
ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Научная статья

УДК 656.62; DOI: 10.61260/1998-8990-2023-3-158-168

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ПОЛЛЮТАНТОВ В ОТРАБОТАВШИХ ГАЗАХ СУДОВОГО ДВИГАТЕЛЯ ЯМЗ-238 ГМ2

Ложкина Ольга Владимировна;

✉ Мальчиков Константин Борисович.

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Россия

✉ malchikov87@mail.ru

Аннотация. Для разработки надежных расчетных методов мониторинга и прогнозирования воздействия выбросов маломерных судов на окружающую среду в городах необходимо проведение экспериментальных исследований по оценке качественно-количественного состава отработавших газов двигателей плавсредств. Цель работы заключалась в проведении швартовых (стационарных) испытаний по замеру концентраций оксида углерода, диоксида углерода, оксидов азота и углеводородов в отработавших газах судового двигателя ЯМЗ-238 ГМ2, используемого в качестве силового агрегата на однопалубных туристических теплоходах, разъездных катерах и т.д., с помощью газоанализатора «Инфракар 5МЗТ.02Л». В результате было установлено, что содержание загрязняющих веществ в отработавших газах двигателя не превышало нормативно установленных значений, а полученные значения усредненных удельных выбросов для двигателя ЯМЗ-238 ГМ2 хорошо коррелировали с соответствующими значениями зарубежных методик.

Ключевые слова: техносферная безопасность, однопалубные пассажирские теплоходы, маломерные суда, судового двигателя ЯМЗ-238 ГМ2, выбросы загрязняющих веществ

Для цитирования: Ложкина О.В., Мальчиков К.Б. Определение содержания поллютантов в отработавших газах судового двигателя ЯМЗ-238 ГМ2 // Проблемы управления рисками в техносфере. 2023. № 3 (67). С. 158–168. DOI: 10.61260/1998-8990-2023-3-158-168.

Scientific article

DETERMINATION OF THE CONTENT OF POLLUTANTS IN THE EXHAUST EMISSIONS OF THE YAMZ-238 GM2 SHIP ENGINE

Lozhkina Olga V.;

✉ Malchikov Konstantin B.

Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia

✉ malchikov87@mail.ru

Abstract. In order to develop reliable calculation methods for monitoring and predicting the impact of emissions from boats on the environment in cities, it is necessary to carry out experimental studies of the exhaust emissions of boat engines. The purpose of the present study was to carry out mooring (stationary) tests to measure the concentrations of carbon monoxide, carbon dioxide, nitrogen oxides and hydrocarbons in the exhaust emissions of the YaMZ-238 GM2 engine used as a power unit on single-deck tourist motor ships, crew boats, etc., by means of the gas analyzer «Infracar 5M3T.02L». It was found that the content of pollutants in the exhaust emissions of the engine did not exceed standard values, and the obtained values of average specific emissions for the YaMZ-238 GM2 engine correlated well with the corresponding values of foreign methods.

© Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2023

Keywords: technosphere safety, single-deck passenger ships, boats; ship engine YaMZ-238 GM2, pollutants emissions

For citation: Lozhkina O.V., Malchikov K.B. Determination of the content of pollutants in the exhaust emissions of the YAMZ-238 GM2 ship engine // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2023. № 3 (67). P. 158–168. DOI: 10.61260/1998-8990-2023-3-158-168.

Введение

Выбросы маломерных судов, наряду с выбросами от автотранспортных потоков, являются значимыми источниками негативного техногенного воздействия на окружающую среду в историческом центре Санкт-Петербурга и других городах нашей страны с развитой инфраструктурой водного туризма, но проблема эта должным образом не изучена.

Анализ научных публикаций выявил, что большинство из них посвящено исследованию концентрационного состава отработавших газов (ОГ) двигательных агрегатов достаточно высокой мощности, установленных на судах смешанного (река-море) плавания [1–4], а также судовых низкооборотистых дизельных двигателей [5, 6], а исследования выбросов в атмосферу загрязняющих веществ двигательными установками однопалубных пассажирских теплоходов и маломерных судов на данное время представлены ограниченным количеством проведенных бортовых измерений [7–9].

Ранее выполненный авторами анализ [10] показал, что, в силу специфических градостроительных особенностей исторического центра Санкт-Петербурга, в городе наиболее востребованы однопалубные пассажирские теплоходы проектов типа «Фонтанка», «Мойка», «КС-100», «КС-110», и количество их ежегодно увеличивается [11], что связано с ростом туристических потоков [12].

В связи с вышесказанным целью данного исследования явился качественно-количественный инструментальный анализ состава ОГ двигателей судов однопалубных пассажирских теплоходов и маломерных судов, результаты которого будут в дальнейшем использованы для детализации расчетных методик выбросов вредных (загрязняющих) веществ от передвижных источников и совершенствования методов прогнозирования техногенного воздействия транспорта на среду обитания.

Методы исследования

В качестве объекта исследования был выбран двигатель марки ЯМЗ-238 ГМ2. Критериями выбора этой марки явились следующие факторы:

1. Согласно проведенным ранее исследованиям около 25 % однопалубных пассажирских теплоходов типа «Фонтанка», «Мойка» и т.д., эксплуатируемых в Санкт-Петербурге, оснащены двигателями этого типа [10]; а также некоторые буксирные и разездные катера.

2. Двигатели ЯМЗ-238 ГМ2 – относительно недорогие отечественные силовые агрегаты, доступные и надежные, с широкой возможностью конвертирования для различных целей, что делает их высоко востребованными в нашей стране.

3. Анализ отечественных публикаций показал, что исследования состава выбросов были выполнены для двигателя ЯМЗ-238 М2 (на их долю приходится около 6 % числа судовых двигателей однопалубных пассажирских теплоходов в Санкт-Петербурге [10]) и дизельного двигателя ЗД6 [8, 13, 14], для двигателя ЯМЗ-238 ГМ2 подобные исследования не проводились.

В целом двигатели семейства ЯМЗ-238 на сегодняшний день остаются основными судовыми установками в нашей стране. Технические характеристики дизельного двигателя ЯМЗ-238 ГМ2 представлены в табл. 1 [15].

Таблица 1

Основные характеристики двигателя с воспламенением от сжатия ЯМЗ-238 ГМ2 [15]

Показатель	Значение	Показатель	Значение
Тип двигателя	4-тактный с воспламенением от сжатия	Диаметр и ход поршня, мм	130×140
Число, расположение цилиндров	8, V-образное	Номинальная частота вращения коленчатого вала, об/мин	1 700
Система смесеобразования	Непосредственный впрыск	Минимальная частота вращения коленчатого вала, об/мин	550–650
Система охлаждения	Жидкостное (без турбонаддува)	Степень сжатия	16,5
Рабочий объем двигателя, л	14,86	Удельный расход топлива при номинальной мощности, г/кВт·ч (г/л.с.·ч)	228 (168)
Номинальная мощность, кВт (л.с.)	125 (170)	Расход топлива, кг/ч	29

Бортовые испытания двигателей однопалубных пассажирских теплоходов сопряжены с рядом затруднений:

1. Наличие «мокрого» отвода ОГ.
2. Расположение выхлопной трубы в корпусе судна под конструктивной ватерлинией [16, 17].
3. Их непрерывная эксплуатация в коммерческих целях в течение практически всего периода навигации.

Таким образом, представлялось целесообразным в качестве объекта исследования выбрать судно, на котором, как и на однопалубном пассажирском теплоходе, установлен аналогичный дизельный двигатель марки ЯМЗ-238 ГМ2 и имеется система «сухого» отвода ОГ. К таким судам относятся некоторые из многоцелевых водометных катеров типа КС-100, 101, 102, 104, в том числе разъездной катер (теплоход) «Алдан» (построен АО «Костромской судомеханический завод (КСМЗ). Отвод ОГ у него осуществляется через два вертикальных кожуха выхлопных трубопроводов (отдельно из каждого блока цилиндров двигателя). Наличие «сухого» отвода ОГ позволяет произвести бортовые исследования состава выбросов судового двигателя. В весенний период 2023 г. двигатель разъездного катера «Алдан» прошел предусмотренное регламентное обслуживание.

На рис. 1 представлена общая схема разъездного катера КС-102, к которым относится катер «Алдан», а в табл. 2 – его основные технические характеристики. Разъездной катер «Алдан» находится в ведении Санкт-Петербургского государственного бюджетного учреждения (СПб ГБУ) «Мостотрест».

Таблица 2

Основные технические характеристики разъездного катера «Алдан» (Санкт-Петербург)

Показатель	Значение	Показатель	Значение
Проект судна	КС-102-08	Пассажировместимость, чел.	–
Дата постройки	27.01.1998	Тип главного двигателя	Дизельный
Длина габаритная, м	14,15	Марка главного двигателя	ЯМЗ-238 ГМ2
Ширина габаритная, м	3,22	Мощность главного двигателя, кВт (л.с.)	125 (170)
Водоизмещение, т	9,2	Количество главных двигателей, ед.	1
Экипаж, чел.	6	Район плавания	Внутренние водные пути

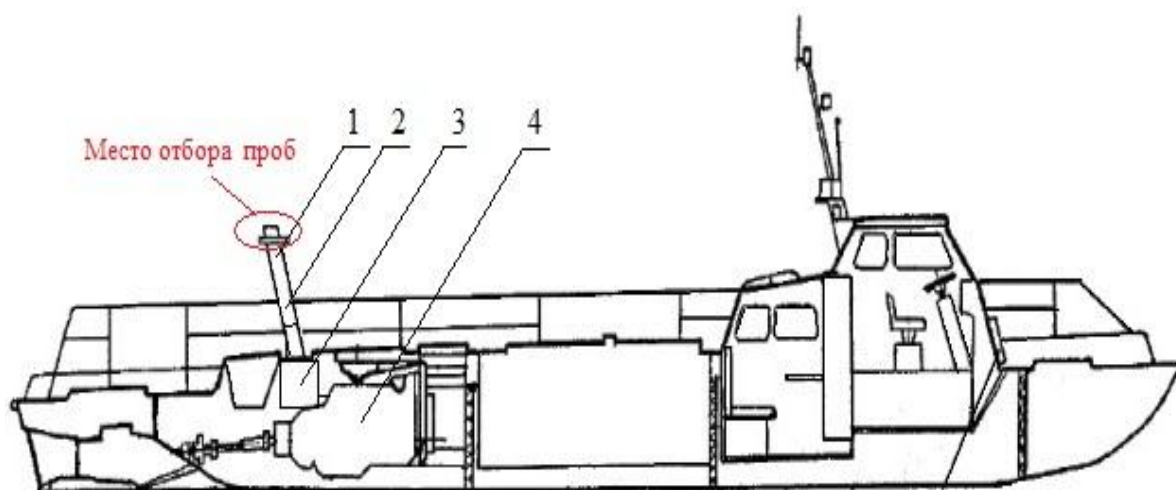


Рис. 1. Схема разрезного катера КС-102: 1 – кожух выхлопного трубопровода; 2 – инерционные глушители; 3 – объемные глушители; 4 – двигатель ЯМЗ-238 ГМ2

Для измерения концентраций поллютантов в ОГ судового двигателя ЯМЗ-238 ГМ2 использовался газоанализатор «Инфракар 5МЗТ.02Л», его технические характеристики подробно описаны в статье [17].

В соответствии с требованиями ГОСТ ISO 8178-4–2013 «Межгосударственный стандарт. Двигатели внутреннего сгорания поршневые. Измерение выброса продуктов сгорания. Часть 4. Испытательные циклы для двигателей различного применения на установившихся режимах» был выбран испытательный цикл Е5 – для судов длиной менее 24 м с дизельным двигателем.

В табл. 3 представлены режимы испытательного цикла Е5. В соответствии с требованиями нормативно-технической документации измерения концентраций вредных веществ в ОГ двигателя необходимо начинать с режима полной мощности и далее последовательно приближаться к режиму минимальной нагрузки.

Таблица 3

Испытательные режимы цикла Е5 и весовые коэффициенты для судового дизельного двигателя ЯМЗ-238 ГМ2 согласно ГОСТ ISO 8178-4–2013

Показатель	Номер режима испытательного цикла Е5				
	1	2	3	4	5
Частота вращения, %	100	91	80	63	Холостой ход
Частота вращения номинальная, об./мин	1 700	1 547	1 360	1 071	–
Мощность, %	100	75	50	25	0
Весовой коэффициент	0,08	0,13	0,17	0,32	0,3

Замеры концентраций загрязняющих веществ в ОГ двигателя внутреннего сгорания разрезного катера «Алдан» проводились в июне 2023 г. у служебного причала под Малоохтинским мостом Санкт-Петербурга (рис. 2). Частота вращения коленчатого вала двигателя фиксировалась по показателям штатного тахометра катера.

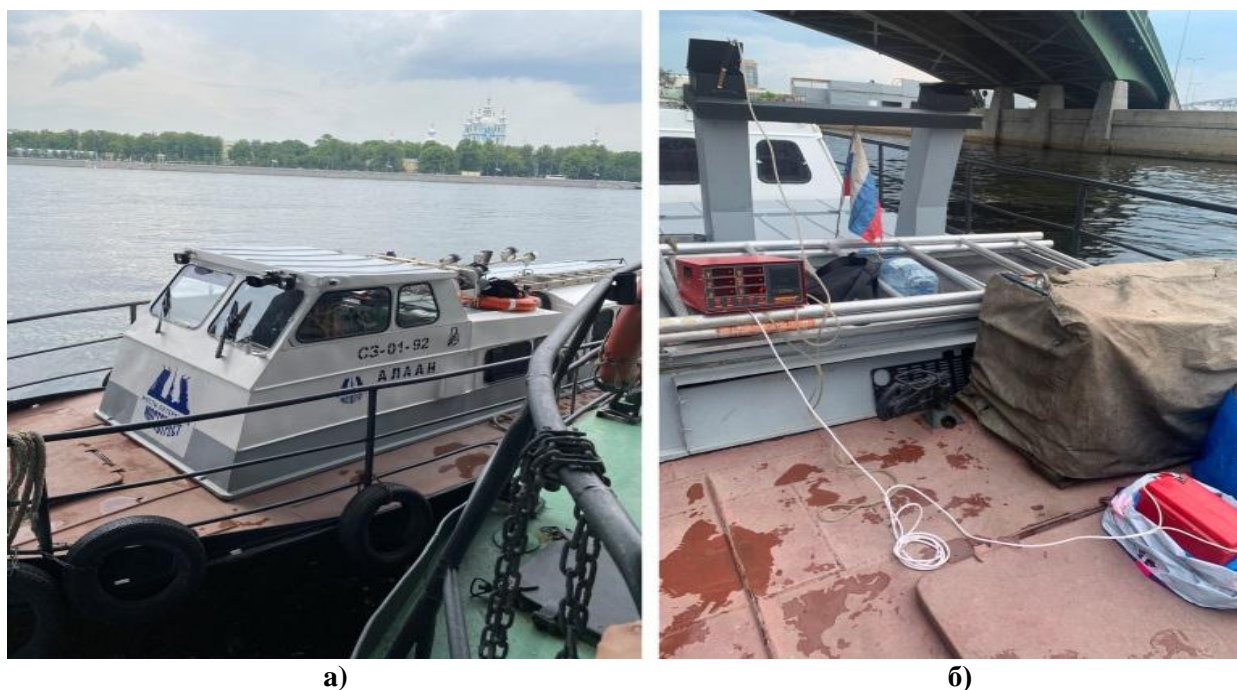


Рис. 2. Катер «Алдан» у служебного причала под Малоохтинским мостом (а); замер концентраций поллютантов в выбросах двигателя катера «Алдан» (б) (Санкт-Петербург, июнь 2023 г.)

Результаты исследования и их обсуждение

Результаты швартовых испытаний по замеру концентраций поллютантов в ОГ судового двигателя ЯМЗ-238 ГМ2 отражены на рис. 3–6 и в табл. 4.

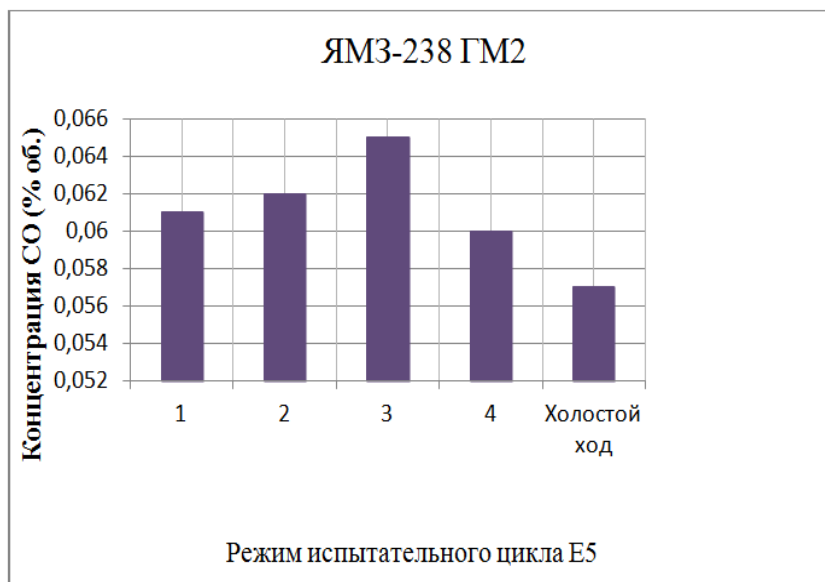


Рис. 3. Концентрация монооксида углерода CO (% об.) в ОГ судового двигателя ЯМЗ-238 ГМ2

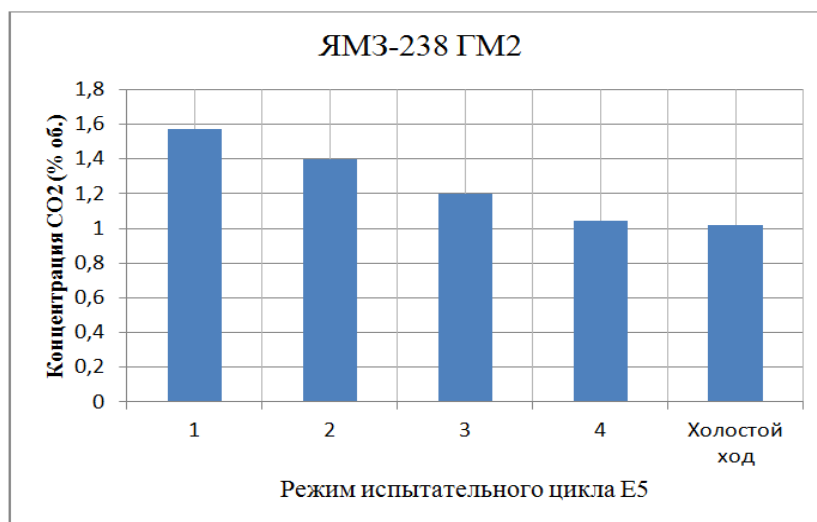


Рис. 4. Концентрация диоксида углерода CO_2 (% об.) в ОГ судового двигателя ЯМЗ-238 ГМ2

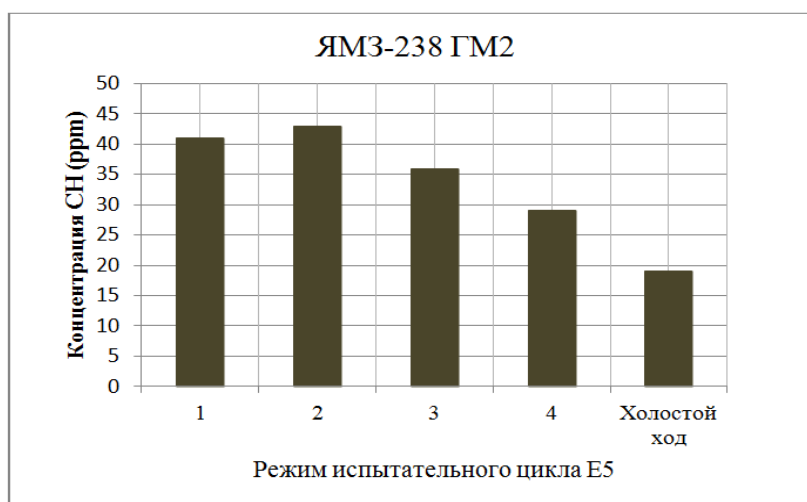


Рис. 5. Концентрация суммы углеводородов CH (ppm или млн^{-1}) в ОГ судового двигателя ЯМЗ-238 ГМ2

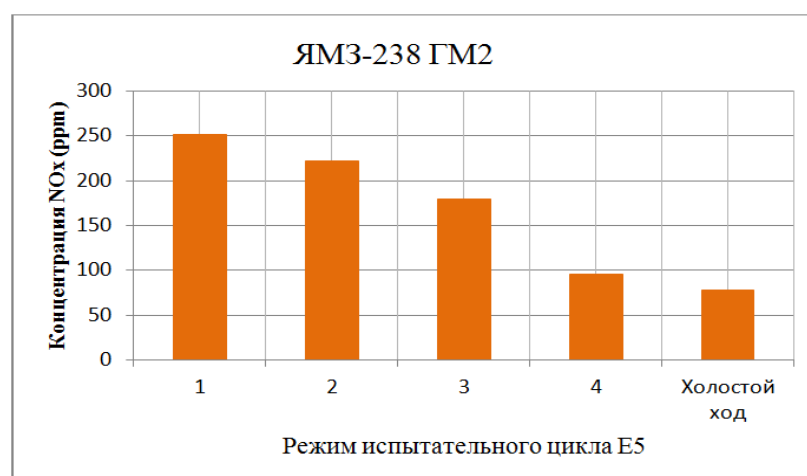


Рис. 6. Концентрация оксидов азота NO_x (ppm или млн^{-1}) в ОГ судового двигателя ЯМЗ-238 ГМ2

Таблица 4

**Содержание CO, CO₂, CH и NO_x в ОГ дизельного двигателя ЯМЗ-238 ГМ2
разъездного катера «Алдан»**

Режим испытательного цикла Е5	n _{ном} , об/мин	n _{факт} , об/мин	Содержание загрязнителей				O ₂ , % (об.)
			CO, % (об.)	CO ₂ , % (об.)	CH, ppm	NO _x , ppm	
1	1 700	1 700	0,061	1,575	41	251	18,49
2	1 547	1 500	0,062	1,400	43	222	18,80
3	1 360	1 300	0,065	1,198	36	179	19,15
4	1 071	1 050	0,060	1,047	29	96	19,36
Холостой ход	–	450	0,057	1,017	19	78	19,52

Примечание: n_{ном} и n_{факт} – соответственно номинальная и фактическая частота вращения коленчатого вала двигателя

Результаты экспериментальных исследований указывают на следующую тенденцию: выбросы оксидов азота NO_x имеют наибольшее значение на режиме максимальной нагрузки – режим 1 испытательного цикла Е5, а минимальны на 4 режиме минимальной нагрузки; выбросы углеводородов CH максимальны на режиме средней нагрузки – режим 2, а минимальны на 4 режиме минимальной нагрузки; выбросы монооксида углерода CO максимальны на режимах средней нагрузки – режимы 2 и 3, а минимальны на режиме 1 максимальной нагрузки и режиме 4 минимальной нагрузки; выбросы диоксида углерода CO₂ снижаются по мере уменьшения нагрузки. Выбросы практически всех поллютантов имеют тенденцию к снижению по мере уменьшения нагрузки.

Ввиду работы дизельных двигателей при значительном избыточном воздухе и высокой температуре сгорания смеси [18] образующиеся при их эксплуатации оксиды азота являются значимыми токсичными компонентами ОГ вне зависимости от мощности и конструктивных особенностей силовых установок [19]. Следует учитывать, что оксиды азота, участвующие в различных фотохимических превращениях в атмосфере с образованием более токсичных вторичных загрязнителей, являются одними из доминантных загрязнителей воздуха Санкт-Петербурга и многих городов нашей страны.

В целях дальнейшего использования полученных экспериментальных данных измеренные объемные концентрации этих загрязняющих веществ были приведены к размерности г/кВт·ч согласно методике, изложенной в ГОСТ 31967–2012 «Межгосударственный стандарт. Двигатели внутреннего сгорания поршневые. Выбросы вредных веществ с отработавшими газами» и Правилах предотвращения загрязнения окружающей среды с судов (утверждены приказом ФАУ «Российский Речной Регистр» от 12 октября 2015 г. № 38-П) (табл. 5).

Таблица 5

**Усредненные удельные выбросы CO, CO₂, CH и NO_x
дизельного двигателя ЯМЗ-238 ГМ2 разъездного катера «Алдан»**

Режим испытательного цикла Е5	n _{ном} , об/мин	n _{факт} , об/мин	Выброс поллютанта, г/кВт·ч			
			CO	CO ₂	CH	NO _x
1	1 700	1 700	4,755	201,559	0,158	3,358
2	1 547	1 500	4,833	179,163	0,166	2,970
3	1 360	1 300	5,066	146,733	0,139	2,292
4	1 071	1 050	4,677	128,238	0,112	1,229

Полученные данные по усредненным удельным выбросам загрязняющих атмосферу веществ силовой дизельной установкой судна «Алдан» указывают, что они на всех режимах испытательного цикла Е5 не превышают значений, установленных Правилами предотвращения загрязнения окружающей среды с судов.

Следует сказать, что усредненные удельные выбросы CO, CO₂, CH и NO_x дизельного двигателя ЯМЗ-238 ГМ2 согласуются с аналогичными параметрами зарубежных методик, предназначенных для расчета выбросов судовых двигателей, а именно: методики Агентства по охране окружающей среды США EPA NONROAD, Европейского агентства по окружающей среде ЕЕА ЕМЕР, Агентства Нидерландов по экологической оценке [20] (табл. 6).

Таблица 6

**Усредненные удельные выбросы дизельных судовых двигателей
зарубежных методик расчета валовых судовых выбросов [20]**

Модель	Мощность двигателя	Год выпуска двигателя	Поллютант, г/кВт·ч				Удельный расход топлива, г/кВт·ч
			CO	CO ₂	CH	NO _x	
EPA NONROAD (США)	100 < л.с. ≤ 175	–	0,95	–	0,13	3,34	124,44
ЕМЕР ЕЕА (Европейский союз)	> 50 кВт	–	5,30	–	–	8,60	275,00
NEAA (Нидерланды)	–	1995–2001	1,80	–	–	9,40	205,00

Показатель выброса CO двигателем ЯМЗ-238 ГМ2 наиболее близок к средневзвешенному значению выброса CO методики ЕМЕР ЕЕА Европейского союза (5,1 и 5,3 г/кВт·ч соответственно), показатели выбросов CH и NO_x – к средневзвешенным значениям выбросов CH и NO_x американской методики EPA NONROAD (CH: 0,16 и 0,13 г/кВт·ч соответственно; NO_x: 3,358 и 3,34 соответственно). Расхождение составило по CO – 3,8 %, по CH – 18,7 % и по NO_x – 0,6 %.

Заключение

В результате проведенных исследований впервые в нашей стране были определены концентрации токсичных примесей оксида углерода, суммы углеводородов, оксидов азота и диоксида углерода в ОГ судового дизельного двигателя ЯМЗ-238 ГМ2, находящегося в условиях реальной эксплуатации. Было установлено, что содержание поллютантов не превышает регламентированных предельно допустимых значений. Кроме того, было подтверждено, что полученные значения усредненных удельных выбросов для двигателя ЯМЗ-238 ГМ2 хорошо согласуются с соответствующими значениями методики Европейского агентства по окружающей среде ЕЕА ЕМЕР и методики NONROAD Американского агентства по охране окружающей среды.

Полученные данные в дальнейшем будут использованы при разработке методики расчетного мониторинга и прогнозирования воздействия выбросов однопалубных пассажирских теплоходов и маломерных судов на качество окружающей среды.

Авторы выражают признательность руководству Комитета имущественных отношений, Комитета по развитию транспортной инфраструктуры и Комитета по природопользованию, охране окружающей среды и обеспечению экологической безопасности Правительства Санкт-Петербурга, начальнику участка плавсредств СПб ГБУ «Мостотрест» Сперанскому Антону Владимировичу и экипажу развозного катера «Алдан» за возможность и организацию проведения экспериментальных исследований.

Список источников

1. Туркин А.В., Кулекина Е.И., Туркин В.А. Обоснование методов снижения выбросов вредных веществ с отработавшими газами судовых дизелей // Эксплуатация морского транспорта. 2016. № 4 (81). С. 116–125.
2. Туркин А.В., Туркин В.А., Иванченко А.А. Применение лазерных технологий для оценки токсичности отработавших газов судовых энергетических установок // Морские интеллектуальные технологии. 2018. № 1-1 (39). С. 111–116.
3. Нгуен Ха Хиен. Контроль и снижение вредных выбросов в атмосферу с судов смешанного (река-море) плавания // International scientific journal for alternative energy and ecology. 2011. № 5 (97). С. 86–93.
4. Нгуен Конг Доан. Теоретический и экспериментальный анализ тепловых выбросов с отработавшими газами судовых дизелей // Вестник АГТУ. 2012. № 1. С. 117–122.
5. Результаты испытаний на токсичность и дымность отработавших газов судовых дизелей 1Ч17,5/24 и 6ЧН15/18 / М.Н. Покусаев [и др.] // Альтернативная энергетика и экология. 2010. № 10 (90). С. 139–146.
6. Проведение натуральных испытаний по подаче диметилового эфира во всасывающий коллектор дизеля 6ЧСП15/18 на судне РК-2091 / М.Н. Покусаев [и др.] // Вестник ВГАВТ. 2018. № 58. С. 166–174.
7. Туркин А.В., Туркин В.А. Экспериментальное исследование эффективности многосекционного комплексного устройства очистки выхлопных газов судового двигателя // Вестник АГТУ. 2015. № 4. С. 79–85.
8. Хмельницкая А.А., Ильина Е.Г., Покусаев М.Н. Отчет о результатах эксперимента по оценке вредных выбросов главного двигателя маломерного судна на соответствие российским и международным экологическим требованиям // Новая наука: от идеи к результату. 2016. № 5-2 (84). С. 215–219.
9. Маломерные суда: спектр их использования и проблемы / М.Н. Покусаев [и др.] // Вестник Астраханского государственного технического университета. 2023. № 2. С. 47–53.
10. Ложкина О.В., Мальчиков К.Б. Анализ структуры флота однопалубных прогулочных теплоходов Санкт-Петербурга в контексте контроля опасного воздействия на окружающую среду // Проблемы управления рисками в техносфере. 2022. № 2 (62). С. 123–134.
11. Алексанков А.М., Ковалева С.Н., Мозокина С.Л. Современное состояние и перспективы развития яхтенного туризма в Санкт-Петербурге // Известия Санкт-Петербургского государственного экономического университета. 2019. № 2 (116). С. 90–96.
12. Меншуткин В.В., Минина Т.Р. О развитии туризма в Санкт-Петербургской агломерации в современных условиях и сохранении природной среды // Проблемы преобразования и регулирования региональных социально-экономических систем. 2022. № 50. С. 100–112.
13. Хмельницкая А.А. Загрязнение окружающей среды выхлопными газами маломерных судов: дис. ... канд. техн. наук. Астрахань: АГТУ, 2019. 176 с.
14. Измерение экологических показателей главного двигателя судна типа «Ярославец» при работе на дизельном и печном топливах / М.Н. Покусаев [и др.] // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2011. № 8 (81). С. 43–47.
15. Официальный интернет-портал ПАО «Автодизель» (Ярославский моторный завод). URL: <https://www.ymzmotor.ru/catalog/dvigateli/ymz-v8/euro-0/ymz-238gm2/> (дата обращения: 29.05.2023).
16. Жуков В.А., Шербан С.А. Измерительные приборы для определения состава отработавших газов судовых двигателей внутреннего сгорания // Вестник АГТУ. 2020. № 2. С. 100–110.

17. Ложкина О.В., Мальчиков К.Б. Метод прогнозирования техногенных опасностей на основе определения содержания поллютантов в отработавших газах лодочных моторов // Проблемы управления рисками в техносфере. 2023. № 1 (65). С. 127–138.

18. Влияние коэффициента избытка воздуха на расход топлива дизельными двигателями внутреннего сгорания / И.В. Карнаухова [и др.] // Вестник Брянского государственного технического университета. 2016. № 5 (53). С. 38–42.

19. Камалтдинов В.Г., Марков В.А. Исследование образования оксидов азота в дизелях и ИССИ-двигателях // Транспорт на альтернативном топливе. 2015. № 5 (47). С. 34–46.

20. Ложкина О.В., Мальчиков К.Б. К вопросу о гармонизации отечественных и зарубежных методик оценки и прогнозирования выбросов маломерных судов // Технико-технологические проблемы сервиса. 2022. № 2 (60). С. 37–43.

References

1. Turkin A.V., Kulekina E.I., Turkin V.A. Obosnovanie metodov snizheniya vybrosov vrednykh veshchestv s otrabotavshimi gazami sudovykh dizelej // Ekspluatatsiya morskogo transporta. 2016. № 4 (81). S. 116–125.

2. Turkin A.V., Turkin V.A., Ivanchenko A.A. Primenenie lazernykh tekhnologiy dlya ocenki toksichnosti otrabotavshih gazov sudovykh energeticheskikh ustanovok // Morskie intellektual'nye tekhnologii. 2018. № 1-1 (39). S. 111–116.

3. Nguen Ha Hien. Kontrol' i snizhenie vrednykh vybrosov v atmosferu s sudov smeshannogo (reka-more) plavaniya // International scientific journal for alternative energy and ecology. 2011. № 5 (97). S. 86–93.

4. Nguen Kong Doan. Teoreticheskij i eksperimental'nyj analiz teplovykh vybrosov s otrabotavshimi gazami sudovykh dizelej // Vestnik AGTU. 2012. № 1. S. 117–122.

5. Rezul'taty ispytaniy na toksichnost' i dymnost' otrabotavshih gazov sudovykh dizelej 1CH17,5/24 i 6CHN15/18 / M.N. Pokusaev [i dr.] // Al'ternativnaya energetika i ekologiya. 2010. № 10 (90). S. 139–146.

6. Provedenie naturnykh ispytaniy po podache dimetilovogo efira vo vsasyvayushchij kollektor dizelya 6CHSP15/18 na sudne RK-2091 / M.N. Pokusaev [i dr.] // Vestnik VGAVT. 2018. № 58. S. 166–174.

7. Turkin A.V., Turkin V.A. Eksperimental'noe issledovanie effektivnosti mnogosekcionnogo kompleksnogo ustrojstva ochistki vyhlopnykh gazov sudovogo dvigatelya // Vestnik AGTU. 2015. № 4. S. 79–85.

8. Hmel'nickaya A.A., Il'ina E.G., Pokusaev M.N. Otchet o rezul'tatah eksperimenta po ocenke vrednykh vybrosov glavnogo dvigatelya malomernogo sudna na sootvetstvie rossijskim i mezhdunarodnym ekologicheskim trebovaniyam // Novaya nauka: ot idei k rezul'tatu. 2016. № 5-2 (84). S. 215–219.

9. Malomernye suda: spektr ih ispol'zovaniya i problemy / M.N. Pokusaev [i dr.] // Vestnik Astrahanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. 2023. № 2. S. 47–53.

10. Lozhkina O.V., Mal'chikov K.B. Analiz struktury flota odnopalubnykh progulochnykh teplohodov Sankt-Peterburga v kontekste kontrolya opasnogo vozdejstviya na okruzhayushchuyu sredyu // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere. 2022. № 2 (62). S. 123–134.

11. Aleksankov A.M., Kovaleva S.N., Mozokina S.L. Sovremennoe sostoyanie i perspektivy razvitiya yahtennogo turizma v Sankt-Peterburge // Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo ekonomicheskogo universiteta. 2019. № 2 (116). S. 90–96.

12. Menshutkin V.V., Minina T.R. O razvitii turizma v Sankt-Peterburgskoj aglomeracii v sovremennykh usloviyakh i sohranении prirodnoy sredy // Problemy preobrazovaniya i regulirovaniya regional'nykh social'no-ekonomicheskikh sistem. 2022. № 50. S. 100–112.

13. Hmel'nickaya A.A. Zagryaznenie okruzhayushchej sredy vyhlopnymi gazami malomernykh sudov: dis. ... kand. tekhn. nauk. Astrahan': AGTU, 2019. 176 s.

14. Izmerenie ekologicheskikh pokazatelej glavnogo dvigatelya sudna tipa «Yaroslavec» pri rabote na dizel'nom i pechnom toplivah / M.N. Pokusaev [i dr.] // Izvestiya Volgogradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. 2011. № 8 (81). S. 43–47.

15. Oficial'nyj internet-portal PAO «Avtodizel'» (Yaroslavskij motornyj zavod). URL: <https://www.ymzmotor.ru/catalog/dvigateli/ymz-v8/euro-0/ymz-238gm2/> (data obrashcheniya: 29.05.2023).

16. Zhukov V.A., Sherban S.A. Izmeritel'nye pribory dlya opredeleniya sostava otrabotavshih gazov sudovyh dvigatelej vnutrennego sgoraniya // Vestnik AGTU. 2020. № 2. S. 100–110.

17. Lozhkina O.V., Mal'chikov K.B. Metod prognozirovaniya tekhnogennyh opasnostej na osnove opredeleniya sodержaniya pollyutantov v otrabotavshih gazah lodochnyh motorov // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere. 2023. № 1 (65). S. 127–138.

18. Vliyanie koefficienta izbytkha vozduha na raskhod topliva dizel'nymi dvigatelyami vnutrennego sgoraniya / I.V. Karnauhova [i dr.] // Vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. 2016. № 5 (53). S. 38–42.

19. Kamaltdinov V.G., Markov V.A. Issledovanie obrazovaniya oksidov azota v dizelyah i HCCI-dvigatelyah // Transport na al'ternativnom toplive. 2015. № 5 (47). S. 34–46.

20. Lozhkina O.V., Mal'chikov K.B. K voprosu o garmonizacii otechestvennyh i zarubezhnyh metodik ocenki i prognozirovaniya vybrosov malomernyh sudov // Tekhniko-tekhnologicheskie problemy servisa. 2022. № 2 (60). S. 37–43.

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 13.07.2023; одобрена после рецензирования: 17.07.2023; принята к публикации: 18.07.2023

The information about article:

The article was submitted to the editorial office: 13.07.2023; approved after review: 17.07.2023; accepted for publication: 18.07.2023

Информация об авторах:

Ложкина Ольга Владимировна, профессор кафедры физико-химических основ процессов горения и тушения Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), доктор технических наук, кандидат химических наук, профессор, e-mail: oljkina@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8604-2698>, SPIN-код: 6275-4249

Мальчиков Константин Борисович, преподаватель кафедры физико-химических основ процессов горения и тушения Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: malchikov87@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8173-6850>, SPIN-код: 1309-1859

Information about the authors:

Lozhkina Olga V., professor of the department of chemistry and combustion processes of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), doctor of technical sciences, candidate of chemical sciences, professor, e-mail: oljkina@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8604-2698>, SPIN: 6275-4249

Malchikov Konstantin B., lecturer of the department of chemistry and combustion processes of Saint-Petersburg university of the State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), e-mail: malchikov87@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8173-6850>, SPIN: 1309-1859