

СУДОВЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ И ИХ ЭЛЕМЕНТЫ (ГЛАВНЫЕ И ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ)

DOI: 10.21821/2309-5180-2025-17-6-913-923

EDN QNUMFC

UPDATING ENVIRONMENTAL REQUIREMENTS FOR ENGINES OF RIVER PASSENGER AND SIGHTSEEING VESSELS

V. A. Zhukov, Yu. V. Yatsuk

Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping,
St. Petersburg, Russian Federation

The article addresses the need to update environmental requirements for engines used on river passenger and sightseeing vessels in the context of implementing federal programs aimed at modernizing the transport system of the Russian Federation, one of the key objectives of which is the development of inland waterway transport. It is noted that ensuring environmental safety is a mandatory condition for the sustainable development of transport, including river transport. This task is addressed through the establishment of maximum permissible emission limits for harmful substances contained in the exhaust gases of internal combustion engines. A comparative analysis of domestic and foreign regulatory documents governing environmental requirements for internal combustion engines is carried out. Based on the results of this comparison, it is concluded that the current standards for exhaust gas toxicity and smoke opacity of river vessel engines require updating. The concept of revising regulatory values is presented, proposing the use of vessel grouping as a basis for emission standardization. Based on the results of field studies and statistical processing of ship inspection reports, updated standards for exhaust gas smoke opacity and toxicity of marine diesel engines are proposed. It is demonstrated that updating environmental requirements is particularly relevant for passenger and sightseeing vessels operating in large metropolitan areas.

Keywords: inland waterway transport; passenger transportation; harmful emissions; regulatory documents; updating environmental requirements; ship engines; exhaust gas toxicity; smoke opacity.

For citation:

Zhukov, Vladimir A. and Yu. V. Yatsuk. "Updating environmental requirements for engines of river passenger and sightseeing vessels." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 17.6 (2025): 913–923. DOI: 10.21821/2309-5180-2025-17-6-913-923.

УДК 620.9

АКТУАЛИЗАЦИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ТРЕБОВАНИЙ К ДВИГАТЕЛЯМ РЕЧНЫХ ПАССАЖИРСКИХ ЭКСКУРСИОННО-ПРОГУЛОЧНЫХ СУДОВ

В. А. Жуков, Ю. В. Яцук

ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова»,
Санкт-Петербург, Российская Федерация

Актуальность выполненного обзора обусловлена необходимостью обобщения и анализа информации, связанной с реализацией федеральных программ по модернизации транспортной системы Российской Федерации, требующей решения комплекса задач, одной из которых является развитие внутреннего водного транспорта. Отмечается, что обязательным условием развития транспорта, в том числе речного, является обеспечение его экологической безопасности. Данная задача решается установлением предельно допустимых значений выбросов вредных веществ с отработавшими газами двигателей внутреннего сгорания транспортных средств. Выполнен сравнительный анализ отечественных и зарубежных нормативных документов, определяющих экологические требования

к двигателям внутреннего сгорания. На основе сравнения сделан вывод о необходимости актуализации действующих нормативов токсичности и дымности отработавших газов двигателей речных судов. Представлена концепция обновления нормативных значений, в которой предлагается использовать для нормирования распределение судов по группам. По результатам натурных исследований и статистической обработки протоколов обследования судов предложены обновленные нормативы дымности и токсичности отработавших газов судовых дизелей. Показано, что особую актуальность обновление экологических требований имеет для пассажирских экскурсионно-прогулочных судов, работающих в крупных мегаполисах.

Ключевые слова: транспортная система России, внутренний водный транспорт, пассажирские перевозки, экскурсионно-прогулочные суда, судовые дизели, отработавшие газы, выбросы вредных веществ, токсичность, дымность, нормативные документы, актуализация экологических требований.

Для цитирования:

Жуков В. А. Актуализация экологических требований к двигателям речных пассажирских экскурсионно-прогулочных судов / В. А. Жуков, Ю. В. Яцук // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2025. — Т. 17. — № 6. — С. 913–923. DOI: 10.21821/2309-5180-2025-17-6-913-923. — EDN QNUMFC.

Введение (Introduction)

Динамичное развитие экономики Российской Федерации невозможно без ускоренного развития транспортной системы страны. Важнейшей составляющей транспортной системы России является внутренний водный транспорт, стратегия развития которого утверждена распоряжением Правительства РФ от 29 февраля 2016 г. № 327-р¹. В перечне целей, установленных данным документом, особо выделены обеспечение социальной функции внутреннего водного транспорта по перевозке пассажиров и повышение уровня безопасности, экологичности внутреннего водного транспорта. Индикаторами достижения поставленных целей являются средний возраст пассажирского флота и объем перевозок пассажиров на социально значимых маршрутах, а также объем выбросов загрязняющих атмосферу веществ.

Фактическое увеличение пассажирских перевозок внутренним водным транспортом отмечено в публикации², в которой приведены данные о том, что за первое полугодие 2025 г. на речных маршрутах перевезено почти 4,5 млн человек, что на 30 % больше, чем в 2024 г. На междугородних маршрутах перевезено 3,5 млн человек, это на 37 % больше, чем в 2023 г. Наиболее заметный рост (в 3,5 раза) произошел в сфере внутригородских перевозок. Пассажирские перевозки осуществляются речными судами в городах Москве, Астрахани, Екатеринбурге, Волгограде, Казани, Нижнем Новгороде, Ростове-на-Дону, Самаре, Тобольске, Ярославле. За первую половину 2025 г. речные суда перевезли 1,4 млн пассажиров.

Особое значение внутригородские пассажирские и экскурсионные перевозки имеют для крупных мегаполисов, таких как Москва и Санкт-Петербург. В Москве в 2025 г. в эксплуатации находилось 127 пассажирских и экскурсионных судов, на которых было установлено около 300 главных и вспомогательных двигателей. По данным Комитета по транспорту Санкт-Петербурга, в навигацию 2025 г. пассажирские и экскурсионные маршруты обслуживали 232 пассажирских и 446 маломерных судна³. На судах установлено более тысячи двигателей внутреннего сгорания.

Увеличение объема пассажирских и экскурсионных перевозок в городской черте актуализирует проблему обеспечения их экологической безопасности и снижения отрицательного влияния судовых энергетических установок на окружающую среду.

¹ Распоряжение Правительства РФ от 29 февраля 2016 г. № 327-р. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71240936/> (дата обращения: 04.10.2025).

² От реки до океана. Как развитие «водной» инфраструктуры влияет на экономику России. Что это дает путешественникам и бизнесу?: Деловой климат: Экономика. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://lenta.ru/articles/2025/10/06/ot-reki-do-okeana/> (дата обращения: 05.10.2025).

³ Водные перевозки в Петербурге в цифрах: как за навигацию 2025 г. изменились суда, маршруты и причалы. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.rzd-partner.ru/wate-transport/comments/vodnye-pervezozki-v-peterburge-v-tsifrakh-kak-za-navigatsiyu-2025-izmenilis-suda-marshruty-i-prichaly/> (дата обращения: 04.10.2025).

Методы и материалы (Methods and Materials)

В настоящее время нормативы допустимых выбросов вредных веществ с отработавшими газами судовых двигателей устанавливаются Российским классификационным обществом (РКО) в разд. 6 Правил предотвращения загрязнений с судов (ППЗС)¹. Нормативы, приведенные в табл. 1–3, установлены в соответствии с действующими в Российской Федерации государственными стандартами (ГОСТ 31967–2012. Двигатели внутреннего сгорания поршневые. Выбросы вредных веществ с отработавшими газами. Нормы и методы определения» и ГОСТ 24028–2013. Двигатели внутреннего сгорания поршневые. Дымность отработавших газов. Нормы и методы определения»).

Таблица 1

Допускаемые значения выбросов оксидов азота

Частота вращения коленчатого вала двигателя n , мин ⁻¹	Наибольшее допустимое значение удельного средневзвешенного выброса оксидов азота (NO _x) в приведении к NO ₂ г/(кВт·ч), для двигателей, поставленных на производство		
	До 2000 г.	С 2000 г.	С 2011 г.
До 130	17	17,0	14,4
Свыше 130 до 2000		$45n^{-0,2}$	$44n^{-0,23}$
Свыше 2000		9,8	7,7

Таблица 2

Допускаемые значения выбросов оксида углерода и суммарных углеводородов

Нормируемый параметр	Наибольшее допустимое значение для двигателей, поставленных на производство		
Удельный средневзвешенный выброс оксида углерода e_{CO} , г/(кВт·ч)	До 2000 г.	С 2000 г.	С 2021 г.
	6,0	3,5	3,5
Удельный средневзвешенный выброс суммарных углеводородов e_{CH} в пересчете на условный состав топлива, г/(кВт·ч)	2,4	1,0	0,4

Таблица 3

Допускаемые нормы дымности выпускных газов двигателей, поставленных на производство

Расход выпускных газов $V_{exh} \cdot 10^{-3}$, приведенный к нормальным условиям ($t = 273$ К, $p = 101,3$ кПа), м ³ /с	Натуральный показатель K ослабления светового потока, м ⁻¹		Коэффициент N ослабления светового потока, приведенный к шкале дымомера оптического типа ($L = 0,43$ м), %		Дымовое число фильтра FSN, приведенное к шкале дымомера фильтрационного типа (LF = 0,405 м), у.е.
До 75 вкл.	До 2016 г.	С 2016 г.	До 2016 г.	С 2016 г.	До 2016 г.
	1,36	1,0	44	35	3,4
Свыше 75 до 95 вкл.	1,23	0,90	41	32	3,2
Свыше 95 до 140 вкл.	1,07	0,80	37	29	3,0
Свыше 140 до 210 вкл.	0,90	0,70	32	26	2,7
Свыше 210 до 350 вкл.	0,73	0,58	27	22	2,4
Свыше 350 до 600 вкл.	0,58	0,46	22	18	2,2
Свыше 600 до 1150 вкл.	0,46	0,35	13	14	1,8
Свыше 1150 до 3000 вкл.	0,32	0,25	13	10	1,4
Свыше 3000	0,23	0,19	10	8	1,0

¹ Российское Классификационное общество. Правила предотвращения загрязнения окружающей среды с судов. М. : РКО, 2019. 47 с.

Согласно данным табл. 1–3, при нормировании выбросов токсичных веществ с отработавшими газами учитываются два фактора: частота вращения коленчатого вала двигателя и год постановки двигателя на производство. При нормировании дымности отработавших газов учитываются год постановки двигателя на производство и расход отработавших газов. В том случае, если на судне установлены главные, вспомогательные и аварийные двигатели различных моделей, экологические требования, предъявляемые к ним, будут различны. Это осложняет принятие решения о соответствии судна в целом установленным экологическим требованиям.

Большинство двигателей, установленных на пассажирских судах, находящихся в эксплуатации, были поставлены на производство до 2000 г. Установленные для них нормативы не обновлялись более 30 лет и не соответствуют как современному уровню дизелестроения, так и актуальным экологическим требованиям, уступая аналогичным требованиям зарубежных стандартов. Примером динамики изменения экологических требований, предъявляемых к двигателям внутреннего сгорания (ДВС) являются экологические стандарты EURO для автомобильных двигателей [1], стандарты Stage для внедорожных машин^{1,2} и Tier для тепловозов^{3,4} (табл. 4–6).

Таблица 4

Нормы EURO токсичности и дымности отработавших газов автомобильных двигателей

Нормативный документ	Год введения	Нормы выбросов, г (кВт·ч)			
		CO	CH _x	NO _x	ТЧ
R 49	1989	14,0	3,5	18,0	–
R 49-01	1991	11,2	2,4	14,4	–
R 49-02 A (EURO-1)	1993	4,5	1,1	8,0	0,36
R 49-02B (EURO-2)	1995	4,0	1,1	7,0	0,15
EURO-3	1999	2,0	0,6	4,5	0,10
EURO-4	2003–2005	1,5	0,5	3,5	0,08
EURO-5	2006–2009	1,0	0,5	2,0	0,05

Таблица 5

Нормы Stage токсичности и дымности отработавших газов дизельных двигателей внедорожных машин

Норма	Полезная мощность, кВт	Категория	Год	Содержание токсичных веществ в выхлопных газах, г/(кВт·ч)			
				CO	CH	NO _x	Сажа
1	2	3	4	5	6	7	8
Stage 1	75–130	–	1999	5,0	1,3	9,2	0,70
Stage 1	130–560	–	1999	5,0	1,3	9,2	0,54

¹ Emission Standards. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.dieselnet.com/standards/> (дата обращения: 29.10.2025).

² EU: Nonroad Engines. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.dieselnet.com/standards/eu/nonroad.php#intro> (дата обращения: 29.10.2025).

³ Ужесточение требований к выбросам. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://zdmira.com/images/pdf/dm2011_05_52-55.pdf (дата обращения: 29.10.2025).

⁴ Стандарты токсичности в США. Дизельные моторы внедорожных машин. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://exkavator.ru/articles/designer/~id=6952> (дата обращения: 29.10.2025).

Таблица 5
(Окончание)

1	2	3	4	5	6	7	8
Stage 2	75–130	–	2003	5,0	1,0	6,0	0,3
	130–560	–	2002	3,5	1,0	6,0	0,2
Stage 3A	75–130	<i>I</i>	2007	5,0	4,0	–	0,3
	130–560	<i>H</i>	2006	3,5	4,0	–	0,2
Stage 3B	75–130	<i>M</i>	2012	5,0	0,19	3,3	0,025
	130–560	<i>L</i>	2011	3,5	0,19	2,0	0,025
Stage 4	56–130	<i>R</i>	2014	5,0	0,19	0,4	0,025
	130–560	<i>Q</i>	2014	3,5	0,19	0,4	0,025

Таблица 6

**Нормы Tier токсичности и дымности отработавших газов
дизельных двигателей тепловозов**

Уровень	Годы выпуска	Год ввода в действие	НС, г/кВт·ч	СО, г/кВт·ч	NO _x , г/кВт·ч	Твердые частицы, г/кВт·ч
<i>Магистральные тепловозы</i>						
Tier 0	1973–1992	2010	0,75	3,73	5,96	0,16
Tier 1	1993–2004	2010	0,41	1,64	5,52	0,16
Tier 2	2005–2011	2010	0,22	1,12	4,10	0,075
Tier 3	2012–2014	2012	0,22	1,12	4,10	0,075
Tier 4	2015	2015	0,10	1,12	0,96	0,022
<i>Маневровые тепловозы</i>						
Tier 0	1973–2001	2010	1,57	5,96	8,80	0,19
Tier 1	2002–2004	2010	0,89	1,86	8,20	0,19
Tier 2	2005–2010	2010	0,44	1,79	6,04	0,097
Tier 3	2011–2013	2011	0,44	1,79	3,73	0,075
Tier 4	2015	2015	0,10	1,79	0,97	0,022

Анализ представленных данных свидетельствует о том, что развитие стандартов не связано с расширением нормируемых параметров, а направлено на снижение концентрации вредных веществ в ОГ ДВС. Исключение составляют нормы Tier 2 и Tier 3, в которых оксиды азота нормируются совместно с содержанием неметаноловых углеводородов NMHC. Динамика изменения требований к отработавшим газам ДВС, установленных в нормативных документах, представлена на рис. 1 и 2 [2].

Сопоставление количественных значений нормативов позволяет сделать вывод, что в зарубежных стандартах содержание СО в отработавших газах ДВС наиболее жестко регламентируется для автомобильных двигателей, содержание оксидов азота имеет приблизительно равные ограничения, а по содержанию углеводородов и твердых частиц наиболее жесткие требования установлены для тепловозных дизелей. Зарубежные стандарты содержат более жесткие требования по токсичности и дымности отработавших газов по сравнению с отечественными стандартами и требованиями РКО. Предельно допустимые значения выбросов вредных веществ с отработавшими газами для подавляющего большинства судовых ДВС, установленные ППЗС, соответствуют требованиям конца XX в.

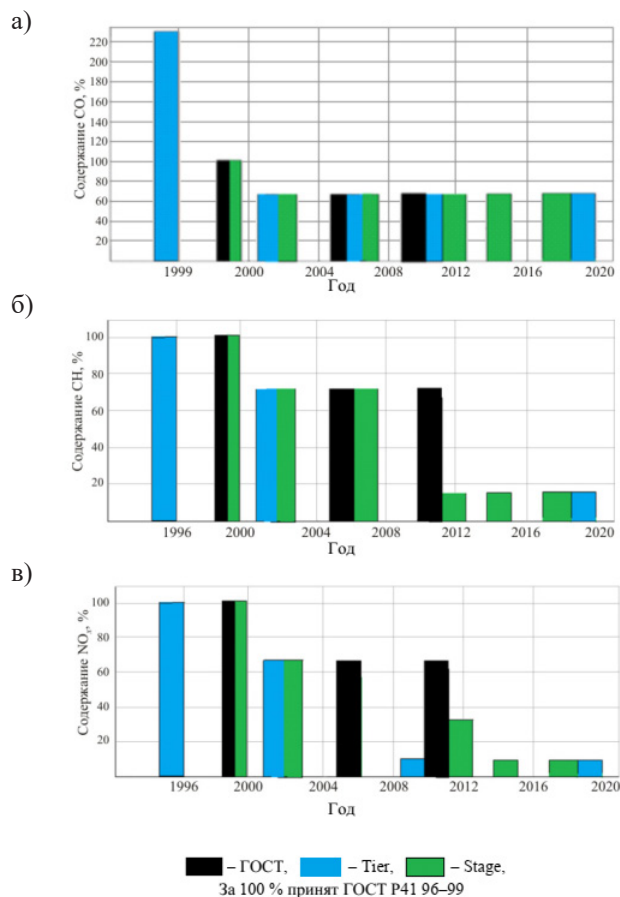


Рис. 1. Изменения экологических требований по содержанию в отработавших газах ДВС: а — CO, б — CH₄, в — NO_x

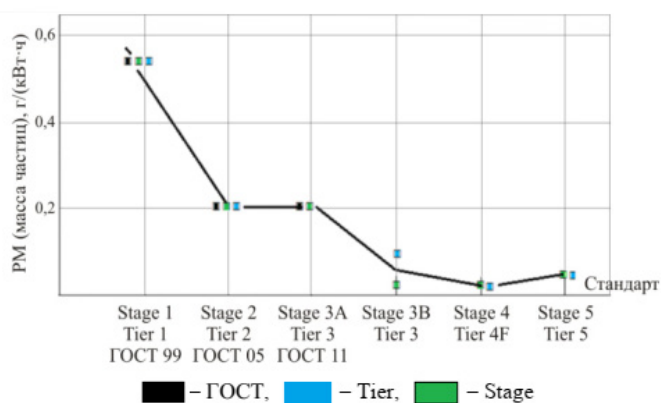


Рис. 2. Изменение ограничения содержания твердых частиц в отработавших газах ДВС

Для двигателей судов внутреннего плавания Комитетом ЕЭК ООН по внутреннему водному транспорту в качестве современных нормативов рекомендованы значения, установленные документом¹ к судам внутреннего плавания. Требования применяются ко всем двигателям

¹ Рекомендации, касающиеся согласованных на европейском уровне технических предписаний, применимых к судам внутреннего плавания Резолюция № 61 Пересмотр 1 | UNECE. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://unece.org/ru/transport/publications/rekomendacii-kasayushiesya-soglasovannykh-na-evropeyskom-urovne> (дата обращения: 30.10.2025).

с номинальной мощностью не менее 37 кВт. Предельные значения выбросов вредных веществ устанавливаются в зависимости от рабочего объема двигателя в литрах (SV) (табл. 7) или в зависимости от номинальной мощности P_N (табл. 8).

Таблица 7

Нормативы выбросов с ОГ отработавших газов в зависимости от рабочего объема двигателя

Категория	Рабочий объем SV, л, и полезная мощность P, кВт	Оксид углерода (CO), г/кВт·ч	Сумма углеводородов и окиси азота (HC+NO _x), г/кВт·ч	Частицы (PM), г/кВт·ч
V1:1	$SV \leq 0,9$ и $P \geq 37$	5,0	7,5	0,4
V1:2	$0,9 \leq SV < 1,2$	5,0	7,2	0,3
V1:3	$1,2 \leq SV < 2,5$	5,0	7,2	0,20
V1:4	$2,5 \leq SV < 5$	5,0	7,2	0,20
V2:1	$5 \leq SV < 15$	5,0	7,8	0,27
V2:2	$15 \leq SV \leq 20$ и $P < 3\ 300$	5,0	8,7	0,50
V2:3	$15 \leq SV < 20$ и $P \geq 3\ 300$	5,0	9,8	0,50
V2:4	$20 \leq SV < 25$	5,0	9,8	0,50
V2:5	$25 \leq SV < 30$	5,0	11,0	0,50

Таблица 8

Нормативы выбросов с ОГ в зависимости от номинальной мощности

Номинальная мощность P_N , кВт	Оксид углерода (CO), г/кВт·ч	Углеводороды (HC), г/кВт·ч	Оксид азота (NO _x), г/кВт·ч	Частицы (PM), г/кВт·ч
$37 \leq P < 75$	5,0	1,3	7,0	0,4
$75 \leq P < 130$	5,0	1,0	6,0	0,3
$130 \leq P < 560$	3,5	1,0	6,0	0,2
$P_N \geq 560$	3,5	1,0	$n \geq 3,150 \text{ мин}^{-1} = 6,0$ $343 \leq n < 3,150 \text{ мин}^{-1} = 45n^{0,2}$ $n < 343 \text{ мин}^{-1} = 11,0$	0,2

Проведенный анализ экологических требований, установленных российскими и зарубежными стандартами для отработавших газов двигателей различного назначения показал, что как для бензиновых, так и для дизельных двигателей все стандарты определяют нормативы четырех вредных веществ: монооксида углерода CO, углеводородов C_nH_m, оксидов азота NO_x и твердых частиц (сажи) PM. Первые три соединения определяют токсичность отработавших газов, последнее — их дымность. В большинстве стандартов нормативы токсичности устанавливаются в зависимости от мощности двигателя, дымности — в зависимости от расхода газа. Российскими и зарубежными стандартами установлены также режимы работы двигателя и методы определения нормируемых параметров отработавших газов.

Отечественные и зарубежные стандарты непрерывно развиваются. Их развитие направлено в сторону ужесточения требований, предъявляемых к отработавшим газам двигателей различного назначения, в том числе судовых. За последние 30 лет нормативы по выбросам CO ужесточились более чем в 4 раза, допустимые выбросы CH снижены в 9 раз, NO_x — более чем в 5 раз, по содержанию твердых частиц — в 15 раз. Очевидно, что тенденция ужесточения экологических нормативов сохранится, что потребует изменения конструкции двигателей или их перевода на более экологически чистое топливо, в качестве которого следует рассматривать прежде всего газовое топливо. Перспективы использования газового топлива на водном транспорте и предложения по решению стоящих в связи с этим задач рассмотрены в работах [3, 4].

Обзор и сравнительный анализ действующих отечественных и зарубежных экологических требований показывают необходимость актуализации нормативов выбросов вредных веществ ДВС судов, работающих на внутренних водных путях.

Результаты и обсуждение (Results and Discussion)

С целью разработки рекомендаций по актуализации экологических требований к ДВС речных судов были проведены натурные исследования по определению фактических выбросов вредных веществ с отработавшими газами главных и вспомогательных двигателей, а также статистическая обработка информации, содержащейся в протоколах обследования судов, предоставленных РКО.

В процессе натурных исследований были определены показатели токсичности и дымности отработавших газов сорока двух двигателей семи различных производителей, установленных на 21 пассажирском судне. При статистической обработке были использованы результаты измерений токсичности и дымности отработавших газов 329 двигателей, установленных на 107 судах в качестве главных и вспомогательных.

В результате обработки информации, полученной на обоих этапах исследования, предлагается ввести групповой подход к установлению экологических требований к судам. Для этого необходимо определить принадлежность судна к одной из пяти групп в зависимости от технических характеристик главных двигателей, так как именно главные двигатели являются основными источниками вредных выбросов в атмосферу. Предлагаемые группы приведены в табл. 9.

Таблица 9

Группы судов для нормирования предельно допустимых выбросов вредных веществ

Группа	Постановка двигателей на производство	Характеристики главных двигателей
I	До 2000 г.	Номинальная мощность более 19 кВт
II	С 2000 по 2011 гг.	Номинальная мощность более 19 кВт, частота вращения коленчатого вала не более 2000 мин ⁻¹
III	С 2000 по 2011 гг.	Номинальная мощность более 19 кВт, частота вращения коленчатого вала более 2000 мин ⁻¹
IV	После 2011 г.	Номинальная мощность более 19 кВт, частота вращения коленчатого вала не более 2000 мин ⁻¹
V	После 2011 г.	Номинальная мощность более 19 кВт, частота вращения коленчатого вала более 2000 мин ⁻¹

Предельные значения показателей дымности предлагается устанавливать в зависимости от номинальной мощности двигателя, которая зависит непосредственно от расхода отработавших газов. Рекомендуемые предельно допускаемые значения вредных выбросов для групп судов приведены в табл. 10, а предельно допустимые значения дымности отработавших газов для диапазонов мощностей, характерных для двигателей речных судов — в табл. 11.

Таблица 10

Рекомендуемые нормативы (предельные значения) вредных выбросов отработавших газов ДВС

Номер группы	Удельный средневзвешенный выброс оксидов азота (NO _x) в приведении к NO ₂ , г/(кВт·ч)	Удельный средневзвешенный выброс оксида углерода (CO), г/(кВт·ч)	Удельный средневзвешенный выброс углеводородов (CH)
I	10,2	3,6	1,0
II, III	8,8	3,0	0,85
VI, V	7,7	3,0	0,85

Таблица 11

Рекомендуемые нормативы (предельные значения) дымности отработавших газов

Эффективная мощность двигателя, кВт	Натуральный показатель K ослабления светового потока, м^{-1}	Коэффициент N ослабления светового потока, приведенный к шкале дымомера оптического типа ($L = 0,43 \text{ м}$), %	Дымовое число фильтра FSN, приведенное к шкале дымомера фильтрационного типа ($LF = 0,405 \text{ м}$), у.е.
От 70 до 250	0,73	27	2,4
От 250 до 450	0,58	22	2,2
От 450 до 750	0,35	13	1,8

Для повышения экологической безопасности водного транспорта необходима актуализация нормативов токсичности и дымности отработавших газов судовых ДВС. Определение численных значений нормативов необходимо выполнять с учетом комплекса факторов, основными из которых являются состав флота, технические характеристики двигателей, условия и районы эксплуатации судов.

Проведенные исследования позволили предложить групповую структуру экологических требований и обосновать нормативы токсичности и дымности отработавших газов, соответствующие достигнутому уровню двигателестроения и современным экологическим требованиям. В научной литературе исследования сконцентрированы на анализе и снижении вредных выбросов отработавших газов судовых двигателей внутреннего сгорания, что важно для обеспечения экологической безопасности речного и морского транспорта России. В исследованиях отмечается, что доля оксидов азота (NO_x) и серы (SO_x) в общих эмиссиях превышает 80 %, что требует принятия комплексных мер, включая оптимизацию конструкций двигателей и альтернативные топлива [5]. Кроме того, описывается система контроля выбросов при выгорании масла в камере сгорания, позволяющая контролировать сажу и токсины в реальном времени с использованием газоанализаторов и пробоотборников, что особенно актуально для стационарных испытаний [6].

Современные методы испытаний транспортных средств на экологическую безопасность интегрируют стендовые и полевые тесты, выявляя несоответствия нормам ГОСТ Р 51249–99 по СО (не более 3,0 г/кВт·ч) и СН (не более 1,0 г/кВт·ч), в том числе на маломерные суда [7]. Сравнительный анализ поллютантов в выхлопах маломерных судов и автотранспорта показывает сходство в уровнях NO_x и твердых частиц, при этом подчеркивая необходимость дифференцированных норм для водного транспорта [8]. Моделирование образования вредных веществ в многотопливных системах позволяет прогнозировать эмиссию в зависимости от режимов, способствуя разработке низкоэмиссионных технологий [9].

Предложенные решения фокусируются на технологических инновациях для достижения норм Tier III, включая рециркуляцию отработавших газов (EGR), снижающую NO_x на 50–60 % за счет охлаждения и инертного замещения воздуха, двухступенчатый наддув с циклом Миллера, снижающим максимальную температуру цикла [10]. Внедрение природного газа на речном и морском флоте перспективно, обеспечивая снижение СО и СН на 20–30 % при меньшем износе, с государственной поддержкой через лизинг и инфраструктуру бункеровки [11]. Эти подходы особенно значимы для пассажирских судов в мегаполисах, где локальные выбросы усугубляют урбанистическое загрязнение, и требуют актуализации российских нормативов в сочетании с МАРПОЛ 73/78 [6–12]. В целом, интеграция таких мер способствует устойчивому развитию водного транспорта, снижая выбросы вредных веществ.

Выводы (Summary)

На основе выполненного обзорного исследования можно сделать следующие выводы:

1. Переход к обновленным нормативам выбросов вредных веществ с отработавшими газами судовых ДВС может осуществляться поэтапно за счет обновления флота и перехода на более экологичные вид топлива.

2. Введение более жестких экологических требований к судовым дизелям позволит снизить отрицательное воздействие водного транспорта на окружающую среду и не приведет к дополнительным экологическим рискам при увеличении объема перевозок.

3. Особенно актуальным является обновление экологических требований, предъявляемых к ДВС пассажирских судов, работающих в акваториях мегаполисов, таких как Санкт-Петербург и Москва.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Петелин А. А. Снижение токсичности отработавших газов дизеля сельскохозяйственного трактора путем отключения части его цилиндров: дисс. ... канд. техн. наук; специальность: 05.20.01 «Технологии и средства механизации сельского хозяйства» / А. А. Петелин. — Троицк: Южно-Уральский ГАУ, 2017. — EDN WVUHUC.

2. Хазин М. Л. Экологические стандарты стран мира для горных машин и оборудования / М. Л. Хазин // Недропользование. — 2020. — Т. 20. — № 3. — С. 291–300. DOI: 10.15593/2712-8008/2020.3.9. — EDN RDADNN.

3. Безюков О. К. Газомоторное топливо на водном транспорте / О. К. Безюков, В. А. Жуков, О. И. Ященко // Вестник государственного университета морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова. — 2014. — № 6(28). — С. 31–39. — EDN TDOSEN.

4. Безюков О. К. Анализ энергоэкологического эффекта применения газопоршневых двигателей в судовых энергетических установках / О. К. Безюков, В. А. Жуков, К. А. Воробей // Вестник государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2015. — № 6(34). — С. 143–151. DOI: 10.21821/2309-5180-2015-7-6-143-151. — EDN VCKLCX.

5. Логинова М. В. Снижение содержания оксидов азота в отработавших газах судового среднеоборотного двигателя с помощью системы двухступенчатого наддува и цикла Миллера для достижения экологических норм Tier III / М. В. Логинова, Д. Х. Андержанов, С. Е. Андрусенко [и др.] // Двигателестроение. — 2024. — № 1(295). — С. 33–43. — EDN DVHGSV.

6. Грякалов Н. А. Система контроля вредных выбросов при выгорании масла в камере сгорания судового дизельного двигателя / Н. А. Грякалов, В. А. Туркин, В. В. Беляев [и др.] // Эксплуатация морского транспорта. — 2023. — № 1(106). — С. 158–165. DOI: 10.34046/aumsuomt106/27. — EDN SJLCIW.

7. Загарин Д. А. Современные методы испытаний транспортных средств на экологическую безопасность / Д. А. Загарин, А. Б. Лагузин, Д. В. Кондратьев, В. В. Агапов // Труды НАМИ. — 2022. — № 2(289). — С. 34–40. DOI: 10.51187/0135-3152-2022-2-34-40. — EDN OWNROF.

8. Покусаев М. Н. Моделирование образования вредных выбросов в выхлопных газах судового дизеля многотопливных систем / М. Н. Покусаев, А. Ю. Грабарчук, Т. В. Хоменко // Вестник государственного университета морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова. — 2023. — Т. 15. — № 3. — С. 490–500. DOI: 10.21821/2309-5180-2023-15-3-490-500. — EDN HVFSIL.

9. Живлюк Г. Е. Эффективность ограничения выбросов оксидов азота системами рециркуляции отработавших газов судовых ДВС / Г. Е. Живлюк, А. П. Петров // Вестник государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2023. — Т. 15. — № 5. — С. 845–857. DOI: 10.21821/2309-5180-2023-15-5-845-857. — EDN XPIVLD.

10. Ложкина О. В. Сравнительный анализ содержания поллютантов в отработавших газах силовых установок маломерных судов и автотранспортных средств / О. В. Ложкина, К. Б. Мальчиков // Двигателестроение. — 2024. — № 1(295). — С. 21–33. — EDN ERMGPO.

11. Макаревич Т. А. Состояние проблемы и методы снижения вредных выбросов судовых энергетических установок / Т. А. Макаревич, Е. В. Хекерт, Ю. С. Кузнецова [и др.] // Эксплуатация морского транспорта. — 2022. — № 2(103). — С. 127–134. DOI: 10.34046/aumsuomt103/27. — EDN XABIKE.

12. Моргунов Б. А. Внедрение природного газа на речном и морском транспорте России / Б. А. Моргунов, В. Л. Зинин, А. Е. Тавдишвили // Транспорт на альтернативном топливе. — 2022. — № 3(87). — С. 30–34. — EDN XFYXOY.

REFERENCES

1. Petelin, A. A. Snizhenie toksichnosti otrabotavshikh gazov dizelya sel'skokhozyaystvennogo traktora putem otklyucheniya chasti ego tsilindrov. PhD diss. Troick, 2017.

2. Khazin, M. L. "Environmental standards around the world for mining machines and equipment." *Perm Journal of Petroleum and Mining Engineering*. 20.3 (2020): 291–300. DOI: 10.15593/2712-8008/2020.3.9.
3. Bezyukov, O. K., V. A. Zhukov and O. I. Yaschenko. "Gazomotornoe toplivo na vodnom transporte." *Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova* 6(28) (2014): 31–39.
4. Bezyukov, O. K., V. A. Zhukov and K. A. Vorobey. "The analysis of power and ecological effects of application of gas-piston engines in ship's power plant." *Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova* 6(34) (2015): 143–151. DOI: 10.21821/2309-5180-2015-7-6-143-151.
5. Loginova, M. V., D. Kh. Anderzhanov, S. E. Andrusenko et al. "Nitrogen oxides content reduction in the exhaust gases of a mediumspeed marine engine using the two-stage boost system and the miller cycle to achieve the tier iii ecological standards." *Engines Construction* 1(295) (2024): 33–43.
6. Gryakalov, N. A., V. A. Turkin, V. V. Belyaev et al. "Control system for harmful emissions during oil burn in the combustion chamber of a marine diesel engine." *Ekspluatatsiya morskogo transporta* 1(106) (2023): 158–165. DOI: 10.34046/aumsuomt106/27.
7. Zagarin, D. A., A. B. Laguzin, D. V. Kondrat'ev and V. V. Agapov. "Modern methods of testing vehicles for environmental safety." *Trudy Nami* 2(289) (2022): 34–40. DOI: 10.51187/0135-3152-2022-2-34-40.
8. Pokusaev, M. N., A. Yu. Grabarchuk and T. V. Khomenko. "Simulation of the harmful emissions formation in the exhaust gases of marine diesel of multi-fuel systems." *Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova* 15.3 (2023): 490–500. DOI: 10.21821/2309-5180-2023-15-3-490-500.
9. Zhivlyuk, G. E. and A. P. Petrov. "Efficiency of limiting nitrogen oxides emissions by exhaust gas recirculation systems of marine internal combustion engines." *Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova* 15.5 (2023): 845–857. DOI: 10.21821/2309-5180-2023-15-5-845-857.
10. Lozhkina, O. V. and K. B. Mal'chikov. "Comparative analysis of the pollutants content in the exhaust gases of the small-size vessels' and vehicles' power plants." *Engines Construction* 1(295) (2024): 21–33.
11. Makarevich, T. A., E. V. Khekert, Yu. S. Kuznetsova et al. "Tatus of the problem and methods for reducing harmful emissions from ship power installations." *Ekspluatatsiya morskogo transporta* 2(103) (2022): 127–134. DOI: 10.34046/aumsuomt103/27.
12. Morgunov, B. A., V. L. Zinin and A. E. Tavdidishvili. "Implementation of natural gas in river and sea transport in russia." *Alternative Fuel Transport* 3(87) (2022): 30–34.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Жуков Владимир Анатольевич —
доктор технических наук, профессор
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала
С.О. Макарова»
198035, Российская Федерация,
Санкт-Петербург, ул. Двинская, 5/7
e-mail: zhukovva@gumrf.ru
Яцук Юрий Владимирович —
кандидат технических наук, доцент
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала
С.О. Макарова»
198035, Российская Федерация,
Санкт-Петербург, ул. Двинская, 5/7
e-mail: kaf_sdvs@gumrf.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Zhukov, Vladimir A. —
Grand PhD in Technical Sciences, Professor
Admiral Makarov State University of Maritime
and Inland Shipping
5/7 Dvinskaya Str.,
St. Petersburg, 198035, Russian Federation
e-mail: zhukovva@gumrf.ru
Yatsuk, Yury V. —
PhD, professor
Admiral Makarov State University of Maritime
and Inland Shipping
5/7 Dvinskaya Str., St. Petersburg,
198035, Russian Federation
e-mail: kaf_sdvs@gumrf.ru

Статья поступила в редакцию: 03 ноября 2025 г.
Received: Nov. 3, 2025