

## ЖИЗНЕН ЦИКЪЛ И УПРАВЛЕНИЕ НА РИСКА НА МОРСКИТЕ ТРАНСПОРТНИ СРЕДСТВА

проф. д-р инж. Асен Недев, ВВМУ, Варна  
доц. д-р инж. Анета Георгиева, ВСУ „Черноризец Храбър“, Варна  
Александър Близнаков, докторант, ВВМУ, Варна

***Резюме:** В статията са разгледани въпроси, свързани с жизнения цикъл и управление на риска на морските транспортни средства. На базата на изискванията на международните и националните регламенти и стандарти за управление на безопасната експлоатация на морските транспортни средства е предложена структурна схема на система за управление на екологичния риск и подход, базиран на метода „матрица на последствията и възможностите“. Направен е анализ на всички идентифицирани екологични рискове въз основа на матрицата на риска.*

***Ключови думи:** управление на риска, жизнен цикъл, безопасност, морски транспортни средства, матрица на риска, екологичен риск*

## LIFE CYCLE AND RISK MANAGEMENT OF MARINE VEHICLES

**Prof. dts. eng. Asen Nedev**, Higher Naval Academy, Varna  
**Assoc. prof. eng. Aneta Georgieva**, VFU “Chernorizets Hrabar”, Varna  
**Alexander Bliznakov**, PhD student, Higher Naval Academy, Varna

***Abstract:** The article examines issues related to the life cycle and risk management of marine vehicles. Based on the requirements of international and national regulations and standards for managing the safe operation of marine transport vehicles, a structural scheme of an environmental risk management system and an approach based on the "matrix of consequences and opportunities" method is proposed. All identified environmental risks were analyzed based on the risk matrix.*

***Keywords:** risk management, life cycle, safety, marine vehicles, risk matrix, environmental risk*

## I. Регламенти и структурна схема за управление

Общотехническите и информационните методи в проектирането и експлоатацията на сложните технически обекти с отчитане на изискванията към жизнения цикъл, са обект на активни изследвания от морската научна общност в последните 50 години. За първи път подходите към проектирането и експлоатацията на морските технически средства, ориентирани към увеличаването на ефективността на транспортните системи през целия срок на работа са обсъждани на Международния конгрес по конструкции на корабите и морските съоръжения (ISSC) през 1961г. [6]. В постоянните доклади на всички следващи сесии на ISSC през 1979, 1988, 1991, 1997, 2000, 2003г. (напр.[7]) са обсъждани въпросите за минимизация на стойността на постройката, на ограниченията свързани с експлоатацията (вкл. ремонта) на морските съоръжения и на последователно уточняване на понятието „жизнен цикъл“ с отчитане на строителните и операционни съставлящи. Специално се обръща внимание на това, че трябва да се отчитат ефектите на стареенето на конструкциите, на условията на експлоатация, на инспектирането и мониторинга на състоянието на риска. В съдоклада на специалиста от компанията SHELL P. Marshall на сесията на ISSC през 1972 г. [8] е дефинирано понятието „стойност на жизнения цикъл на офшорна конструкция“:

$$LCC = C_k + C_l + R_i,$$

където  $C_k$  е строителна стойност на конструкцията;

$C_l$  – експлоатационни разходи;

$R_i$  - стойност на риска.

В поредния основен доклад на комисия IV в сесията на ISSC в Сан Диего през 2003г. [7], изнесен от F.P. Hansen са посочени възможностите за единен икономически анализ (Life Cycle Analysis) на външните въздействия към системата в продължение на целия срок на експлоатацията и анализа на стойността на жизнения цикъл (LCC). В този смисъл оптимизацията на надеждността и ефективността на морските съоръжения при запазване на доходната част на икономическия модел се свежда до минимизиране на стойността на жизнения цикъл с отчитане на риска:

$$\min LCC = C_k + C_l + R_i = C_k + C_l + \sum P_i (\sum a_{ik} \cdot C_k) \quad (2)$$

При икономическия анализ на жизнения цикъл (LCA) трябва да се отчитат интересите на корабособствениците, операторите, товародателите, екипажите, държавите притежатели на флага, пристанищните администрации, застрахователите, банките, класификационните дружества, корабостроителите и проектантите. Това е една многофакторна задача, чието решаване при вече направени (предвидени) разходи за постройка и експлоатация може да бъде осъществено чрез отчитане на компонентите на функцията на риска [1.3].

$$R = P \cdot C = \sum P_i (\sum a_{ik} \cdot C_k) \quad (3)$$

Във формулите за пресмятане на риска (2, 3) индексът ( $i$ ) се отнася към видовете на въздействащите опасности (пожари, стълкновения, заседания на плитководие, грешки при товаро-разтоварни и ремонтни операции); индексът ( $k$ ) обозначава разходите за възстановяване на щетите от опасностите (ремонти на корпуса и енергетичната уредба; възстановяване на здравето на екипажа на кораба и пристанищните работници; средства, изгубени от обществото при фатални последици за негови членове; компенсиране на екологичните последици, включително при разливи на нефтопродукти; загуби и повреди на товарите; загуба на деловата репутация; застраховки и др.)

$P_i$  – вероятност за възникване на аварийна ситуация при въздействие на  $i$ -тата опасност;  
 $a_{ik}$  – тегловен коефициент на  $k$ -тото последиствие при въздействие на  $i$ -тата опасност;  
 $C_k$  – стойност на  $k$ -тото последиствие [1, 3].

Като се имат предвид сравнително постоянните и подчинени на други приоритети построечни ( $C_k$ ) експлоатационни ( $C_i$ ) разходи, поставената в уравнение (2) оптимизационна задача се свежда до минимизиране на функцията на риска (3). При решаването на тази задача ние използваме приетите в България стандарти ISO31000:2011, ISO31010:2010 [4,5]. Що се отнася до изискванията на международните регламенти и стандарти към корабите и компаниите, които ги оперират, те са посочени в Кодекса за управление на безопасната експлоатация и предотвратяването на замърсяване (ISM – Code) [9], чиито изменения от 01.07.2010 г. задължават компаниите да оценяват всички идентифицирани рискове по отношение на своите кораби, персонала и околната среда и да установяват предпазни мерки.

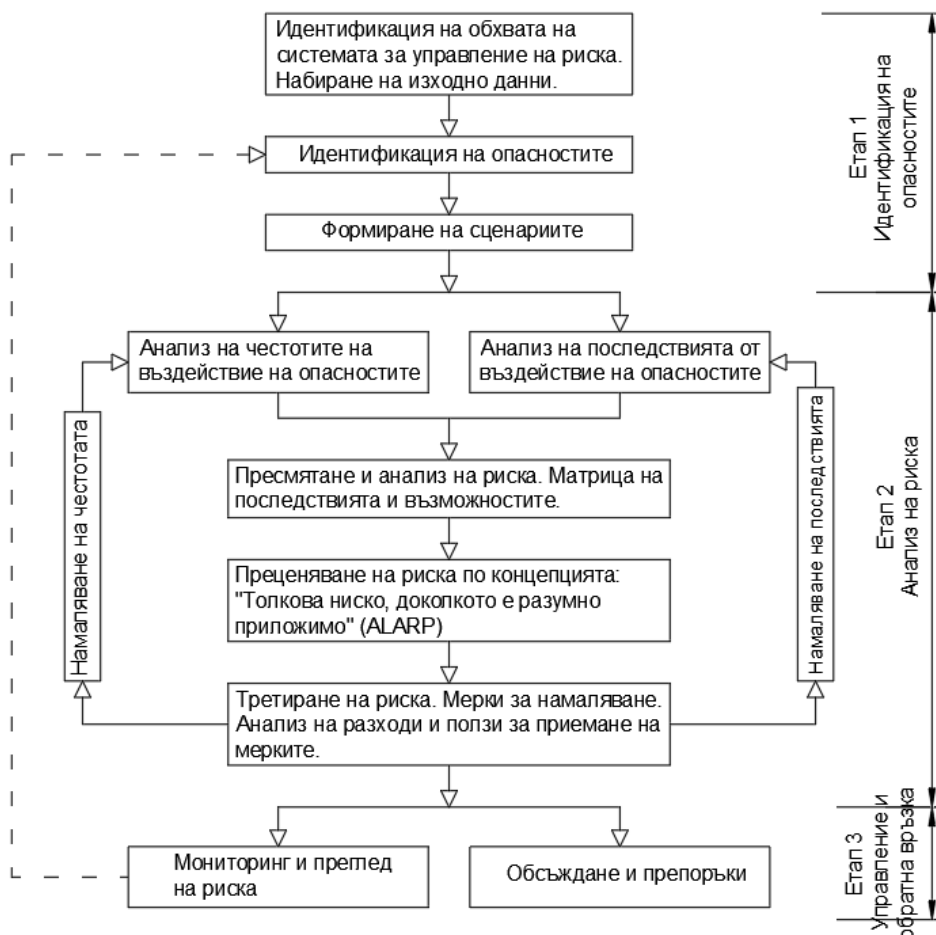
В изследванията си ние сме използвали подхода, базиран на метода, известен като „**матрица на последициите и възможностите**“, а за преценяване на риска сме прилагали концепцията „**рискът е толкова нисък, колкото е разумно приложимо**“ (As

*Low, As Reasonable and Practicable – ALARP*). При предварителното приемане на опасностите, определящи екологичния риск се имат предвид техническите норми (Анекси I-VI) към Международната конвенция за предотвратяване на замърсяване от кораби – MARPOL 73/78.

На базата на тези регламенти и разсъждения е разработена структурна схема на система за управление на екологичния риск на морските транспортни дейности, която е представена на фиг.1. Основен показател в тази затворена система за управление е изходната величина (параметър на управление), представляваща разликата между оценките на риска до и след въвеждане на мероприятията по неговото намаление:

$$\Delta R = R_0 - R_i, \quad (4)$$

където  $R_0$  и  $R_i$  са оценки на началния и остатъчния риск съответно.



Фиг.1. Управление на риска (ISO31000)

Условието за приемане на мероприятията за снижение на риска, които са със стойност, равна на:  $Z = \sum Z_j$  е:

$$Z < \Delta R \quad (5)$$

Към тези мероприятия могат да се отнесат количествата на корпусна стомана, средствата за изготвяне на нови конструкции, мероприятия за защита от корозия, компенсация за намалена товарносимост, допълнителна апаратура за контрол и диагностика, разходи за ремонт и експлоатация, обучение на членовете на екипажите и бреговите служби.

В процеса на управление на риска могат да възникнат следните варианти:

1. Приетите мерки за снижение на риска влияят, както на вероятността за въздействие на опасността  $P$ , така и на нейните последствия  $C$ :

$$Z < P_0 \cdot C_0 - P_i \cdot C_i \quad (6)$$

2. Приетите мерки за снижение на риска влияят на последствията от възникване на опасностите  $C$ , но не променят вероятността за възникването и ( $P = \text{const}$ ):

$$Z < P \cdot (C_0 - C_i) \quad (7)$$

Такава ситуация може да възникне при използване на „пасивни“ методи за управление на риска. Например поставянето на повече надлъжни и напречни шпангоути или на двоен контур на танкера в съответствие с американския законодателен акт ОРА 90 и MARPOL, намалява стойността от аварията на натоварените танкери, но не променя честотата на самите аварии – в това число засядане на плитчина или сблъскване с друг кораб.

3. Приетите мерки по намаляване на риска влияят на вероятността за въздействие на опасността  $P$ , но последствията от въздействието ѝ не се променят ( $C = \text{const}$ ):

$$Z < C \cdot (P_0 - P_i) \quad (8)$$

Такава ситуация е възможна при използване на „активни“ методи за намаляване на риска, например чрез управление от „човешкия фактор“. Към този подход се отнасят мерките по регулиране на корабоводенето и при спазване на международните правила за предотвратяване на сблъскване на корабите (МППСМ). Мерките по управление на риска с участието на корабните екипажи, спазващи изискванията на международните

конвенции по управление на безопасността могат да намалят честотата на аварията, без да влияят съществено на последствията от тях.

## **II. Управление на екологичния риск от морските транспортни дейности чрез формална оценка на безопасността (Formal Safety Assessment – FSA).**

След представянето на основните принципи и структури за управление на риска ще пристъпим към реализиране на конкретния модел за оценка, анализ и третиране на екологичния риск при осъществяване на морските транспортни дейности.

Следвайки основната идея на международния стандарт ISO 31000 ще установим на първо място контекста на задачата за количествена оценка на риска. В конкретния случай ще идентифицираме обхвата на задачата за определяне на риска в следните области:

- I. Техническо състояние на корпуса и системите на кораба.
- II. Опасности свързани с технологиите за превозване на товарите.
- III. Опасности от действията на корабособственика, бреговите оператори и екипажите.
- IV. Опасности, свързани с работата на главните двигатели.
- V. Опасности, свързани с работата на спомагателните двигатели.
- VI. Опасности, свързани със състоянието и режимите на работа на комплекса „двигател, винт, корпус“.

Втората част “Анализ на риска“ включва количествена оценка и анализ на отделните рискове. В настоящия модел сме приели метода на количествен анализ „**Матрица на последствията и възможностите**“. За построяването и запълването на тази матрица са необходими конкретни данни за вероятностите и последствията на всички идентифицирани опасности. Тези данни са взети от предишни наши публикации [1,2,3], които са били предназначени именно за това.

Тези експериментални и експертни данни са систематизирани като количествена оценка на последствията и възможностите в приетите шест области от контекста (Табл.1)

На следващият етап е представена една обща схема за приемане на скалите на последствията и възможностите във вид, удобен за въвеждането на данните в матрицата на риска с отчитането на трите аспекта: въздействие върху хората, околната среда и техническите средства (Табл.2).

Табл.1 Експериментални и експертни данни за последствията и възможностите

Опасности	Р вероят- ност	С послед- ствия	Р риск
I. Техническо състояние на корпуса и системите			
1.1. Несъответствие на технологиите и конструкциите към условията на плаване (Загуба на кораба)	3,45	3,90	13,46
1.2. Пропуск на вода през обшивките на дъното	1,70	2,35	3,99
1.3. Нарушение на ремонтните технологии	0,78	0,82	0,64
1.4. Пропуск на дефекти при дефектирането	1,27	0,99	1,27
1.5. Грешки при проектиране	1,06	0,38	0,41
1.6. Неизпълнение на Международната конвенция по товарната марка	1,62	3,10	5,02
II. Нарушени технологии при превоз на товари			
2.1. Превоз на метални отпадъци	1,27	3,3	4,19
2.2. Превоз на взривоопасни товари	0,36	4,48	1,63
2.3. Използване на грайфери и булдозери при товарене	3,24	1,03	3,34
2.4. Нарушения на инструкцията при товарене	0,50	3,40	1,70
2.5. Нарушена инструкция при закрепване на контейнери	2,90	2,45	7,11
2.6. Неприлагане на инертиране на танковете (до 2016 г.)	2,95	4,60	13,57
2.7. Нарушени технологии за миене на карготанковете	2,70	4,53	12,23
III. Опасни действия от човешкия фактор (екипажи)			
3.1. Нарушени инструкции при баластиране на море	0,43	0,95	0,41
3.2. Нарушени ограничения по района и сезона	1,66	3,70	6,14
3.3. Навигационни грешки	1,49	2,48	3,70
3.4. Грешна прогноза	2,23	3,45	7,69
3.5. Претоварване на кораба	1,45	4,40	6,38
3.6. Претоварени контейнери	2,88	2,97	8,55
3.7. Смяна на корабособственика	3,25	0,32	1,04
3.8. Работа със серни горива без скрубър	3,30	4,55	15,02
IV. Неизправности на главния двигател			
4.1. Авариен стоп	1,55	0,35	0,54
4.2. Изпускателни клапани	1,61	3,18	5,12
4.3. Горивоподаващи дюзи	0,73	2,53	1,85
4.4. Тръби-високо налягане	0,65	1,60	1,04
4.5. Горивни помпи – високо налягане	0,47	2,30	1,08
V. Спомагателни двигатели			
5.1. Авариен стоп	1,30	0,28	0,37
5.2. Горивни помпи – високо налягане	1,00	2,30	2,30
5.3. Горивоподаващи дюзи	0,73	2,53	1,85
5.4. Тръби-високо налягане	0,50	1,40	0,73
5.5. Бутало с бутални пръстени	0,50	3,46	1,73
5.6. Мотовилкови лагери	0,35	0,26	0,10
VI. Режимы на работа			
6.1. Висок индекс на енергийна ефективност	3,20	3,75	12,00

Табл.2. Скали на възможностите и последствията

Мярка на възможностите: функция на разпределение $F = \frac{N_i}{N} [\%]$	Ниво на последствията $C_j$	Аспекти на последствията		
		Въздействия върху хората	Въздействия върху околната среда	Повреда в техническите средства
Силно вероятно събитие $F=80-100\%$ <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">5</span>	незначително произшествие <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">1</span>	няма	няма	нищожно
Вероятно събитие $F=60-80\%$ <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">4</span>	произшествие <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">2</span>	леки телесни повреди	малки емисии и разливи	отстраними щети и дефекти
Възможно събитие $F=40-60\%$ <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">3</span>	Авария <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">3</span>	сериозни необратими телесни повреди	забележимо екологично замърсяване	саморемонт и резервни части
Малко вероятно събитие $F=20-40\%$ <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">2</span>	сериозна авария <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">4</span>	загуба на човешки живот	замърсяване на акватории и бряг	международна помощ и ремонт
Необичайно рядко събитие $F=0-40\%$ <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">1</span>	катастрофа <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">5</span>	много човешки жертви	тежки последици върху околната среда	гибел на кораба

На базата на резултатите и подходите, представени в Табл. 1 и 2 може да бъде построена матрицата на последствията и възможностите, известна още като „Матрица на риска“. При нейното изграждане приемаме квадратна форма с по пет нива на последствията и възможностите [4]. За всеки идентифициран риск се предвиждат по два сценария: най-вероятен и най-лош достоверен. Скалите на последствията и възможностите се приемат в съответствие с реда, посочен в Табл.2. Това оразмеряване позволява такова балансиране на матрицата, при което най-ниската възможност да води до приемане на риска с най-високата стойност на последствие. В противен случай всички събития с най-високо ниво на последствията биха били възприемани като неприемливи.

При анализа на риска по концепция та ALARP матрицата се разделя на три зони:

➤ Зона на незначителни рискове, със стойности пресметнати по уравнение (3), изменящи се в границите:  $R=0\div 6$ . Тези рискове, даже и да принадлежат на периодичен контрол, не изискват никакви управляващи действия.

➤ Зона ALARP (рискът е толкова нисък, колкото е разумно приложимо) със стойност на риска, намиращи се в границите от 6 до 15. След тяхното идентифициране е



необходимо да се прецени ефективността на съществуващите контролни мерки и да се анализират възможностите за подобряване на тази ефективност или за въвеждане на допълнителни такива. Анализът на ползите и разходите от въвежданите допълнителни мерки (подобряване на съществуващите) ще покаже на етапа „въздействие върху риска“, дали те са разумно приложими за снижение на риска в зоната на приемливия риск. Ако това ще изисква непропорционални разходи или ще доведе до прекратяване на дейността, то рискът може да остане в тази зона, като периодично се наблюдава и преоценява.

➤ Зона на неприемлив риск при пресметнати стойности, намиращи се в границите от 15 до 25. В тези случаи трябва да се приемат управляващи мерки, доколкото това е практически възможно. Това означава прилагане на всичко налично като технологично и организационно познание и възможности. Цената, срока, усилията, които ще са необходими за прилагането на управляващи мерки за понижаване на неприемливия риск, поне до ниво в зоната на ALARP, не може да са причина за неприлагането им и за приемане на съществуващото високо ниво на този риск.

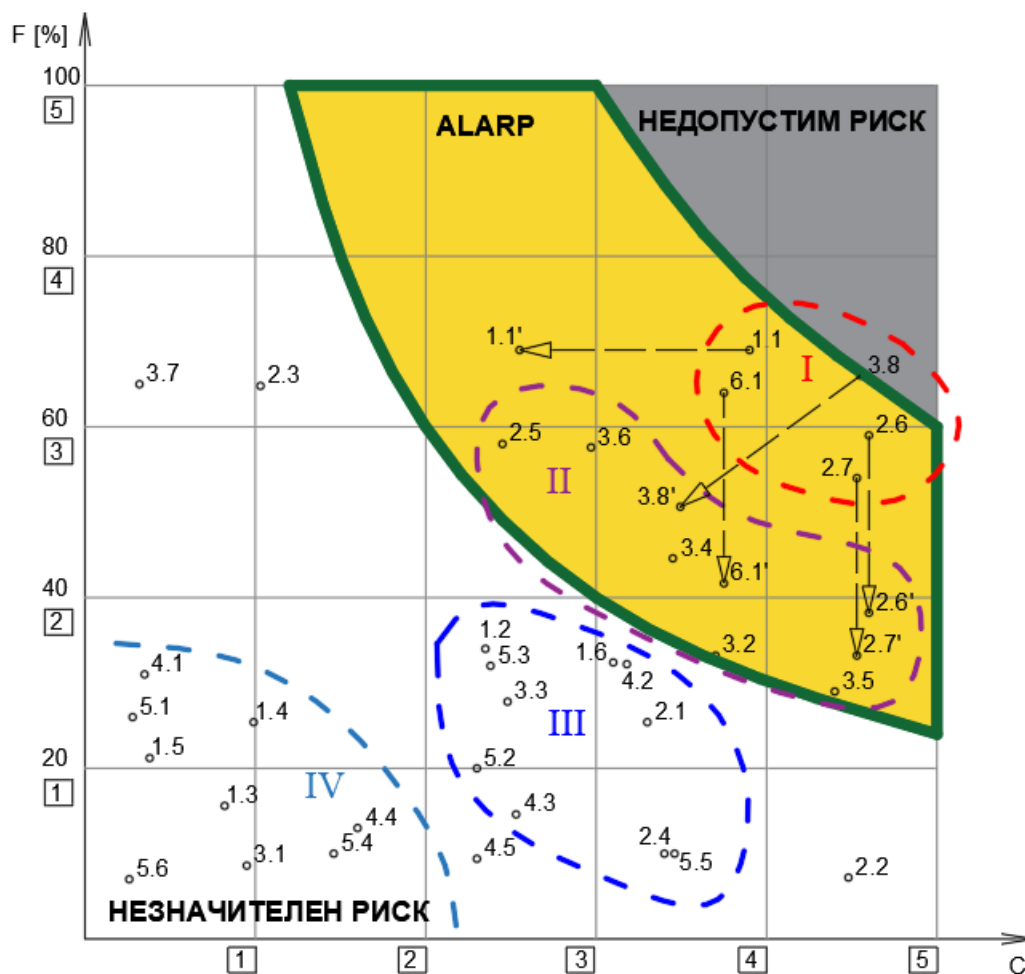
В заключение към тази част отбелязваме, че във всички известни досега задачи за графичен анализ на степента на риска горепосочените три области се разделят с прави линии. Това от математическа гледна точка е некоректно, тъй като уравненията на разделящите граници, съгласно стандартите [3, 4] са нелинейни:

$$R = C \cdot P = A = \text{const.} \quad (9)$$

Освен това заменянето на изпъкналите нелинейни зависимости с линейни граници може да доведе до грешки, в резултат на които точки, изобразяващи ситуации, за които  $R_i = C_i \cdot P_i \geq R_{кр}$ , ( $R_{кр} = 6;15$ ) могат да бъдат класифицирани в зона, която е по-приемлива от действителната. Нашият опит показва, че такива неправилно оптимистично класифициращи решения се наблюдават при идентифицирани рискове, разположени в централната част на рисковата матрица.

### **III. Резултати и заключения**

След отчитане на горните съображения пристъпваме към анализ на всички идентифицирани екологични рискове с помощта на матрицата на последствията и възможностите (рискова матрица), представена на фиг.2.



Фиг.2. Матрица на риска

Разположението на идентифицираните екологични рискове в тази матрица ни насочват към следните констатации и изводи.

1. Екологичната опасност 3.8 „Продължителна работа на корабните двигатели с традиционни горива без скрубери“ попада в зоната на недопустимия риск. Обръщаме внимание на факта, че след контрола на MARPOL за серните емисии през 2004г. и последователно въведените от IMO географски ограничителни зони SECA (Балтийско и Северно море до 0,1%) 2006г. и ЕКА (Северна Америка и Карибите) 2008г. корабособствениците се оказаха в трудно положение [10]. Те не са склонни да инвестират в скрубери за отработените газове, чиято стойност може да надхвърли един милион долара. Производителите на горива нямат единно мнение – BP и Exxon Mobile не дават ясен отговор за съвместимостта на различните видове горива, докато Shell лансира, както ниско сернисти горива (LSFO), така и LNG – алтернативи. Очевидно е, че натискът от страна на IMO за разширяване на зоните ще продължи, което означава

въвеждането на управляващи решения (мерки), водещи до намаляване на продължителността (вероятността) на работа с конвенционални горива, така и до намаляване на нивата на последствията чрез конструктивни въведения (траектория 3.8-3.8' на матрицата).

2. Опасностите 2.6 и 2.7 (нарушени технологии за миене и инертиране на товарните танкове на танкери и химикаловози) по данни до 2016 г. определят стойности на риска, близки до границата на допустимата зона. След влизането в сила на измененията на SOLAS от 01.01.2016г. се наблюдава тенденция на намаление на вероятностите за възникването им и отдалечаване от опасната зона (2.6-2.6' и 2.7-2.7').

3. Въвеждането на конструктивни и технологични мерки на корабите с ограничен и смесен район на плаване (уякчаване на корабните конструкции) е предпоставка за отдалечаване на рисковете при опасност 1.1 (несъответствие на технологиите и конструкциите към условията на плаване) от опасната зона (1.1 - 1.1').

4. Въвеждането на строга фирмена дисциплина и контрол на стойностите на индекса на енергийната и екологична ефективност след 2020г. гарантира реализирането на глобален екологичен ефект, като премества изобразяващата точка дълбоко в зоната ALARP (6.1 - 6.1').

5. Всички опасности, причинени от неправилни решения и действия на човешкия фактор са идентифицирани с рискове, разположени в средната част на зоната ALARP (заградена с пунктирана линия). За тях е необходимо въвеждането на системи за техническа диагностика и автоматично управление, с което да се намаляват субективните грешки и решения с цел поддържането им в зоната ALARP (рискът е толкова нисък, колкото е разумно приложим).

6. Опасностите, свързани с работата на главните и спомагателни двигатели (горивна апаратура и бутално-цилиндрова група) и с нарушения на технологиите за обработване на товарите се идентифицират с рискове, разположени в близост до границата с ALARP (оградени с пунктирана линия). За тяхното поддържане е необходимо спазването на изискванията на системите за техническо обслужване и спазване на международните конвенции и инструкции.

7. Въвеждането на нелинейни разделящи граници между трите зони в матрицата на риска.  $R = C \cdot P = A$ ; ( $A = 6; 15$ ) гарантира попадането на всички идентифицирани рискове точно в областите, съответстващи на препоръките на стандартите БДС-ISO. Използването на линейни разделящи граници би довело до неправилни (погрешно

оптимистични) класифициращи решения на половината от идентифицираните екологични рискове.

#### Литература

- [1] Недев А., А. Георгиева, Г. Антонов, А. Близнаков, Вероятностна оценка на възможностите за настъпване на аварийни ситуации в морската практика като компоненти на функцията на екологичния риск, E-Journal VFU бр. 19, 2023г.
- [2] Недев А., Р. Атанасов, А. Чакър, Минимизация на риска при експлоатация на корабите с ограничен и смесен район на плаване. E-Journal VFU бр. 17, 2022г.
- [3] А. Недев, Св. Димитракиева, А. Георгиева, А. Близнаков, Определяне на нивото на последствията от екологичните опасности на морските транспортни дейности. E-Journal VFU бр. 19, 2023г.
- [4] БДС ISO 31000:2011 Управление на риска. Принципи и указания.
- [5] БДС EN 31010 Управление на риска. Методи за оценяване на риска.
- [6] Егоров Г.Б., Проектирование судов ограниченных районов плавания на основании теории риска. Судостроение С. Петербург , 2007г. 383с.
- [7] Design principles and criteria. Report of Committee IV.1 / Hansen F.P., Bronsart R., et al//Proc. of the 15th. Intern. Ship Structures Congress- ISSC 2003.-San Diego (USA), 2003.- Vol. 1., p.393-451.
- [8] Marshall P.W., Cost-risk tradeoffs in design, M.I.R.V., fracture control for offshore platforms // Proc. of the Seventh International Ship Structures Congress – ISSC 1979.-Paris (France) , Vol.1., p.39
- [9] The International Management Code for the Safe Operation of Ships and for Pollution Prevention (International Safety Management (ISM) Code), IMO, Res.A, p.741(18).
- [10] [http://www.imo.org/en/Our Work/Environment/Pollution.aspx](http://www.imo.org/en/Our%20Work/Environment/Pollution.aspx)