

## ВЕРОЯТНОСТНА ОЦЕНКА НА ВЪЗМОЖНОСТИТЕ ЗА НАСТЪПВАНЕ НА АВАРИЙНИ СИТУАЦИИ В МОРСКАТА ПРАКТИКА КАТО КОМПОНЕНТИ НА ФУНКЦИЯТА НА ЕКОЛОГИЧНИЯ РИСК

проф. д-тн. инж. Асен Недев – Технически Университет – Варна  
доц. д-р инж. Анета Георгиева – ВСУ „Черноризец Храбър“  
доц. д-р инж. Георги Антонов – Технически Университет – Варна  
Александър Близнаков – докторант ВВМУ

*Резюме:* В статията са разгледани въпроси, свързани с вероятността от настъпване на аварийни ситуации в морската практика като компоненти на екологичния риск. Определени са възможностите за настъпване на събитията, включени в зависимостта за пресмятане на риска, както и числените стойности на основните надеждностни характеристики, съгласно изискванията на БДС 31000.204. Направен е анализ на инцидентите и вероятностите за аварийни ситуации в корабните енергитични уредби. Представеният материал в статията представлява част от изследване за управление на екологичния риск при морските транспортни дейности.

*Ключови думи:* аварийна ситуация, околна среда, безопасност, морски транспортни дейности, оценка на риска, екологичен риск

## PROBABILITY ASSESSMENT OF THE POSSIBILITIES OF OCCURRING EMERGENCY SITUATIONS IN MARINE PRACTICE AS COMPONENTS OF THE ENVIRONMENTAL RISK FUNCTION

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

*Abstract:* The article examines issues related to the probability of occurrence of emergency situations in maritime practice as components of environmental risk. The possibilities for the occurrence of the events included in the dependence for risk calculation are determined, as well as the numerical values of the main reliability characteristics, according to the requirements of BDS 31000.204. An analysis of the incidents and the probabilities of emergency situations in the ship's energy systems was made. The material presented in the article is part of a study on environmental risk management in maritime transport activities.

*Keywords:* emergency, environment, safety, maritime transport activities, risk assessment, environmental risk

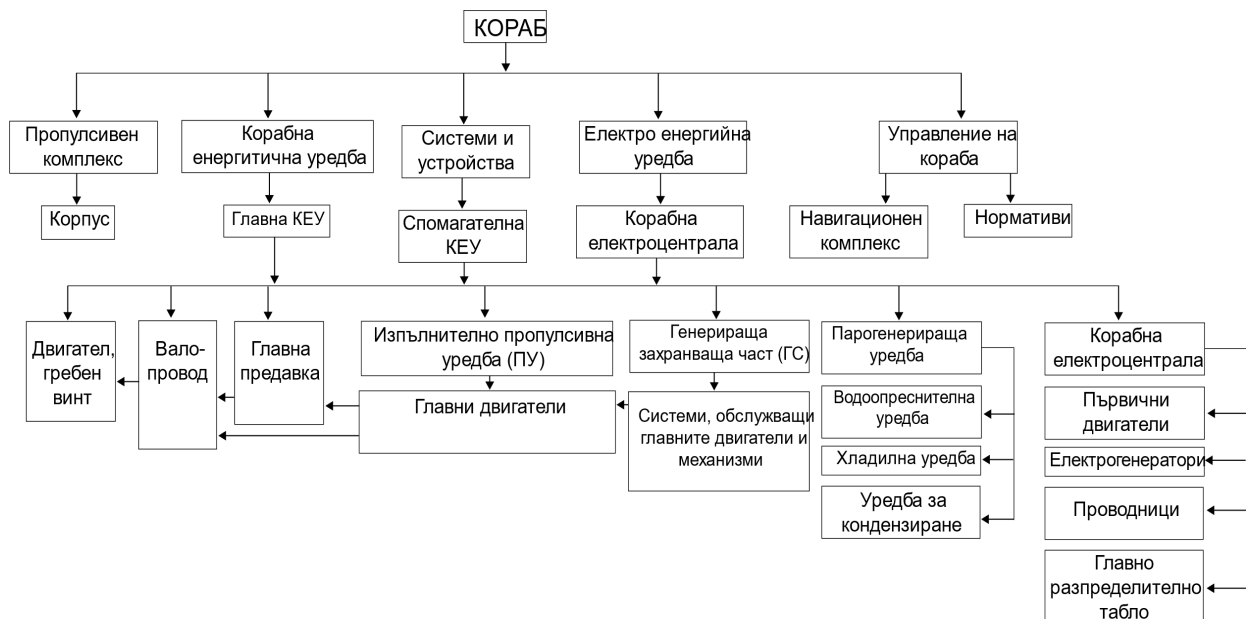
Като изхождаме от определението на БДС 31000.2011 (заб.4 от т.2.1), че рискът се изразява като комбинация от последствията от изследваното събитие (вкл. Промени в обстоятелствата) и от неговата възможност (вероятност, правдоподобност) т.е.

$$R = P \cdot C \quad (1)$$

следва да насочим усилията си към определяне на компонентите на функцията на риска. При това следва да се отчита многополярността на задачата, както по отношение на възможните алтернативи на средата (атмосфера, хидросфера, педосфера) така и по отношение на въздействащите събития (инциденти, произшествия, аварии, катастрофи). Това е една типична многопараметрична задача, изискваща познаването на функциите на възможностите и последствията във всеки конкретен случай [3,4].

### Определяне на възможностите за настъпване на събитията, включени в зависимостта за пресмятане на риска.

От гледна точка на условията за експлоатация, това е една задача от най-общ причинно-следствен или надеждностен характер. Като приемаме, че морската транспортна система се отъждествява от кораба като техническо средство, ще търсим причините и влиянието на различните процеси, влияещи върху загубата на надеждност-естествени процеси на стареене, внезапни колизии, грешки в проектирането, изработването или ремонта, човешки грешки от управленчески тип, неспазване на конвенции и т.н. От тази гледна точка приемаме следната схема и структура на управление, генериране и консумация на енергия (фиг.1)



Фиг.1 Структура на управление, генериране и консумация

Като отчитаме представените на фиг.1 функционални възли и енергийните и материални връзки между тях, приемаме следната схема за причинно-следствена надеждностна оценка на основната транспортна единица:

Определяне на вероятностните надеждностни характеристики (функции на възможностите)		
1. Корабна енергитична уредба		
Главен двигател	Спомагателни двигатели	Системи и механизми
2. Пропулсивен комплекс		
Корпус	Валопровод и гребен винт	
3. Нарушения на технологиите за превоз на товари		
4. Неспазване на международни конвенции и регламенти		

*Фиг.2 Схема за анализ на вероятностите на потенциалните инциденти и опасности*

Методите на класическата теория на надеждността се основават на математическата статистика, с помощта на която се решава следният кръг от задачи [1].

Определяне на теоретичните закони на разпределение по статистически данни. В теорията са известни и се използват в практиката следните закони – експлоатационен, отрязано-нормален, логаритмично-нормален, гама разпределение, закон на Вейбул.

Проверка на подобие (съгласие) между теоретичните закономерности и експерименталните данни и избор на най-добре съгласуващия се закон.

**Определяне на числените стойности на основните надеждностни характеристики, съгласно изискванията на БДС 31000.204.**

В решаваната от нас задача, тази многостъпална и математически нелесна процедура е ненужно и излишно усложняване. Още повече, че съществена част от схемата (особено в т.3 и т.4) не се подчинява на надеждностните характеристики, а има по-скоро причинно-следствен характер. Поради това, за статистическа оценка на възможността за настъпване на опасната ситуация ще използваме стойността на статистическата функция на разпределение.

$$F=100 Ni/N, \quad (2)$$

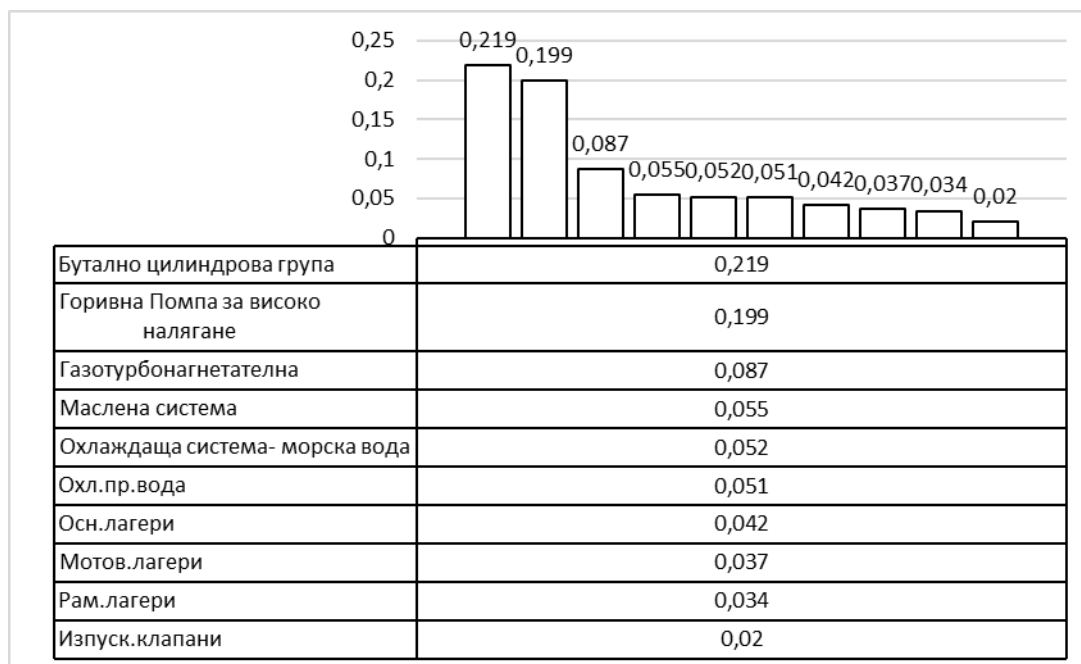
където  $Ni$  – брой на събитията довели до аварийна ситуация от оценявания тип

$N$  – общ брой на събитията в изследваната група

### Анализ на инцидентите и вероятностите за аварийни ситуации в корабните енергитични уредби (КЕУ)

В конкретно поставената цел като първостепенна начална задача е предварителното определяне на състава на структурните елементи на КЕУ, който може да е причинител на най-съществените поражения върху живота на хората, околната среда и техническите средства. Известно е, че такава информация може да бъде получена с помощта на статистическите изследвания от експертен или надеждностен вид. Такива изследвания за целите на техническата диагностика са публикувани в (А.Недев. Диагностика и управление на техническата експлоатация на КЕУ.2019г.2) [1].

На фиг.3. са представени резултатите от експертно определяне на значимостта на възлите и детайлите на корабните двигатели с вътрешно горене, с цел включването им в една система за техническа диагностика.



Фиг.3. Значимост на елементите на КЕУ по експертен метод

В табл.1 са представени данни за интензивността на отказите ( $\lambda$ ) и експертните оценки на функционалната значимост ( $K_{зн}$ ) на основните възли на корабната енергитична уредба на една от сериите български кораби (Табл. 4.8. с.85).

Интензивност на отказите и значимост на възлите

Табл.1

№	Наименование на възела	$\lambda$ .10 <sup>3</sup>	$T=hK_{зн}$ .10 <sup>3</sup>	№	Наименование на възела	$\lambda$ .10 <sup>3</sup>	$T=hK_{зн}$ .10 <sup>3</sup>
1	Цилиндрови глави ДГ	0,257	3,9	17	Въздушни компресори	0,282	0,9
2	Дюзи ДГ	0,796	3,6	18	Охладителни помпи прясна вода	0,382	0,7
3	ГПВН ДГ	0,242	3,9	19	Водоохладители	0,642	2,5
4	Лагери ДГ	0,255	3,9	20	Охладителна помпа морска вода	0,518	0,5
5	Разпределителен вал ДГ	0,495	0,67	21	Охладителни на дюзите	0,087	2,7
6	Регулатор ДГ	0,373	0,67	22	Циркулационни маслени помпи	0,022	1,3
7	Помпа МВ за ДГ	0,278	0,91	23	Маслени сепаратори	0,313	0,85
8	Изпускателни клапани ГД	0,455	1,1	24	Маслени филтри	0,752	2,5
9	Дюзи ГД	0,668	1,1	25	Маслоохладители	0,045	2,7
10	Гор.тр.ВН ГД	0,548	1,1	26	Горивни филтри	0,117	2,7
11	ГПВН ГД	0,202	1,1	27	Горивоподкачващи помпи	0,031	1,3
12	Пускови клапани ГД	0,431	1,1	28	Горивни сепаратори	0,463	0,6
13	Индикатори кранове ГД	0,304	1,1	29	Лубрикаторна система	0,018	1,3
14	Лагери ГТН ГД	0,366	2,6	30	Тръбопроводи и арматури	0,079	1,3
15	Маслени помпи ГД	0,327	2,6	31	Валопровод	0,071	1,3
16	Въздухоохладители ГД	0,412	2,6	32	Гребен винт	0,004	1,3

Тези изследвания [1,2] са правени с други цели, поради което непосредственото им използване за анализ и оценка на риска е невъзможно. Поради това ние се насочваме към първоизточника на тези изследвания, подробно изложени в [5], за да приведем резултатите във вид удобен за анализ на риска.

В Гл.VIII на тази книга (стр.115-135) са приведени резултатите от изследване на надеждностните характеристики на главните (6 ДКРН 67/140-4) и спомагателни (5AL.25/30) двигатели на една серия от 10 български кораба. Изследванията са

проведени по схема, препоръчвана от класификационните организации, като статистическата обработка на данните е извършена върху два самостоятелни масива от данни: за главни и спомагателни двигатели. Това разделяне, независимо от еднаквите наименования на възлите, е прието поради различните условия на работа и различното влияние върху общата надеждност на двата вида двигатели.

### Анализ на надеждността на главните двигатели

В изпълнената от нас схема за надеждностен анализ на главните двигатели на корабите от изследваната серия са пресметнати статистически оценки на характеристиките на следните елементи, чиито откази са източник на потенциални опасности:

- авариен стоп на главен двигател за отстраняване на откази на обслужващите системи, механизми и предавки;
- опасности, предизвикани от неизправности в изпускателните клапани;
- опасности, предизвикани от неизправности в горивоподаващите дюзи;
- опасности, предизвикани от неизправности в горивните тръби за високо налягане;
- опасности, предизвикани от неизправности на горивните помпи за високо налягане;

За всеки от тези инциденти (опасности) са получени броя на отказите ( $n$ ), средното време за работа на елемента до отказ  $T_{cp}$  (h), сумарното време за работа между отказите  $T_{сум}$  (h), и функцията на разпределение (честота на отказите, причина за аварийни ситуации)  $F_{ав}$  (табл.2).

Надеждностни показатели – главни двигатели

Табл.2

Показатели/инцидент	Брой откази (n)	Средно време за работа до отказ $T_{cp}$ (h)	Сумарно време на работа между отказите $T_{сум}$ (h)	Функция на разпределение $F=100\frac{N_i}{N}$ %
1.1 Аварийен стоп	129	492	6274	30,9
1.2 Изпускателен клапан	134	475	5553	32,1
1.3 Дюзи	61	752	4690	14,6
1.4 Тръби високо налягане	54	636	3870	12,9
1.5 Горивни помпи	39	618	4480	9,4

### Анализ на надеждността на спомагателните двигатели

В табл.3 са представени статистическите оценки на надеждността на спомагателните двигатели на корабите от същата серия. При обработката на сводните ведомости на данните от групата на спомагателните двигатели са добавени още две ситуации:

- опасности, предизвикани от неизправности в системата „бутало-бутални пръстени“;
- опасности, предизвикани от неизправности в мотовилковите лагери.

Надеждностни показатели – спомагателни двигатели

Табл.3

Показатели/инцидент	Брой откази (n)	Средно време за работа до отказ $T_{cp}$ (h)	Сумарно време на работа между отказите $T_{сум}$ (h)	Функция на разпределение $F=100\frac{N_i}{N}$ %
2.1 Аварийен стоп	53	461	5872	26
2.2 Горивни помпи високо налягане	40	472	5547	20
2.3 Дюзни	65	429	6197	32
2.4 Тръби високо налягане	20	681	4467	10
2.5 Бутало с бутални пръстени	17	710	4780	9
2.6 Мотовилкови лагери	7	944	6640	4

Стойностите на функциите на разпределение в последните колони на таблиците, които като компоненти на функцията на възможностите за аварии показват преобладаващо влияние на аварийните стопове и неизправностите на изпускателните клапани при главните и на горивните помпи при спомагателните двигатели.

### Опасности, свързани с техническото състояние на корабния пропульсивен комплекс

Като се следва общата схема на фиг.1 и 2 към групата от опасностите, свързани с пропульсивния комплекс се отнасят неизправностите на комплекса „корпус-гребен винт“. Особено значение при изследването на надеждността на корабните корпуси, освен изучаването на износванията, деформациите и други постепенно развиващи се дефекти заемат и дейностите по изясняване на причините, честотите и последиците на сериозни повреди и разрушения на конструкциите като индикатори за усъвършенстване

на нормативите, получаването на нови знания и развитие на методологията за строеж на нови кораби.

Сведения за аварии и катастрофални произшествия са малко достъпни, поради нежеланието на корабособствениците и корабостроителните фирми да дават гласност за това. Сравнително достъпни са сведения за незначителни инциденти, които често се изясняват в стадия на изучаване на тяхната якост и устойчивост или при катастрофи, които са били публикувани в средствата за масова информация или след намеса на администрациите на порта или флага [12].

В процеса на решаването на задачата, която сме си поставили са използвани всички достъпни източници на информация. В работите на Г.В.Егоров [9,10,11] и в още над 70 негови труда, които тук не са цитирани поради липса на място, са представени изключително подробни данни за надеждността на един клас от кораби, създаващи сериозни проблеми на своите собственици в последните години. Става дума за корабите за вътрешен, ограничен и смесен район на плаване (КОСРП), които след конверсията на вътрешния флот в Русия разшириха експлоатацията си в районите на Средиземно море, Атлантика и Пасифика.

Несъответствията между първоначално предназначените и новите условия на плаване, а така също и некомпетентното управление от новите корабособственици бяха причина за големия брой на инцидентите с тези кораби. Анализът на посочените трудове на проф.Егоров послужи като основа за създаването на една първоначална база от данни за опасности и аварийни произшествия.

Тази база беше систематично допълвана с данни за инциденти на танкери и химикаловози [19], като в тях се включваха както съобщения за опасности от надеждностен характер на корабите [16,17], така и сведения за нарушени екологични изисквания- нефтени разливи [8,18,19], емисии от въглероден и серни оксиди [21,22].

Тук отбелязваме, че след влизането в сила от 01.01.2016г. на изискванията към системите за инертен газ на танкерите и химикаловозите [21] настъпиха съществени промени в политиката на корабособствениците както следва:

**Бракувани химикаловози:**

2017г : 25бр. с общ тонаж 190,876т – среден тонаж 7,635т.

2018г : 49бр. с общ тонаж 232,960т – среден тонаж 4,754т.



### **Нови доставки на химикаловози:**

2018г : 84бр. с общ тонаж 1545,807т – среден тонаж 18,402т.

2019г : 58бр. с общ тонаж 1212,200т – среден тонаж 20,900т.

2020г : 21бр. с общ тонаж 471,600т – среден тонаж 22,457т.

Като източник на информация за произшествия и опасности от екологичен характер на контейнеровози са използвани съобщенията от мрежата за предупреждения и рапортуване на морските лица към Морския институт в Лондон (MAPS) [20], комитета МЕРС и дисертационния труд [14].

В общата база от данни са включени 92 аварийни ситуации с екологични последици класифицирани по петобална скала за оценка на тежестта на аварията. Избрани примери от тази база наречена „Идентификация и последствия от опасностите“ са представени в табл.4, където степента на пряко влияние на опасностите върху околната среда е тристепенна.

След пресмятането на статистическите честоти  $F_i$  (форм.2) по алгоритъма илюстриран в табл.4 са нанесени стойностите на функцията на разпределение за всички опасности от екологичен характер. Скалата на тежестта на последствията е 5-степенна.

В представените в таблицата избрани случаи, коефициента на тежест на последствията при ситуации 1,2,3,4,5,7 са с оценка 5, защото корабите са потънали и са придружени с жертви и екощети, а ситуация 6 е с оценка 4 поради големите разходи по спасяване на кораба. Така получените вероятностни оценки на всяка от опасностите в разгледаните аварийни и катастрофални ситуации са нанесени в табл.5

**Идентификация и последствия от опасностите във вид удобен за следващите пресмятания на риска.**



## Идентификация на опасностите (екоцети)

Табл. 5

№	Опасности	Fab%	№	Опасности	Fab%	№	Опасности	Fab%
1	<b>Техническо състояние на корпуса и системите</b>	<b>197,5</b>	2.6	Неприлагане на система за инертиране на товарни танкове на химикаловози SOLAS.Ch 2-2	59	4.2	Изпускателни клапани (CO2)	32,1
1.1	Несъответствие на технологиите и конструкциите към условията на плаване с опасност от загуба на кораба	69	2.7	Нарушение на технологиите за миене на карго танковете и операции на освобождаване от газ	54	4.3	Горивоподаващи дюзи (CO2)	14,6
1.2	Пропусък на вода през обшивките и дъното	34	<b>3</b>	<b>Опасности от действия на корабособственика, бреговите оператори и екипажа</b>	<b>334,1</b>	4.4	Тръби високо налягане	12,9
1.3	Нарушения на ремонтните технологии	15,5	3.1	Нарушени инструкции при баластиране на море	8,5	4.5	Горивни помпи високо налягане (емисии CO2)	9,4
1.4	Пропусък на дефекти при дефектация на корпуса	25,4	3.2	Нарушение на ограничения по района и сезона на плаване и вида на товара със загуба на кораба	33,2	5	<b>Опасности при неизправности на спомагателни двигатели</b>	<b>104</b>
1.5	Грешки при проектиране	21,2	3.3	Навигационни грешки	29,7	5.1	Аварийен стоп	26
1.6	Неизпълняване на изискванията на Международната конвенция по товарната марка	32,4	3.4	Грешна прогноза	44,5	5.2	Горивоподаващи помпи високо налягане (емисии CO2)	20
2	<b>Опасности свързани с нарушения на технологиите за превоз на товари</b>	<b>269,2</b>	3.5	Претоварване на кораба със загуба на кораба	29	5.3	Горивоподаващи дюзи (CO2)	32
2.1	Превоз на метални отпадъци	25,4	3.6	Претоварени контейнери със загуба на кораба	57,5	5.4	Тръби високо налягане	10
2.2	Превоз на взривоопасни товари	7,1	3.7	Смяна на корабособственика	65	5.5	Бутало с бутални пръстени (CO2)	9
2.3	Използване на грайфери и булдозери при товарни операции	64,8	3.8	Работа със сернисти горива без скубер (екоцета)	66	5.6	Мотовилкови лагери	7
2.4	Нарушение на инструкцията за товарене и разтоварване	9,9	4	<b>Опасности при неизправности на главния двигател</b>	<b>99,9</b>	6	<b>Високи стойности на коефициента на енергийна и екологична ефективност емисии (CO2)</b>	<b>64</b>
2.5	Нарушаване на инструкцията за закрепване на товара (контейнери)	57	4.1	Аварийен стоп	30,9			

## Заклучение

Анализът на получените резултати показва, че най-съществените носители на екощети са опасностите (признаци), свързани с човешкия фактор – корабособственици, брегови оператори и екипажи. На второ място се нареждат опасностите, свързани с неизпълнението или частичното изпълнение на изискванията на международни конвенции и правила. Прави впечатление наличието на екологични щети, които не са свързани с конкретни аварийни ситуации, но са следствие на вида и качествата на използваното гориво, със значителни изменения на режима на работа или с недобро техническо състояние на елементите на главния пропульсивен комплекс - двигател, винт, корпус.

## Литература

1. Недев А., Диагностика и управление на техническата експлоатация на корабни енергетични уредби. И.К.Геа-Принт-Варна 2019г. 445с.
2. Недев А., Разпознаване диагностика, управление.И.К.Геа-Принт-Варна 2020г. 351с.
3. Недев А., Р. Атанасов, А. Чакър, С.Сезгин. Анализ на пречупването на кораб с ограничен и смесен район на плаване на база на едномерни статистически методи за разпознаване, Е-журнал, ВСУ“Ч.Храбър“, бр.17, 2022
4. Недев А., Р. Атанасов, А. Чакър, С.Сезгин. Минимизация на риска при експлоатация на кораби с ограничен и смесен район на плаване, Е-журнал, ВСУ“Ч.Храбър“, бр.17, 2022
5. Недев А., Вл. Димов, Д. Кънев и др. Надеждност и диагностика на топлоенергетичните и транспортни машини. МАЛЕО-63. Варна, 2005г. 412с.
6. Аксютин Л.Р., Груз и судно. Человек, море, техника. Судостроение 1988г. Вип 5, 274-287с
7. Бойцов Г.В. Оценка эффективности подрепленио корпусов танкеров для снятия вероятности анализа экологически опасных грузов при их столкновении с другими судами. Тр.НТК ПОСНК.ЦНИИ. А.Н.Крылова 2001г. 18-21с
8. Милев Д. Повишаване на ефективността при борбата с нефтени разливи. Дисертация, ВВМУ 2022 г. 174с.

9. Егоров Г.В. Основные факторы, влияющие на надежность корпусов судов ограниченного района плавания, сб.науч.тр. БГАРФ. Калининград, 1998. Вип 27. 73-80с.
10. Егоров Г.В. Особенности технической эксплуатации корпусов судов смежанного плавания. ОДМУ, 2000г. Вип 5, 83-95с.
11. Егоров Г.В. Проектирование судов ограниченных районов плавания на основании теории риска. Судостроение С. Петербург 2007г. 383с.
12. Мандрик В.В., С.Ю. Неклюдов, Компьютерная система учета и анализа аварийных случаев с судами. Развитие морского судоходства. ТР.ЦНИИМФ-Спб:ЦНИИМФ, 2001г. - 154-172с
13. Сезгин С., Система за оптимално планиране и управление на техническото обслужване на кораба тип река-море. Дисертация.ТУ-Варна 1997г.
14. Велинов Св., Възможности за повишаване на безопасността на контейнерните превози по море. Дисертация. ВВМУ. 2018г. 186с.
15. Т. Коритаров. Критерии за подобряване на ефективността на корабоплаването. Дисертация. ВВМУ, 2017г.
16. <https://www.icis.com/explore/resources/news/2004/06/02/562329/bow-mariner-chemical-tanker-disaster> - общи изисквания за танкери
17. <https://www.maritimenz.govt.nz/content/commercial/safety/accidents-reporting/accident-reports/documents/Perla-043523-mnz-accident-report2004.pdf> - взривове в химикаловози при товарене, специфични изисквания за химикаловози
18. IPIECA. Dispersants: surface, application. Good practice guidelines for incident management and emergency response personel.2015
19. IS GOTТ. International Safety Guide for Oil Tankers and Terminals
20. MARS Mariners Alerting and Reporting Scheme
21. SOLAS Ch-2, IBC код и FSS код Ch. 15
22. The Environmental Effect of Freight. Organization for economic Co-operation and Development. France 2012