систематична методологія, що має на меті підвищити безпеку на морі, включаючи захист життя, здоров'я, середовища та майна шляхом оцінювання ризиків та співвідношення витрат та вигід» [33].

Питанням управління ризиками на транспортних підприємствах присвячено небагато праць, зокрема аналітична складова оцінювання стану управління ризиками висвітлена недостатньо. Більшість публікацій та досліджень зосереджують увагу на розкритті теоретичних та методологічних аспектів, механізмів, інструментів управління, проте питання оцінки, аналізу стану управління ризиками на транспортних підприємствах практично не розкриті. Це пов'язано зі складністю проведення такого оцінювання, вибором показників та індикаторів, які спирались би на доступну інформацію та дозволяли сформулювати висновок про ефективність управління ризиками на транспортних підприємствах. Крім того, ризики є не повністю детермінантною категорією, їх не завжди

можна кількісно оцінити, вони тісно пов'язані з низкою інших аспектів діяльності компаній.

Ризик, будучи невід'ємною частиною економічного, політичного, соціального життя суспільства, неминуче супроводжує всі сфери діяльності та напрямки будь-якої організації, у тому числі, що займається перевезеннями на морському транспорті. Тому головним та неодмінним критерієм нормальної дієздатності сучасного підприємства морського транспорту є вміння вищого керівництва, спираючись на суворо наукову основу, прогнозувати, проводити профілактику, раціонально контролювати та ефективно керувати ризиками.

Аналіз тенденцій і перспектив розвитку міжнародних морських перевезень показує, що зі збільшенням обсягів вантажоперевезень підвищується рівень аварійності. Разом з тим, при розробці ТЛС доставки вантажів недостатня увага приділяється оцінці факторів ризику та зниженню ступеня їх впливу на процес перевезення. Значною мірою це пояснюється недостатньо розробкою питань кількісної оцінки ризиків. У більшості методиках оцінки рівня ризику, що використовуються на практиці, акцент робиться на характеристиці ймовірності настання несприятливої події, а не на величині можливих втрат.

Розглянемо існуючі методичні підходи до оцінки ризиків під час морських перевезень, які використовуються в даний час на будь-якому підприємстві з метою управління безпекою мореплавання.

1. Методика формальної оцінки безпеки (FSA).

Шкала ризику має три сфери. Одну їх утворює зневажливий ризик, іншу – ризик настільки великий, що він вважається надмірним чи неприйнятним. Між ними розташовується область прийняттого ризику, розмір якого не настільки малий, щоб з ним не зважати, але в той же час і не настільки великий, щоб вважати його надмірним. Прийнятним є рівень ризику техногенної діяльності, який суспільство готове прийняти задля одержуваних економічних та соціальних вигод.

Відповідно до прийнятих у світовій практиці підходів неприпустимим вважається індивідуальний ризик, що перевищує $1 \cdot 10^{-4}$ 1/рік (протягом року від аварій гине 1 особа з 10 000). Якщо рівень ризику лежить у діапазоні $1 \cdot 10^{-4} \dots 1 \cdot 10^{-6}$ 1/рік, необхідно вжити спеціальних заходів для управління ним. Значення ризику $1 \cdot 10^{-6}$ 1/рік в економічно розвинених країнах зазвичай приймається як допустимий рівень ризику. У цьому випадку вважається, що заходи безпеки, вжиті в цій сфері діяльності, знаходяться на такому високому рівні, що їм не потрібно спеціального втручання для подальшого їх вдосконалення.

2. Застосування теорії нечітких множин з метою оцінки ризику виникнення аварій на морських судах.

При оцінці безпеки на основі концепції прийняттого ризику виникає необхідність визначення частоти реалізації аварій, можливих при експлуатації судових технічних засобів. Для цього зазвичай використовуються «дерева відмов», при побудові яких необхідно мати дані про частоту відмов елементів, що входять до складу механічних установок та систем. За наявності достатньої кількості статистичних даних частота відмов може бути знайдена з використанням виразу:

$$\lambda_A = N/n * T, \quad (1)$$

де N – кількість аварійних відмов; n – кількість обладнання одного типу в однакових умовах експлуатації; T – період розгляду.

Однак залежність (2.2), що широко використовується в теорії надійності, застосовна лише в тому випадку, якщо події, що розглядаються, однорідні і мають масовий характер. Але, вивчаючи статистичні дані про роботу судового обладнання, що експлуатується в різних умовах і режимах навантаження, недоречно говорити про статистичну однорідність

подій, і, отже, допустимість застосування цієї формули може бути поставлена під сумнів. При оцінці ризику внаслідок відсутності необхідної кількості статистичних даних та їх низької достовірності, відчувається дефіцит інформації про безпомилковість дій членів суднового екіпажу, силу та частоту несприятливих впливів на судно з боку навколишнього середовища.

Необхідність урахування наближеної інформації викликана нестаціонарністю та неергодичністю процесів у людино-машинних системах. Вихід із цих проблем можна знайти за допомогою теорії нечітких множин. Найперспективніший шлях полягає у заміні точкових оцінок частот чи ймовірностей конкретних передумов їх інтервальними оцінками, вираженими у вигляді нечітких величин і чисел.

3. Ранжування як базовий елемент оцінки ризиків

Існує чотири основні способи ранжування ризиків (рис. 1):

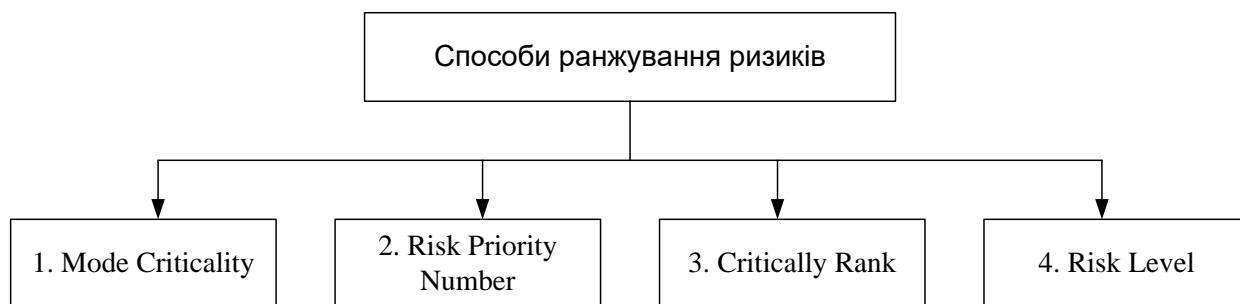


Рисунок 1 – Способи ранжування ризиків

Критичність виду відмови (Mode Criticality) – кількісний показник ризику, що використовується в аналізі критичності для кожного виду відмов. Відмова є подією, що передреє ряду небажаних подій з різним ступенем тяжкості результату.

Умовна величина ризику (RPN – Risk Priority Number) – чисельний параметр, що характеризує ризик, і вимірюється в інтервалі 1 – 1 000. Вона є добутком трьох величин, значення яких визначає експерт в інтервалі 1 – 10: серйозність наслідків відмови S, можливості виникнення відмови Q та можливості його виявлення D.

Ранг критичності (Critically Rank) – показник, що описує величину ризику, яка є систематизацією критичності різних видів відмов, здійснювану з допомогою відомого принципу ранжування по Парето, коли виконується послідовне зменшення обсягу аналізованої вибірки. Вид відмови описується експертом одночасно з погляду серйозності його наслідків і ймовірності появи. Ранг критичності визначається всім видам відмов у вигляді встановлення виду відмови, має найменшу величину ризику з усіх досліджуваних, тобто здійснюється пошук того виду відмови, в якого, наприклад, величина ризику є найменшою (якщо за шкалу прийнята величина ризику).

При цьому здійснюється послідовне зменшення на один вид відмови, що розглядається, зі складу групи досліджуваних. Відмові, яка має найменшу критичність, присвоюється ранг критичності 1, далі розглядаються відмови, що залишилися, і відмові з найменшою критичністю присвоюється ранг критичності 2 й т. д. Таким чином, кількість рангів критичності в цьому випадку збігається з кількістю видів відмов, а процедура полягає в упорядкуванні видів відмов за рангом критичності. При встановленні шкали, за допомогою якої виду відмови надається той чи інший ранг критичності, найбільшого поширення набуло визначення ризику як добутку ймовірності настання несприятливої події f Q на його наслідки C;

Величина (рівень) ризику (Risk Level) – величина, що дозволяє одночасно ранжувати всі види відмов, фактично є розбиття величин ризиків на встановлену кількість категорій,

на відміну від способу, наведеного раніше, коли кількість категорій дорівнювало кількості видів відмов.

4. Матриця ризиків

Широке поширення набув спосіб встановлення категорії ризику за допомогою матриці ризику. Застосування матриці ризиків дозволяє ранжувати ризики, які важко виражати у вартісному еквіваленті, так само як ризики, пов'язані із забрудненням навколишнього середовища. Кількість областей у матриці ризиків пов'язана з наявним набором можливих управлінських рішень. Природно, що мінімальна кількість альтернативних рішень дорівнює двом, тому матриця ризику принаймні повинна включати мінімум дві області.

Американське бюро судноплавства передбачило лише три області у матриці ризиків: 1 – область високих ризиків; 2 – область середніх ризиків та 3 – область низьких ризиків. Ймовірність настання несприятливого наслідку може ранжуватися як: 1 – часте (частіше 1 на рік); 2 – можливе (від 0,1 до 1 разу на рік); 3 – рідкісне (від 0,01 до 0,1 випадку на рік); 4 – малоймовірне (від 0,001 до 0,01 випадків на рік); 5 – неймовірне (рідше 0,001 випадку на рік). Щодо величин наслідків та їх ранжування бюро вважає, що кожна судноплавна компанія має це виконати, виходячи з наявного досвіду експлуатації судна. Приклад матриці ризиків, використовуваної на підприємствах морського транспорту, наведено на рис. 2.

Частота	Часті				Високий ризик
	Дуже ймовірні	Низький ризик			
	Малоймовірні				
	Вкрай малоймовірні				
		Мінімальні	Значні	Тяжкі	Катастрофічні
	Наслідки				

Рисунок 2 – Матриця ризиків

5. Оцінка ризику з позиції страхування

Страхові компанії часто займаються оцінкою ризиків морських перевезень, використовуючи у роботі таку методику [14]. Позначимо можливість аварії буквою p , суму страхового внеску b , а страхову премію, яку страхова компанія зобов'язується виплатити у разі аварії, C .

Очікуваний виграш страхової компанії складається із двох частин:

1. Якщо трапиться аварія, страхова компанія повинна виплатити премію та задовольнятися лише отриманням страхового внеску, її виграш буде від'ємний та дорівнює $p(-C + b)$.

2. Якщо аварії не трапиться, страхова компанія отримує чистий виграш за рахунок страхового внеску; він буде позитивний і дорівнює $(1 - p)b$.

Очевидно, що страхова компанія буде йти на ризик укладання договору лише в тому випадку, якщо загальна сума її виграшу виявиться позитивною:

$V_{с.с.} = p(-C + b) + (1 - p)b > 0 \rightarrow b > pC$ – умова укладання договору страховою компанією.

Якщо говорити про інтереси власника судна, то для нього головне питання – в яких випадках варто ризикувати своїм внеском, а в яких – ні. Очікуваний виграш власника судна також складається з 2 частин:

– якщо трапляється аварія, власник отримає страхову премію за вирахуванням страхового внеску, його виграш позитивний: $p(C - b)$;

– якщо аварії не станеться, власник втратить страховий внесок, його виграш буде від'ємний та дорівнює $(1 - p)(-b)$.

Загальна сума виграшу власника судна складе:

$$V_{с.с.} = p(C - b) + (1 - p)(-b) = pC - b.$$

Оскільки страхова компанія укладатиме договір лише при $b > pC$, що відповідає $pC - b < 0$, то загальна очікувана сума виграшу власника судна буде негативною.

6. Оцінка ризику при колективному прийнятті управлінських рішень.

Історія прийняття рішень, пов'язаних з оцінкою ризику, у групі полягає у переході від індивідуальних рішень, що приймаються кожним її членом, до колективних, що виражають думку групи в цілому. Можна виділити кілька типів такого переходу [14].

6.1. Стратегія простої більшості.

Переваги стратегії – простота та очевидність. Недоліки – думка меншості зовсім не впливає на вибір, відсутність узгодженості переваг цієї альтернативи в окремих осіб.

6.2. Стратегія підсумовування рангів. Розглянемо приклад. Нехай рішення, пов'язане з ризиком, виробляється малою групою з трьох осіб. Можливі чотири альтернативні рішення: a_1, a_2, a_3, a_4 . Насамперед, проводиться ранжування – вибудовування як перевагу альтернатив кожною особою групи. Ранги з кожної альтернативи складаються. Групове рішення відповідає тій альтернативі, яка має суму рангів виявляється найменшою.

6.3. Стратегія мінімізації відхилень. Ідея стратегії – зробити відхилення між перевагою групи та індивідуальними рішеннями, якнайменшими.

Скажімо, мала група із трьох осіб оцінює три альтернативи a_1, a_2, a_3 , за допомогою трибальної системи оцінок. Щоб мінімізувати наявні відхилення рішень членів групи від групового рішення, будується матриця розбіжності результатів розв'язання. При цьому спочатку робляться припущення про вибір групою тієї чи іншої альтернативи, а потім оцінюються розбіжності між цим груповим та індивідуальними рішеннями.

6.4. Стратегія оптимального передбачення. Отримане групове рішення дозволяє передбачати індивідуальні переваги. Для цього необхідно, щоб перевага між будь-якими парами альтернатив, зроблена на основі групового рішення, відповідала дійсній перевазі. Допустимо, при розробці особливих правил плавання у певному районі приймається групове рішення, коли судноводії підуть на певний ризик, а коли – не підуть. Стратегія зробленого групового вибору визнається найкращою, якщо судноводії у своїх дійсних рішеннях дотримуються передбаченого вибору якнайчастіше.

7. Теоретико-ігрові методи в оцінці ризиків.

Теорія статистичних рішень служить для вироблення рекомендацій щодо раціональних дій в умовах невизначеності та пов'язаного з ними ризиками, викликаними незалежними причинами: непоінформованістю про умови майбутніх дій, а також випадковим характером цих умов. На відміну від теорії ігор, замість противника тут ми маємо справу з об'єктивними обставинами – «природою». У цьому розуміється, що природа свідомо протидіє. В іграх з «природою» припущення, що противник побудує свою тактику, зробити не можна, саме це посилює невизначеність обстановки, посилює ризик і тим самим ускладнює прийняття рішення.

Теоретично для статистичних рішень вводиться спеціальний показник, який називається «ризик». «Ризик» показує, наскільки вигідною є застосована стратегія в даній обстановці з урахуванням її невизначеності. «Ризик» дорівнює різниці між очікуваним результатом дій за наявності точних даних обстановки та результатом, який може бути досягнутий, якщо ці дані достеменно невідомі.

Вибір найкращого рішення в умовах невизначеності даних про обстановку

здійснюється за трьома можливими варіантами [14]:

7.1. Вибір найкращого рішення, коли ймовірність можливих умов обстановки відома.

У цьому випадку має обиратися спосіб дій, при якому середнє очікуване значення результату, тобто сума добутків ймовірностей на відповідні результати розв'язання завдання є максимальною.

7.2. Вибір найкращого рішення, коли ймовірності можливих умов обстановки не відомі, але є міркування їх відносних значень.

Якщо вважати, що будь-яка з умов обстановки не більш ймовірна, ніж інші, то ймовірності різних умов обстановки можна прийняти рівними й робити вибір способу вказаним вище способом (це – принцип недостатньої основи Лапласа).

7.3. Вибір найкращого рішення, коли ймовірності можливих умов обстановки невідомі, але є принципові підходи до оцінки результату дій.

7.3.1. Критерій Вальда. Необхідна гарантія, що результат у будь-яких умовах виявиться не меншим, ніж найбільший можливий у найгірших умовах. Тактика – «розраховуй на найгірше». Оптимальний спосіб дій – той, при якому результат виявиться максимальним з мінімальних за різних типів.

7.3.2. Критерій Севіджа. Оптимальний спосіб дій – той, для якого ризик, максимальний за різних типів дії зовнішнього середовища, виявиться мінімальним.

7.3.3. Критерій Гурвіца. Компроміс між тактикою «розраховуй на найгірше» та тактикою «розраховуй на краще». Оптимальний метод дій – той, для якого критерій песимізму-оптимізму виявиться максимальним. На даний час існує множина підходів до оцінки ризиків, проте жоден з них не дає цілісної картини впливу ризику на транспортування.

Більшість підприємств морського транспорту використовують якісні методи оцінки ризику без урахування їх кількісної складової, а також неформальні та інтуїтивні методи без застосування математичного апарату, що зрештою призводить до низької ефективності управління ризиками.

Таким чином, з одного боку, підвищення безпеки морських перевезень є актуальним соціально-економічним завданням, але з іншого, питання оцінки факторів ризику, розрахунки інтегральних оцінок рівня ризику як основних критеріїв для прийняття рішень розроблено недостатньо. У зв'язку з цим виникає необхідність розробки комплексного, всебічного підходу до ризик-менеджменту, який координуватиметься в рамках усього підприємства, забезпечуючи його успішне функціонування, фінансову стійкість, високу конкурентоспроможність та стабільну прибутковість. Для досягнення цієї мети повинні бути розроблені методики, які б дозволили керівництву підприємств морського транспорту управляти ризиками, використовуючи певні засоби та методи, що дозволяють максимально прогнозувати настання ризикової події та проводити відповідні заходи щодо зниження ступеня ризику. Оцінка небезпеки виникнення аварій на транспорті має включати дві взаємопов'язані групи показників небезпеки. Перша група характеризує наслідки аварій (матеріальні та соціальні збитки), друга – ймовірнісні показники її реалізованості (ймовірність аварії внаслідок дії деякого/деяких факторів ризику) [11].

Відповідно до прийнятих у світовій практиці підходів неприпустимим вважається індивідуальний ризик, що перевищує $1 \cdot 10^{-4}$ 1/рік (протягом року від аварій гине 1 людина із 10 000). Якщо рівень ризику лежить у діапазоні $1 \cdot 10^{-4} \dots 1 \cdot 10^{-6}$ 1/рік, необхідно вжити спеціальних заходів з управління ним. Значення ризику $1 \cdot 10^{-6}$ 1/рік в економічно розвинутих країнах зазвичай приймається як допустимий рівень ризику. Оцінюючи прийнятність ризику, необхідно враховувати сумарні збитки, викликані як загибеллю людей, так і матеріальними втратами та шкодою навколишньому середовищу. З цієї метою слід завжди розглядати відповідність матеріальних збитків у грошовому вираженні збитків

від загибелі людини. У роботі [1] дано визначення поняттю “Прийнятний ризик аварії” – ризик, рівень якого допустимий та обґрунтований, виходячи з соціально-економічних міркувань. Більшість фахівців з природних небезпек визначають ризик як “імовірнісні втрати”, які можуть бути встановлені шляхом множення ймовірності (частоти) негативної події на величину можливої шкоди від нього.

Внаслідок такої операції можливі збитки трансформуються в умовну середню шкоду за одиницю часу, що можна вважати виправданим для подій з відносно великою повторюваністю. Для подій, що рідко повторюються, ризик слід оцінювати одночасно двома показниками: величиною можливої одномоментної шкоди та ймовірністю (частотою) його реалізації. У цьому випадку результат оцінки ризиків можна висловити у ймовірнісній, вартісній та комбінованій (збитки та ймовірність) формі.

Схема, що відображає взаємозв'язок факторів, що діють на систему, і виникають під впливом цих факторів ризиків, набуває вигляду, зображеного на рис. 3.

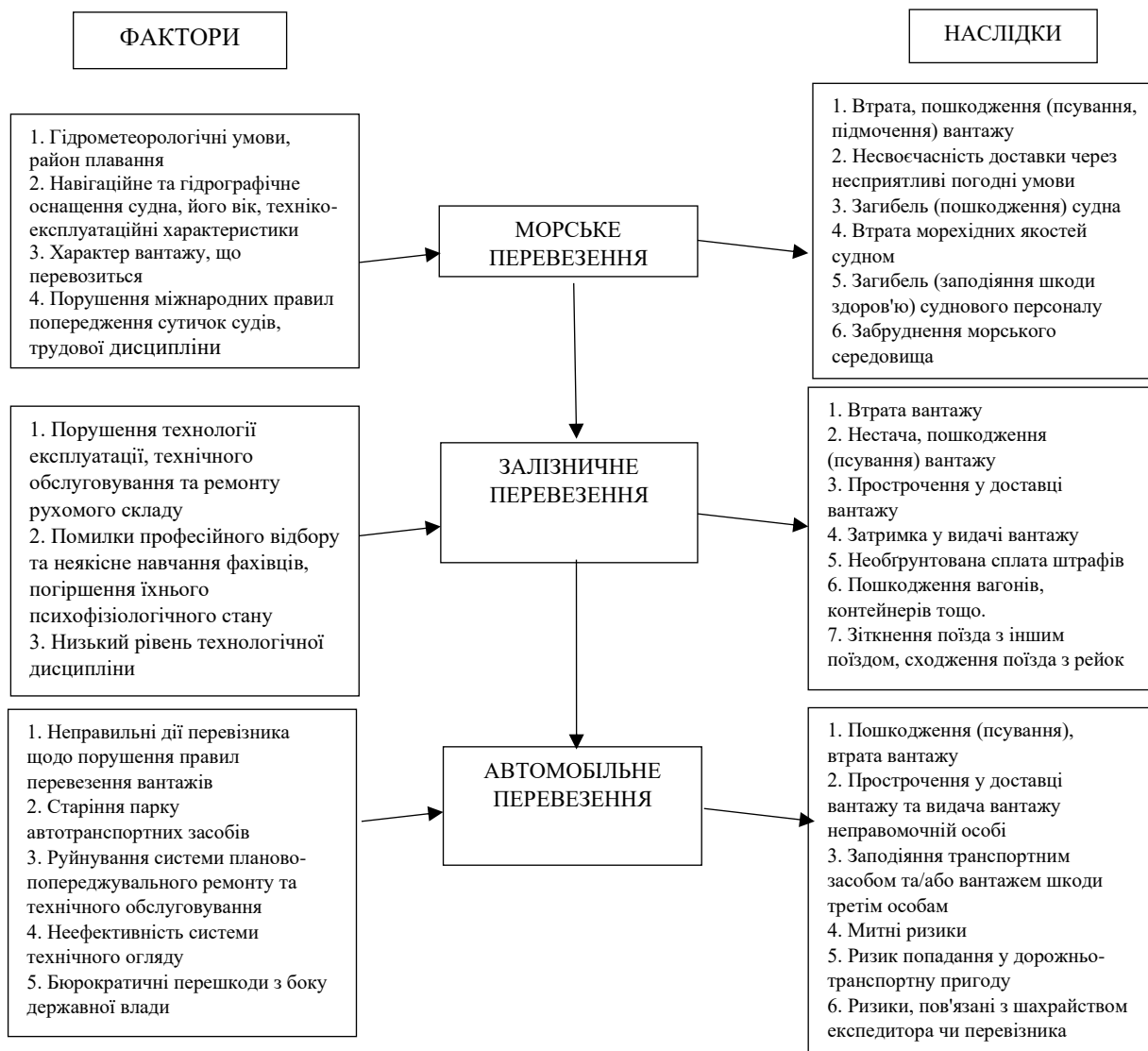


Рисунок 3 – Причинно-наслідкові зв'язки ризиків мультимодальних перевезень

Обставини у нашому дослідженні – це умова чи сукупність умов, які безпосередньо чи опосередковано можуть сприяти виникненню аварійної ситуації чи безпосередньо з'явитися причиною аварії. Так, знеструмлення судна, що йде по фарватеру, часто є причиною виникнення аварійної ситуації та аварії.

У певних умовах може виникнути ситуація відсутності необхідної інформації про погоду, наближення урагану, цунамі тощо. У таких випадках причиною виникнення аварійної ситуації можуть бути тяжкі погодні умови, внаслідок чого судно може втратити керування, бути викинуте на рифи та конструктивно зруйновано.

Таким чином, обставини/умови породжують ризики відмов, помилок, виникнення непереборних сил природи, що стає причиною аварій (зіткнень, посадки на мілину, загибелі судна та вантажу).

Аналіз аварій (НС) наземного транспорту (автомобільний, залізничний), що перевозить різні вантажі, показує, що сценарій розвитку НС/аварій може відрізнятись від викладеного лише в незначних деталях. Отже, таке уявлення сценарію розвитку НС та аварій можна використовувати як загальну модель для розрахунку інтегральної оцінки ризику виникнення аварійних НС у процесі мультимодальних вантажоперевезень.

Методика розрахунку ризику будується на основі використання статистичної моделі безпеки перевезень різними видами транспорту та загальної моделі сценарію розвитку НС (див. рис. 3). Аналіз статистичних даних дозволяє визначити тип потоку випадкових подій, рівняння тренду та вибрати конкретну модель, що описує стан безпеки руху за допомогою отримання кількісних оцінок показників ризику.

Теорія статистичних рішень служить для вироблення рекомендацій щодо раціонального образу дій в умовах невизначеності та пов'язаного з нею ризику. Тут ми маємо справу з об'єктивними обставинами – “природою”. У іграх з “природою” допущення зробити не можна, саме це посилює невизначеність обстановки, посилює ризик і ускладнює прийняття рішення.

Враховуючи, що аварійність і ризик виникнення НС мають яскраво виражений випадковий характер, для оцінки ризику використовуються методи теорії ймовірності та математичної статистики.

При дослідженнях аварійності в різних галузях технічні підходи до оцінки ризику можуть бути різними. Серед найпоширеніших:

- подання аварій та НС у вигляді потоку випадкових подій, що дозволяє прогнозувати стан системи на основі використання теорії Марківських процесів (оскільки аварія – це складний ергодичний процес);

- метод оцінки ризику аварій, заснований на припущенні існування допустимих і небезпечних значень параметрів досліджуваних технологічних процесів, тобто ймовірність НС інтерпретується як параметрична відмова системи.

Головний недолік експертних оцінок – неможливість визначення ступеня ризику. Саме імовірнісні методи дозволяють визначити ступінь ризику, а й дати досить точний прогноз. Основними завданнями оцінки ризику аварій на транспорті є:

- оцінка частот (середньорічних ймовірностей) виникнення та розвитку аварій на транспорті за всіма основними сценаріями;

- оцінка наслідків виникнення та розвитку основних сценаріїв аварій на транспорті;

- узагальнення отриманих оцінок.

У практиці вантажоперевезень зустрічаються ситуації, коли кількість рейсів, що виконуються флотом/або іншим транспортом, досить велика, а ймовірність аварії, псування або втрати вантажу мала. Це, так звані, рідкісні події. У випадках, коли ймовірність рідкісних подій незначна, вони наслідують розподіл Пуассона [3].

Таким чином, аварії транспортних засобів та пов'язані з цим випадки втрати/псування вантажу відносяться до рідкісних подій, які розподіляються згідно із законом Пуассона. Справді, ймовірність окремої аварії транспортного засобу (наприклад, судна) протягом порівняно невеликого інтервалу часу, наприклад 1 місяця, мала, але оскільки кількість суден велике, то в середньому в цьому інтервалі часу може статися деяка аварія. Якщо

вважати, що аварія одного судна не виключає ймовірність аварії іншого судна, то можна стверджувати, що аварійність слідує розподілу Пуассона.

Численні експерименти та використання статистичних даних (рядів динаміки) свідчать, що за наявною статистичною інформацією про аварії на транспорті реально можливо оцінити тільки відповідність показників стану безпеки руху за експоненційним або пуасонівським законом розподілу з постійною та змінною інтенсивністю подій [12; 3]. Система статистичних даних про аварії, марковані за часом, розглядається як одна реалізація якогось абстрактного пуасонівського процесу [12, 3].

Розглянемо стаціонарний пуасонівський потік подій, для якого ймовірність того, що на відрізку часу довжини τ настане рівно k подій, може бути розрахована за формулою [3]:

$$P_m(k) = \frac{a^k e^{-a}}{k!}. \quad (2)$$

Тоді статистична модель безпеки вантажоперевезень має вигляд:

$$P\{X(t, \tau) = k\} = \frac{a^k e^{-a}}{k!}, \quad (3)$$

де P – ймовірність появи події; m – число випробувань, од.; $X(t, \tau)$ – функція кількості випадкових небезпечних подій; k – кількість небезпечних випадкових подій протягом розглянутого часу; $a = \lambda\tau$ – параметр, що залежить від інтервалу часу та кількості небезпечних випадкових подій; λ – інтенсивність потоку небезпечних подій; τ – розглянутий інтервал часу (розмірність вибирається виходячи з конкретного завдання.)

Формула (3) використовується у випадках, коли кількість випробувань велика, а ймовірність появи події P у кожному випробуванні дуже мала, що відповідає даним аварійної статистики на транспорті.

Оскільки загальний потік небезпечних подій на транспорті складається з часткових потоків випадкових подій з низки причин (на різних етапах вантажоперевезень), то стає можливим використання фундаментального положення теорії потоків: сума незалежних пуасонівських потоків є також пуасонівським потоком.

Під час розробки методики оцінки ризику для морських суден приймалися наступні припущення:

1. Виникнення та розвиток НС протікає за сценарієм.
2. Аварійні події проявляються у вигляді двох груп послідовних подій A_j^l та B_i .
3. Група початкових подій A_j представляє собою небезпечні відмови j -го виду ($j = 1, 2, \dots, J$) l -го класу ($l = 1, 2, \dots, L$) відмов об'єктів технічної системи морського транспорту, що є причиною сутичок суден та їх посадки на мілину. Події A_j^l є повною групою несумісних подій. Іншими словами, лише одна подія A_j^l може бути в рейсі причиною зіткнення, затоплення, посадки на мілину під час руху суден.
4. Друга група подій B_i є спільними подіями, одна з яких виникає з певною ймовірністю після настання події A_j^l і проявляється як до зіткнення, посадки на мілину судна в рейсі з i -м видом наслідків (B_1 – аварія; B_2 – зіткнення; B_3 – посадка на мілину). Тоді ймовірність появи події A_j^l ($j = 1, 2, \dots, J$), ($l = 1, 2, \dots, L$) з повної групи несумісних подій набуде вигляду [3]:

$$P(A_j^l) = \sum_{i=1}^3 N_{B_i|A_j^l} / \sum_{l=1}^L \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^3 N_{B_i|A_j^l} \quad (4)$$

де $N_{B_i|A_j^l}$ – загальна кількість аварійних випадків на одиницю часу з i -м видом наслідків через j -го виду небезпечної відмови l -го класу морських об'єктів суден (кількість подій $B_i|A_j^l$) за аналізований період.

Імовірність виникнення відмови/умов j -го виду з i -ою шкодою $P(A_{ji}^l)$ можна розрахувати, як середньостатистичну, із відношення кількості суден/ транспортних засобів, які зазнали аварії внаслідок відмови j -го виду з i -им збитками в районах плавання/на дорогах l до загальної кількості суден/транспортних коштів, які проходять через ці райони [26]:

$$P(A_{ji}^l) = \frac{\sum_j \sum_i \sum_l N_{jil}}{\sum_l N_l} \quad (5)$$

Вагові оцінки відмов j -го виду з i -им збитком у районах плавання l розраховуються за формулою [26]:

$$\omega(A_{ji}^l) = \frac{\sum_l N_{jil}}{\sum_j \sum_i \sum_l N_{jil}} \quad (6)$$

Прогностичні оцінки ймовірності відмови технічних засобів можуть бути визначені з використанням теорії Марківських процесів [14].

Загальна інтенсивність виникнення подій $B_i|A_j^l$, що припадає на одну година рейсу судна складає:

$$\lambda_{B_i|A_j^l} = \frac{Z(B_i|A_j^l)}{\bar{T}}, \quad (7)$$

де $Z(B_i|A_j^l)$ – загальна середня кількість подій $B_i|A_j^l$, що припадають на одне судно за аналізований період; \bar{T} – середній час рейсу судна за аналізований період.

Рівні безпеки руху суден на різних ділянках плавання сильно відрізняються. Очевидно, що й оцінка аварійного ризику під час руху судна за певним маршрутом має залежати від стану безпеки саме на цьому маршруті.

Для оцінки інтенсивностей виникнення подій $B_i|A_j^l$, що відповідають однієї години рейсу судна по m -му маршруту, використовується співвідношення:

$$\lambda_{B_i|A_j^l}^m = \mu_m \cdot \lambda_{B_i|A_j^l}, \quad (8)$$

де μ_m – показник безпеки руху по m -му маршруту, визначається за формулою:

$$\mu_m = M \bar{g}_m / \sum_{m=l}^M \bar{g}_m, \quad (9)$$

де $\bar{g}_m = n_m^k / q_m^k$ – середнє значення інтегрального показника безпеки руху на m -му маршруті за аналізований період; n_m^k – кількість випадків зіткнень на m -му маршруті за k років, q_m^k – обсяг рятувальних робіт, що проводяться на m -му маршруті морських перевезень за k років (млрд. т-км брутто), M – кількість варіантів маршрутів на морському транспорті.

Виходячи з припущення, що ймовірність того, що за час $t \leq T$ (t – момент часу під час руху за маршрутом, T – час руху по всьому маршруту) руху судна за певним маршрутом не станеться подія $(B_i | A_j^l)$, не залежить від передісторії функціонування морського транспорту, можна отримати наступні формули для розрахунку (загального) аварійного ризику виникнення подій $(B_i | A_j^l)$, B_i ($B_i = Y_{j=1}^J (B_i | A_j^l)$) та B ($B = Y_{i=1}^3 B_i$) за час $t \leq T$ руху судна:

$$R(B_i | A_j^l) = 1 - \exp(-\lambda_{B_i | A_j^l} T), \quad (10)$$

$$R(B_i) = \sum_{j=1}^J P(A_j^l) \cdot R(B_i | A_j^l), \quad (11)$$

$$R(B) = \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^J P(A_j^l) \cdot R(B_i | A_j^l). \quad (12)$$

Можливості $P(A_j^l)$ є “суб’єктивними”, апіорними ймовірностями, оскільки причина сутичок суден A_j^l встановлюється шляхом експертних оцінок у ході службового розслідування обставин аварійної пригоди з судном.

Тому групу подій A_j^l можна розглядати як групу «гіпотез», які породжують події B_i . Застосовуючи теорему Байєса, виходячи з формули множення ймовірностей, отримаємо ймовірності [3]:

$$P(A_j^l | B_i) = \frac{P(A_j^l) \cdot P(B_i | A_j^l)}{\sum_{j=1}^J \sum_{l=1}^L P(A_j^l) \cdot P(B_i | A_j^l)}, \quad (13)$$

де $P(A_j^l)$ – ймовірнісні гіпотези A_j^l ; $P(B_i | A_j^l)$ – умовні ймовірності події B_i при гіпотезі $P(A_j^l)$.

Розрахувавши значення $P(B_i | A_j^l)$, можна знайти максимальне значення ймовірності. Тобто визначити, які події A_j^l з максимальною ймовірністю призводять до події B_i . Ймовірності, що розраховуються за формулою (13), можна інтерпретувати як апостеріорні (з урахуванням результатів натурного експерименту) ймовірності того, що подій A_j^l породжують саме події B_i .

Знайшовши максимум ймовірності $A_j^l | B_i$, тим самим можна встановити якісь події l_j , що з максимальною ймовірністю призводять до подій B_i .

Аварійний ризик виникнення подій $B_i | A_j^l$, B_i та B під час руху судна за конкретним маршрутом (по ділянках маршрутів m_1, m_2, \dots, m_L за час $t \leq T_{m_1} + T_{m_2} + \dots + T_{m_L}$ де, m_l – деякі числа інтервалу від 1 до M) можна розрахувати за формулами:

$$R_M(B_i|A_j^l) = 1 - \exp(-\sum_{m_l} \lambda_{B_i|A_j^l}^{m_l} T), \quad (14)$$

$$R_M(B_i) = \sum_{j=1}^J R_M(B_i|A_{ji}), \quad (15)$$

$$R_M(B) = \sum_{i=1}^3 R_M(B_i). \quad (16)$$

Інтенсивність виникнення аварій за період T з причин відмов, важких погодних умов, форс-мажорних обставин, можна розрахувати, використовуючи статистичні дані для кожного потенційно небезпечного району l за формулою:

$$\gamma(B_i|A_{ji}) = \frac{\sum_j \sum_l \sum_i N_{jil}}{T_l}. \quad (17)$$

А з розрахунку на одне судно, що проходить по районах l судно:

$$\gamma_{(B_i|A_{ji})}^{\sum s} = \frac{\sum_j \sum_l \sum_i N_{jil}}{T_l \times \sum_l S_{lT}}, \quad (18)$$

де $\sum_l S_{lT}$ – кількість суден, що проходять через райони l за час T .

Тоді ймовірність виникнення НС та аварії (величина аварійного ризику) може бути розрахована за формулами:

$$R(B_i|A_j^l) = 1 - \exp(-\gamma_{(B_i|A_j^l)} T_l), \quad (19)$$

$$R(B_i) = \sum_{j=1}^J P(A_j^l) \cdot R(B_i|A_j^l), \quad (20)$$

$$R(B) = \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^J P(A_j^l) \cdot R(B_i|A_j^l). \quad (21)$$

Ціна ризику аварій R_j^l може бути розрахована як добуток ймовірності аварії $P(B_i|A_j^l)$ на величину передбачуваної шкоди $\int W_i^l dl$ (функцію шкоди у разі однієї одиниці транспорту/судна):

$$R_j^l = P(B_i|A_j^l) \int W_i^l dl. \quad (22)$$

Таким чином, представлена тут методика розрахунку ймовірностей ризику виникнення НС та аварій складає основний базис для формування інтегральних оцінок ризиків.

Висновки. Методика оцінки ризиків у морській індустрії будується на основі використання загальної моделі сценарію розвитку аварійних ситуацій, теорії нечітких множин та експертних оцінок. При розрахунку оцінок ризику необхідно враховувати причинно-наслідкові зв'язки у логіці: «обставини/умови» – «причини» – «наслідки».

ЛІТЕРАТУРА

1. Желібо Є. П. Безпека життєдіяльності : навчальний посібник для IV рівнів акредитації / Є. П. Желібо, — студентів вищих закладів освіти України І В. М. Пічі. – Львів: «Новий Світ–2000», 2001. – 320 с.
2. Лук'янова В. В. Економічний ризик : навч. посібник / В. В. Лук'янова, Т. В. Головач. – Київ : Академвидав, 2007. – 464 с.
3. Бакуліч О. О., Кіс І. Р., Занора В. О. Тенденції управління екологічними ризиками транспортних проєктів. Збірник наукових праць Черкаського державного технологічного університету. Серія «Економічні науки». 2020. Вип. 56. С. 62–69. DOI: <https://doi.org/10.24025/2306-4420.0.56.2020.201674>
4. Ткаченко І. О. Ризики у транспортних процесах : навч. посіб. Харків, 2017. 114 с.
5. Данченко О. Б., Занора В. О. Проєктний менеджмент: управління ризиками та змінами в процесах прийняття управлінських рішень : монографія. Черкаси, 2019. 278 с.
6. Semenova S., Kovova I., Shuliarenko S., Shpyrko O., Bukoros T. (2020). Estimation of transport industry's economic sustainability as an element of strategic management: case of Poland and Ukraine. Problems and Perspectives in Management. Vol. 18. Issue 2. P. 501–514. DOI: 10.21511/ppm.18(2).2020.41.
7. Федулова І. В., П'ятницька Г. Т. Сигніфікація ризик-менеджменту, антикризового управління та комплаєнсу в управлінні фінансовою безпекою підприємства. Економіка та держава. 2020. № 8. С. 26–34. DOI: 10.32702/2306-6806.2020.8.26.
8. Державна служба України з безпеки на транспорті. URL: <http://dsbt.gov.ua/storinka/prosluzhbu>
9. Международная конвенция по охране человеческой жизни на море (SOLAS-74/78). – Лондон: ИМО, 1978. – 436 с.
10. Международная конвенция по предотвращению загрязнения с судов (МАРПОЛ 73/78). – Лондон: ИМО, 1978. – 378 с.
11. Фаустова О.Г. Расчет прогностических оценок системы "природа - морское судно" и вероятностей отказов технических средств судна / О.Г. Фаустова, С.С. Мойсеенко // Научные исследования и их практическое применение. Современное состояние и пути развития 2012: Материалы Международной научно-практической конференции. - Сборник научных трудов SWorld, 2012. - Вып. 3. - Одесса: Куприенко, 2012. – С. 43-48.
12. Бабина О. Є., Карпенко О. О. Фінансовий менеджмент на підприємствах водного транспорту : навч. посіб. Київ : СІК Груп Україна, 2012. 326 с.

REFERENCES

1. Zhelibio E. P. Life safety: a study guide for IV levels of accreditation / E. P. Zhelibio, students of higher education institutions of Ukraine I V. M. Pichi. - Lviv: "New World-2000", 2001. - 320 p.
2. Lukyanova V. V. Economic risk: academic. manual / V. V. Lukyanova, T. V. Holovach. - Kyiv: Akademydav, 2007. - 464 p.
3. Bakulich O. O., Kis I. R., Zanora V. O. Tendencies of environmental risk management of transport projects. Collection of scientific papers of the Cherkasy State University of Technology. Series "Economic Sciences". 2020. Issue 56. P. 62–69. DOI: <https://doi.org/10.24025/2306-4420.0.56.2020.201674>
4. Tkachenko I. O. Risks in transport processes: academic. manual Kharkiv, 2017. 114 p.
5. Danchenko O. B., Zanora V. O. Project management: managing risks and changes in management decision-making processes: a monograph. Cherkasy, 2019. 278 p.

6. Semenova S., Kovova I., Shuliarenko S., Shpyrko O., Bukoros T. (2020). Estimation of transport industry's economic sustainability as an element of strategic management: case of Poland and Ukraine. *Problems and Perspectives in Management*. Vol. 18. Issue 2. P. 501–514. DOI: 10.21511/ppm.18(2).2020.41.
7. Fedulova I. V., Pyatnytska G. T. Significance of risk management, anti-crisis management and compliance in the management of the financial security of the enterprise. *Economy and the state*. 2020. No. 8. P. 26–34. DOI: 10.32702/2306-6806.2020.8.26.
8. State Service of Ukraine for Transport Safety. URL: <http://dsbt.gov.ua/storinka/pro-sluzhbu>
9. International Convention for the Safety of Human Life at Sea (SOLAS-74/78). - London: IMO, 1978. - 436 p.
10. International Convention on the Prevention of Pollution from Ships (MARPOL 73/78). - London: IMO, 1978. - 378 p.
11. Faustova O.G. Calculation of prognostic assessments of the "nature - marine vessel" system and the probability of failure of the vessel's technical equipment / O.H. Faustova, S.S. Moiseenko // *Scientific studies and their practical application. Current state and development paths 2012: Materials of the International Scientific and Practical Conference*. - Collection of scientific works SWorld, 2012. - Vol. 3. - Odessa: Kuprienko, 2012. - P. 43-48.
12. Babina O. E., Karpenko O. O. *Financial management at water transport enterprises: training manual* Kyiv: SIK Group Ukraine, 2012. 326 p.

Horban A.V., Carjova K.

INTEGRAL ASSESSMENT OF THE RISKS OF EMERGENCY SITUATIONS IN SEA TRANSPORTATION

Ensuring safety on water transport is one of the priority tasks of the transport strategies of enterprises. Since the emergence of emergency situations (ES) in the process of moving cargo/passengers in time and space occurs as a result of the negative impact of various factors, the task of preventing or reducing their negative impact is urgent. It should be noted that the process of multimodal transportation involves, as a rule, several types of transport, technological lines, means of small mechanization, and specialists of various directions. To carry out transportation, it is necessary to implement a significant number of multifaceted activities, among which the design of transport and logistics systems (TLS) of goods is of great importance. An important section of TLS projects is the development of security issues, which determines the relevance of the master's thesis. In the course of the study, the following tasks were performed: the structure of risk factors of emergency situations in sea and multimodal cargo transportation was determined and systematized; methodical approaches to risk assessment and forecasting emergency situations in the process of sea and multimodal cargo transportation have been developed; the method of integral assessment of the risks of an emergency situation, the criteria of assessment, efficiency and safety of transport and logistics schemes of sea and multimodal cargo transportation have been developed

Keywords: *sea transportation, navigation, emergency situations*