

СТАНДАРТЫ ЕРА США ПО ОГРАНИЧЕНИЮ ВРЕДНЫХ ВЫБРОСОВ СУДОВЫХ ДИЗЕЛЕЙ (по материалам Power Sourcing Guide 2020–2021)

Создание и введение в действие национальных стандартов, регламентирующие выбросы вредных веществ с отработавшими газами судовых дизелей, имеет ряд существенных различий и особенностей. Так, например, такой стандарт (ГОСТ 24585–81) был впервые введен в действие в СССР в 1981 г. Впоследствии он был пересмотрен всего дважды: в 1999 (ГОСТ 51249–99) и в 2012 г. (ГОСТ 31967–2012), и в последней редакции, гармонизированной со стандартом ISO 8178/1, действует в настоящее время. К недостаткам этого стандарта следует отнести отсутствие детализации по назначению двигателей (главные или вспомогательные), а также по рабочему объему и цилиндровой или агрегатной мощности. Эти недостатки отсутствуют в национальных стандартах США, выпуском и внедрением которых занимается

Агентство по охране окружающей среды (ЕРА). В стандартах ЕРА США помимо агрегатной мощности учитывается категория судовых дизелей, их назначение, вид топлива, а также специальные условия эксплуатации (Blue Sky Series). Развитию стандартов ЕРА США по ограничению выбросов вредных веществ с ОГ в атмосферу от судовых дизелей посвящен специализированный обзор, опубликованный в сборнике «Power Sourcing Guide 2020–2021», изданном группой «Diesel Progress International». Опыт развития стандартов, выпускаемых ЕРА США, может оказаться полезным для российских специалистов при очередном пересмотре/переиздании национальных стандартов РФ.

Перевод выполнен к.т.н. Г. Мельником

Типичный диапазон мощности главных судовых дизелей категорий 1 и 2 составляет от 500 до 8000 кВт (от 700 до 11 000 л. с.). Такие двигатели приводят в движение суда различного назначения, в том числе буксиры, суда снабжения, рыболовные суда и другие плавсредства, работающие как на территории порта, так и за ее пределами. Они также используются на многих судах в качестве вспомогательных дизель-генераторов.

Категория 3 судовых дизелей охватывает диапазон мощности от 2500 до 70000 кВт (от 3000 до 100000 л. с.). В нее входят главные (пропульсивные) дизели особо большой мощности для океанских судов, таких как контейнеровозы, танкеры, сухогрузы и круизные лайнеры. Возможности контроля выбросов таких двигателей технологически ограничены.

Это связано, главным образом, с тем, что работают они, как правило, на остаточном топливе.

Остаточное топливо является побочным продуктом перегонки нефти с целью получения легких нефтепродуктов. Оно отличается высокими значениями плотности и вязкости (что ухудшает

качество сгорания), и, по сравнению с морскими дистиллятными топливами, содержит значительно больше золы, серы и азота. Кроме того, параметры остаточного топлива могут колебаться в широких пределах, поскольку содержание в нем примесей не нормировано. Согласно оценкам ЕРА, использование остаточного топлива приводит к повышению выбросов NO_x на 20–50 %, а выбросов РМ — на 750–1250 % (частиц сульфатов) по сравнению с дистиллятными топливами.

Нормативные документы

Выбросы от судовых дизелей (двигателей внутреннего сгорания) регламентируются рядом документов (первый из которых был выпущен в 1999 г.), распространяющихся на различные категории плавсредств. В некоторых случаях имеет место определенное «перекрывание» категорий. В частности, это относится к нормативам для дизелей мобильной внедорожной техники, которые могут применяться к некоторым двигателям, устанавливаемым на судах. Ниже приводится список основных документов, регулирующих выбросы от судовых двигателей.

➤ Постановление для судовых двигателей — 1999–23 ноября 1999 г. ЕРА был подписан документ «Нормативы вредных выбросов от новых судовых двигателей с самовоспламенением от сжатия (CI) мощностью 37 кВт и более [40 CFR ч. 89, 92][64 FR 64 73300–73373, 29 декабря 1999] в окончательной редакции. Принятые нормативы Tier 2 для двигателей категорий 1 и 2 базируются на стандартах для дизелей мобильной внедорожной техники, тогда как более мощные двигатели категории 3, как ожидается (но не требуется нормативным документом), должны соответствовать требованиям IMO MARPOL, Annex VI.

➤ Постановление для дизельных двигателей рекреационных судов — 2002 — Дизели, исполь-

Таблица 1

Категории главных судовых двигателей

Категория	Рабочий объем цилиндра (D)		Конструктивная основа
	Tier 1–2	Tier 3–4	
1	$D < 5 \text{ дм}^3$ *	$D < 7 \text{ дм}^3$	Дизели внедорожных машин
2	$5 \text{ дм}^3 < D < 30 \text{ дм}^3$	$7 \text{ дм}^3 < D < 30 \text{ дм}^3$	Тепловозные дизели
3	$D > 30 \text{ дм}^3$		Уникальные судовые дизели

* а также мощностью >37 кВт

зубые на рекреационных судах, попадают под «Нормативы вредных выбросов для новых дизелей — мощные промышленные двигатели с искровым зажиганием (SI), дизели для рекреационных судов и рекреационные суда», подписанное 13 сентября 2002 г. [40 CFR ч. 89 и др.] [67 FR 68241-68447, 8 ноября 2002].

➤ Постановление для двигателей категории 3 — 2003 — Решение оставить самые мощные двигатели категории 3 вне сферы действия нормативных документов вызвало протест защитников окружающей среды, опротестовавших его в суде. Суд обязал EPA разработать нормативные документы по вредным выбросам для двигателей категории 3. Окончательный нормативный документ «Нормативы вредных выбросов для новых судовых двигателей с самовоспламенением от сжатия с объемом цилиндра 30 и более литров [40 CFR ч. 9 и 94] [68 FR 9745-9789, 28 февраля 2003 г.], подписанный в январе 2003 г., в качестве стандарта установил для главных судовых двигателей Tier 1 — фактический эквивалент уровню выбросов согласно IMO MARPOL, Annex VI.

➤ Постановление для двигателей категорий 1 и 2 — 2008 — Нормативный документ, подписанный 14 марта 2008 г., установил для судовых дизелей нормативы вредных выбросов Tier 3 и Tier 4 [73 FR 88 25098-25352, 6 мая 2008 г.]. Стандарты вредных выбросов Tier 4 составлены на основе программы 2007/2010 для дизелей шоссейного транспорта и стандарта Tier 4 для внедорожной техники, и в них предусматривалось использование средств очистки ОГ. Чтобы форсировать внедрение методов каталитической очистки, EPA установило предельное допустимое содержание серы в морских топливах (как часть стандарта Tier 4 для внедорожной техники). В июне 2007 г. этот предел был установлен на уровне 500 ppm, а в июне 2012 г. — на уровне 12 ppm (данные нормы не относятся к остаточным топливам).

➤ Постановление для двигателей категории 3 — 2009 — 18 декабря 2009 г. EPA подписало новые нормы для двигателей категории 3 (опубликованы 30 апреля 2010 г.), устанавливающие нормативы Tier 2 и Tier 3 в целях гармонизации с поправками к правилам IMO MARPOL, Annex VI.

Область применения

Постановление для судовых двигателей — 1999. Область применения нормативного документа для судовых двигателей охватывает все судовые дизели мощностью 37 кВт (50 л. с.) и выше (двигатели меньшей мощности должны соответствовать стандартам для двигателей внедорожной техники). Область применения включает главные и вспомогательные судовые дизели. Главными считаются двигатели, с помощью ко-

торых судно приводится в движение или осуществляется его маневрирование (например, носовые подруливающие устройства), вспомогательными — все остальные двигатели на судне.

Классификация буровых платформ зависит от их способности к самостоятельному перемещению. Поскольку буровые суда считаются морскими судами, то на их двигатели распространяются правила для морских судов. Также морскими судами считаются полупогружные закоренные глубоководные платформы, имеющие средства для самостоятельного позиционирования. Морскими судами не считаются буровые платформы, стоящие на вечном якорю, поэтому никакие находящиеся на них двигатели (если таковые имеются) не считаются судовыми.

В соответствии с правилами для стационарных установок, судовыми двигателями не считаются передвижные вспомогательные двигатели, находящиеся на борту морского плавсредства. С точки зрения классификации, такие двигатели считаются стационарными вспомогательными двигателями, и на них распространяются правила для стационарных внедорожных двигателей. По классификации EPA, различие между судовыми вспомогательными двигателями и стационарными вспомогательными двигателями состоит в том, что судовой вспомогательный двигатель — это двигатель, чья система топливоподачи, охлаждения или выпуска либо является неотъемлемой частью судна, либо требует специального оборудования для их фиксации на судне. Все остальные вспомогательные двигатели не считаются судовыми.

Исключения из нормативов 1999 г.

➤ Двигатели, используемые на рекреационных судах (стандарты для двигателей рекреационных судов установлены правилами 2002 г.).

➤ Новые стационарные двигатели, прошедшие сертификацию на соответствие нормам вредных выбросов и адаптированные для использования на плавсредствах (при выполнении определенных условий).

➤ Двигатели гоночных судов.

➤ Двигатели военных судов (за исключением судов АНБ).

➤ Некоторые другие исключения (двигатели, предоставляемые для испытаний, для демонстрации, поставляемые на экспорт, и т. д.).

Постановление 1999 г. содержит также, так называемые «внешнеторговые исключения» (для двигателей категорий 1 и 2, установленных на океанских судах с главным двигателем категории 3) — для судов США, находящиеся менее 25 % рабочего времени в пределах 320-километровой зоны вокруг территории США. Постановлением 2003 г. (категория 3) внешнеторговые

Таблица 4

Нормативы для дизелей рекреационных судов

Рабочий объем цилиндра (D), дм ³	СО г/кВт·ч	NO _x +THC г/кВт·ч	PM г/кВт·ч	Год
0,5<D<0,9	5,0	7,5	0,40	2007
0,9<D<1,2	5,0	7,2	0,30	2006
1,2<D<2,5	5,0	7,2	0,20	2006
D>2,5	5,0	7,2	0,20	2009

исключения были отменены для двигателей всех категорий.

Согласно постановлению 1999 г., для двигателей, работающих на дизельном топливе и для двигателей, работающих на всех остальных видах топлива, нормативы вредных выбросов одинаковы.

Постановление для рекреационных судов — 2002. Это постановление относится к судовым дизелям для вновь построенным рекреационных судов мощностью свыше 37 кВт (50 л. с.), используемым на яхтах, круизных катерах и других видах прогулочных судов. Правило 2002 г. не распространяется на подвесные моторы и двигатели скутеров с водометами.

Для двигателей, работающих на дизельном топливе и для двигателей, работающих на всех остальных видах топлива, нормативы вредных выбросов одинаковы.

Постановления для двигателей категории 3 — 2003 и 2009. Эти стандарты распространяются на новые двигатели и вновь построенные суда, зарегистрированные в США или плавающие

под флагом США. Однако, согласно правилам ИМО Annex VI, соответствующие нормативы вредных выбросов распространяются на иностранные суда, находящиеся в территориальных водах США.

Постановления для двигателей категорий 1 и 2 — 2008. Этим постановлением вводятся два уровня вредных выбросов — Tier 3 и Tier 4 —

Таблица 5

Нормативы Tier 3 для судовых дизелей категории 1 с удельной мощностью <35 кВт/дм³

Мощность (P) кВт	Рабочий объем (D) цилиндра дм ³	NO _x +THC г/кВт·ч	PM г/кВт·ч	Год
P<19	D<0,9	7,5	0,40	2009
19<P<75	D<0,9 ¹	7,5	0,30	2009
		4,7 ²	0,30 ²	2014
75<P<3700	D<0,9	5,4	0,14	2012
	0,9<D<1,2	5,4	0,12	2013
	1,2<D<2,5	5,6	0,11 ³	2014
	2,5<D<3,5	5,6	0,11 ³	2013
	3,5<D<7	5,8	0,11 ³	2012

* — нормативы Tier 3 NO_x+HC не распространяются на двигатели мощностью 2000–3700 кВт.

¹ — двигатели мощностью <75 кВт с рабочим объемом цилиндра >0,9 дм³ должны соответствовать нормативам для двигателей мощностью 75–3700 кВт;

² — вариант нормативы 0,20 г/кВт·ч PM и 5,8 г/кВт·ч NO_x+HC вступают в силу в 2014 г.;

³ — этот разрешенный уровень для двигателей мощностью <600 кВт снижается в 2018 г. до 0,10 г/кВт·ч.

Таблица 2

Стандарты вредных выбросов от морских судов Tier 2*

Кат.	Рабочий объем цилиндра (D), дм ³	СО г/кВт·ч	NO _x +THC г/кВт·ч	PM г/кВт·ч	Год
1	Мощность>37 кВт D<0,9	5,0	7,5	0,40	2005
	0,9<D<1,2	5,0	7,2	0,30	2004
	1,2<D<2,5	5,0	7,2	0,20	2004
	2,5<D<5,0	5,0	7,2	0,20	2007 ¹
2	5,0<D<15	5,0	7,8	0,27	2007 ¹
	15<D<20	5,0	8,7	0,50	2007 ¹
	Мощность<3300кВт	5,0	8,7	0,50	2007 ¹
	15<D<20	5,0	9,8	0,50	2007 ¹
	Мощность>3300 кВт	5,0	9,8	0,50	2007 ¹
	20<D<25	5,0	9,8	0,50	2007 ¹
	25<D<30	5,0	11,0	0,50	2007 ¹

* — стандарты Tier 1 эквивалентны нормативам MARPOL Annex 6 Tier 1 по NO_x

¹ — нормативы Tier 1 вступили в силу в 2004 г.

Таблица 3

Нормативы добровольной сертификации для серии «Blue Sky Series» («Чистое небо»)

Рабочий объем цилиндра (D), дм ³	NO _x +THC г/кВт·ч	PM г/кВт·ч
Мощность>37 кВт при D<0,9	4,0	0,24
0,9<D<1,2	4,0	0,18
1,2<D<2,5	4,0	0,12
2,5<D<5,0	5,0	0,12
5,0<D<15	5,0	0,16
15<D<20 при мощности <3300 кВт	5,2	0,30
15<D<20 при мощности >3300 кВт	5,9	0,30
20<D<25	5,9	0,30
25<D<30	6,6	0,30

Таблица 6

Нормативы Tier 3 для судовых дизелей категории 1 с удельной мощностью >35 кВт/дм³

Мощность (P) кВт	Рабочий объем (D) цилиндра дм ³	NO _x +THC г/кВт·ч	PM г/кВт·ч	Год
P<19	D<0,9	7,5	0,40	2009
19<P<75	D<0,9 ¹	7,5	0,30	2009
		4,7 ²	0,30 ²	2014
75<P<3700	D<0,9	5,8	0,15	2012
	0,9<D<1,2	5,8	0,14	2013
	1,2<D<2,5	5,8	0,12	2014
	2,5<D<3,5	5,8	0,12	2013
	3,5<D<7	5,8	0,11	2012

¹ — двигатели мощностью <75 кВт с рабочим объемом цилиндра >0,9 дм³ должны соответствовать нормативам для двигателей мощностью 75–3700 кВт;

² — вариант нормативы 0,20 г/кВт·ч PM и 5,8 г/кВт·ч NO_x+HC вступают в силу в 2014 г.

которые распространяются на новые, так и на модернизированные судовые дизели, а именно:

1. Новые двигатели: стандарт Tier 3 распространяются на двигатели, используемые в коммерческих, рекреационных и вспомогательных судах (включая двигатели мощностью менее 37 кВт, ранее регулируемые стандартами для внедорожной техники). Стандарты Tier 4, предписывающие использование средств газоочистки, распространяются на модернизируемые двигатели мощностью свыше 600 кВт (800 л. с.), используемые на коммерческих судах.

2. Модернизируемые двигатели: стандарты распространяются на модернизируемые дизели мощностью свыше 600 кВт для коммерческих судов.

Правило 2008 г. вводит исключения для двигателей следующих категорий:

➤ Опытные двигатели, двигатели, принадлежащие производителю и демонстрационные двигатели.

➤ Судовые дизели, представляющие собой судовую модификацию сертифицированных тепловозных, автомобильных двигателей и двигателей внедорожной техники.

➤ Двигатели гоночных судов.

➤ Экспортные двигатели.

➤ Некоторые двигатели военного назначения.

➤ Двигатели, установленные на плавсредствах, принадлежащих и используемых лично их владельцами (что позволяет рыбакам и любителям самоделок устанавливать на свои суда использованные или переоборудованные двигатели, а также обновленные устаревшие двигатели — чтобы не приобретать новый несертифицированный двигатель у его производителя).

Не все исключения являются автоматическими. Производителю двигателя или судна, а также судовладельцам в некоторых случаях необходимо будет обращаться к ЕРА за разрешением на то или иное исключение.

Нормативы вредных выбросов — стандарты категории 3, уровень Tier 1. Постановлением 2003 ЕРА инкорпорировала нормативы вредных выбросов NO_x Tier 1 применительно к двигателям категории 3, что эквивалентно нормативам ИМО MARPOL Annex VI. Тем самым предельно допустимое значение выброса NO_x с ОГ устанавливается на уровне от 17 до 9,8 г/кВт·ч, при этом более высокий уровень соответствует более малооборотным двигателям.

Предельно допустимые значения вредных выбросов по ЕРА Tier 1 распространяются на двигатели, построенные в 2004 г. и позже. Эти значения должны быть достигнуты за счет организации рабочего процесса двигателя, без использования устройств очистки ОГ.

Таблица 7

Стандарт Tier 3 для судовых дизелей категории 2¹

Мощность (P) кВт	Рабочий объем (D) цилиндра дм ³	$\text{NO}_x + \text{THC}^{**}$ г/кВт·ч	PM г/кВт·ч	Год
P < 3700	7 < D < 15	6,2	0,14	2013
	15 < D < 20	7,0	0,27 ¹	2014
	20 < D < 25	9,8	0,27	2014
	25 < D < 30	11,0	0,27	2014

* — вариант Tier 3 PM/ NO_x +HC на уровне 0,14/7,8 г/кВт·ч вступает в силу в 2012 г., а Tier 4 — в 2015 г.;

** — нормативы Tier 3 NO_x +HC не распространяются на двигатели мощностью 2000–3700 кВт;

¹ — 0,34 г/кВт·ч для двигателей мощностью менее 3300 кВт.

Таблица 8

Стандарт Tier 4 для судовых дизелей категорий 1/2

Мощность (P), кВт	NO_x , г/кВт·ч	HC, г/кВт·ч	PM, г/кВт·ч	Год
P > 3700	1,8	0,19	0,12 ¹	2014 ³
	1,8	0,19	0,06	2016 ²³
2000 < P < 3700	1,8	0,19	0,04	2014 ³⁴
1400 < P < 2000	1,8	0,19	0,04	2016 ³
600 < P < 1400	1,8	0,19	0,04	2017 ⁴

¹ — 0,25 г/кВт·ч для двигателей с рабочим объемом цилиндра 15–30 дм³;

² — модельные годы, когда может начинаться срок действия факультативных нормативов;

³ — вариант для двигателей категории 2: нормативы Tier 3 PM/ NO_x +HC на уровне 0,14/7,8 г/кВт·ч вступают в силу в 2012 г., а Tier 4 — в 2015 г.;

⁴ — нормативы Tier 3 по PM для этих двигателей продолжают действовать только в модельные годы 2014 и 2015.

Другие выбросы, кроме NO_x , не нормируются.

Стандарты Tier 2–3. Согласно постановлению ЕРА 2009 г., для вновь строящихся двигателей категории 3 были введены стандарты Tier 2 и Tier 3.

➤ Стандарт Tier 2 вступил в силу с начала 2011 г. Он подразумевает необходимость выполнения соответствующих требований за счет организации рабочего процесса двигателя, с помощью правильного фазирования впрыска и газораспределения, охлаждения двигателя и современных электронных систем управления. Стандарт Tier 2 устанавливает предельно допустимые значения выбросов NO_x на 15–25 % меньше, чем Tier 1.

➤ Стандарт Tier 3 вступил в силу с начала 2016 г. Его требования могут быть выполнены с помощью высокоэффективных технологий управления выбросами, как, например, селективная каталитическая очистка (SCR), позволяющая снизить выбросы NO_x на 80 % по сравнению с уровнем Tier 1.

Нормативы ЕРА Tier 2–3 по выбросам NO_x полностью соответствуют нормативам ИМО Tier 2–3. В зависимости от частоты вращения двигателя, предельно допустимые значения выбросов NO_x с отработавшими газами находятся в диа-

пазоне от 14,4 до 7,7 г/кВт·ч, а по нормативам Tier 3 — в диапазоне от 3,4 до 1,96 г/кВт·ч.

Зоны контролируемых выбросов ИМО (ЕСА). Организация ИМО определила территориальные воды вокруг побережья США и Канады как североамериканские зоны контролируемых выбросов NO_x и SO_x (с августа 2012 г.), а территориальные воды вокруг Пуэрто-Рико и Виргинских островов США — как карибские зоны контролируемых выбросов NO_x и SO_x (с начала 2014 г.).

Статус ЕСА означает, что, находясь в территориальных водах США, суда под иностранным флагом обязаны соблюдать требования нормативов ИМО Tier 3 по выбросам NO_x (эти нормативы действуют только в пределах зон ЕСА). Кроме того, необходимо соблюдать требование использования только малосернистых топлив (в зонах ЕСА, определенных ИМО, а в зонах ЕСА США — в зонах ЕСА, определенных U.S. EPA).

Нормативы вредных выбросов – категории 1 и 2

Нормативы вредных выбросов Tier 1–2. Нормативы выбросов для дизелей категорий 1 и 2 основаны на аналогичных документах для тепловозных дизелей и двигателей внедорожной техники. В табл. 2 приведены нормативы вредных выбросов EPA, определяемые как нормативы Tier 2 и даты их ввода в действие. Нормативы Tier 1 по выбросам NO_x эквивалентны нормативам MARPOL Annex VI, согласно постановлению EPA 1999 г. были факультативными, но согласно постановлению 2003 г. (разработанному для дизелей категории 3) стали обязательными также для дизелей категорий 2 и 1 с рабочим объемом цилиндра более 2,5 л, начиная с 2004 г.

Законодательством ограничиваются выбросы NO_x+THC, PM, и CO. Для судовых дизелей законодательных ограничений дымности ОГ пока нет. По мнению регуляторов, существенный вклад в ограничение дымности ОГ внесут новые нормативные документы по выбросам PM.

Ранее EPA предлагало ввести в действие более жесткие нормативы Tier 3 в период с 2008 по 2010 гг. В окончательную редакцию постановления 1999 г. нормативы Tier 3 не вошли.

Программа Blue Sky Series

Рекреационные суда (постановление EPA 2002 г.). Нормативы вредных выбросов для рекреационных судов, постепенно вводившиеся в действие, начиная с 2006 г., в зависимости от мощности двигателей, приведены в табл. 4. Они аналогичны нормативам Tier 2 для двигателей коммерческих судов категории 1.

Рекреационные суда подпадают также под ограничения, связанные с допустимой зоной рабочих режимов (NTE — «not-to-exceed»). К двигателям рекреационных судов не предъ-

является требование нулевой дымности ОГ. Для этих судов, как и для коммерческого флота, добровольно принимаемое ограничение «Blue Sky Series» («Чистое небо»), которое предусматривает верхнюю границу выбросов на 45 % ниже обязательного максимума.

Нормативы Tier 3–4. В табл. 5–8 представлены нормативы Tier 3–4 и сроки их ввода в действие. Нормативы Tier 3, предполагающие снижение вредных выбросов за счет совершенствования рабочего процесса, вводятся в действие постепенно, с 2009 по 2014 гг. Нормативы Tier 4, предполагающие снижение вредных выбросов судовых двигателей мощностью свыше 600 кВт за счет внешних средств газоочистки, вводятся в период с 2014 по 2017 гг. Для двигателей, которые по своей номинальной мощности не вошли в таблицы, относящиеся к спецификациям Tier 3 и Tier 4, продолжают действовать предыдущие нормативы (соответственно Tier 2 или Tier 3).

Вводится различие между двигателями с высокой удельной мощностью, устанавливаемыми на глиссирующих судах, и двигателями с обычной удельной мощностью. Границей между обеими упомянутыми категориями считается удельная мощность 35 кВт/дм³ (47 л. с./дм³).

Для всех двигателей категорий 1–2, начиная с соответствующих модельных лет, в дополнение к упоминаемым выше нормативам по выбросам NO_x+HC и PM вводятся следующие предельно допустимые значения выбросов CO:

- > 8,0 г/кВт·ч для двигателей мощностью менее 8 кВт;
- > 6,6 г/кВт·ч для двигателей мощностью более 8 кВт и менее 19 кВт;
- > 5,5 для двигателей мощностью более 19 кВт; и менее 37 кВт.
- > 5,0 для двигателей мощностью более 37 кВт.

Таблица 9

Испытательные циклы для сертификации судовых дизелей категорий 1/2

Область применения	Испытательный цикл
Главный судовой двигатель общего назначения	ISO 8178 E3
Главный судовой двигатель, работающий с постоянной скоростью	ISO 8178 E2
Главные судовые двигатели, работающие с переменной скоростью не по винтовой характеристике, и вспомогательные судовые двигатели, работающие с переменной скоростью	ISO 8178 C1
Вспомогательные судовые двигатели, работающие с постоянной скоростью	ISO 8178 D2
Судовые двигатели рекреационных судов	ISO 8178 E5

Испытания на вредные выбросы

Двигатели категорий 1–2. Испытания двигателей категории 1 выполняются по методике 40 CFR 89, используемой для испытаний внедорожной техники (Tier 1–3), а испытания двигателей категории 2 выполняются по методике 40 CFR 92 (для тепловозных двигателей). Существуют некоторые исключения, предусматривающие другие испытательные циклы, другое топливо для испытаний, и испытания NTE. Двигатели категорий 1–2 испытываются по различным испытательным циклам ISO 8178 (табл. 9).

В дополнение к испытательным циклам, где определяется среднее значение для нескольких испытательных режимов, Правило устанавливает проверку на ограничения, связанные с допустимой зоной рабочих режимов (NTE — «not-to-exceed»). Ее цель — убедиться в том, что в любой точке допустимой зоны режимов рабочие условия достаточно близки к усредненному контролируемому уровню. Зоны NTE определяются как области на карте рабочих режимов двигателя. Предельно допустимые значения выбросов внутри зон NTE суть множители, указывающие, во сколько раз предельно допустимое значение больше средневзвешенного значения всех нормируемых выбросов ($\text{NO}_x + \text{THC}$, CO и PM). Значения этого множителя: для Tier 1–2 — от 1,2 до 1,5; для Tier 3–4 — от 1,2 до 1,9.

Топливо для испытаний судовых дизелей должно иметь весовое содержание серы в пределах от 0,03 до 0,80, что характерно для большинства сортов топлива, используемых на практике.

Двигатели категории 3. Двигатели категории 3 испытываются методами, аналогичными тем, что установлены IMO MARPOL Annex VI (испытательные циклы E2 и E3 по ISO 8178). Основные различия между требованиями EPA и MARPOL:

(1) согласно требованиям EPA, ответственность за соблюдение установленных нормативов для двигателя, находящегося в эксплуатации, лежит на его производителе (согласно требованиям MARPOL, она лежит на операторе судна);

(2) согласно требованиям EPA, необходимо продемонстрировать устойчивость результатов (согласно требованиям MARPOL, это необходимо только для двигателей, установленных на судне;

(3) между требованиями EPA и MARPOL существуют некоторые различия в определенных условиях испытаний и параметрах (значения температур воздуха и воды, некоторые настройки двигателя, и т. п.).

Пределы выбросов NTE и требования к испытаниям для двигателей категории 3 не нормированы.

Допускается проводить испытания двигателей категории 3 на дистиллятных топливах, даже если на судах, где они установлены, используются преимущественно остаточные топлива (такая возможность не противоречит MARPOL Annex VI).

Литература

Emission Reference Guide and Standards. Emission Standards USA, Marine Diesel // Power Sourcing Guide 2020–2021. 2020, volume 85. Pp. 39–44.

УДК 621.436

Марков В.А., Кулешов А.С., Неверов В.А. Бовэнь Са, Зенкин А.Н. Совершенствование процессов распыливания и смесеобразования при работе дизеля на смесевых биотопливах // Двигателестроение. — 2021. — № 1. — С. 3–12.

Ключевые слова: дизельный двигатель, нефтяное дизельное топливо, рапсовое масло, смесевое биотопливо, процессы распыливания и смесеобразования.

Альтернативные топлива для дизелей, получаемые с использованием растительных масел, отличаются от нефтяного дизельного топлива повышенными плотностью, вязкостью, поверхностным натяжением и пониженной сжимаемостью, что вызывает ухудшение качества распыливания топлива и процесса смесеобразования. Исследования процессов распыливания топлива и смесеобразования на дизеле типа Д-245.12С показали, что приемлемое качество этих процессов, а также возможность снижения выбросов вредных веществ с отработавшими газами достигается при работе дизеля не на чистых растительных маслах, а на нефтяном дизельном топливе с добавкой рапсового масла в количестве до 10 % по объему.

Табл. 9. Ил. 6. Библ. 22 назв.

УДК 623.1/7

Иванов В.В., Шабалин Д.В., Проговоров А.П. Математическая модель расчета внутрицилиндровых процессов дизельного двигателя с учетом температуры охлаждающей жидкости // Двигателестроение. — 2021. — № 1. — С. 13–19.

Ключевые слова: дизельный двигатель, камера сгорания, математическая модель, рабочий процесс, температура охлаждающей жидкости, теплообмен.

Предложена математическая модель для описания процессов в камере сгорания дизельного двигателя на основе уравнения теплового баланса рабочего тела. Указанная модель позволяет решать сопряженные задачи расчета процессов наполнения и сжатия, а также, теплообмена со стенками камеры сгорания. Расчет параметров рабочих процессов в камере сгорания позволяет выполнить детальный анализ показателей топливной экономичности двигателя и тепломеханической нагруженности деталей, образующих камеру сгорания, в зависимости от температуры охлаждающей жидкости.

Табл. 4. Ил. 11. Библ. 19 назв.

УДК 621.436

Кочев Н.С., Плотников Л.В., Григорьев Н.И. Совершенствование процесса топливоподачи тепловозного дизеля 8ЧН21/21, работающего по циклу Миллера // Двигателестроение. — 2021. — № 1. — С. 20–25.

Ключевые слова: тепловозный дизель, процесс топливоподачи, угол опережения впрыска топлива, цикл Миллера, моторные испытания, эксплуатационные и экологические показатели.

Представлены результаты доводочных работ по совершенствованию процесса топливоподачи тепловозного дизеля 8ЧН21/21, работающего по циклу Миллера на режимах тепловозной характеристики. Установлены оптимальные углы опережения впрыска топлива для различных нагрузочных режимов в целях снижения удельного эффективного расхода топлива и улучшения экологических показателей дизеля. Предложены технические решения, позволяющие улучшить процесс топливоподачи тепловозного дизеля 8ЧН 21/21.

Табл. 3. Ил. 6. Библ. 22 назв.

УДК 621.43.3

Путинцев С.В., Чирский С.П., Стрельникова С.С. Влияние вязкости минерального моторного масла и присутствие в нем антифрикционной присадки на механические потери малоразмерного дизеля // Двигателестроение. — 2021. — № 1. — С. 26–31.

Ключевые слова: дизель, механические потери, трение, моторное масло, вязкость, антифрикционная присадка.

Представлены результаты сравнительных испытаний трех видов смазочных материалов с целью определения влияния вязкости масла и наличия в нем антифрикционной присадки на общие механические потери в двигателе. Механические потери определялись на экспериментальной макетной установке электродинамическим и калориметрическим методами. Результаты тестирования показали, что снижение высокотемпературной

вязкости моторного масла на 62 % обеспечивает снижение потерь трения в среднем на 22 %. При этом введение в вязкое моторное масло антифрикционной присадки снижает потери трения на 6 %. В ходе исследования установлено, что характер изменения механических потерь в дизеле от времени и скоростного режима работы соответствует известным научным представлениям о процессах трения смазываемых деталей машин.

Табл. 1. Ил. 3. Библ. 8 назв.

УДК 629.113.6

Алиев С.А., Салатова Д.А., Гаджиев А.В. Улучшение пусковых качеств тракторного дизеля на основе применения обратимой электрической машины // Двигателестроение. — 2021. — № 1. — С. 32–36.

Ключевые слова: тракторный дизель, стартер-генераторное устройство, обратимая электрическая машина, демпфер крутильных колебаний.

Показано, что решение задачи увеличения мощности электропотребителей современных тракторов обеспечивается применением интегрированного стартер-генератора (на базе обратимой электрической машины), размещенного между блоком цилиндров ДВС и сцеплением трактора. Принятая компоновка позволяет передавать значительную мощность в обоих направлениях, улучшает пусковые качества дизельных двигателей тракторов, а также реализует функции гашения крутильных колебаний коленчатого вала, что снижает уровень шума и вибрации. Преимущество предлагаемой конструкции состоит в использовании электрической машины для пуска двигателя, которая затем переключается в генераторный режим, обеспечивая питание бортовой сети электрической энергией, заменяя стартер и генератор, а на некоторых тракторах пусковой поршневой двигатель. Ил. 5. Библ. 7 назв.

УДК 621.43

Двигатели, работающие на метаноле (по материалам конгресса СИМАС) // Двигателестроение. — 2021. — № 1. — С. 37–48.

Ключевые слова: судовые двигатели, альтернативные топлива, метанол, отработавшие газы, вредные выбросы

В последние годы во всем мире наблюдается поиск альтернативных топлив с очень низким (<0,1 %) или нулевым содержанием серы. По запросу компании «Stena Line», фирма «Wartsila» приступила к работе над проектом, в ходе которого в качестве бессернистого топлива был выбран метанол. Метанол способствует снижению выбросов не только серы, но также окислов азота и твердых частиц, его способность к биодegradации уменьшает риски загрязнения окружающей среды из-за аварийных разливов топлива. Физические и химические свойства метанола делают его перспективным топливом для двигателей с искровым зажиганием (октановое число 106), а его способность гореть без образования сажи делает метанол перспективным и для дизелей. В настоящем докладе описаны принципы построения (запатентованной) системы топливоподачи, основные проблемы, которые пришлось решить в ходе ее создания, а также результаты эксплуатационных испытаний на пароме «Stena Germanica» — первом судне, оборудованном инновационной системой, работающей на метаноле. Перевод выполнен к.т.н. Г. Мельником.

Табл. 4. Ил. 16. Библ. 9 назв.

УДК 621.43

Стандарты ЕРА США по ограничению вредных выбросов судовых дизелей (по материалам Power Sourcing Guide 2020–2021) // Двигателестроение. — 2021. — № 1. — С. 49–54.

Ключевые слова: Судовые дизели, нормирование вредных выбросов, развитие стандартов ЕРА США.

Создание и введение в действие национальных стандартов, регламентирующих выбросы вредных веществ с отработавшими газами судовых дизелей, имеет ряд существенных различий и особенностей. Так, например, в стандартах ЕРА США при назначении нормы выбросов помимо агрегатной мощности учитывается категория судовых дизелей, их назначение, вид топлива, а также специальные условия эксплуатации (Blue Sky Series). Опыт развития стандартов, выпускаемых ЕРА США, может оказаться полезным для российских специалистов при очередном пересмотре/переиздании национальных стандартов РФ. Перевод выполнен к.т.н. Г. Мельником. Табл. 9. Библ. 1 назв.

UDC 621.436

Markov V.A., Kuleshov A.S., Neverov V.A., Sa Boven, Zenkin A.N. Improvement of fuel atomization and mixing processes in engines firing mixed biofuels // Dvigatelistroyeniye. — 2021. — № 1. — Pp. 3–12.

Keywords: diesel engine, petroleum diesel fuel, rapeseed oil, mixed biofuel, atomization and mixing processes.

Alternative diesel fuels based on vegetable oils differ from petroleum diesel fuel in many respects, such as higher density, viscosity and surface tension, as well as lower compressibility, which results in poorer fuel atomization and mixing ability. These authors tested operation of type D-245.12C diesel engine on various fuels. It was shown that engine efficiency and environmental performance may be improved when its fires regular petroleum diesel fuel added with 10 % vol. rapeseed oil, rather than pure biofuel. 9 tables, 6 ill., 22 ref.

UDC 623.1/7

Ivanov V.V., Shabalin D.V. and Progovorov A.P. Simulation of in-cylinder heat exchange processes taking account of coolant temperature // Dvigatelistroyeniye. — 2021. — № 1. — Pp. 13–19.

Keywords: diesel engine, combustion chamber, mathematical model, combustion process, coolant temperature, heat exchange

The authors discuss their mathematical model of in-cylinder heat exchange processes, based on actuating medium heat calculation. The model simulates processes during suction and compression strokes, as well as heat exchange through combustion chamber walls. This contributes into the analyses of engine fuel economy and mechanocaloric load on combustion chamber components vs. coolant temperature. 4 tables, 11 ill., 19 ref.

UDC 621.436

Kochev N.S., Plotnikov L.V. and Grigoryev N.I. Improvement of fuel injection characteristics of type 8CHN21/21 locomotive engine featuring Miller cycle // Dvigatelistroyeniye. — 2021. — № 1. — Pp. 20–25.

Keywords: locomotive engine, fuel injection, injection advance angle, Miller cycle, stand tests, operating parameters, environmental performance.

The authors present the results of their investigation into the improvement of fuel injection characteristics of type 8CHN21/21 locomotive engine featuring Miller cycle. Optimum injection advance angles have been determined for varying load, so as to improve engine operating parameters and environmental performance. 3 tables, 6 ill., 22 ref.

UDC 621.43.3

Putintsev S.V., Chirsky S.P. and Strelnikova S.S. Influence of mineral oil viscosity and anti-friction additive therein on mechanical losses in a small diesel engine // Dvigatelistroyeniye. — 2021. — № 1. — Pp. 26–31.

Keywords: diesel engine, mechanical losses, friction, motor oil, viscosity, anti-friction additive.

Three kinds of lubricants have been tested with a view to evaluate influence of mineral oil viscosity and anti-friction additive therein on mechanical losses in a diesel engine. The mechanical losses have been evaluated using electrodynamic and colorimetric methods. According to the test results. lowering motor oil high-temperature viscosity by 62 % results in lowering average friction losses by 22 %. Use of anti-friction additive results in further lowering average friction losses by 6 %. Friction losses vs. time and engine speed curves were found to comply with known concepts of lubricated friction pair performance. 1 table, 3 ill., 8 ref.

UDC 629.113.6

Aliev S.A., Salatova D.A. and Gajiev A.V. Reversible electrical machine as a means to improve start performance of a tractor diesel engine // Dvigatelistroyeniye. — 2021. — № 1. — Pp. 32–36.

Keywords: tractor diesel engine, starter-generator, reversible electrical machine, torsional damper.

Built-in starter-generator (based on a reversible electrical machine) placed between engine flywheel and tractor coupling is shown as a means to contribute into enhance the capacity of energy consumers driven by the tractor engine. The concept in question enables considerable power transfer in both directions, improves start performance of a tractor diesel engine and facilitates damping of torsional oscillations, thus reducing noise and vibration level. The advantage of an offered power unit layout is that the electrical machine is initially used as engine starter, whereupon it switches into generator mode. Then it is used as an power supply for the vehicle network. Therefore, it operates both as engine starter and generator, thus making needless conventional electric or reciprocating engine starter. 5 ill., 7 ref.

UDC 621.43

Methanol as engine fuel (based on CIMAC papers) // Dvigatelistroyeniye. — 2021. — № 1. — Pp. 37–48.

Keywords: marine engines, alternative fuels, methanol, exhaust gases, noxious emissions.

The regulations as well as expectations on shipping concerning the environmental impact have been growing in recent years. This has led to a search for very low sulphur (<0,1 %) or sulphur-free alternative fuels. Consequently and on request from Stena Line, Wartsila initiated a project to select a sulphur-free fuel to be used initially on Stena ships. The fuel chosen is a liquid state methanol. Besides the total sulphur reduction, methanol is also contributing to emission reduction, in terms of nitrogen oxides and particulates, and provides a fuel that is biodegradable, decreasing environmental impact from accidental spills. The physical and chemical properties of methanol make it very well suited for use in spark-ignited engines. It has excellent ignition properties with an Octane number of 106. But its ability to combust without forming soot (due to the lack of carbon-to-carbon bonds) has attracted diesel engine designers to find ways of using it as well. This paper describes the patented injection system working principles and its key design challenges, the first laboratory engine results, as well as the results from the application on the first ever ship operated on methanol, the passenger ferry Stena Germanica, leading the technology development and leaving a positive trace on the society.

The CIMAC paper is translated into Russian by G. Melnik, PhD. 4 tables, 16 ill., 9 ref.

UDC 621.43

US EPA Exhaust Emission Standards for Marine Diesel Engines (based on Power Sourcing Guide 2020–2021) // Dvigatelistroyeniye. — 2021. — № 1. — Pp. 49–54.

Keywords: marine diesel engines, emission regulations, evolution of US EPA standards.

Development and implementation of national standards regulating noxious emissions from ships involves many peculiarities. E.g., US EPA standards, apart from rated power, takes account of engine category, service class, type of fuel and special duty features (Blue Sky Series). Experience of US EPA standard evolution may be of particular interest for Russian specialists involved in revision of relevant national standards. The original paper is translated into Russian by G. Melnik, PhD. 9 tables, 1 ref.

Уважаемые читатели журнала!

На журнал «Двигателестроение»

можно подписаться:

в почтовых отделениях связи

по каталогу агентства:

«ПРЕССА РОССИИ»

Подписной индекс

журнала

«Двигателестроение» —

70259

Подписаться на журнал можно и в редакции.

Срок подписки на журнал

«Двигателестроение»

в редакции не ограничен.

Для оформления подписки

в редакции необходимо

отправить заявку

по e-mail: ecology@rdiesel.ru

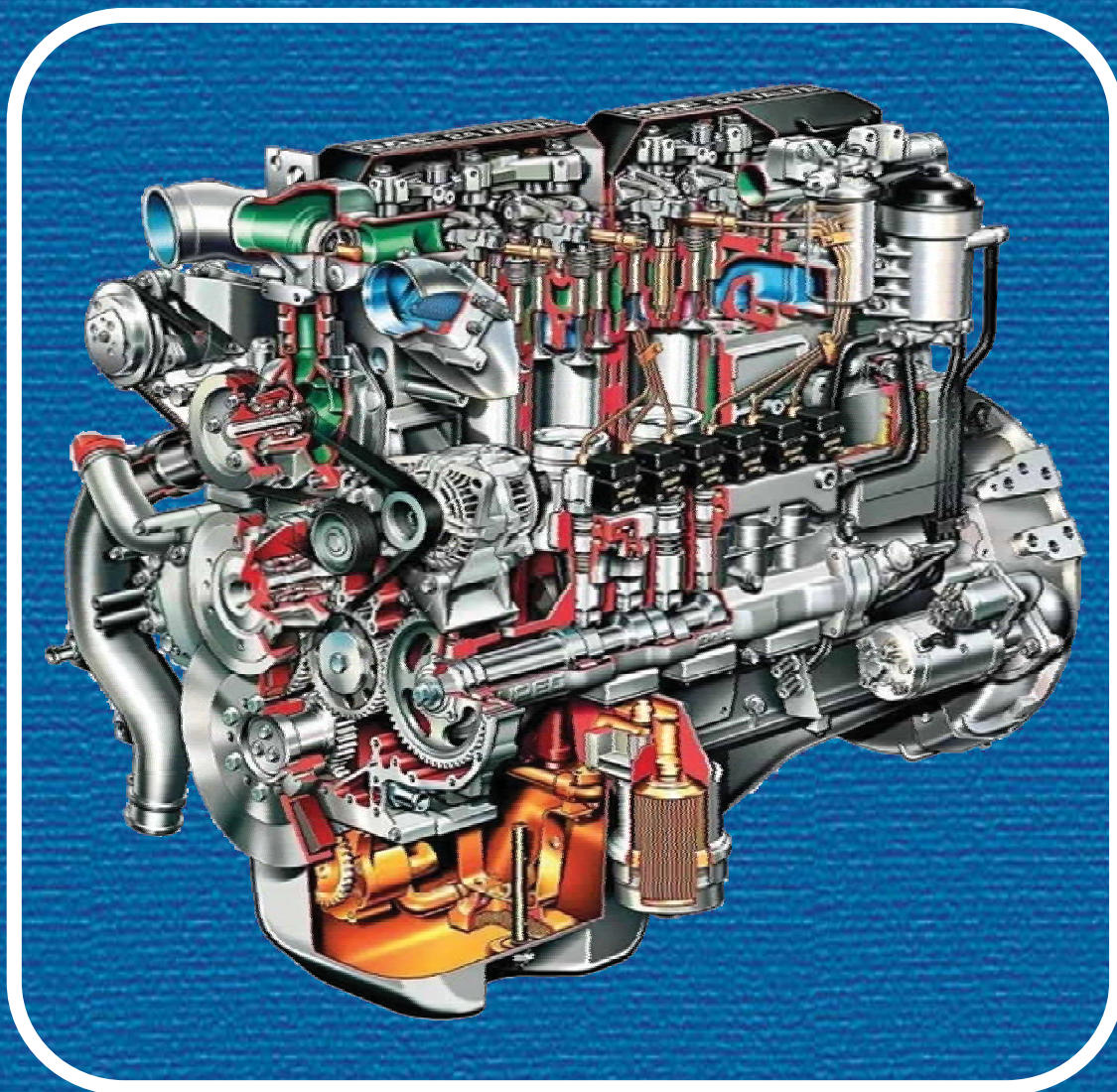
Почтовый адрес редакции:

190020, Санкт-Петербург, а/я 9

Телефон редакции: +7 (812) 719-73-30

В редакции можно заказать ранее вышедшие номера журнала

www.rdiesel.ru



Экология НПФ

ДВИГАТЕЛЕ
СТРОЕНИЕ

190020
Санкт-Петербург, а/я 9
Тел.: +7(812)719-73-30
e-mail: ecology@rdiesel.ru
www.rdiesel.ru