

26. Марки судовых топлив. Эксплуатационные свойства. Присадки.

1.Общее понятие

Топливо — это вещество, которое при сжигании выделяет большое количество теплоты и используется как источник получения энергии.

По своему физическому состоянию топливо может классифицироваться на три вида: твердое, газообразное, жидкое.

Топлива, используемые на морских судах, должны иметь следующие основные свойства:

1. высокую теплоту сгорания;
2. минимальное содержание влаги, серы, золы и иных примесей;
3. отсутствие склонности к самовозгоранию при длительном хранении;
4. сравнительно невысокую стоимость;
5. постоянство характеристик при длительном хранении.

2.Химический состав и основные характеристики топлива

В состав натурального органического топлива входят следующие основные элементы: углерод С, водород Н, кислород О, азот N, сера S, зола А, влага W.

Различают три основные массы топлива: **рабочую, сухую и горючую**

Рабочая масса характеризует состав топлива в том виде, в котором оно сжигается в топке.

$$C^p + H^p + O^p + N^p + S^p + A^p + W^p = 100 \quad (2.1)$$

Сухая масса характеризует безводный состав топлива.

$$C^c + H^c + O^c + N^c + S^c + A^c = 100 \quad (2.2)$$

Горючая масса характеризует безводный и беззольный состав топлива.

$$C^g + H^g + O^g + N^g + S_d^g = 100 \quad (2.3)$$

Для пересчета элементарного состава топлива одной массы на другую используют переводные множители. Например,

пересчет с горючей массы на рабочую углерода и водорода производится по выражениям

$$C^P = C^Г \frac{100 - (A^P + W^P)}{100}$$

$$H^P = H^Г \frac{100 - (A^P + W^P)}{100} \quad (2.4)$$

3. Основные характеристики топлива

Теплота сгорания топлива — это количество теплоты в килоджоулях, которое выделяется при полном сгорании топлива массой 1 кг. Различают высшую и низшую теплоту сгорания.

Топливо	C ^Г	H ^Г	N ^Г + O ^Г	S ^Г _л	A ^P	W ^P
Дизельное	86,3	13,3	0,1	0,3	0,01	нет
Моторное	86,5	12,6	0,5	0,4	0,05	1,5
Мазут флотский Ф5	85,3	12,4	0,3	2,0	0,10	1,0
» » Ф12	86,5	12,2	0,5	0,8	0,15	1,0
» малосернистый 40	87,9	10,9	0,7	0,5	0,15	2,0
» сернистый 40	86,5	10,8	0,7	2,0	0,15	2,0
» высокосернистый 40	85,1	10,7	0,7	3,5	0,15	2,0

Высшей теплотой сгорания Q^P_v называется количество теплоты, выделившееся при полном сгорании топлива массой 1 кг при условии, что продукты сгорания охлаждены до температуры конденсации содержащихся в них водяных паров.

Низшей теплотой сгорания Q^P_n называется количество теплоты, выделившееся при полном сгорании топлива массой 1 кг, но за вычетом теплоты, затраченной на испарение влаги топлива и влаги, образующейся при сгорании водорода топлива.

Вязкость — это показатель текучести нефтепродуктов.

Вязкость — свойство текучих тел оказывать сопротивление перемещению одной их части относительно другой.

Различают **кинетическую**, **динамическую** и **условную** вязкость

Кинематическая вязкость — это физико-химическая характеристика материала, показывающая его способность под действием сил гравитации сопротивляться течению.

В системе СГС вязкость измеряют в стоксах (Ст) или сантистоксах (сСт).

В системе СИ единицы измерения кинематической вязкости записывают как м²/с.

$$1 \text{ м}^2/\text{с} = 10^4 \text{ Ст}$$

Кинематической вязкостью называется отношение динамической вязкости к плотности среды.

Единицей динамической вязкости является пуаз (дина·с/см²=1 г/(см·с)). Это вязкость жидкости, в которой при изменении скорости движения 1 м/с на расстоянии 1 м, касательное напряжение равно 1 Па.

Условная вязкость — величина, косвенно характеризующая гидравлическое сопротивление течению, измеряемая временем истечения заданного объёма раствора через вертикальную трубку (определённого диаметра). Измеряют в градусах Энглера (по имени немецкого химика К. О. Энглера), обозначают — °ВУ. Определяется отношением времени истечения 200 см³ испытываемой жидкости при данной температуре из специального вискозиметра ко времени истечения 200 см³ дистиллированной воды из того же прибора при 20 °С. Условную вязкость до 16 °ВУ переводят в кинематическую по таблице ГОСТ, а условную вязкость, превышающую 16 °ВУ, по формуле:

$$\nu = 7,5 \cdot 10^{-6} E_t$$

Где ν — кинематическая вязкость (в м²/с), а E_t — условная вязкость (в °ВУ) при температуре t .

Вязкость определяет не только качество распыливания топлива при сжигании его в топках котлов, но и условия его транспортировки и хранения из-за низких температур застывания некоторых марок.

Плотность — это косвенная характеристика химических свойств и фракционного состава топлива. Под плотностью Q^{20}_4 понимается отношение массы топлива при температуре 20°С к массе воды при температуре 4 °С, занимающей тот же объем.

Плотность топлива необходимо знать для подсчетов запаса топлива в емкостях, которое принимается на судно по объему, а учитывается по массе, для настройки сепараторов. Плотность уменьшается с увеличением температуры, что следует учитывать при бункеровке и учете расхода топлива. Значение плотности при

определенной температуре обычно указывается в сертификате или паспорте на принимаемое топливо.

Температура застывания — это температура, при которой нефтепродукты теряют свою естественную текучесть.

Температура вспышки — минимальная температура нагрева нефтепродукта, при которой его пары в смеси с окружающим воздухом вспыхивают от соприкосновения с пламенем и затем быстро гаснут. Допускает использование на судах топлив, температура вспышки которых в закрытом тигле не ниже 61 °С.

Содержание серы. Содержание серы в мазутах для судовых котлов не должно превышать 3,5%.

Содержание ванадий и натрия. Ванадий и натрий даже в очень незначительных количествах вызывают интенсивную коррозию поверхностей нагрева котла

ССАИ - Углеродный ароматический индекс

Цетановое число — характеристика воспламеняемости дизельного топлива, определяющая период задержки воспламенения смеси (промежуток времени от впрыска топлива в цилиндр до начала его горения).

Применяемые в двигателях топлива получают путем переработки нефти. Сырая нефть является сложной смесью углеводородов, молекулы которых содержат 1—100 атомов углерода и более. Углеводороды по химическому составу принадлежат к трем группам: парафинам, нафтенам и ароматикам. В нефть также входят в небольших количествах соединения серы, азота, кислорода и других элементов. Химический групповой состав и физические характеристики нефти зависят от ее месторождения, и это отражается на качестве получаемых из нее топлив.

На нефтеперерабатывающих предприятиях нефть нагревают в вакуумных установках (прямая перегонка нефти), при этом она разделяется на фракции, составляющие основу вырабатываемых нефтепродуктов. В процессе прямой перегонки выход дистиллятных фракций («бензина» керосина) не превышает 50 %; остаточные нефтепродукты, имеющие более высокую температуру кипения и большие размеры молекул, составляют 45 %.

Растущий дефицит легких нефтепродуктов (бензина, керосина, дизельного топлива) при одновременном увеличении их стоимости заставляет нефтеперерабатывающую промышленность все шире применять вторичную, более глубокую обработку нефтяных остатков» Сюда относятся процессы термического и каталитического крекинга, применение которых позволяет выход бензинов ориентировочно увеличить на 30 %, дизельного топлива — на 8 %, но одновременно количество остаточных нефтепродуктов, используемых в тяжелых топливах, сокращается с 45 до 6 %.

Топлива, применяемые в судовых дизелях (табл. 6.1), подразделяют на дистиллятные и тяжелые.

Дистиллятные топлива. К дистиллятным топливам (продуктам дистилляции нефти и ее остатков) относятся *дизельные топлива* (ГОСТ 305—82), обладающие хорошей воспламеняемостью, высокой скоростью сгорания, низкой нагарообразующей способностью, поэтому их рекомендуют для высокооборотных дизелей аварийных дизель-генераторов и спасательных шлюпок. В зависимости от температурных условий работы дизеля можно применять летнее топливо марки Л с температурой застывания —10°С или зимнее марки З с температурой застывания не выше —35 °С. Дизельное топливо марки Л применяют также в среднеоборотных дизелях судов без соответствующих систем подогрева и обработки топлива. Внедрение в практику переработки нефти вторичных процессов крекинга и коксования привело к появлению на отечественном рынке *нефтяного газотурбинного топлива* марок ТГ и ТГВК (ГОСТ 10433— 75), вырабатываемого из крекинг-остатков сернистых нефтей и содержащего в себе значительные количества смолистых соединений и серы. Это топливо благодаря малой вязкости ($\nu_{50} < 21 \text{ мм}^2/\text{с}$) успешно используют взамен дизельного и средневязких топлив ДТ и Ф-5 в тронковых дизелях (частотой вращения $n > 500$ об/мин, мощностью $Ne < 4000$ кВт), а также в газотурбинных двигателях. Дефицит дизельных топлив потребовал более широкого использования дистиллятов процессов термического и каталитического крекинга, а также тяжелых дистиллятов прямогонных и вакуумных процессов,

обладающих более высокой температурой кипения. Получаемое из них топливо, получившее наименование судового маловязкого, обладает по сравнению с дизельным топливом несколько более худшими показателями (цетановое число ЦЧ-40, а для дизельных топлив ЦЧ>45; содержание серы $S=1,5\%$, а в дизельном топливе $S<0,5\%$). По своим показателям это топливо близко к зарубежному Марине Дизель Ойл (МДО) и предназначено для использования в судовых средне- и высокооборотных дизелях взамен более дорогого дизельного (разница в стоимости 1 т составляет 6 руб).

Тяжелые топлива. Топливо получают путем смешивания прямогонных, а чаще крекинг-остатков с дистиллятами. Достижимая при смешивании гомогенность структуры смеси обеспечивает возможность ее длительного хранения без выпадения в осадок тяжелых составляющих. В зависимости от соотношения между тяжелыми и легкими компонентами вязкость смеси и физико-химические показатели приобретают различные значения. Тяжелые топлива в зависимости от вязкости подразделяют на средне- и высоковязкие сорта.

Средневязкие топлива:

моторное топливо ДТ (ГОСТ 1667—68), получаемое смешиванием мазута с дистиллятами вторичных процессов (каталитическим газойлем, крекинг-керосином и др.);

флотские мазуты Ф-5 и Ф-12 (60—70 % маловязкого мазута прямой перегонки, 15—20 % черного солярового масла и 20—30 % крекинг-мазута), зарубежные мазуты вязкостью 24—48 мм²/с.

Высоковязкие топлива: 10585—75) представляет собой компаундированное прямогонное топливо вязкостью до 170 мм²/с при 50 °С, температурой застывания до 25 °С и зольностью 0,12 %. Мазут 40 является основным видом топлива для судовых малооборотных дизелей при условии, что их система топливоподготовки оснащена эффективными средствами очистки и подогрева. топочного мазута служит моторное топливо ДМ (ГОСТ 1667—68). Вязкость его не превышает 150 мм²/с, содержание серы не более 1,5 %, но зольность может достигать 0,15 %.

топочный мазут марки 40 или 40В (ГОСТ 10585—75) представляет собой Заменителем

Технологическое экспортное топливо марок Э-4,0 и Э-5,0 является смесью прямогонных остатков с дистиллятами, вязкость его составляет 100—150 мм²/с при 50 °С, содержание серы не превышает 2—2,5%, зольность 0,1%, температура застывания не выше 15 °С.

Предусматривается поставка новых судовых средневязких топлив трех видов: легкого (вязкость $\nu_{50} < 36 \text{ мм}^2/\text{с}$, плотность $\rho = 950 \text{ кг/м}^3$), тяжелого ($\nu_{50} < 260 \text{ мм}^2/\text{с}$, $\rho = 955 \text{ кг/м}^3$) и супертяжелого ($\nu_{50} < 700 \text{ мм}^2/\text{с}$, $\rho = 1015 \text{ кг/м}^3$).

К числу *показателей, характеризующих эксплуатационные свойства топлив*, помимо вязкости, относятся плотность; воспламеняемость; содержание кокса, асфальтенов, смол, серы, ванадия, алюминия, содержание золы, механических примесей и воды; стабильность и совместимость.

Тяжелые средне- и высоковязкие топлива имеют худшие качественные показатели, однако, учитывая 1,5—2-кратную разность в стоимости дистиллятных и тяжелых топлив, применение последних в судовых дизелях является экономически оправданным. Но необходимо учитывать, что затраты на топливоподготовку, техническое обслуживание, запасные части и ремонт двигателя увеличиваются. Показатели качества тяжелых топлив и их влияние на техническое состояние двигателей, показаны в табл.

4. Традиционные названия марок топлив

Дистиллятные

Gasoil

Marine gasoil (MGO)

Средневязкие

Marine Diesel Oil (MDO)

Тяжелые

IFO 60...380

5.Международный стандарт ISO 8217:2012

Настоящий стандарт устанавливает требования к судовым топливам для СЭУ и включает в себя:

- четыре марки дистиллятного топлива, одно из них для дизельных двигателей, используемых для аварийных целей (DMX):

DMX, DMA, DMZ, DMB

- 11 марок судовых остаточных топлив:

RMA 10, RMB 30, RMD 80, RME 180, RMG 180, RMG 380, RMG 500, RMG 700, RMK 380, RMK 500, RMK 700

6.Охрана окружающей среды

LSFO – тяжелое топливо с низким содержанием серы

HSLO – тяжелое топливо с высоким содержанием серы

LSMGO – дизельное топливо с низким содержанием серы

Газомоторное топливо

В качестве топлива могут использоваться различные газы, которые можно разделить на 4 вида:

1.Сжиженный природный газ, СПГ, (англ. liquefied natural gas, LNG) получают при охлаждении природного газа до температуры -160°C . При этом происходит сжатие газа по объёму в 600 раз.

2. Сжатый (компримированный) природный газ, КПП (англ. compressed natural gas CNG) – газообразные углеводороды, образующиеся в земной коре, высокоэкономичное энергетическое топливо.

3. Сжиженный газ (пропан-бутан) или сжиженный углеводородный газ, СУГ (англ. liquefied petroleum gas LPG) – газ, полученный при добыче и переработке нефти. В жидкое состояние переводят при охлаждении до критической температуры и последующей конденсации в результате отвода теплоты парообразования.

4.– Синтезированный природный газ (англ. synthetic natural gas SNG) газ, полученный из угля или нефти, состоит из тех же

основных химических элементов, что и природный газ, и имеет такие же горючие свойства

В качестве топлива для ДВС применяются два вида: сжиженный природный газ сокращённо СПГ (liquefied natural gas сокращённо LNG) ГОСТ Р 56021-2014 и газы углеводородные сжиженные топливные (liquefied hydrocarbon fuel gases или liquefied petrol gases, сокращённо LPG) ГОСТ Р 52087-2003. Наибольшее распространение получил сжиженный природный газ (СПГ)

1. Согласно ГОСТ Р 57431—2017 сжиженный природный газ (liquefied natural gas, LNG). Криогенная жидкость без цвета и запаха, состоящая в основном из метана, которая может содержать небольшие количества этана, пропана, бутана, азота и других компонентов, присутствующих в природном газе. ГОСТ Р 56021-2014 устанавливает показатели качества, поставляемого потребителям СПГ, следующих марок А, Б и В. В качестве топлива для двигателей внутреннего сгорания используется СПГ марки А и Б.

При поставках СПГ с массовой концентрацией общей серы не более 0,010 г/м³ к обозначению марки СПГ добавляют индекс "0". Пример условного обозначения продукции при заказе и в технической документации: Газ горючий природный сжиженный, марка А0, ГОСТ Р.

Таблица 1. Показатели качества СПГ для ДВС

Наименование показателя	Значение для марки	
	А	Б
Компонентный состав, молярная доля, %	Определение обязательно	
Низшая теплота сгорания при стандартных условиях, Q_n (МДж/м ³)	Не нормируется	От 31,8 до 36,8
4 Молярная доля метана CH_4 , %, не менее	99,0	80,0
5 Молярная доля азота, N_2 %, не более	Не нормируется	5,0
6 Молярная доля диоксида углерода CO_2 , %, не более	0,005	0,015
7 Молярная доля кислорода O_2 , %, не	0,020	

более		
8 Массовая концентрация сероводорода H ₂ S, г/м ³ , не более	0,020	
9 Массовая концентрация меркаптановой серы (CH ₃ SH), г/м ³ , не более	0,036*	
Расчётное октановое число (по моторному методу), не менее	Не нормируется	105
* По требованию потребителя СПГ может поставляться с массовой концентрацией общей серы, определяемой по 8.5, не более 0,010 г/м.		

Достоинства газомоторного топлива

В настоящее время применение газа в качестве топлива активно внедряется во многих отраслях энергетики, в том числе и в судовом дизелестроении. Использование газа в качестве топлива имеет множество достоинств. Достоинствами, применения газа в качестве моторного топлива являются следующие:

Экономическая - стоимость природного газового моторного топлива ниже, чем жидкого топлива, получаемого из нефти.

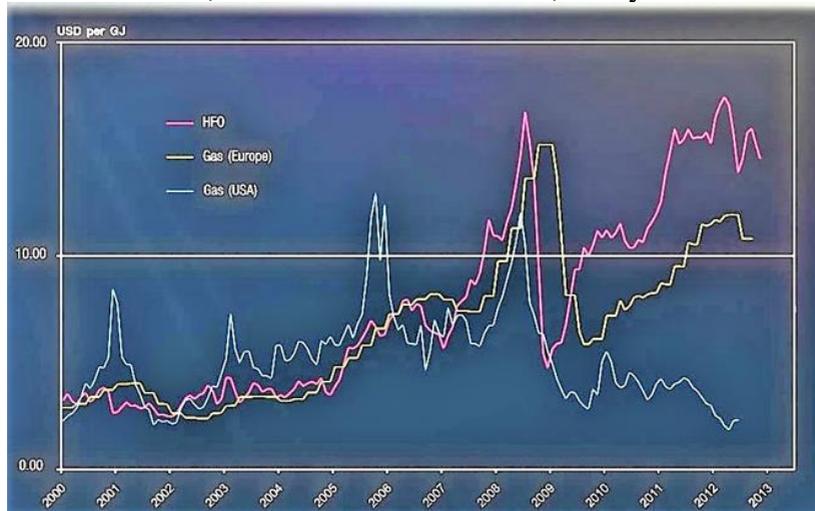


Рисунок 1. Цены на газ и тяжёлое топливо

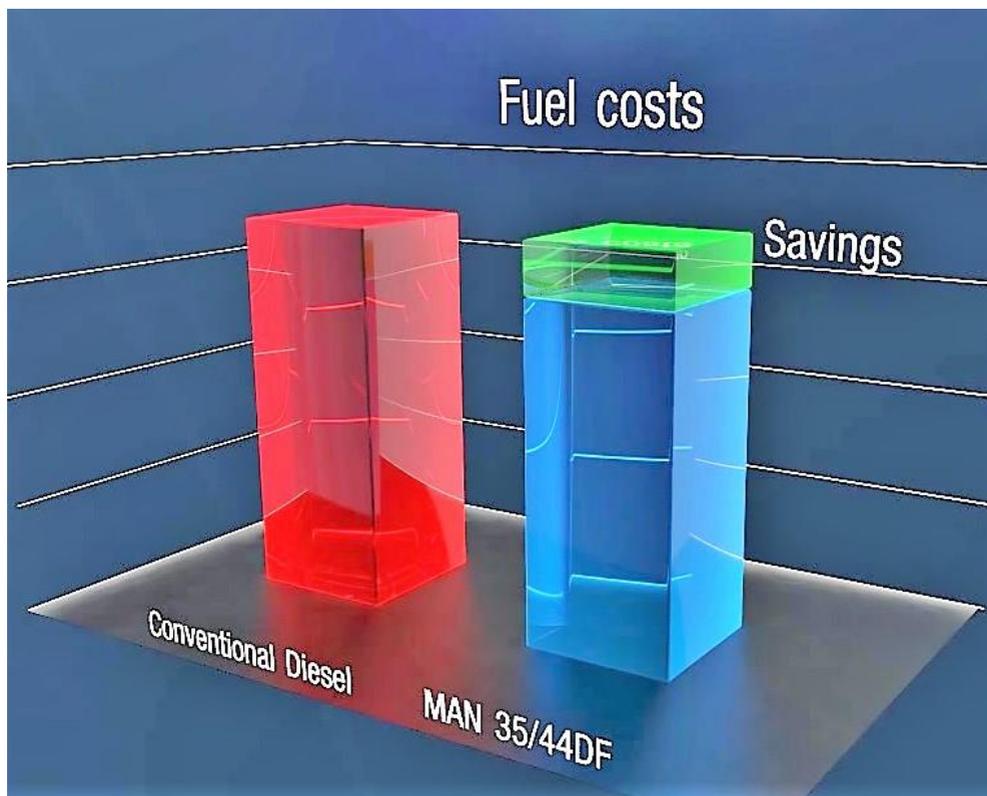


Рисунок 2. Расходы на топливо

2. Экологическая

Газовое топливо почти не содержит серы, что значительно снижает содержание серы в выхлопных газах. Применение газового топлива кардинально (на 90 %) снижает выбросы оксидов азота (NOx). Снижение выбросов парниковых газов на эквивалентную мощность составляет 25 – 30 %, что является дополнительным аргументом в пользу перевода судовых двигателей на газовое топливо в свете современных экологических требований ИМО.

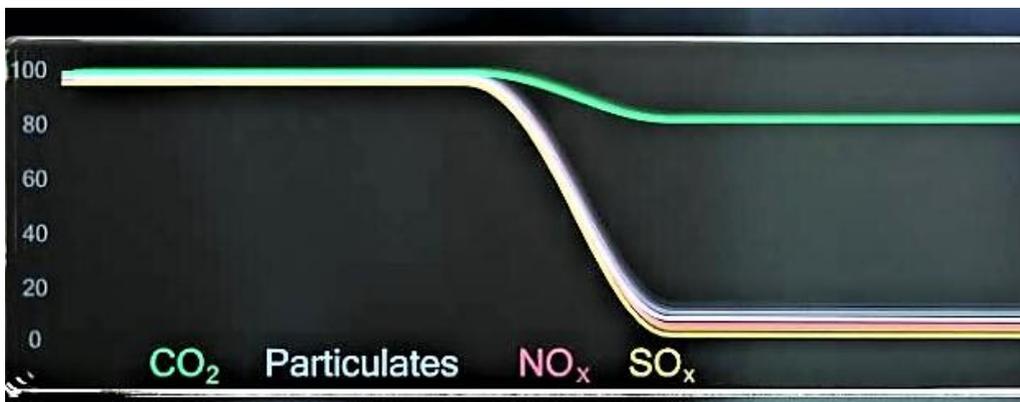


Рисунок 3. Снижение вредных выбросов в атмосферу
 Эксплуатационная - отсутствие зольности и улучшение условий смазки повышает срок службы масла при использовании более дешёвых масел с минимумом присадок; в связи с уменьшением износа моторесурс может быть увеличен.



Рисунок 4. Эксплуатационные расходы

Однако переход на газ влечёт за собой некоторый рост постройной стоимости, в основном – за счёт дорогостоящих систем хранения газа.

Физические свойства СПГ

1. Плотность

Плотность СПГ зависит от его компонентного состава и обычно колеблется в диапазоне от 430 до 470 кг/м³, но в отдельных случаях может достигать 520 кг/м³. Плотность СПГ зависит от температуры жидкости с градиентом температуры примерно 1,4 кг/(м³ К). Плотность может быть измерена непосредственно, но, как правило, ее вычисляют по составу газа, определенному методом газовой хроматографии.

2. Температура

В зависимости от компонентного состава СПГ имеет температуру кипения в диапазоне от минус 166°С до минус 157°С при атмосферном давлении. Изменение температуры кипения СПГ в зависимости от давления составляет примерно 1,2510⁻⁴ °С/Па.

3. Вязкость

Вязкость СПГ зависит от состава и обычно находится в диапазоне от 1,0·10⁻⁴ до 2,0 10⁻⁴ П при температуре минус 160°С, что составляет от 1/10 до 1/5 вязкости воды. Вязкость СПГ также зависит от температуры жидкости.

4. Воспламенение

Смесь паров СПГ с воздухом воспламеняется при концентрации паров СПГ в диапазоне от 5 % об. до 15 % об.

5. Метановое число; МЧ: Показатель, характеризующий детонационную стойкость газообразного топлива и отражающий объёмное содержание метана (в процентах) в метановодородной смеси, которая при испытании в стандартных условиях начинает детонировать при той же степени сжатия, что и проверяемый газ.

Таблица 2 Температура вспышки топлив для ДВС

Топливо	Метан	Этан	Пропан	н-Бутан	Топливо	Нефтяное
---------	-------	------	--------	---------	---------	----------

					дизельное ЕВРО	топливо
Температура самовоспламенения °С	537	515	470	405	280- 310 °С	350
Источник	ГОСТ Р 56021-2014 стр. 20				ГОСТ 32511-2013 стр.15	ГОСТ 32510-2013 Стр 12

Особенности использования газообразного топлива.

Сложность использования газообразного топлива в дизеле заключается в том, что этого газ не воспламеняется в цилиндре от сжатия, как в случае с жидким топливом. Известны 3 варианта организации процесса сгорания газа в двигателе:

двухтопливные, работающие по циклу, со сжатием в цилиндре двигателя воздуха и впрыском газового и запального дизельного топлива (с внутренним смесеобразованием);

двухтопливные, работающие по циклу, со сжатием в цилиндре двигателя смеси воздуха и газа, подаваемого на всасывании и воспламенением от впрыскиваемого в цилиндр запального (с внешним смесеобразованием);

реализация рабочего цикла, с внешним смесеобразованием, последующим сжатием газоздушной смеси в цилиндре и с воспламенением от искры;

В случае первого варианта газ должен подаваться в цилиндр при высоком давлении. В случае второго и третьего при низком.

МАРПОЛ

57 сессия Marine Environment Protection Committee (MEPC 57) предложила внести изменения в Правило 14 Приложения VI, в

соответствии с которыми содержание серы в топливе, используемом во всем мире, не должно превышать:

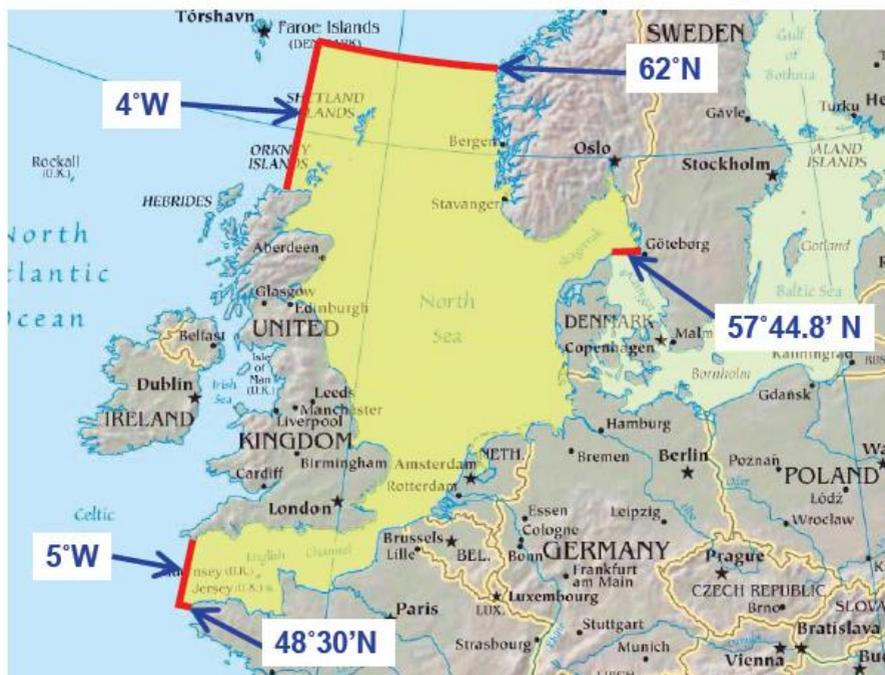
3,50 % с 1 января 2012 года;

0,50 % с 1 января 2020 года.

Содержание серы в топливе, используемом в SECA, не должно превышать:

0,10 % с 1 января 2015 года.

Районы Контроля Выбросов SOx



7. Присадки к судовым топливам

Развитие химической промышленности способствовало созданию химических веществ, улучшающих характеристики топлив. Данные вещества добавляемые в топливо называются *присадками*. Существует целый ряд компаний (Vecom, Unitor) выпускающих подобные присадки, имеющие различные

назначения. Основными целями применения присадок топлива для судовых дизелей являются

- 1) повышение температуры застывания, что позволяет применять летнее дизельное топливо в зимних условиях (депрессорные присадки)
- 2) снижение предельной температуры фильтруемости
- 3) уменьшение коррозии топливных танков и высокотемпературной коррозии выхлопных клапанов (Vecom: FOT-SA, FOT-DA, Mark-IV, Unitor :Valvecare).
- 4) облегчение удаления остатков топлива из танков при их чистке (Vecom: FOT-NW, Bunkersol-D, Perolin 622-DE, Unitor: Fuelcare, Gamabreak и др.)
- 5) улучшение смазывающих свойств дизельного топлива, что способствует снижению износа топливной аппаратуры
- 6) отделение топлива и воды (деэмульгаторы, Gamabreak)
- 7) повышение стабильности смесей топлива
- 8) улучшения процесса сгорания, снижения образования сажи нагара

Присадки вводятся в топливные танки перед приемкой топлива. Дозировка осуществляется в соответствии с инструкцией завода изготовителя.

Система	Последствия применения топлива	Признак дефекта	Причина дефекта	Рекомендуемые присадки
Топливные танки и система перекачивания.	Шламообразование. Эмульгирование воды.	Перегрузка сепаратора, загрязнение фильтров, подогревателей, закоксовывание отверстий распылителей. Плохое сгорание, эрозия распылителей, интенсивное шламообразование.	Недостаточно стабильные топлива, полученные смешиванием продуктов с легкими фракциями; несовместимость топлив. Обводнение при перевозках, бункеровке или хранении.	Bunkerson-D, Vecom FOT-NW, Perolin PFOT 622-DE, Gamien FOT; ЛЗ-ЦНИИМФ-6 - растворимые диспергаторы, понижающие силы поверхностного натяжения тяжелых углеводородов, диспергирующие структурные системы; дозировка 1/4000-1/10000. Дезэмульгаторы Drew Ameroid Mark Mark-IV, дестабилизирующие эмульсию воды в топливе и способствующие ее распаду; дозировка 1/4000—1/8000.
Камера сгорания.	Высокотемпературная коррозия и зольные отложения.	Коррозия выпускных клапанов и отложения в турбокомпрессорах и выпускном тракте.	В топливе высокое содержание ванадия и натрия.	Vecom FOT-SA; D.A. Mark-IV, Perolin 687-SD Amergize 2; металлоорганические на базе магния и редкоземельных элементов присадки, в процессе сгорания взаимодействующие с натрием и ванадием, способствующие образованию золы с высокой температурой плавления, ухудшенной адгезией и не оказывающие коррозирующего воздействия на выпускные клапаны; дозировка 1/4000-1/8000.
Выпускная система, утилизационные котлы.	Неполное сгорание, увеличение отложений в выпускном клапане.	Ухудшение теплопередачи (требуется частый сажеобдув), возгорание отложений сажи в выпускной системе, недостаточное паробразование.	То же.	LT-Soot Release (Drew Ameriod) - высокоактивный катализатор, обеспечивающий сгорание при низких температурах; дозировка 1-2 кг в сутки.
Цилиндро-поршневая группа.	Низкотемпературная коррозия.	Интенсивное изнашивание ЦПГ под действием электрохимической коррозии, поверхностей нагрева утилизационных	В топливе высокое содержание серы.	D.A. Mark-IV, Amergize, взаимодействующие с ванадием и серой и противодействующие переходу SO ₂ в SO ₃ и образованию H ₂ SO ₄ .

Рекомендованная литература:

1. Возницкий И. В. Судовые двигатели внутреннего сгорания. Том 2. / И.В.Возницкий, А.С.Пунда – М.:МОРКНИГА, 2010.- 382 с.
Страницы 249-283
2. Возницкий И. В. Судовые двигатели внутреннего сгорания. Том 2. / И.В.Возницкий, А.С.Пунда – М.:МОРКНИГА, 2008.- 470 с.
Страницы 133-139
3. Возницкий И. В. Судовые дизели и их эксплуатация / И.В.Возницкий, Е.Г.Михеев – М.:Транспорт, 1990. - 360 с
Страницы 314 -353