

ПРЕДИМСТВА И НЕДОСТАТЪЦИ НА СИСТЕМИТЕ ЗА ПРЕЧИСТВАНЕ НА ОТРАБОТЕНИ ГАЗОВЕ ОТ КОРАБИТЕ

Белора Димитрова Петрова

Висше военноморско училище „Н. Й. Вапцаров“

Резюме: Съвременната технологична еволюция, загрижеността на правителствата относно опазването на околната среда и разрастването на корабите по размер накара корабособствениците да търсят различни алтернативи за справяне с новите все по-строги изисквания относно опазването на околната среда от кораби и в частност намаляване на серните и азотни оксиди в отработените газове от корабите.

Използването на системи за пречистване на отработените газове, известни също като скрубери, на корабите като алтернатива на преминаването към по-чисто гориво с ниско съдържание на сяра, е изключително обсъждан въпрос, откакто по-строгите глобални разпоредби за съдържанието на сяра в корабното гориво бяха приети от Международната морска организация (ИМО) в конвенцията MARPOL Annex VI.

В настоящата статия, в резултат на обзор на изследвания и становища на различни автори, се изяснява същността на системите за пречистване на отработените газове на кораби и предизвикателствата, свързани с тяхно използване. Коментират се някои от предимствата и недостатъците им като алтернативен начин за покриване на изискванията относно съдържанието на сяра в отработените газове от корабите.

Ключови думи: системи за пречистване на отработени газове, гориво, серни оксиди, корабоплаване, замърсяване, скрубер, околна среда

ADVANTAGES AND DISADVANTAGES OF SHIPS EXHAUST GAS CLEANING SYSTEMS (EGCS)

Belora Dimitrova Petrova

Nikola Vaptsarov Naval Academy

***Abstract:** The modern technological evolution, the government environmental concern and the ships' growth push the ship owners research to meet the strict anti-pollution requirements, in particular decreasing ships exhaust gases sulfur and nitrogen oxides.*

The use of exhaust gas cleaning systems, known as scrubbers, onboard ships like alternative for transition to cleaner low sulfur fuel, has been extremely discussed since the adoption of the global requirements in the Convention MARPOL Annex VI by the IMO (International Maritime Organization).

As a result of different author analysis overview, the ships exhaust gas cleaning system challenges use are clarified. The advantages and disadvantages of their implementation are pointed, as well as the compliance to the international regulations.

***Keywords:** exhaust gas cleaning systems, fuel, sulfur oxide, navigation, pollution, scrubber, environment*

1. Въведение

Опазването на околната среда е сериозен и задълбочен световен проблем, с който редица правителства и неправителствени организации се борят. Налагането на строги мерки, изисквания и санкции за тяхното неспазване са част от инструментите за преодоляване предизвикателствата, свързани с опазване на морската околна среда и повишаване безопасността на корабоплаването (Conev, 2024). Иновациите, засягащи споменатите области, са от решаващо значение за съвременната морска индустрия (Velinov, 2013; Conev, Milev, 2023). Приблизително 90% от световната търговия се осъществява по море (Димитракиева, Костадинов, 2021). Тенденциите в корабоплаването са корабите да стават все по-големи, все по-натоварени, което спомага за задълбочаването на проблема с опазването на околната среда, в частност проблемът с отработените газове от корабите (Esaulova et al. 2019). Новите правила, отнасящи се до ограничението на SO_x емисиите, са въведени от следните органи:

- Международна морска организация – Комитет по опазване на морската среда IMO MEPC.340 (77);
- Европейски съюз – Директивана ЕС за съдържанието на сяра EU Sulphur Directive;
- Агенция за защита на околната среда на САЩ – EPA VGP 2013 (Environment Protection Agency Vessel General Permit).

До 2012г. на корабите бе позволено да изгарят гориво със съдържание на сяра 4.5%. До 2020г. процентът бе понижен на 3.5%. След 2020г. се въведоха много по-строги мерки, които наложиха изискването съдържанието на сяра в горивото да е под 0.5%. Тези ограничения за съдържанието на сяра извън зоните за контрол на емисиите на серни оксиди или така наречените GLOBALECA (Emission Control Area) са приложими за всички кораби, навсякъде по света.

За корабите, опериращи в райони с контролирано изпускане на вредни емисии ECA, ограниченията са много по-строги. До 2010г. на корабите бе позволено да изгарят гориво със съдържание на сяра до 1.5%. След 2010г. тази стойност пада до 1%. След 2015г. стойността вече е 0.1%. Това означава, че понастоящем ограниченията за съдържание на сяра в горивата са, както следва:

- 0.5% при опериране в GLOBAL ECA;
- 0.1% при опериране в ECA.



Фиг. 1 Сравнение на съдържанието на сяра в ECA и GLOBAL ECA

Всяко гориво, което е със съдържание на сяра по-ниско от 0.1% се нарича ECA съответстващо гориво (ECA Compliant Fuel). Всяко гориво, което е със съдържание на сяра между 0.1%- 0.5% се нарича несъответстващо (ECA Non-Compliant Fuel). Типичният газьол (Marine Gas oil - MGO) е съответстващо гориво, а тежкото корабно гориво (Heavy Fuel oil - HFO) - несъответстващо.

Корабните оператори разполагат с различни опции за постигане на тези ограничения на сярата:

- Използване на съответстващо гориво с по-ниско съдържание на сяра, т.е. със съдържание на сяра, по-ниско от задължителните гранични стойности (< 0,5%);
- Използване на система за пречистване на отработените газове (Exhaust Gas Cleaning System – EGCS), която намалява емисиите на серен диоксид (SO₂) до нива, които са по-ниски от тези, получени при използване на съвместими горива (EGCS или скруббер);
- Използване на dual-fuel система или алтернативно гориво с ниско или нулево съдържание на сяра, като втечен природен газ (LNG), втечен биогаз (LBG) или метанол.

За корабите, които през повечето време оперират в ECAs, разходите за газьол надвишават разходите за инсталиране и използване на EGCS, за това системите са предпочитани.

2. Общ преглед на системата за пречистване на отработени газове от корабите (EGCS)

Скруберите (Scrubbers) са системи за пречистване на отработените газове, които позволяват на корабите да продължат да изгарят гориво с високо съдържание на сяра (до 3,5%).

Скруберите са общо класифицирани в три типа. Скруберите с отворен цикъл, които представляват повече от 80% от скрубърните инсталации, използват непрекъснат поток от морска вода, която се изхвърля в океана. Скруберите със затворен цикъл използват прясна вода, обработена с алкални химикали, и периодично изхвърлят по-малки обеми по-концентрирани отпадъци. Около 17% от скрубърите са хибридни системи, които могат да функционират в режим на отворен или затворен цикъл.

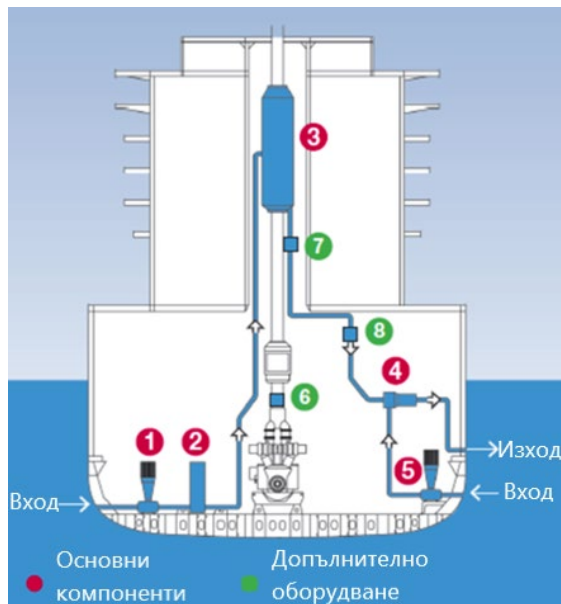
2.1. Главни компоненти на системата

Основни компоненти:

1. Помпа за морска вода с променлива честотана работа;
2. Филтър за морска вода;
3. Кула за отстраняване на серните оксиди - DeSO_x ;
4. Статичен миксер;
5. Помпа за разреждане с променлива честота на работа.

Допълнително оборудване:

6. Катализатор за сухо окисляване;
7. Контейнер за улавяне на газ;
8. Филтрираща система на промивната вода.



Фиг. 1. Структура на система за пречистване на отработени газове с отворен цикъл

Източник: <https://carnivalaaqs.com/how-they-work/>

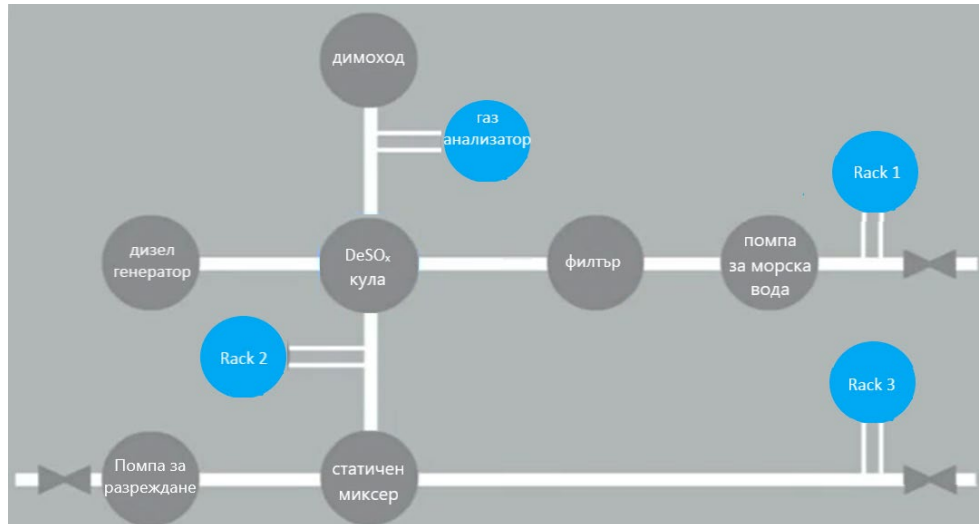
❖ Как действа системата?

Промивната вода влиза в системата през всмукателна помпа за морска вода с клапан в корпуса на кораба. Тя е основният източник на вода за DeSO_x кулата.

Между всмукателната помпа за морска вода и кулата за пречистване на отработените газове има филтър. Той е много фин и функцията му е да гарантира, че във водата, която отива в кулата, няма твърди частици, тъй като те могат да запушат дюзите, от които се впръсква водата в кулата. Водата от филтъра се отвежда директно в кулата за пречистване на отработените газове - DeSOx като минава по тръби (spray rails), които са оборудвани с впръскателни дюзи. Промивната вода се впръсква под формата на фина мъгла и се смесва с отработените газове. По този начин отработените газове се пречистват и охлаждаат от промивната вода. След процеса на пречистване, отработеният газ съдържа водна пара, която се улавя от демистер (demister), намиращ се на върха на кулата, и се отвежда в основата на кулата. На дъното на кулата има гъба, която попива цялата вода, която се впръсква, като по този начин предотвратява наводняване на двигателя. Цялата промивна вода се събира в основата на кулата и се отвежда на гравитационен принцип до статичния миксер. Някои кули са оборудвани с контактни тави за подобряване на абсорбцията на SOx. След този процес отпадната вода има по-ниска киселинност (pH). Статичният миксер буферира промивната вода с прясна морска вода като по този начин повишава нейната киселинност (pH) с цел да се спазят всички изисквания на разпоредбите за изхвърляне на промивна вода от скрубери. След това буферизираната вода се изхвърля зад борд. Буферната вода от статичния миксер се отвежда с помпа за буферизиране, която може да има свой клапан в корпуса на кораба.

2.2. Оборудване за наблюдение на съответствието с нормативните изисквания

- Точка 1 (Rack 1 – Sea Suction Rack) – точка при всмукателната помпа за морска вода
- Точка 2 (Rack 2 – DeSOx Outlet Rack) – точка при изхода на кулата за пречистване на отработените газове
- Точка 3 (Rack 3 – Overboard Discharge Rack) – точка при изхвърлянето на водата зад борд
- Точка 4 (Rack 4 – Gas Analyzer) – газов анализатор



Фиг.2 Позиции на точките за наблюдение

Когато системата за пречистване на отработени газове е включена, се изисква наблюдение в две области на системата:

- Системата за промивна вода;
- Отработените газове.

Тези точки се наблюдават посредством сензори със зададени параметри по нормативни изисквания, разположени по цялата система. Сензорите могат да се различават на различните кораби. Параметрите за съответствие на промивната вода и отработените газове се записват непрекъснато в бордови компютър (compliance computer), който обикновено се намира в пулта за управление на машинното отделение на кораба. Този компютър автоматично следи и контролира работата на системата за пречистване на отработените газове EGCS, което потвърждава съответствието на кораба с изискванията на регулативните органи по всяко време, когато системата е включена.

В обобщение, оборудването, което е необходимо за следене на съответните параметри са:

- Газ анализатор;
- РАН(Polycyclic Aromatic Hydrocarbons) - Полициклични ароматни въглеводородни сензори, инсталирани на Rack 1 и Rack 2;
- Сензори за мътност, инсталирани на Rack 1 и Rack 2;
- рН сензор, инсталиран на Rack 3.

3. Предимства на системите за пречистване на отработените газове EGCS

Тъй като корабните дизелови двигатели са фабрично произведени за тежко корабно гориво, те са по-малко ефективни с газьол, което води до отделянето на повече CO₂ за единица мощност в kW. Тежкото корабно гориво изисква по-малко рафиниране в сравнение с високо рафинирания газьол, което означава по-малко парникови газове, създадени по време на работа. Също така тежкото корабно гориво има по-висока температура на горене от газьола, което води до отделянето на по-малко азотни оксиди (NO_x) в морето. (Dachev, Milev 2022)

Корабите, които оперират със скруберни системи (EGCS) имат преимуществото да отстраняват сярата от горивото като я задържат да не бъде изпускана във въздуха, и я връщат в морето, което е основен резервоар на сяра в света. Крайният резултат от скруберните системи е, че серния диоксид (SO₂) се превръща във вода (H₂O), въглероден диоксид (CO₂) и сулфат (SO₄), съединения, които се срещат в изобилие в морската среда. (Dachev, Milev 2022)

Скруберните системи отговарят на международните изисквания, инспектират се от класификационните организации и се сертифицират от администрацията на флага на корабите. В допълнение, всички системи притежават оборудване за непрекъснат мониторинг и автоматично записване на всички необходими параметри. (<https://www.cleanshippingalliance2020.org/faq/>)

Скруберните системи гарантират, че корабите, които ги използват, са в съответствие с всички регламенти за опазване на околната среда, включително и регламентите на IMO 2020.

Чрез стриктните насоки на Комитета по опазване на морската среда (Marine Environment Protection Committee – MEPC), Международната морска организация изисква корабите да извършват мониторинг на емисиите във въздуха и водата за защита срещу въздействието на въздуха и водата върху околната среда:

- Върху всеки скрубер е инсталиран газ анализатор, който измерва и записва нивата на SO₂, които отделя двигателя, с което се осигурява непрекъснат мониторинг. Работата на скруберните системи непрекъснато се коригира чрез автоматизация, за да е винаги в допустимите граници за SO₂;

- Препоръките на МЕРС към ИМО изискват да се следят и записват данните за три параметъра на водата от скрубърните системи -рН, мътноста на водата и полициклични ароматни въглеводороди (РАН). Тези данни се събират от три места – на входа, след кулата и преди изхвърлянето - и е препоръчително да се съхранява на борда не по-малко от 18 месеца;
- ИМО насърчава периодичния мониторинг да изследва и допълнителни параметри с проби на място, използвайки мерителни техники, които са по-усъвършенствани от тези, които могат да бъдат постигнати по време на непрекъснатия мониторинг. (<https://carnivalaaqs.com/>)

Според редица проучвания (Fridell, Erik & Salo 2014), скрубърите на кораби, които използват тежко корабно гориво (HFO), премахват над 98% от серните оксиди от отработените газове, което води до по-ниски емисии на серни оксиди от тези на морския газол (MGO), който се счита за еталон за изискването на Международната морска организация ИМО за съдържането на сяра под 0,5%, въведено от 01.01.2020 г. Като резултат, скрубърите са одобрен метод за съответствие с изискванията за съдържание на сяра на Международната морска организация (ИМО), Европейския съюз (EU) и Агенцията за опазване на околната среда на САЩ (EPA).

4. Недостатъци на системите за пречистване на отработените газове EGCS

4.1. Подкисляване на морската вода и последиците върху дивата природа

Посочван като най-сериозен недостатък на системите за пречистване на отработени газове е опасението, че промивните води, които биват изхвърляни в морето, замърсяват морската среда. (https://wwf.ca/stories/scrubbers-creates-new-pollution/?fbclid=IwAR0PiZf3DBFrUzVboOiGHYJzOlcR1RzHYg_gjqM2w7k90VHQtwvNXQ_pubQ)

Замърсяването не изчезва, а просто се прехвърля от въздуха във водата. Редица неправителствени природозащитни организации правят опити и проучвания да докажат тази теза. Доклад, поръчан от WWF-Канада, установява, че само 30 кораба, оборудвани със скрубери, са отговорни за изхвърлянето на 35 милиона тона - или еквивалента на 14

000 олимпийски басейна - промивни води край бреговете на Британска Колумбия през 2017г. (<https://wwf.ca/report/killer-whale-habitat-consulting-paper-2019/>)

Киселинните условия затрудняват калциращите морски животни да растат и поддържат скелети и черупки, включително микроскопични калциращи водорасли, които формират основата на морската хранителна верига. Киселинните условия също засягат рибите, които изразходват допълнителна енергия, за да регулират рН на тялото си, което може да забави растежа, да повлияе на възпроизводството и да намали способността им да се борят с болести и да бягат от хищници. (<https://ocean.si.edu/ocean-life/invertebrates/ocean-acidification#:~:text=While%20fish%20don't%20have,blood%2C%20a%20condition%20called%20acidosis.&text=It%20can%20also%20slow%20fishes%20growth>)

На свой ред морските бозайници и хората могат да се сблъскат с намаляващи запаси от диви животни. Киселинните условия могат също да освободят токсични метали, които обикновено са свързани със седименти, повишавайки вероятността от навлизане в морската хранителна верига и осигурявайки път към излагане на хората. (https://www.researchgate.net/publication/321723195_Scoping_report_on_the_potential_impact_of_on-board_desulphurisation_on_the_water_quality_in_SOx_Emission_Control)

Силните киселини в промивните води от скрубера също намаляват способността на океана да регулира глобалния въглероден цикъл - един от най-големите естествени буфери срещу изменението на климата. Скорошно проучване на модела предполага, че за всеки тон серен диоксид, инжектиран в океана от скрубери, океанът няма да може да абсорбира половин тон CO₂.

Други автори са стигнали до подобни заключения. (Turner, Edman, Gallego-Urrea 2018) Това означава, че не само океаните ще продължат да се подкиселяват, но и че скоростта на глобалното изменение на климата може да се ускори, ако употребата на скрубери продължи.

4.2. Недостатъци, свързани с конструкцията и експлоатацията на EGCS на кораба

➤ Пожар по време на оборудване със скрубер

Изпълнителният директор по предотвратяване на загуби Сидхарт Махаджан на Международната компания за управление на риска -Gard пише за рисковете от пожарни

инциденти, произтичащи от недостатъци в процедурите за безопасност при заваръчни дейности. Те не са уникални за скрубберите и могат да възникнат на всяко място на борда на кораб, където се извършват заваръчни работи, рязане или шлайфане. Рисковете от пожар могат да бъдат смекчени чрез спазване на процедурите за безопасност при такъв тип работа. Оценките на риска, извършени преди работата, трябва да обхващат частите от скрубберите, които са запалими. Те трябва да бъдат защитени по време на заваръчни дейности, като се покрият всички отвори, за да се предотврати попадането на искри в тези части. Трябва също така да се въведат мерки за предотвратяване на преноса на топлина, генерирана по време на рязане на метал, заваряване, шлайфане и други дейности. (<https://www.gard.no/web/updates/content/28519122/learning-as-we-go-challenges-with-the-use-of-exhaust-gas-scrubbers>)

➤ **Проникване на морска вода поради корозия**

Отпадъците от скрубера са корозивни. Gardca идентифицирали няколко инцидента, при които в рамките на 10 до 15 месеца след инсталирането на скруббер с отворен цикъл корозията понай-отдалечените части на задбордната тръба или в непосредствена близост до нея е довела до проникване на вода в зони като машинното отделение, баластни танкове и хамбари.

Липсата или лошото нанасяне на защитни покрития от вътрешната страна на тръбата и при заваръчните шевове, заедно с лошото нанасяне на боята върху обшивката на корпуса близо до изпускането на промивната вода, са били идентифицирани от компанията като причини за ускорена корозия. (<https://www.gard.no/web/updates/content/28519122/learning-as-we-go-challenges-with-the-use-of-exhaust-gas-scrubbers>)

➤ **Повреда поради лоша изработка и термичен удар**

Когато работи, скрубберът е подложен на различни видове натоварвания, които тестват качеството на заваряването и конструкцията на корпуса. Сидхарт Махаджан пише за случай, при който кораб редовно е търгувал в Северна Европа с инсталиран скруббер с отворен цикъл. В случая е трябвало да премине към гориво с ниско съдържание на сяра, когато посещава пристанище, което има разпоредби, забраняващи изхвърлянето на промивни води от скрубери с отворен цикъл. Все още е било необходимо скрубберът да работи в сух режим, т.е. с изключени помпи за подаване на промивна вода, за да се позволи преминаването на горещи отработени газове с температура от близо 400°C.

След напускане на пристанището помпите за промивна вода са били пуснати и студената морска вода севпръсква през дюзите вътре в скрубера, което довело до термичен удар. По време на инспекция на скрубера от екипажа, били забелязани повреди по дюзите, корпуса на капака и дренажите. (<https://www.gard.no/web/updates/content/28519122/learning-as-we-go-challenges-with-the-use-of-exhaust-gas-scrubbers>)

➤ Други недостатъци, свързани с експлоатацията на скрубери

Според разпоредбите на EPA VGP 2013, които засягат плаването във водипод юрисдикцията на САЩ, в частта за Стандартите за изпускане на промивни води от скрубер за отработени газове, изхвърлянето на промивни води от системата за пречистване на отработените газове трябва да има рН не по-малко от 6,0, измерено при изхвърлянето зад борда на кораба. Ако корабното гориво е с по-високо съдържание на сяра, EGCS или скрубера не може да преработи отработените газове, тоест не могат да се постигнат нива на съдържание на сяра в отработените газове достатъчно да се покрият изискванията на VGP (Vessel General Permit) за опазване на околната среда. В такъв случай скрубера не се използва, когато се преминава през линията на трите морски мили, измерена от базовата линия на териториалното море на САЩ (3 nm) и се минава на дизел.

Заклучение

От проведеното проучване могат да се направят следните изводи:

- ✓ В практиката и теорията на корабоплаването няма единно мнение относно използването на системите за пречистване на отработени газове;
- ✓ Посочени са основните принципи и регулативни изисквания, на които трябва да отговарят системите за пречистване на отработени газове;
- ✓ Направен е кратък обзор на устройството и действието на системите за пречистване на отработени газове;
- ✓ Идентифицирани са най-често срещаните проблеми, възникващи в процеса на експлоатация на скрубери и начините за тяхното предотвратяване;

✓ Технологията за оборудване на корабите със скрубери и тяхната експлоатация непрекъснато се развива и усъвършенства. Някои корабни компании, предимно в круизната индустрия, са вложили иновации в устройството и експлоатацията на скрубери, с което декларират отговорно отношение към опазването на околната среда;

✓ Въпреки посочените недостатъци на системите за пречистване на отработени газове от корабите, те остават предпочитан метод за покриване на изискванията и разпоредбите за опазване на околната среда. Скруберите са се доказали във времето като работещ и ефективен начин за борба с последиците от изгорелите газове от кораби.

Използвана литература:

1. Димитракиева Светлана, Костадинов Огнян, ИНДЕКС НА ТЪРСЕНЕТО (SDI) В МОРСКИТЕ ПРЕВОЗИ. КОРЕКТИВНИ ФУНКЦИИ НА ИНДЕКСА НА ТЪРСЕНЕТО КЪМ ДРУГИТЕ ИНДЕКСИ ВЪВ ВОДНИЯ ТРАНСПОРТ. МНОГОПОЛЯРНОСТ НА ФРАХТОВИЯ ПАЗАР, e-Journal Варненски свободен университет /VFU/, бр 14, 2021, ISSN 1313-7514

2. Conev Ivan, Milev Dobrin, Introducing vacuum mooring to improve maritime safety, 62nd Annual Science Conference of Ruse University, New industries, Digital Economy, Society – Projections of the Future VI, 27-28th of October 2023, ISSN 1311-3321 (print) ISSN 2603-4123 (on-line)

3. Conev Ivan, Lowering port emissions through shore-to-ship electric power supply. Варненски свободен университет, Морско право и индустрия, Брой 2 / 2024, ISSN: 2815-5130 (Electronic). Available at: <https://maritime.vfu.bg/tekusht-broi.php>

4. EPA VGP 2013

5. ESAULOVA I.A., MOLODCHIK A.V., KOMAROV S.V. & DIMITRAKIEV, D., 2019. Mehanizmi i formii samoorganizatsii i samorazvitia. Perm: Izd-vo Perm. nats. issled. politehn. un-ta. ISBN 978-5-398-02105-9. (In Russian).

6. Dachev, Y., Milev, D. Oil Spill Response Net Environmental Benefit Analysis Dispersant Use, *Oceanography&Fisheries Open Access journal*, Volume 14, Issue 5, April 2022, ISSN: 2476-0536, DOI:10.19080/OFOAJ.2022.14.555897
7. Dachev, Y., Milev, D. Oil Spills Weathering, *Annals of Reviews & Research, Access Journal*, Volume 8, Issue 1, December 2022, California, USA, ISSN: 2641-8320, DOI:10.19080/ARR.2022.08.555730
8. Fridell, Erik & Salo, Kent. (2014). Measurements of Abatement of Particles and Exhaust Gases in a Marine Gas Scrubber. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part M: Journal of Engineering for the Maritime Environment*. 230.10.1177/1475090214543716
9. Turner, D.R., Edman, M., Gallego-Urrea, J.A. et al. The potential future contribution of shipping to acidification of the Baltic Sea. *Ambio* 47, 368–378 (2018)
10. Velinov, S. Measures to Enhance Safety of Containerized Cargo Transport by Revising Standards for Cargo Information and EDI BAPLIE and MOVINS Messages' Structure // *Journal of Marine Technology and Environment*, vol. II/2013. Constanta, Constanta Maritime University, 2013
11. <https://carnivalaaqs.com/>
12. <https://ocean.si.edu/ocean-life/invertebrates/ocean-acidification#:~:text=While%20fish%20don't%20have,blood%2C%20a%20condition%20called%20acidosis.&text=It%20can%20also%20slow%20fishes%20growth>
13. <https://wwf.ca/report/killer-whale-habitat-consulting-paper-2019/>
14. https://wwf.ca/stories/scrubbers-creates-new-pollution/?fbclid=IwAR0PiZf3DBFrUzVboOiGHYJzOlcR1RzHYg_giqM2w7k90VHQtwwNXQ_pubQ
15. <https://www.cleanshippingalliance2020.org/faq/>
16. <https://www.gard.no/web/updates/content/28519122/learning-as-we-go-challenges-with-the-use-of-exhaust-gas-scrubbers>
17. https://www.researchgate.net/publication/321723195_Scoping_report_on_the_potential_impact_of_on-board_desulphurisation_on_the_water_quality_in_SOx_Emission_Control