

# ВЛИЯНИЕ НА ОБЩИТЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И НА ОСНОВНИТЕ РАЗМЕРИ НА КОРАБИТЕ ВЪРХУ ГОРИВНАТА И ЕКОЛОГИЧНА ЕФЕКТИВНОСТ

Асен Атанасов, Технически университет, Варна

Росен Атанасов, Кристиана Атанасова, ВВМУ "Н. Й. Вапцаров", Варна

## INFLUENCE OF GENERAL CHARACTERISTICS AND THE MAIN DIMENSIONS OF VESSELS ON FUEL AND ENVIRONMENTAL EFFICIENCY

Asen Atanasov, Technical University, Varna

Rosen Atanasov, Christiana Atanasova, Nikola Vaptsarov Naval Academy, Varna

**Abstract:** *A statistical analysis of the influence of size, load capacity, operating speed and the basic dimensions and form factors on the fuel consumption of different types of ships was carried out. Recommendations for optimal solutions are suggested.*

**Key words:** *optimization, energy efficiency, technical characteristics of the ship.*

### 1. ВЪВЕДЕНИЕ

Въпросите за осигуряване на висока енергийна ефективност и за намаляване на парниковите газове от корабоплаването заемат приоритетно място в дейностите на Международната морска организация (International Maritime Organization - IMO).

### 2. ИЗЛОЖЕНИЕ

В изискване на IMO и на Приложение VI към конвенцията МАРПОЛ [1], а така също и на форуми на специалности от морската практика, известни като IMO GHG Study 2005-2014 г. [2], се предлагат две групи инструменти, известни още като индекси за енергийна ефективност:

- Конструктивен индекс за енергийна ефективност EEDI:

$$EEDI = \frac{M_{\text{проект}} \cdot C_f}{A_{\text{проект}}} \quad (1)$$

- Операционен индекс за енергийна ефективност EEOI, чиито стойности определят степента и нивото на изпълнение на корабния план за енергийна ефективност SEEMP [3]:

$$EEOI = \frac{M_{\text{факт}} \cdot C_f}{A_{\text{факт}}} \quad (2)$$

където:  $M_{\text{проект}}$ ,  $M_{\text{факт}}$  - проектен и фактически разход на гориво;

$A_{\text{проект}}$ ,  $A_{\text{факт}}$  - проектна и действителна транспортна работа;

$C_f$  - безразмерен фактор за привеждане на разхода на гориво в емисии от CO<sub>2</sub> [kg CO<sub>2</sub> / kg гориво]

Индексът EEDI се пресмята на базата на конструктивни параметри, а неговото предназначение е да представя обективна база за сравнение, за да се стимулира развитието на по-ефективни кораби в новите проекти и изпълнения, а експлоатационния индекс EEOI е инструмент за мониторинг на управлението на кораба и ефективността на флота при изпълнение на конкретната

транспортна услуга (фиг. 1).

В това конкретно изследване ние разглеждаме влиянието на сравнително устойчивите, конструктивни и технологични решения при строежа на нови кораби върху EEDI, посочени в левия клон на фиг. 1, свеждащи се до оптимизация на общите характеристики и особености на формата на корпуса на кораба.

Целта на изследването е разработването на препоръки, които да подпомагат корабособствениците (операторите) при избора на подходящи мерки за техните плавателни съдове, което е ключов принос за разработването на планове за управление на енергийната ефективност. Изчисленията при разработването на тези препоръки се основават на обработка на статистика, получена от достъпни източници: отраслови отчети, практически експлоатационен опит, семинари за обучение, опит на производителите и операторите и др. [4].

Спестяването на енергия или гориво може да има смисъл на намаление на специфичния разход на гориво на главните двигатели (SFOC) или на ефективността на системата "двигател - винт - корпус" или на разхода на гориво на целия кораб по време на конкретния рейс.

При оценката на общите възможни спестявания на даден кораб трябва да се има предвид, че прилагането на една мярка за икономия може да изключи или намали ползата от други, тъй като енергоспестяващите оценки от различните мерки не са кумулативни. Освен това трябва да се има предвид, че за много плавателни съдове собствениците на кораба не получават пряко ползата от спестяванията на гориво при прилагането на скъпо струващи мероприятия за ефективност. Ползите често се получават от наемателя, който плаща за горивото, което намалява стимула на собственика да инвестира в енергоефективни кораби. Стимулите за създаване на ефективни плавателни съдове могат да се търсят или при споделяне на ползите от намалените разходи на гориво или при въвеждането на строг регулаторен режим от контролиращите организации, които налагат промяна на екологичната политика на фирмите.



Фиг. 1. Фактори за минимизация на стойностите на индексите на енергийна ефективност

С отчитането на тези съображения и на достъпните исторически статистически сведения и данни можем да направим едно общо представяне на енергоспестяващите мерки, оказващо влияние върху EEDI.

Подчертаваме, че в случая приемаме, че т.н. енергоспестяващи мерки се свеждат до анализ на статистически данни, на базата на които могат да се приемат решения за оптимизация на общите характеристики и конструктивни особености на корабите. От тази гледна точка интерес представляват следните въпроси:

- Влияние на големината и товарния капацитет на кораба върху енергийната ефективност;
- Работната скорост на кораба като енергоспестяващи мерки;
- Влияние на основните размери и техните съотношения върху разхода на гориво.

В този кръг от активи се разглеждат дълготрайните дейности, които са в сила за целия жизнен цикъл на кораба. При оценката на оптимизирането на особеностите и формата на корпуса собственикът има три варианта за обсъждане:

- Приемане на стандартната налична форма на корпуса и пропульсивните комплекси, предлагани от корабостроителницата;
- Промени на съществуващата и за предпочитане добре оптимизирана форма на корпуса, които да отговарят на предполагаемия бъдещ профил на работа на кораба;
- Разработване на нов дизайн.

Първият вариант включва най-малки капиталови разходи. При това трябва да се има предвид, че много от тези стандартни кораби имат добре оптимизирани кор-

пусни форми и задвижващи комплекси, което се отнася особено за т.н. нормални товарни и скоростни режими.

Вторият вариант се свежда до оптимизация на конструкцията и приспособяването и към конкретните условия на бъдещата експлоатация (район на плаване, натоварване, диферент, скорост, продължителност на рейса). Този процес на оптимизация обикновено включва модификация на булба и кърмовата част.

Третият вариант се отнася до оптимизиране на данните за корабния корпус и на пропульсивния комплекс, което води до увеличаване на капиталовите разходи на кораба. Той е оправдан само при поръчка на особено големи серии, за които корабостроителницата няма стандартни проекти или при специални изисквания от страна на корабособственика, който разчита на бъдещи енергийни икономии за изплащане на капиталовите разходи.

Тази група от дейности представя критериите за оценка на ефективността, описва методите за оптимизиране на формата, които са на разположение на съвременния морски архитект и очертава някои от проблемите, които собствениците трябва да обмислят при подобряване на енергийната ефективност.

## 2.1. Оптимизиране на особеностите на кораба

### 2.1.1. Влияние на размера на кораба (товарен капацитет)

Развитието на нови и усъвършенствани технически и аналитични методи за изпитание и проектиране на плавателни съдове позволяват на конструктора да изследва и оптимизира алтернативни решения, които преди това не са били възможни. Тези инструменти отчитат редица дисциплини като хидродинамика, строителна механика, екологични и безопасни условия на работа (например

оценка на петролни разливи, контрол на пожарите и др.). Икономическите проучвания (напр. анализът на фрахтовите цени и сравнителните оценки на разходите за жизнения цикъл) също могат да се прилагат в процеса на оптимизиране на проекта и за оценка на относителните

предимства на различните проекти, предлагани от корабостроителниците.

В табл. 1 са представени общите съображения за влиянието на ефекта на мащаба върху енергийните разходи и инвестициите за единица товар.

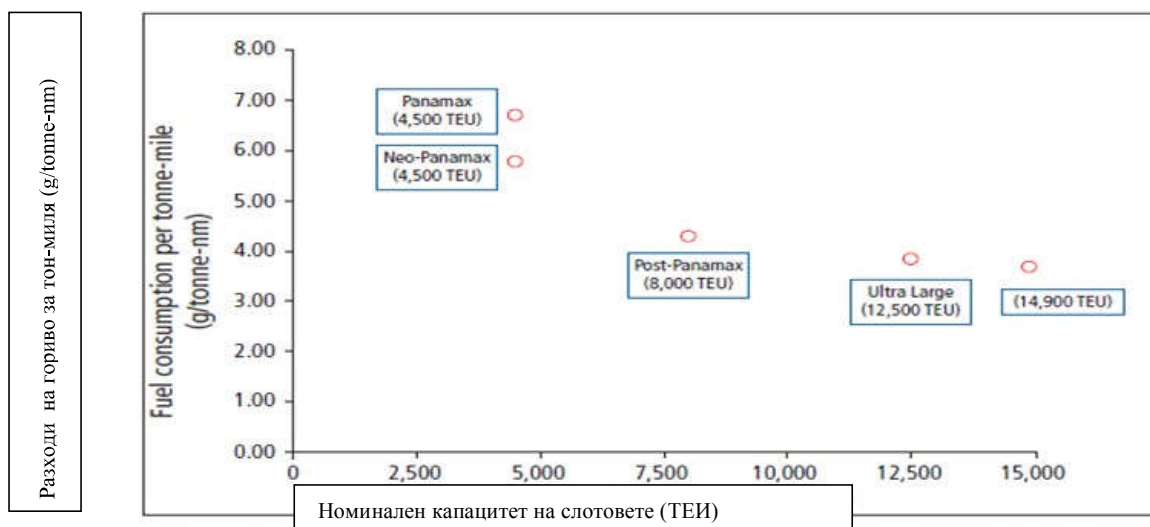
Таблица 1

|                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Спестявания за типове кораби | <b>А. Контейнеровози:</b> увеличаването на капацитета от 4500 ТЕИ до 8000 ТЕИ намалява разхода на гориво за движение с около 25% (измерено по отношение на тон-миля превозен товар). Увеличаването от 8000 ТЕИ до 125000 ТЕИ намалява консумацията на гориво с около 10%.<br><b>Б. За всички кораби:</b> най-големите икономии се срещат при кораби с висока скорост, а най-съществените изменения на ефектите се наблюдават при кораби с по-малки размери. |
| Нови или съществуващи кораби | Изследвани са всички типове кораби                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| Цена на инвестиции           | Като средно увеличаването на размера на кораба от 4500 до 8000 ТЕИ редуцира строителните разходи с около 15% (измерено в US \$ за ТЕИ)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |

На фиг. 2 са представени данни за енергийната ефективност (разход на гориво тон-миля на преместени товари g/t-nm) на контейнеровозите като функция на ТЕИ. За всички сравнявани проекти се приема скорост на кораба от 22,5 възела. Сравнителният размер на товара се определя като се приемат контейнери със средно тегло 7 тона/ТЕИ, в рамките на ограниченията на капацитета на слотовете, наличната товароносимост, ограниченията за

закрепване на контейнерите и ограниченията за видимост.

От фигурата се вижда значително намаляване на разхода на гориво чрез икономията на мащаба, която се постига с използване на по-големи кораби. Вижда се също така, че скоростта на изменение на този ефект намалява с увеличаване на размера, тъй като при по-големите кораби наличният капацитет не може да се използва напълно.



Фиг. 2. Контейнери - влияние на капацитета в ТЕИ върху горивната ефективност

### 2.1.2. Влияние на скоростта на кораба като фактор на енергийната ефективност

При избора на конкретната скорост се отчитат такива фактори като активните пазарни условия, очакванията на товародателите и техните конкретни изисквания за бързината на транспортната услуга, необходимите морски маржове за предвидената услуга и максималната ефективност. Поради това, че цената на горивото е основен

компонент на оперативните разходи тя е основен фактор при определянето на оптималната скорост. За всяка услуга с очаквани количества товари годишно и цени на горивата оптималната скорост може да бъде определена на базата на икономически анализ на товарния корпус с общо обозначение RFR (Required freight rate). Крайната цел на този анализ е след определяне на оптималната рейсова скорост и известни капиталови и оперативни

разходи да бъде получен броят на корабите, необходими за изпълнение на транспортната задача [4].

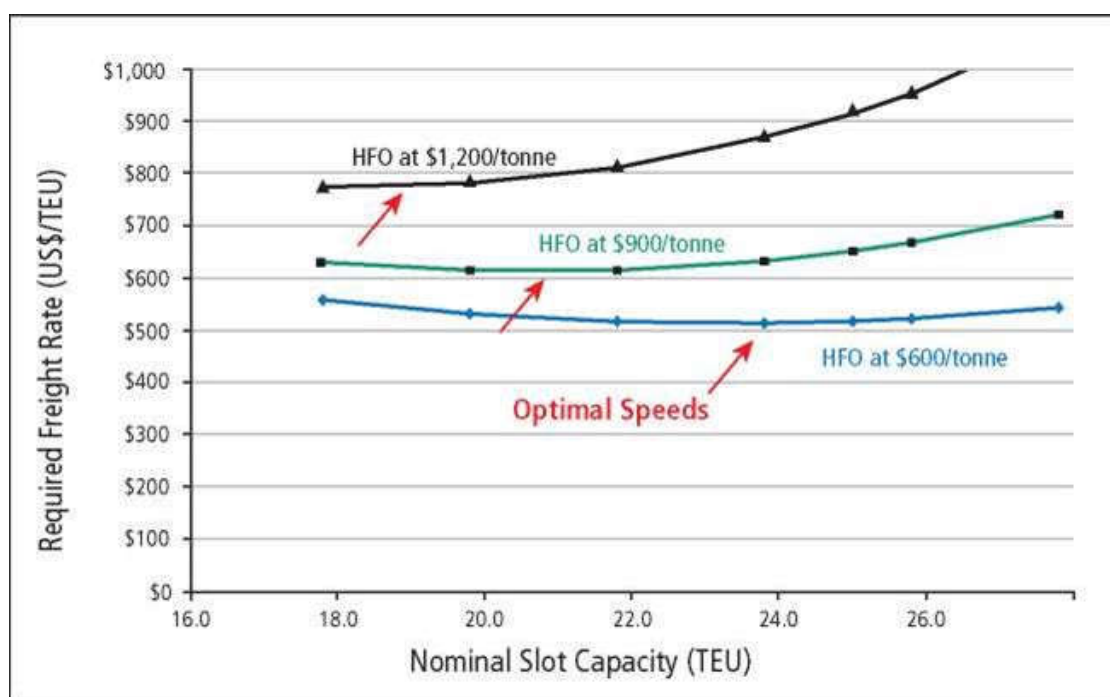
Общите съображения за влиянието на скоростта на корабите върху разхода на гориво са представени в табл. 2.

На фиг. 3 са показани резултатите от RFR анализ при транспортиране на контейнери на параметрична по-

редица от контейнеровози с ширина 38,9 m в диапазони от проектни скорости, чиито оптимални стойности са определени. Анализът включва амортизация на инвестицията, оперативните и горивни разходи, канални и пристанищни такси и разходите за обслужване [4].

Таблица 2

|                              |                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Спестявания за типове кораби | <b>А. Контейнеровози:</b> намаляване на скоростта с 1 възел за контейнеровози с големина 4500 ТЕИ и повече води до намаляване на разхода на гориво с 12-15%.<br><b>Б. Танкери:</b> намаляването на скоростта с 1 възел води до намаление на разходите със 17 до 22%. |
| Изследвани кораби            | Всички видове                                                                                                                                                                                                                                                        |
| Нови или съществуващи кораби | Всички видове кораби                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Цена на инвестиции           | Като средно увеличаването на размера на кораба от 4500 до 8000 ТЕИ редуцира строителните разходи с около 15% (измерено в US \$ за ТЕИ)                                                                                                                               |



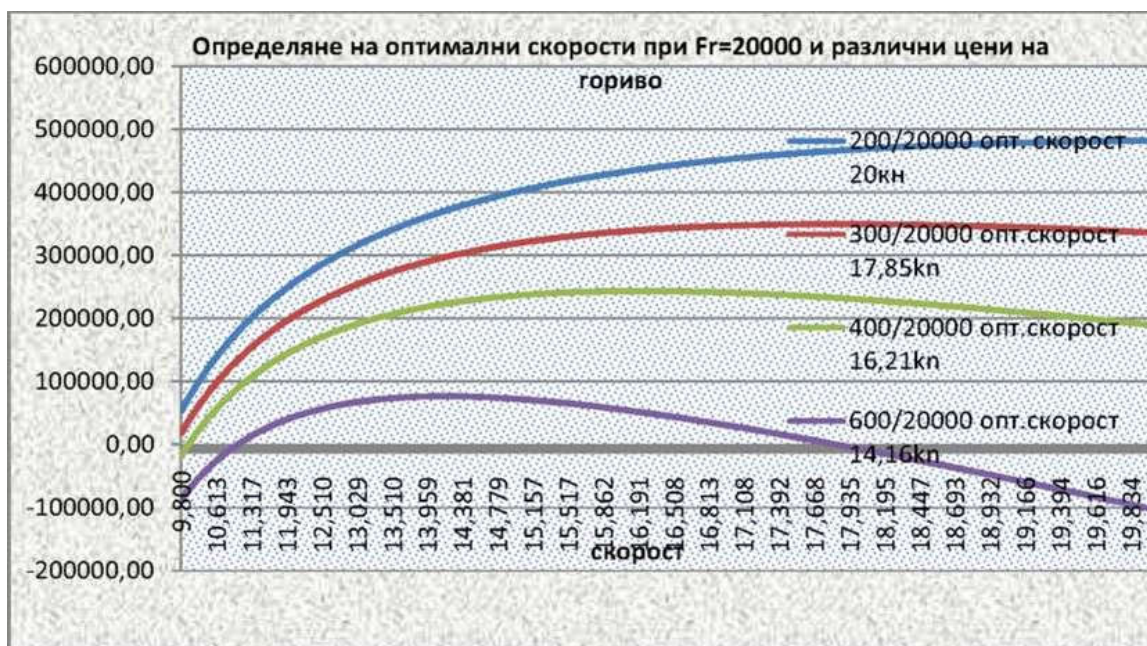
Фиг. 3. Параметрично изследване на скоростта на контейнеровози

Всяка конструкция е оптимизирана за проектната скорост, включително коригиране на блоков коефициент, инсталирана мощност и др. Например, проектът с 25 възела има коефициент на блокиране 0,62 и капацитет на слота от 5,397 ТЕИ, докато конструкцията със 17,8 възела има коефициент на блокиране 0,80 и капацитет на слота от 5,773 ТЕИ. При тези предположения оптималната скорост на конструкцията при цена на тежкото гориво от \$ 600/тон е 24 възела; при цена на горивото от \$ 900/тон е 21 възела, а при цена на горивото \$ 1200/тон - 19 възела. Това изследване предполага, че всеки кораб поддържа постоянна скорост по време на рейса с постоянен морски

марж.

При избора на скоростта на рейса при линейни кораби следва да се добавят очакванията на клиентите и спазването на разписанието на линията. За чартърните пазари следва да се отчитат различията в чартърните ставки и стремежът за увеличаване на скоростта при по-високи ставки. Пълно изследване и определяне на оптималните скорости на кораб за насипни товари тип "Panamax" при различни цени на горивата и стойности на чартърните ставки е проведено в [5]. Една от възможните оптимизационни процедури е представена на фиг. 4.

Ако единственият фактор в модела за оценка на



Фиг. 4. Определяне на оптимални скорости при съотношение фрахт/цени на гориво

скоростта е ниският разход на гориво или на EEDI може да се стигне до тривиален изход с нулева или небезопасна скорост. Собственикът и клиентът не могат да приемат такива проекти. Освен това въпросът за изискване на минимална мощност се разглежда от ИМО.

### 2.1.3. Влияние на основните размери на кораба върху разхода на гориво

В табл. 3 са представени общите съображения за влиянието на основните размери на корпуса и на техните съотношения върху консумацията на гориво [4].

Увеличаването на дължината при намаляване на ширината и постоянството на дълбочината и блок-коэффициента (Св) обикновено води до подобряване на ефективността на корпуса, при условие, че не е необходим допълнителен баласт за поддържане на адекватна стабилност. Увеличаването на съотношението "дължина/ширина" е с тенденция за намаляване на съпротивлението при създаване на вълни от корпуса, докато намале-

ното съотношение "ширина/газене" е с тенденция да намалява намокрената повърхност и следователно съпротивлението на триене.

Увеличаването на газенето при намаляване на (Св) и/или на ширината може да осигури допълнително предимство, което позволява монтирането на по-голям винт. Увеличаването на дължината при намаление на (Св) ще намали необходимата мощност.

Надлъжният призматичен коефициент (Ср) е често използван индикатор за надлъжното разпределение на водоизместването. По-ниските стойности на (Ср), предпочитани за по-бързи кораби предполагат по-голяма концентрация на водоизместването около мидела и по-малък ъгъл на входящата вълна. Танкери и кораби за насипни товари с по-пълни форми на носа ще имат по-високи стойности на (Ср).

Разбира се основните особености и коефициентите на корпуса не могат да бъдат избрани само на основата на хидродинамичните принципи. Други фактори, които

Таблица 3

|                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Спестявания                  | Увеличаването на съотношението "дължина/ширина" и/или увеличаването на дължината и намаляване на блок-коэффициента (Св) може да доведе до намаляване на потреблението на гориво от 3 до 5%.                                                                                                   |
| Тип кораб                    | Всички типове кораби                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| Нови или съществуващи кораби | Нови кораби                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| Цена                         | Увеличаването на дължината на кораба е по-скъпа инвестиция в сравнение с увеличаване на ширината или дълбочината. Например увеличаването на L/B на танкер Афрамекс от 5,5 до 5,75 при запазване на скоростта на кораба и обема на товара увеличава конструктивните разходи с около 0,25 до 1% |

трябва да се имат предвид са разположенията на товарните и задвижващите блокове, минимизирането на баласта и ограниченията от инфраструктурата на пристанищата и каналите. Такива конструктивни ограничения подлежат на икономическа оценка, като целта е да се сведат до минимум както инвестиционните, така и експлоатационните разходи.

Основните размери на модерните проекти, предлагани от големите корабостроителници обикновено са добре оптимизирани. Малко намаление на показателите на товарния корпус (RFR) в диапазона от 1 до 3% може да се постигне например чрез увеличаване на съотношението "дължина/ширина" (по-тънък дизайн), тъй като по-ниският разход на гориво ще компенсира увеличението на капиталови разходи, свързани с увеличеното тегло на стоманата. Това предполага, че поради повишаващите се разходи за гориво се очертава дългосрочна тенденция за увеличение на съотношението "дължина/ширина" и намаляване на коефициента (Cв) или намаляване на проектната скорост.

За конструкции с голям (Cв) с надлъжен център на плаваемост (LCB) проектиран към носа или към кърмата е необходимо оценяване на устойчивостта по време на първоначалния процес на проектиране.

### 3. ИЗВОДИ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ

Важно е проучванията за определяне на оптималните размери да отчитат ефектите от промяната на различните морски условия, работата на частични натоварвания и под баласт, и дължините на преходите с намалена скорост с цел анализ на ранен етап с полумемпиричните подходи на Townsin за оценка на забавянията в моретата [4]. В този смисъл се очаква, че моделните изпитания и числените анализи ще осигуряват по-прецизна индикация за поведението на специфичните форми на корпуса.

### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. MEPC 60/4/35 Prevention of Air Pollution from Ships. Mandatory EEDI requirements; Draft text for adding a new part to MARPOL. Annex VI for regulation of the energy efficiency of ships.
2. IMO, Second IMO GHG Study 2009, IMO Publishing
3. MEPC.1/Circ. 684, Guidelines for voluntary use of the ship energy efficiency operational indicator (EEOI), 17 august 2009
4. Ship Energy Efficiency Measures, ABS-World HQDeagle.org
5. Недев, А., Бл. Белев и др. Оптимизация на скоростта на търговските кораби. Известия на съюза на учените, Варна, декември, 2016.