

## ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОСТАВА ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ СУДОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

*В. А. Жуков, С. А. Шербан*

*Государственный университет морского и речного флота  
им. адмирала С. О. Макарова, Санкт-Петербург, Российская Федерация*

Двигатели морских и речных судов относятся к источникам загрязнения атмосферы. Соблюдение экологических требований, устанавливаемых государственными и международными нормативными документами, является обязательным условием безопасной эксплуатации морских и речных судов. В качестве основного и наиболее объективного критерия экологической безопасности судовых энергетических установок следует признать состав отработавших газов судовых дизелей. Требования к составу отработавших газов двигателей и процедура определения регламентированных показателей устанавливается различными нормативными документами, в которых указывается лишь принцип, положенный в основу действия прибора. Большинство нормативных документов не учитывают возможностей современных приборов и особенностей конструкции судовых энергетических установок. В процессе анализа отработавших газов определяется содержание токсичных веществ и твердых частиц, для чего используются приборы, называемые газоанализаторами и дымомерами. Описаны принципы действия современных приборов, представлены их возможности и метрологические характеристики, проведена оценка перспектив использования таких приборов на морских и речных судах. Рассматриваются проблемы, которые возникают при проведении анализа отработавших газов на судах малого водоизмещения, имеющих «мокрый» выхлоп. Предложены мероприятия, реализация которых позволит повысить качество контроля выбросов судовых дизелей и будет способствовать совершенствованию технической эксплуатации флота. Обозначена необходимость обновления инструментальной базы, используемой при проведении контроля токсичности и дымности отработавших газов судовых дизелей. Решение данной задачи требует комплексного подхода с учетом условий эксплуатации судов, возможностей измерительной аппаратуры, конструктивных особенностей судовых двигателей, требований нормативных документов и правил классификационных обществ.

**Ключевые слова:** судовые двигатели, отработавшие газы, токсичность, дымность, газоанализаторы, дымомеры, системы газовой выпуска.

**Для цитирования:** Жуков В. А., Шербан С. А. Измерительные приборы для определения состава отработавших газов судовых двигателей внутреннего сгорания // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. 2020. № 2. С. 100–110. DOI: 10.24143/2073-1574-2020-2-100-110.

### **Введение**

Развитие и совершенствование всех видов транспорта в настоящее время направлено на повышение энергоэффективности транспортных средств. Эта задача декларируется на государственном уровне [1, 2] и включает два аспекта: рациональное использование энергетических ресурсов и минимизацию отрицательного воздействия на окружающую среду. Для оценки эффективности решения данной задачи необходимо использование соответствующих критериев и инструментов. Оценка экологической безопасности морских и речных судов необходимо проводить с учетом региональных условий эксплуатации и конструктивных особенностей энергетических установок судов.

### **Материалы исследования**

На долю судовых энергетических установок приходится около 9 % глобальных выбросов оксидов серы ( $\text{SO}_x$ ) и 18–30 % глобальных выбросов оксидов азота ( $\text{NO}_x$ ). Суммарная доля выбросов в атмосферу морскими и речными судами в глобальных выбросах составляет менее 2 %, однако в районе 70-го градуса северной широты (рис. 1) выбросы происходят в основном от морских судов вследствие отсутствия в этом регионе каких-либо иных энергетических объектов [3].

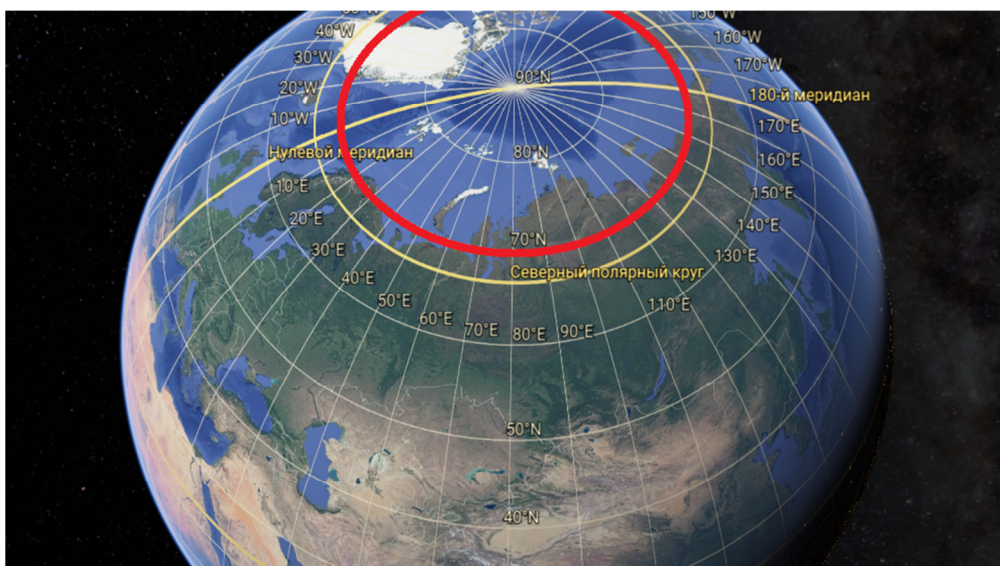


Рис. 1. Район арктического мореплавания

В связи с ожидаемым ростом морских коммерческих перевозок по Северному морскому пути последует увеличение негативного влияния выбросов в Арктике. Международная морская организация (ИМО) проводит оценку потребностей регионального и глобального контроля твердых частиц отработавших газов (ОГ), которые ускоряют глобальное потепление и таяние льда путем отложений на льду и снегу. Также ИМО призывает компетентные исследовательские организации к измерениям, сбору данных и определению оптимальных методов измерения твердых частиц ОГ, особенно при использовании новых видов топлива [4].

В состав ОГ судовых двигателей входят  $N_2$  (азот),  $O_2$  (кислород),  $H_2O$  (пары воды),  $H_2$  (водород),  $NO_x$  (оксид азота),  $CO_2$  (диоксид углерода),  $CO$  (оксид углерода), углеводороды,  $CH_4$  (метан),  $C_2H_6$  (этан),  $C_2H_4$  (этилен),  $C_2H_2$  (ацетилен), пропан, пропилен и  $C_3H_4$  (пропин),  $C_3H_4O_2$  (альдегиды),  $C_3H_4O$  (акролеин),  $H_2CO$  (формальдегид),  $C$  (сажа),  $C_{20}H_{12}$  (бензапирен) [5]. Большая часть компонентов ОГ являются токсичными.

Для конвенционных судов согласно [6] с 01 января 2020 г. содержания серы в любом жидком судовом топливе не должно превышать 0,5 % по массе (0,1 % для районов контроля выбросов). Данные требования вводятся для уменьшения выбросов окислов серы ( $SO_x$ ) и твердых частиц в ОГ [6]. В качестве альтернативного метода может быть применена система очистки ОГ, одобренная администрацией порта. С учетом положений [7] содержание 0,5 % серы в топливе эквивалентно 21,7 млн<sup>-1</sup> выбросов  $SO_2$  / %  $CO_2$  по объему в ОГ, а 0,10 % серы – 4,3 млн<sup>-1</sup> выбросов  $SO_2$  / %  $CO_2$  по объему в ОГ. Однако использование вышеуказанных соотношений возможно только в случае использования нефтяного топлива на основе дистиллятов или мазутов.

Согласно [8] суда с установленным дизелем мощностью более 130 кВт и суда с дизелем мощностью более 130 кВт, который подвергался значительному переоборудованию с 01 января 2000 г. подпадают под требования контроля окислов азота ( $NO_x$ ). Для судов с дизельным двигателем, установленным с 01 января 2016 г., эксплуатируемых в Североамериканском районе контроля выбросов; с 01 января 2021 г. эксплуатируемых в районе контроля выбросов Балтийского моря или Северного моря, содержания выбросов  $NO_x$  должны соответствовать Ябусу III:

- 3,4 г/(кВт·ч) при частоте вращения коленчатого вала  $n$  менее 130 мин<sup>-1</sup>;
- $9n^{(-0,2)}$  г/(кВт·ч) при  $n$ , равном или более 130 мин<sup>-1</sup>, но менее 2 000 мин<sup>-1</sup>;
- 2,0 г/(кВт·ч) при  $n$  более 2 000 мин<sup>-1</sup>.

Для судов, совершающих рейсы в морских акваториях и на внутренних водных путях Российской Федерации и имеющих класс Российского морского регистра судоходства (РС) и Российского речного регистра (РРР), состав ОГ двигателей регламентируются соответственно документами [9, 10].

Документ [9] нормирует показатели  $\text{NO}_x$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{CH}$  и дымности ОГ двигателей речных судов. Требования распространяются на судовые двигатели с воспламенением от сжатия (дизельные, газодизельные двигатели), судовые двигатели с искровым зажиганием (бензиновые стационарные, газовые двигатели), подвесные лодочные моторы и газотурбинные двигатели, установленные на суда под классом PPP.

Ужесточение требований к составу ОГ стимулирует судовладельцев использовать новые виды топлив для повышения рентабельности морских и речных перевозок. В связи с тем, что требования [6] разрабатывались для определенных традиционных видов судовых топлив, а также в период использования устаревших моделей судовых дизелей на речном флоте, эти требования не позволяют корректно применять метод сверки параметров для контроля ОГ, что свидетельствует об актуальности метода прямых измерений ОГ на борту судна.

Проведенные исследования сравнения расчетных и измеренных показателей некоторых компонентов ОГ (табл. 1) судового дизеля 2Ч 9,5/11 [11] доказывают востребованность прямых измерений состава ОГ, которые иллюстрируют самую достоверную и точную картину.

Таблица 1

Оценка погрешности определения состава отработавших газов ДВС

Вещество	Расчетная методика, %	Показатели газоанализатора, %	Погрешность, %
$\text{O}_2$	8,342	4,228	49,3
$\text{CO}_2$	8,262	12,346	33,1

Метод прямых измерений на судне предполагает использование поверенных измерительных приборов. Наиболее подходящие инструменты и методы для измерений состава ОГ основаны на преобразовании датчиками физических явлений в данные, которые должны быть определены и проанализированы. Методы измерений состава ОГ по способу отбора проб делятся на следующие виды:

- без извлечения (измерительный зонд – приборы расположены внутри или возле выпускного трубопровода дизеля и анализируют состав ОГ на месте);
- с извлечением (отобранная проба ОГ извлекается из выпускного трубопровода для транспортировки и ввода в газоанализатор) [12].

Выбор метода зависит от необходимости проводить анализ ОГ непрерывно либо периодически.

Для определения состава ОГ используются различные типы измерительных датчиков, однако для измерения соответствующих веществ ОГ могут использоваться только определенные типы датчиков (табл. 2) [12].

Таблица 2

Характеристики измерительных методов

Принцип измерения	$\text{SO}_2$	$\text{CO}$	$\text{CO}_2$	$\text{NO}_x$	$\text{H}_2\text{S}$	$\text{O}_2$	$\text{C}_x\text{H}_y$
Оптический инфракрасный (ИК)	×	×	×	×	–	–	–
Оптический ультрафиолетовый (УФ)	×	–	–	×	–	–	–
Термопарамагнитный	–	–	–	–	–	–	×
Хемилюминесцентный	–	–	–	–	×	–	–
Калориметрический	–	–	×	–	–	–	×
Пламенно-ионизационный	–	×	–	–	–	–	×
Электролитический	–	×	×	–	×	×	×

Электролитические датчики используются для определения в ОГ  $\text{O}_2$ , а также токсичных продуктов:  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{S}$ . При прохождении ОГ через катод протекает химическая реакция – ионы перетекают к аноду. Сила тока пропорциональна концентрации кислорода в выхлопных газах [12]. Эти типы датчиков в основном используются в переносных приборах измерения выбросов, т. к. они очень компактны, надежны и не требуют специальных условий работы.

Датчики, работающие по принципу инфракрасного (ИК) поглощения, используются для определения выбросов  $\text{CO}$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{CO}_2$  и  $\text{NO}_x$ . Они работают по принципу селективного поглощения ИК света газом. Газ поглощает ИК свет с волной определенной длины, пропорционально содержащимся веществам.

Отработавшие газы ДВС проходят через лампы, которые излучают ИК лучи с определенной длиной волны. На основе поглощенного света определяется концентрация конкретного вещества в ОГ. Этот тип датчиков используется для определения концентрации CO<sub>2</sub> в ОГ [13]. Оптический сигнал может быть носителем информации, передаваемый сигнал зависит от измеряемых величин и проходящих сред, поскольку используется два типа оптического излучения.

Первый тип состоит из оптических датчиков на основе фотоэлектрических эффектов, которые работают на принципах фотоэмиссии, фотопроводимости, фотонапряжения, фотоионизации [14]. Второй тип датчиков поглощает фотоны, и поглощаемая ими энергия приводит к изменению температуры датчика. Наиболее распространенными оптическими датчиками являются терморезисторные, биметаллические и пьезоэлектрические. В указанных типах оптических датчиков в качестве источника света используются светодиоды и лазерные диоды.

Определение твердых частиц ОГ выполняется несколькими способами с использованием различных методов:

- гравиметрический метод определения массы частиц, накопленных на фильтровальной бумаге;
- оптический метод, использующий способ поглощения и/или отражения частиц;
- электрический метод [12].

Для правильного использования измерительных устройств в первую очередь необходимо провести тщательную подготовку к измерению состава ОГ судового дизеля. Важными параметрами являются диаметр выхлопной трубы, расстояние от источника ОГ и способ подключения устройств к выхлопному трубопроводу, время, на протяжении которого проводятся измерения и предотвращение утечек выхлопных газов через отверстие доступа. Когда все вышеуказанные условия соблюдены, можно приступить к отбору проб ОГ при различных нагрузках двигателя. Во время отбора проб газоанализатор обрабатывает данные и предоставляет информацию о состоянии взятой пробы. Результат может быть указан в %, мг/м<sup>3</sup>, частях на млн и в °C [14].

В табл. 3 приведены примеры стационарных газоанализаторов, используемых компанией MAN B&W при проведении стендовых испытаний для первичного освидетельствования двигателей согласно Техническому кодексу по NO<sub>x</sub>.

*Таблица 3*

**Характеристики стационарных газоанализаторов**

Параметр	Изготовитель	Модель	Диапазон измерений
NO <sub>x</sub>	ECO Physics	CLD 82 S hr	0–2 000 млн <sup>-1</sup>
CO	ABB	Advanced Optima URAS 14	0–1 000 млн <sup>-1</sup>
CO <sub>2</sub>			0–250 млн <sup>-1</sup>
O <sub>2</sub>			0–12 %
			0–22 %
HC		Adv. Optima Multi-FID 14	0–100 млн <sup>-1</sup> 0–500 млн <sup>-1</sup>

Стационарными газоанализаторами аналогичного типа могут быть оснащены крупнотоннажные морские суда с целью проведения анализа ОГ главных и вспомогательных двигателей в процессе эксплуатации.

Измерительные приборы для прямых измерений ОГ на судне должны быть не только точны, надежны, но и портативны. Газоанализатор MRU Vario Plus (рис. 2), производство Германии, популярен в странах Евросоюза и используется для замера состава ОГ морских и речных судов [15].



Рис. 2. Газоанализатор MRU Vario Plus Industrial

Перечень датчиков, входящих в состав газоанализатора Vario Plus Industrial, и показатели их точности приведены в табл. 4 [15].

Таблица 4

#### Метрологические характеристики датчиков газоанализатора Vario Plus Industrial

Измеряемый компонент	Тип датчика	Минимальный диапазон	Максимальный диапазон	Погрешность
O <sub>2</sub>	Электрохимический	0–21 %	0–21 %	±0,2 %
CO/H <sub>2</sub>	Электрохимический	0–4 000 ppm	0–10 000 ppm	±10 ppm, или ±5 %
CO	Электрохимический	0–40 000 ppm	0–100 000 ppm	±200 ppm, или ±5 %
NO	Электрохимический	0–1 000 ppm	0–5 000 ppm	±5 ppm, или ±5 %
NO <sub>2</sub>	Электрохимический	0–200 ppm	0–1 000 ppm	±5 ppm, или ±5 %
SO <sub>2</sub>	Электрохимический	0–2 000 ppm	0–5 000 ppm	±10 ppm, или ±5 %
H <sub>2</sub> S	Электрохимический	0–50 ppm	0–500 ppm	±5 ppm, или ±5 %
H <sub>2</sub>	Электрохимический	0–1 %	0–2 %	±0,05 или ±5 %
CO	NDIR (недисперсионный ИК)	0–3 %	0–10 %	±0,03 или ±5 %
CO	NDIR (ppm)	0–10 000 ppm	0–30 000 ppm	±40 ppm, или ±5 %
CO <sub>2</sub>	NDIR	0–3 %	0–30 %	±0,6 или ±5 %
CH (как C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> )	NDIR	0–1 000 ppm	0–5 000 ppm	±30 ppm, или ±5 %
CH (как CH <sub>4</sub> )	NDIR	0–10 000 ppm	0–3 %	±60 ppm, или ±5 %

Компания ООО «Центр Сертификации «ВЕЛЕС» (свидетельство о признании РРР № 131913) при проведении теплотехнического контроля ДВС речных судов для измерений состава и дымности ОГ использует измерительные приборы отечественного производителя ООО НПО «Эко-Интех»: газоанализатор Infraclight 11P и дымомер Infraclight 11D.

Газоанализатор Infraclight 11P (рис. 3) способен измерять концентрации CH, CO, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> и частоту вращения коленчатого вала двигателя (индуктивный датчик оборотов двигателя).



Рис. 3. Газоанализатор выбросов транспортных средств Infraclight 11P

Прибор автоматически рассчитывает и отображает на дисплее коэффициент избытка воздуха ( $\alpha$ ). Результаты всех измерений распечатываются на встроенном термопринтере. Прибор снабжен устройством для автоматического удаления конденсата [16]. Принцип действия прибора основан на измерении поглощения ИК излучения компонентами ОГ. Измерение концентрации кислорода и окислов азота производится электрохимическим методом. Основные технические характеристики прибора указаны в табл. 5 [17].

Метрологические характеристики газоанализатора Infracalight 11P

Измеряемый компонент	Диапазон измерения	Предел основной погрешности*
CH	0–2 000 ppm	±12 ppm абс. ±5 % отн.
	2 000–5 000 ppm	±5 % отн.
CO	0–5 %	±0,06 % абс. ±4 % отн.
	5–10 %	±4 % отн.
CO <sub>2</sub>	0–16 %	±0,5 % абс. ±4 % отн.
O <sub>2</sub>	0–21 %	±0,1 % абс. ±4 %
NO <sub>x</sub>	0–1 000 ppm	±50 ppm
	1 000–5 000 ppm	±5 %
Коэффициент ослабления света ( <i>N</i> )	0–100 %	±2 % абс.
Коэффициент поглощения света ( <i>K</i> )	0–15 м <sup>-1</sup>	–
Число оборотов, об/мин	500–1 000	±10 мин <sup>-1</sup>
Частота вращения коленчатого вала, мин <sup>-1</sup>	1 000–9 999	±2 %
Коэффициент избытка воздуха ( <i>α</i> )	0,5–2,0	–

\* Абсолютная (абс.) или относительная (отн.), что больше.

Дымомер Infracalight 11D (рис. 4) предназначен для контроля дымности ОГ дизельных двигателей с оценкой достоверности результатов в соответствии с требованиями РРР [10].



Рис. 4. Дымомер Infracalight 11D с выносным пультом

Прибор состоит из модуля контроля дымности LCS и выносного пульта управления на кабеле, позволяет считывать показания дымности в реальном времени и проводить тест свободного ускорения в автоматическом режиме. Измерение дымности производится оптическим методом. Основные технические характеристики прибора отображены в табл. 6 [18].

Метрологические характеристики дымомера Infracalight 11D

Измеряемый параметр	Диапазон измерения	Погрешность
Коэффициент ослабления света ( <i>N</i> )	0–100 %	±2 % абс.
Коэффициент поглощения света ( <i>K</i> )	0–15 м <sup>-1</sup>	–
Время установления показаний прибора	Не более 2 с (без учета времени транспортирования пробы)	

Измерительные приборы как импортного (MRU Vario), так и отечественного производства (Infracalight) применимы для проведения контроля состава ОГ морских конвенционных судов

согласно требованиям [6, 8], речных судов с классом РС согласно требованиям [9], речных судов с классом PPP согласно требованиям [10]. Вышеуказанные приборы портативны и не требуют больших усилий для их транспортировки. Однако при подключении измерительных приборов к системе газовыпуска судна возникает трудность совмещения пробоотборного зонда измерительного прибора и лючка/штуцера трубопровода. Согласно требованиям [19, 20] на газоразборных трубопроводах с учетом их конструкции должны быть предусмотрены технологические лючки для очистки трубопроводов, но все же нормативные документы не регламентируют размеры лючков, способ крепления к трубопроводу и место расположения.

Таким образом, на судах разных проектов имеют место различные виды, типоразмеры и расположения лючков (штуцеров) для отбора проб газа с целью проведения анализа. Вследствие вышеуказанных особенностей возникает необходимость изготовления в каждом частном случае оригинальных приспособлений для крепления пробоотборного зонда и для предотвращения утечки ОГ в машинное отделение через отверстие трубопровода при проведении измерений состава ОГ, что существенно усложняет процедуру измерений и приводит к большим затратам времени. Пример такого приспособления представлен на рис. 5 [21].

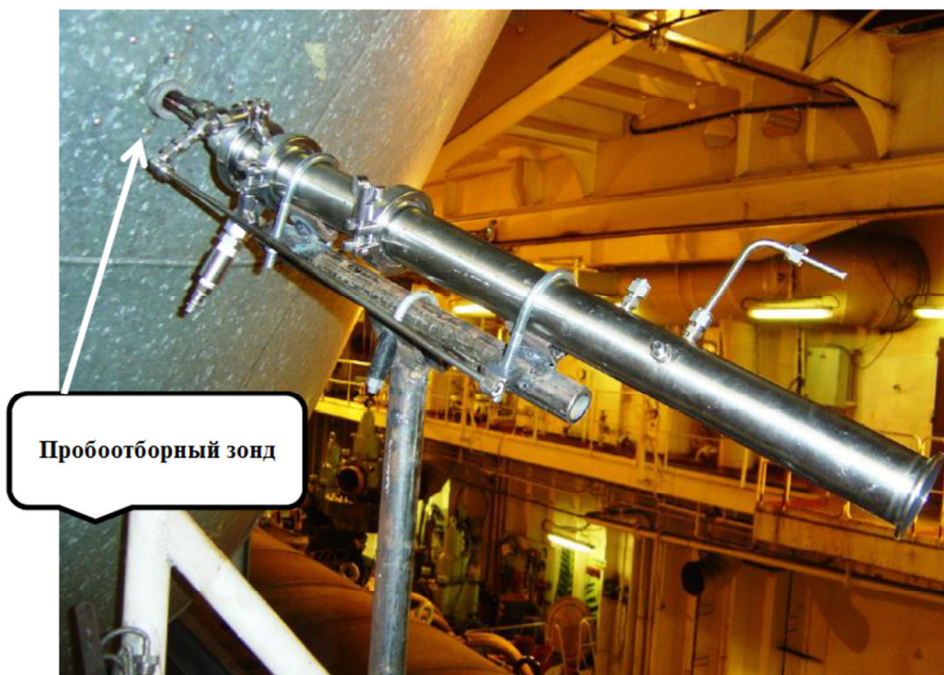


Рис. 5. Крепление пробоотборного зонда к газоразборному трубопроводу

Одной из сложностей является измерение состава ОГ малых речных судов с «мокрым» выхлопом. При проведении теплотехнических испытаний в г. Санкт-Петербурге было выявлено, что более 80 % прогулочных судов оборудованы системой «мокрого» выхлопа [22]. Попадание воды в пробоотборный зонд приводит к выходу из строя измерительных приборов, а монтаж пробоотборного устройства на участке до впрыска забортной воды осложнен отсутствием лючков, малым диаметром и коротким участком труб.

Еще большей проблемой является измерение состава ОГ подвесных двигателей (не только из-за оборудования их «мокрым» выхлопом) (рис. 6), но и монтаж пробоотборного зонда является практически невыполнимым без предварительной подготовки, в связи с отсутствием доступа к выхлопному трубопроводу.

Необходимость жесткого контроля состава ОГ обусловлена тем, что согласно данным, приводимым в работе [23], в Российской Федерации зарегистрировано около 1,5 млн единиц судов маломерного флота. Эти суда эксплуатируются, как правило, в крупных городах и зонах отдыха и оказывают существенное воздействие на экологическую обстановку в районах эксплуатации.

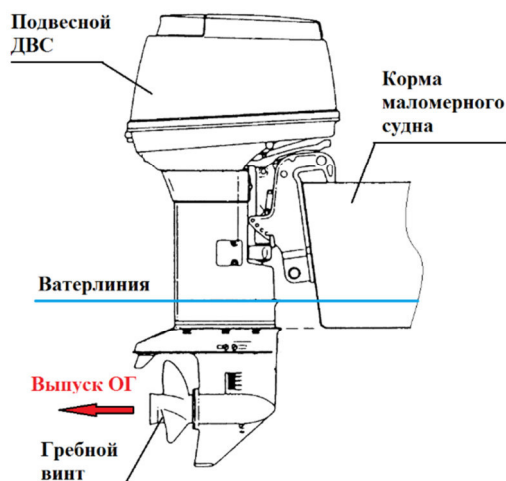


Рис. 6. Общий вид подвесного двигателя маломерного судна

Сложившаяся ситуация требует немедленной разработки современных решений:

- нормирования размеров и расположений лючков газоотводных трубопроводов классификационными обществами;
- модернизации пробоотборных устройств измерительных приборов по единому стандарту, что позволит упростить процесс измерения состава ОГ, значительно сократит время подготовки к проведению измерений;
- разработки документов, регламентирующих определение состава ОГ судовых двигателей, учитывающих современный уровень измерительных приборов и одобренных классификационными обществами.

### Заключение

Современные измерительные приборы для определения состава ОГ как отечественного, так и импортного производства достаточно точны и портативны, отвечают национальным и международным стандартам, производят измерения в соответствии с требованиями классификационных обществ. Тем не менее сложность монтажа пробоотборных устройств требует взаимных разработок совместимых конструкций измерительных приборов и газоотводных систем судовых двигателей. При разработке таких конструкций необходимо реализовывать комплексный подход: учитывать особенности приборов, потребности судовладельцев и требования нормативных документов и классификационных обществ.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Об энергосбережении* и повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации: Федеральный закон от 23 ноября 2009 г. № 261-ФЗ. URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/30163> (дата обращения: 25.03.2020).
2. *Энергетическая стратегия России на период до 2030 года* (утв. распоряжением Правительства РФ от 13.11.2009 г. № 1715-р). URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/96681/> (дата обращения: 25.03.2020).
3. *Tomislav Juric*. Experimental method for marine engine's emissions analysis // International journal "NASE MORE". Maritime Department University of Dubrovnik. 2016. N. 63 (1). P. 24–31.
4. *International Maritime Organization*. URL: <http://www.imo.org/en/Pages/Default.aspx#1> (дата обращения: 05.04.2020).
5. *Луканин В. Н.* Промышленно-транспортная экология. М.: Высш. шк., 2003. 273 с.
6. *Regulation 14 of Annex VI MARPOL 73/78*. URL: <http://www.gard.no/web/updates/content/53059/annex-vi-of-marpol-7378-regulations-for-the-prevention-of-air-pollution-from-ships> (дата обращения: 05.04.2020).
7. *IMO resolution MEPC. 259 (68)*. URL: [http://www.rise.odessa.ua/texts/MEPC259\\_68.php3](http://www.rise.odessa.ua/texts/MEPC259_68.php3) (дата обращения: 09.04.2020).
8. *Regulation 13 of Annex VI MARPOL 73/78*. URL: [http://hulpinood.nl/wp-content/uploads/2015/03/BIJLAGE3\\_Marpol-annex-VI.pdf](http://hulpinood.nl/wp-content/uploads/2015/03/BIJLAGE3_Marpol-annex-VI.pdf) (дата обращения: 09.04.2020).



9. *НД № 2-020101-134*. Правила по предотвращению загрязнения с судов, эксплуатирующихся в морских районах и на внутренних водных путях Российской Федерации. СПб.: Изд-во РМПС, 2020. 69 с.
10. *Правила* предотвращения загрязнения окружающей среды с судов (ППЗС). URL: <https://docplan.ru/Index2/1/4293753/4293753123.htm> (дата обращения: 09.04.2020).
11. *Климова Е. В.* Метод оценки уровня токсичных составляющих отработавших газов судовых дизелей: дис. ... канд. техн. наук. Астрахань, 2010. 187 с.
12. *Fraden J.* Handbook of modern sensors. N. Y.: Springer, 2016. 189 p.
13. *Moris A. S.* Principles of measurement and instrumentation. N. Y.: Prentice Hall, 1988. 316 p.
14. *MRU Vario plus SE*, technical specification, MRU GmbH, Fuchshalde 8, D-74172 Neckarsulm. Germany, 2010. URL: <https://www.mru.eu/meta/mru-abc/detail/vario-plus/> (дата обращения: 12.04.2020).
15. *Газоанализаторы* и кислородомеры MRU для промышленности. URL: [http://www.mru-instruments.ru/productions/portativnie/vario\\_pi/](http://www.mru-instruments.ru/productions/portativnie/vario_pi/) (дата обращения: 12.04.2020).
16. *Газоанализатор* выбросов транспортных средств. URL: <https://eco-intech.com/product/gazoanalizator-vybrosov-transportnykh-sredstv-infralight-11p/> (дата обращения: 12.04.2020).
17. *Анализатор «INFRALIFGT-11P»*: рук-во по эксплуатации ЭКИТ 5.920.001 РЭ. М.: ООО НПО «Эко-Интех», 2011. 45 с.
18. *Эко-Интех*. Приборы экологического контроля. URL: <https://eco-intech.com/product/infralight-11d/> (дата обращения: 12.04.2020).
19. *Правила* классификации и постройки морских судов. Ч. VIII. Системы и трубопроводы. СПб.: Изд-во РМПС, 2020. 216 с.
20. *Правила* классификации и постройки судов (ПКПС). Ч. IV. Энергетическая установка и системы. М.: Изд-во РРР, 2019. С. 414–579.
21. *Johnson K., Miller W., Durbin T., Jiang Yu. (Jade), Yang J. (Joey), Karavalakis G., Cocker D.* Black Carbon Measurement Methods and Emission Factors from Ships. University of California, Riverside, 2016. 182 p.
22. *Жуков В. А., Медведев В. В., Шербан С. А.* О принципах оценки экологической безопасности малых речных судов // Реч. трансп. (XXI в.). 2018. № 4 (88). С. 56–59.
23. *Покусаев М. Н., Хмельницкая А. А., Горбачев М. М., Хмельницкий К. Е.* Современное состояние вопроса о техническом надзоре за маломерными судами в области контроля вредных выбросов отработавших газов двигателей // Трансп. дело России. 2016. № 6 (127). С. 151–152.

Статья поступила в редакцию 28.04.2020

### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

**Жуков Владимир Анатольевич** – Россия, 198035, Санкт-Петербург; Государственный университет морского и речного флота им. адмирала С. О. Макарова; д-р техн. наук, доцент; зав. кафедрой теории и конструкции судовых двигателей внутреннего сгорания; Kaf\_sdvs@gumrf.ru.

**Шербан Сергей Андреевич** – Россия, 198035, Санкт-Петербург; Государственный университет морского и речного флота им. адмирала С. О. Макарова; аспирант кафедры теории и конструкции судовых двигателей внутреннего сгорания; Kaf\_sdvs@gumrf.ru.



## MEASURING INSTRUMENTS FOR DETERMINING COMPOSITION OF EXHAUST GASES OF SHIP INTERNAL COMBUSTION ENGINES

*V. A. Zhukov, S. A. Sherban*

*Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping,  
Saint-Petersburg, Russian Federation*

**Abstract.** The article describes the problem of air pollution by engines of sea and river vessels. Compliance with environmental requirements established by state and international regulatory documents is a prerequisite for the safe operation of sea and river vessels. The composition of the exhaust gases of marine diesel engines should be considered the main and most objective criterion for

the environmental safety of marine power plants. The requirements for the exhaust gases composition and the procedure for determining regulated indicators are established by various regulatory documents which indicate only the principle the device operation. Most regulatory documents do not take into account the capabilities of modern devices and design features of ship power plants. In the process of analyzing exhaust gases, the composition of toxic substances and solid particles is determined by gas analyzers and smoke meters. The principles of operation of modern instruments are described, their capabilities and metrological characteristics are presented, and the prospects for using such instruments on sea and river vessels are evaluated. The problems that arise during the analysis of exhaust gases on small displacement vessels with wet exhaust gases are considered. There have been proposed the measures which will improve the quality of marine diesel emissions control and contribute to improving the technical operation of the fleet. The necessity of updating the instrumental base for monitoring toxicity and smoking of exhaust gases of marine diesel engines is indicated. The solution to the problem requires an integrated approach, taking into account the operating conditions of ships, capabilities of measuring equipment, design features of ship engines, requirements of regulatory documents and rules of classification societies.

**Key words:** marine engines, exhaust gases, toxicity, smoking, gas analyzers, smoke meters, gas extracting systems.

**For citation:** Zhukov V. A., Sherban S. A. Measuring instruments for determining composition of exhaust gases of ship internal combustion engines. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Marine Engineering and Technologies*. 2020;2:100-110. (In Russ.) DOI: 10.24143/2073-1574-2020-2-100-110.

#### REFERENCES

1. *Ob energosberezhenii i povyshenii energeticheskoy effektivnosti i o vnesenii izmenenij v otdel'nye zakonodatel'nye akty Rossijskoj Federacii* [On energy saving and improving energy efficiency and on amendments to certain legislative acts of the Russian Federation]. Federal'nyj zakon ot 23 noyabrya 2009 g. № 261-FZ. Available at: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/30163> (accessed: 25.03.2020).
2. *Energeticheskaya strategiya Rossii na period do 2030 goda (utv. rasporyazheniem Pravitel'stva RF ot 13.11.2009 g. № 1715-r)* [Power strategy of Russia for the period until 2030 (approved by order of the Government of the Russian Federation of November 13, 2009 No. 1715-r)]. Available at: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/96681/> (accessed: 25.03.2020).
3. Tomislav Juric. Experimental method for marine engine's emissions analysis. *International journal "NASE MORE". Maritime Department University of Dubrovnik*, 2016, no. 63 (1), pp. 24-31.
4. *International Maritime Organization*. Available at: <http://www.imo.org/en/Pages/Default.aspx#1> (accessed: 05.04.2020).
5. Lukanin V. N. *Promyshlennno-transportnaya ekologiya* [Industrial and transport ecology]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 2003. 273 p.
6. *Regulation 14 of Annex VI MARPOL 73/78*. Available at: <http://www.gard.no/web/updates/content/53059/annex-vi-of-marpol-7378-regulations-for-the-prevention-of-air-pollution-from-ships> (accessed: 05.04.2020).
7. *IMO resolution MEPC. 259 (68)*. Available at: [http://www.rise.odessa.ua/texts/MEPC259\\_68.php3](http://www.rise.odessa.ua/texts/MEPC259_68.php3) (accessed: 09.04.2020).
8. *Regulation 13 of Annex VI MARPOL 73/78*. Available at: [http://hulpinlood.nl/wp-content/uploads/2015/03/BIJLAGE3\\_Marpol-annex-VI.pdf](http://hulpinlood.nl/wp-content/uploads/2015/03/BIJLAGE3_Marpol-annex-VI.pdf) (accessed: 09.04.2020).
9. *ND № 2-020101-134. Pravila po predotvrashcheniyu zagryazneniya s sudov, ekspluatiruyushchihsya v morskikh rajonah i na vnutrennih vodnyh putyah Rossijskoj Federacii*. Saint-Petersburg, Izd-vo RMRS, 2020. 69 p.
10. *Pravila predotvrashcheniya zagryazneniya okruzhayushchej sredy s sudov (PPZS)* [Rules for preventing environmental pollution from ships]. Available at: <https://docplan.ru/Index2/1/4293753/4293753123.htm> (accessed: 09.04.2020).
11. Klimova E. V. *Metod ocenki urovnya toksichnyh sostavlyayushchih otrabotavshih gazov sudovyh dizelej: dis. ... kand. tekhn. nauk* [Method for assessing level of toxic components of exhaust gases from marine diesel engines: diss. cand. tech. sci.]. Astrahan', 2010. 187 p.
12. Fraden J. *Handbook of modern sensors*. New York, Springer Publ., 2016. 189 p.
13. Moris A. S. *Principles of measurement and instrumentation*. New York, Prentice Hall Publ., 1988. 316 p.
14. *MRU Vario plus SE, technical specification, MRU GmbH, Fuchshalde 8, D-74172 Neckarsulm*. Germany, 2010. Available at: <https://www.mru.eu/meta/mru-abc/detail/vario-plus/> (accessed: 12.04.2020).
15. *Gazoanalizatory i kislorodomery MRU dlya promyshlennosti* [Industrial gas analyzers and oxygen meters MRU]. Available at: [http://www.mru-instruments.ru/productions/portativnie/vario\\_pi/](http://www.mru-instruments.ru/productions/portativnie/vario_pi/) (accessed: 12.04.2020).

16. *Gazoanalizator vybrosov transportnykh sredstv* [Vehicle emission gas analyzer]. Available at: <https://eco-intech.com/product/gazoanalizator-vybrosov-transportnykh-sredstv-infralight-11p/> (accessed: 12.04.2020).
17. *Analizator «INFRALIFGT-11P»: rukovodstvo po ekspluatatsii EKIT 5.920.001 RE* [Analyzer INFRALIFGT-11P: manual EKIT 5.920.001 RE]. Moscow, OOO NPO «Eko-Intekh», 2011. 45 p.
18. *Eko-Intekh. Pribory ekologicheskogo kontrolya* [Eco-Intekh. Environmental monitoring devices]. Available at: <https://eco-intech.com/product/infralight-11d/> (accessed: 12.04.2020).
19. *Pravila klassifikatsii i postrojki morskikh sudov. Part VIII. Sistemy i truboprovody* [Rules for ship classification and construction. Part VIII. Systems and pipelines]. Saint-Petersburg, Izd-vo RMRS, 2020. 216 p.
20. *Pravila klassifikatsii i postrojki sudov (PKPS). Part IV. Energeticheskaya ustanovka i sistemy* [Rules for ship classification and construction. Part IV. Power plant and systems]. Moscow, Izd-vo RRR, 2019. Pp. 414-579.
21. Johnson K., Miller W., Durbin T., Jiang Yu. (Jade), Yang J. (Joey), Karavalakis G., Cocker D. *Black Carbon Measurement Methods and Emission Factors from Ships*. University of California, Riverside, 2016. 182 p.
22. Zhukov V. A., Medvedev V. V., Sherban S. A. O principah ocenki ekologicheskoy bezopasnosti malyyh rechnyyh sudov [On principles of environmental safety assessment of small river vessels]. *Rechnoy transport (XXI vek)*, 2018, no. 4 (88), pp. 56-59.
23. Pokusaev M. N., Hmel'nickaya A. A., Gorbachev M. M., Hmel'nickij K. E. Sovremennoe sostoyanie voprosa o tekhnicheskoy nadzore za malomernymi sudami v oblasti kontrolya vrednykh vybrosov otrabotavshih gazov dvigatelej [Current state of technical supervision of small vessels in the field of control of harmful exhaust emissions of engines]. *Transportnoye delo Rossii*, 2016, no. 6 (127), pp. 151-152.

The article submitted to the editors 28.04.2020

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Zhukov Vladimir Anatolyevich** – Russia, 198035, Saint-Petersburg; Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping; Doctor of Technical Sciences, Assistant Professor; Head of the Department of Theory and Design of Marine Internal Combustion Engines; Kaf\_sdvs@gumrf.ru.

**Sherban Sergey Andreevich** – Russia, 198035, Saint-Petersburg; Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping; Postgraduate Student of the Department of Theory and Design of Marine Internal Combustion Engines; Kaf\_sdvs@gumrf.ru.

