

## LNG КАТО КОРАБНО ГОРИВО – ВЪЗМОЖНОСТИ И ПРОБЛЕМИ

Петър Георгиев

**Abstract:** *International Marine Organization has introduced restrictions on emissions that will come into force in 2015 in the Emission Control Areas and 2020 for the rest of the world. In order to be compliant with the restrictions, one of the solutions is using LNG as a fuel on ships. Today, around 40 ships are running on LNG and this number will grow. The paper calls naval architects to these problems and presents the pros and cons and starts discussion on the needs of future investigations.*

**Keywords:** *Emission Control Areas, LNG, MARPOL, NOx SOx Emissions.*

## 1. ИЗИСКВАНИЯ НА ИМО ЗА ОПАЗВАНЕ НА ОКОЛНАТА СРЕДА

През 1997 година към конвенцията MARPOL беше добавен Анекс VI съдържащ Правила за предотвратяване замърсяването на въздуха от кораби с цел да се намалят емисиите на серни окиси (SO<sub>x</sub>), азотни окиси (NO<sub>x</sub>), вещества разрушаващи озоновия слой (Ozone Depleting Substances - ODS) и летливи органични съединения (Volatile Organic Compounds - VOC) [1].

В съответствие с приетия регламент, Анекс влезе в действие на 19 май 2005 и той се прилага с обратна сила за двигатели с мощност по-голяма от 130 kW инсталирани на кораби построени сред 1 януари 2000.

Приетият Анекс, е ревизиран през 2008 и той въвежда: (1) актуализирани изисквания към качествата на горивата от юли 2010; (2) следващите степени – II и III на стандартите за NO<sub>x</sub> емисии на новите двигатели и (3) – ниво I на стандарта за NO<sub>x</sub> за съществуващите преди 2000 година двигатели.

С Анекс VI са дефинирани две групи изисквания към емисиите и горивата: 1) глобални и 2) значително по-строги за кораби в т.нар Зони за контрол на емисиите (Emission Control Area - ECA). Съществуващите зони са представени на Фиг. 1 а контролираните емисии и годината на приемане/влизане в сила са както следва: Балтийско море (SO<sub>x</sub>, 1997/2005); Северно море (SO<sub>x</sub>, 2005/2006); Северна Америка включваща бреговата ивица на САЩ и Канада (NO<sub>x</sub> и SO<sub>x</sub>, 2010/2012); Караибска

зона с Пуерто Рико и Американски Вирджински острови (NO<sub>x</sub> и SO<sub>x</sub>, 2011/2014).

### 1.1. Стандарт за NO<sub>x</sub> емисии

Ограниченията за емисиите (g/kWh) на NO<sub>x</sub> от дизеловите двигатели зависят за трите нива от оборотите (**n**) и са представени в Табл. 1 и на Фиг. 2 [1].

Табл. 1. Норми за емисии на NO<sub>x</sub>

Дата	NO <sub>x</sub> лимит, g/kWh	
	n < 130	130 ≤ n < 2000
2000 (Ниво I)	17.0	45.n <sup>0.2</sup>
2011 (Ниво II)	14.4	44.n <sup>0.23</sup>
2016*	3.4	9.n <sup>0.2</sup>

\*В NO<sub>x</sub> ECA (Ниво II на стандарта извън ECA).

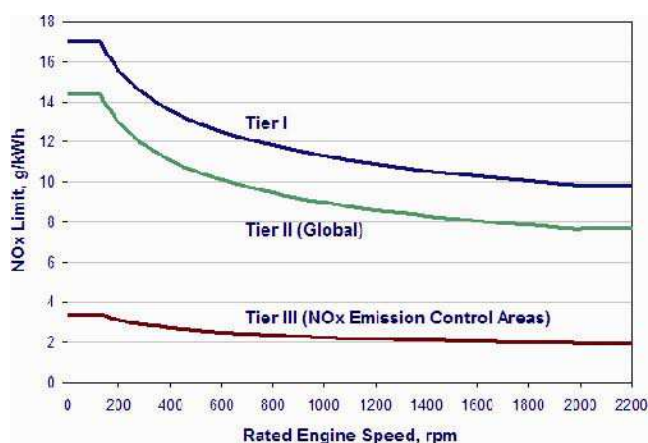
Тестването се извършва съгласно ISO 8178, който е международен стандарт за измерване на емисиите на отработени газове от двигатели, който не се използват по сухоземните пътища.

### 1.2. Съдържание на сярата в горивото

Анекс VI на MARPOL задава граници на съдържанието на сярата в горивото, като мярка за контрол на емисиите от SO<sub>x</sub>. Стойностите на тези лимити са в % m/m, което задава процентно съотношение на масите. Например, лимита за сярата в автомобилното гориво в ЕС е 0.001 % m/m = 10 mg/kg = 10 ppm (parts per million). Лимитите, както и годината на прилагане са представени в Табл. 2 и на Фиг. 3.



Фиг. 1. Съществуващи ЕСА зони в Северна Америка и Европа (адаптирано по [2])



Фиг. 2. Допустими нива на NOx в зависимост от скоростта на двигателя



Фиг. 3. Допустими съдържанише на сяра в горивото

Едновременно с използването на гориво с ниско съдържание на сяра, могат да се прилагат и допълнителни технологични решения за намаляване на емисиите от SOx. Например, заедно с използването на гориво с 1.5% S в зоните SOx-ECA може да се използват скрубери или други устройства, които да сведат емисиите от SO2 до  $\leq 6$  g/kWh.

Табл. 2. Норми за съдържанието на сяра в горивото

Дата	Лимит сяра в горивото, % m/m	
	SOx ECA	Глобално
2000	1.5 %	4.5 %
2010.07	1.0 %	3.5 %
2012	1.0 %	3.5 %
2015	0.1 %	0.5 %
2020*	0.1 %	0.5 %

\*Алтернативна дата е 2025, което ще се реши през 2018

В Европа, Директива 2012/32/EU от 21.11.2012 актуализира предишна и задава съдържанието на сяра в морското гориво в съответствие с Анекс VI на IMO, елиминирайки възможността за отлагане на решението за 0.5% след 2020 година.

### 1.3. Алтернативни технически решения

Корабособствениците имат три реалистични алтернативи за достигане на приетите нива на вредни емисии [3]:

- a. За нивата на SOx:
  - Използване на морско дизелово гориво (marine diesel oil - MDO);
  - Инсталиране на скрубери;
  - Преустройство на кораба за използване на LNG (Liquefied natural gas) като гориво.
- b. За нивата на NOx:

- Единствена алтернатива е LNG като гориво, за достигане ниво III на стандарта.

Във всеки случай, на корабите ще трябва да се инсталират системи подобни на SCR (селективна каталитична редукция) ако се използва MDO и HFO (Heavy Fuel Oil).

## 2. LNG КАТО АЛТЕРНАТИВА НА ИЗПОЛЗВАНИТЕ ГОРИВА

### 2.1. Международни изисквания

Няколко са вече влезлите в сила или разработвани в момента международни изисквания, свързани с използването на втечен природен газ като гориво [5];

- Res. MSC 285(86) “*The Interim Guidelines address the safety of ships utilizing natural gas as fuel*” [4]. Издадена е през 2009 г и няма задължителен характер. Използването на LNG като гориво на кораби, което не го превозват, се разрешава от съответната Администрация;
- Понастоящем се разработва *International Code for Ships using Gas or other Low Flash-Point Fuels (IGF Code)*. Освен за LNG, кодексът ще регулира използването и на други горива с ниска точка на възпламеняване – метилов алкохол, пропан-бутан и др. Поставеният срок за завършване е 2015 година.
- *International Code for the Construction & Equipment of Ships Carrying Liquefied Gases in Bulk (IGC Code)*. Кодексът съдържа изискванията към корабите превозващи LNG, като нов момент в него е разработването на правила за плаващите средства за бункероване на корабите използващи втечен газ като гориво.

Кратка извадка от тези правила, дава представа за същността на изискванията.

Описание на съдържането и някои характеристики на втечения природен газ е представено в Resolution MSC 285(86) [4]: Метан - 94.0%; Етан - 4.7%; Пропан - 0.8%; Бутан - 0.2%; Азот - 0.3% ; Плътност на газа - 0.73 kg/cm<sup>3</sup>; Плътност на течността - 0.45

kg/dm<sup>3</sup>; Калоричност (ниска) 49,5 MJ/kg; Метаново число – 83. Основните части са: Общо разположение и проектиране на системата; Пожарна безопасност; Електрически системи; Контрол, наблюдение и системи за безопасност; Компресори и газови двигатели; Производство, изработка и тестване; Изисквания към обслужването и обучението.

На базата на тази Резолюция са издадени и Правила на Класификационните организации, например GL [6] или ABS [7]. Минималните отстояние при разполагането на танковете за втечен газ трябва да бъдат:

- От бордовата обшивка на по-малкото от B/5 или 11.5 m ;
- От дъното на минимум B/15 или 2 m (по-малкото от двете);
- Никъде разстоянието d до външната обшивка да не бъде по-малко от 800 mm или следните стойности:
  - за танкове с обем  $V \leq 1000 \text{ m}^3$ ,  $d=0.8 \text{ m}$
  - за обем  $1000 \text{ m}^3 \leq V \leq 5000 \text{ m}^3$ ,  
 $d=0.75 + V \times 0.20/4000 \text{ m}$
  - за обем  $5000 \text{ m}^3 \leq V \leq 30000 \text{ m}^3$ ,  
 $d = 0.8 + V/25000 \text{ m}$

### 2.2. Реализирани кораби

Към 2013 година има преоборудвани 38 кораба за използване на LNG за гориво и са поръчани още толкова [5]. Прогнозите са за 1000 кораба до 2020 при използване на 5-7 млн. тона LNG на година. Повечето от въведените в експлоатация кораби са в Норвегия и са наблюдаване от DNV. На Фиг. 4 е показан първия кораб преоборудван за работа с втечен природен газ – ферибота “Glutra”. На Фиг. 5 е представен пътнически ферибот за 600 пътника, а на Фиг. 7 снабдителни кораби. На Фиг. 8 е показан един от трите кораба на Норвежката брегова охрана, с максимална скорост от 20 kn. Фигура 9 представя първият продуктовоз, използващ втечен природен газ и сертифициран от GL. Новите проекти са свързани с Ро-Ро кораб (Фиг. 10) и кораб за насипни товари на японската корабостроителница Oshima (Фиг.11). На фигурите е показано разположението на танковете за втечен природен газ.



Фиг. 4. Първият кораб с гориво LNG [8]



Фиг. 5. Пътнически ферибот за 600 пътника [9]



Фиг. 6. Снабдителни кораби използващи LNG като гориво [9]



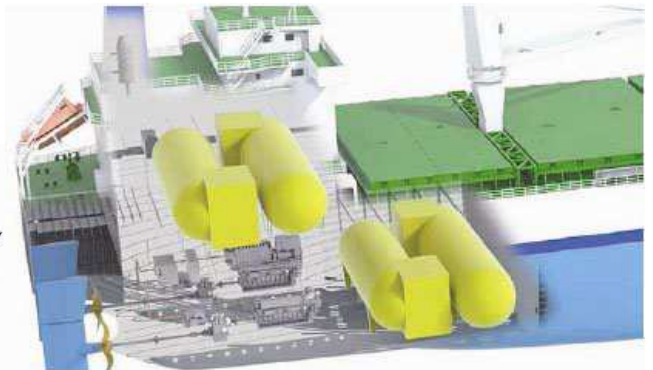
Фиг. 7. Норвежки кораба на бреговата охрана [9]



Фиг.8.Първият продуктовоз с LNG гориво [10]



Фиг. 9. Проект на Ро-Ро [9]]



Фиг. 10 КНТ на фирмата Oshima [9]

### 3. ПРОБЛЕМНИ ВЪПРОСИ

Предимствата и недостатъците на използването на втечнения природен газ като гориво на корабите могат да се обобщят в Табл. 3[3]

Табл.3. Предимства и недостатъци на LNG като гориво

Предимства	Недостатъци
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Няма нужда от системи за селективна каталитична редуция-Selective Catalytic Reduction;</li> <li>• Намалява емисията CO<sub>2</sub>;</li> <li>• По-малка и лесна поддръжка на двигателя, поради по-чистото горене;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Непълното изгаряне го прави по-опасен от CO<sub>2</sub> парников газ;</li> <li>• Необходими са допълнителни мерки за пълно изгаряне при прилагането на кораб;</li> <li>• Необходимо е повече пространство за съхранение на горивото;</li> <li>• Ограничени възможности за бункерване;</li> <li>• Липсват обучени кадри по поддръжка и обслужване на цялата верига.</li> </ul>

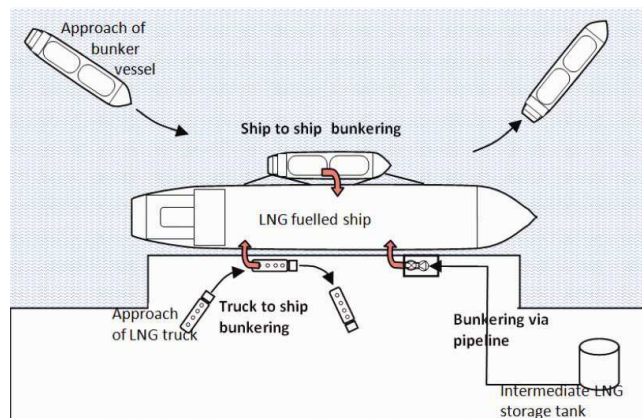
Важното предимство е, че ще може да се достигнат нормите по отношение на SO<sub>x</sub> и NO<sub>x</sub> при същевременно около 20% по-ниско ниво на отделян CO<sub>2</sub>. Наред с това, неълното изгаряне на метана, го прави 20-25 пъти по-опасен парников газ, сравнен с CO<sub>2</sub> и това, компрометира ефекта от намалението на CO<sub>2</sub>. Поради “по-чистото” горене, поддръжката и обслужването на двигателите е по-лесно и икономично.

Наред с безспорните предимства, използването на LNG като гориво има все още редица проблеми, които възпрепятстват разпространението му във всички части на континента. Специалната форма на танковете, необходимостта от изолации и изискванията за разположение, водят до 3 - 4 пъти по-голям обем за горивото, сравнен с класическите схеми.

На Фиг. 11 са показани различни схеми за бункерване на кораба, което може да стане от брегова станция, чрез камиони или чрез снабдителен кораб по море. Момент от бункерване на кораб от камион е представен на Фиг. 12. Въпреки различните начини,

местата за бункерване са недостатъчни и са предимно съсредоточени в Норвегия (Фиг. 13). Това е и основната причина там да има най-много кораби в експлоатация използващи втечен природен газ като гориво.

Сериозна пречка пред мащабното прилагане на LNG като гориво се отчита и липсата на подготвени кадри, свързани с бункерването, експлоатация и обслужването на новите системи и устройства.



Фиг. 11. Схеми за бункерване с LNG[11]



Фиг.12.Бункерване от камион на брега [13]



Фиг.13.Станции за бункерване с LNG [12]

#### 4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Извършеното кратко проучване, представя сравнително нов проблем, който е показателен, за процеса на търсене на инженерни решения за повишаване на ефективността на морския транспорт и едновременното опазване на околната среда и намаляване на вредните емисии.

Наред с безспорните предимства от използването на втечнения природен газ като гориво, се открояват и двете основни групи проблеми – организационни и чисто технически. Към организационните можем да причислим развитието на международното законодателство и Правила, както и необходимата инфраструктура за доставка и бункероване на LNG.

Втората група проблеми са свързани с чисто технически решения и по-скоро с надеждна методика за оценка на ефективността от прилагането на едно или друго решение, за съществуващи и новостроящи се кораби.

Това изследване поставя повече въпроси, отколкото дава отговори, особено за българските условия и преди всичко има ли втечен природен газ в района на Черно море.

На сайта [14] са описани всички терминали за втечен природен газ в Европа. В района на Черно море или в непосредствена близост терминали за внос на LNG са:

- Revithoussa Island, Megara Bay – Attica – Гърция;
- Izmir, Aliaga, - Източна Турция;
- Marmara, Ereğlisi – Източна Турция

Кратко описание на състоянието на снабдяването на района на Черно море с втечен природен газ дава украинският посланик в Турция Сергей Корсунский в статия във вестник *Today's Zaman* (един от трите ежедневника в Турция излизащи на английски език. Основан 16 януари 2007) с интригуващото заглавие “LNG terminals around the Black Sea: Fact or fiction?”.

Първоначалната идея за доставка на втечен природен газ от Катар за Украйна, Румъния, Унгария и България е малко вероятна поради нежеланието на Турция до допусне трафик в Босфора на кораби превозващи LNG.

Като нов момент е отбелязан проекта AGRI LNG (Azerbaijan- Georgia- Romania Interconnector). Проектът AGRI предвижда пет стъпки: транспортиране на азербайджански газ от съществуващия тръбопровод на запад през Грузия до черноморското пристанище Кулеви (петролен терминал собственост на Азербайджан); втечняване на газа; транспортиране на втечнения газ чрез малки танкери до Констанца (Румъния); регазифициране и доставка в тръбопроводната система на Румъния както и част за Унгария и евентуално потребление в Австрия. Този проект е в развитие, но не са ясни конкретните резултати.

Авторът на статията прави заключението, че нищо не може да се случи в нашето море без Турция, затова е разумно да се предположи, че южната ни съседка може да участва в развитието на пазара на втечен природен газ в Черно море. Това може да се направи по два начина: чрез тръбопровода Набуко, като се предостави маршрут до брега на Черно море при Трабзон или Самсун и се изгради терминал за втечен газ; да се използва газ от Северен Ирак, който да се достави до Самсун и да се втечни там. Заключението е, че през Черно Море е най-безопасно транспортирането на втечен природен газ, сравнено с прекарването на тръбопровод или кораби през Босфора.

Въпреки тази неясна картина по отношение снабдяването с втечен природен газ, специалистите в България трябва да са готови със своите технически решения, относно приложимостта и ефективността на тази нова тенденция. Възможно е нейното прилагане да бъде наложено от обстоятелствата свързани с международните норми за корабоплаване.

Според автора, заслужава внимание проучването на възможностите за прилагане на LNG като гориво на новия ферибот “Варна” по линията Варна – Порт Кавказ.

#### Литература

- [1]. <http://www.dieselnet.com/standards/inter/immo.php>
- [2]. DNV report. Shipping 2020, [www.dnv.com](http://www.dnv.com)

- [3]. Semolinos, P., Olsen, G., Giacosa, A. LNG as marine fuel” Challenges to be overcome. 17<sup>th</sup> International Conference & Exhibition on Liquefied Natural Gas, April 16-19, 2013, Houston, Texas
- [4]. RES. MSC.285 (86). Interim Guidelines on Safety for Natural Gas-fuelled Engine Installations in Ships. adopted on 1 June 2009
- [5]. Henning M. LNG Fuelled Shipping – A Post Singapore JIP Update. Sea Asia – Technical day 11 APRIL 2013,
- [6]. Guidelines for the Use of Gas as Fuel for Ships, Germanischer Lloyd, 1 May 2010.
- [7]. Guide for Propulsion and Auxiliary Systems For Fueled Ships. ABS, May 2011 (Updated July 2013)
- [8]. Stokholm, R.M., Roaldsoy, J.S. LNG used to power the FERRY “GLUTRA” in Norway. The world first FERRY to run on LNG. <http://www.ipt.ntnu.no/~jsg/undervisning/naturgass/dokumenter/Stokholm2002Paper.pdf>
- [9]. Teo, T. LNG Fuel. What’s current & What’s Next, Oshima ECO-Ship 2020, January 2012
- [10]. [http://www.gl-group.com/en/press/news\\_lng\\_fuelled\\_bit\\_viking.php](http://www.gl-group.com/en/press/news_lng_fuelled_bit_viking.php)
- [11]. Näslund, M. LNG - Status in Denmark. Technology and Potential. Project report, Danish Gas Technology Centre, ISBN : 978-87-7795-348-
- [12]. Skjervheim, A. Availability of LNG for bunkering. 29th International Bunker Conference, Copenhagen, April 2008.
- [13]. <http://www.elbehafen.de/en/news/>
- [14]. <http://abarrelfull.wikidot.com/lng-terminals-in-europe>
- [15]. Korsunsky, S. LNG terminals around the Black Sea: Fact or fiction?, *Today's Zaman*, 20 March, 2011

**За контакти:**

Петър Георгиев  
доц. д-р  
Технически университет - Варна  
Зам. Декан НКР на КФ  
e-mail: petar.ge@tu-varna.bg