

pitot tubes to enhance greenhouse gas emission measurements in smokestacks (2022) Metrologia, 59 (4), art. no. 045004, DOI: 10.1088/1681-7575/ac73c7

10. SimInTech [Электронный ресурс]. <http://3v-services.com/#simintech>

УДК 621.3

DOI: 10.34046/AUMSUOMT104/19

## ПРОБЛЕМА ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА С СУДОВ

*Т.А. Макаревич, кандидат физико-математических наук, (Республики Беларусь)*

*М.А. Модина, кандидат технических наук, доцент,*

*Е. В. Хекерт, доктор технических наук, профессор*

*Ю.С. Кузнецова, кандидат педагогических наук, доцент,*

*В.В. Шкода, кандидат педагогических наук, профессор,*

Судоходство играет важную роль в мировой экономике, являясь надежным и действенным способом перевозки больших объемов грузов сырья по всему миру. Однако эта деятельность может приводить к негативным последствиям для окружающей среды и, в частности, для атмосферного воздуха: загрязнению вредными выбросами. В Приведены причины, влияющие на процессы накопления и рассеивания загрязняющих веществ в атмосфере. статье приводятся основные современные способы снижения токсичности отработавших газов судовых энергетических установок.

**Ключевые слова:** морские суда, выбросы, оксид серы, способы очистки, отработавшие газы, экологичность.

## THE PROBLEM OF ATMOSPHERIC AIR POLLUTION FROM SHIPS

*T.A. Makarevich, M.A. Modina, E.V. Kheckert, Yu.S. Kuznetsova, V.V. Shkoda*

Shipping plays an important role in the global economy, being a reliable and efficient way to transport large volumes of raw materials around the world. However, this activity can lead to negative consequences for the environment and, in particular, for atmospheric air: pollution by harmful emissions. The reasons influencing the processes of accumulation and dispersion of pollutants in the atmosphere are given. The article presents the main modern methods of reducing the toxicity of exhaust gases of marine power plants.

**Keywords:** marine vessels, emissions, sulfur oxide, cleaning methods, exhaust gases, environmental friendliness.

В настоящее время мегаполисы всерьез сталкиваются с проблемой антропогенного загрязнения атмосферного воздуха. В городах с выходом к морю к передвижным источникам так же могут относиться объекты водного транспорта.

Судоходство играет важную роль в глобальной экономике, служит надежным и действенным способом перевозки больших объемов грузов сырья по всему миру. Однако эта деятельность может приводить к негативным последствиям для окружающей среды и, в частности, для морской среды: загрязнению перевозимыми опасными и вредными веществами, включая нефть, загрязнению воздуха и выбросам парниковых газов, привнесению инвазивных видов, зашумлению, закислению, и т.д. [1].

В мировом транспортном флоте в настоящее время насчитывается более 64 000 крупных судов. тоннаж мирового флота ежегодно увеличивается на 8...9%, мощность установок возрастает на 10...12%.

Изучением проблем экологического загрязнения и оздоровления морской среды занимался широкий круг ученых, при этом значительный вклад внесли такие авторы как: Луканин В.Н., Орлин А.С., Круглов М.Г., Дьяченко Н.Х. и

др. Отдельные вопросы влияния морского транспорта на окружающую среду исследованы в работах Николаевым Н.Н., Туркиным В.А. и др. Тепловая и экологическая эффективность СЭУ детально рассматривались Захаровым Ю.В., Селиверстовым В.М., Масловой В.В., Камкина С.В., Возницкого И.В., Шмелева В.П. [1, 3].

Влияние вредных выбросов судовых энергетических установок (СЭУ) на глобальное экологическое состояние водного и воздушного бассейна является достаточно существенным и оценивается в 15-17% от общей величины выбросов вредных веществ сухопутными транспортными средствами и стационарными энергетическими установками [1].

Газовые выбросы (дымовые газы) тепловых двигателей по характеру воздействия на организм человека, химической структуре и свойствам можно разделить на шесть основных групп [2].

1. Первую группу составляют нетоксичные вещества: азот  $N_2$ , кислород  $O_2$ , водород  $H_2$ , водяной пар  $H_2O$  и углекислый газ  $CO_2$ .

2. Ко второй группе относится окись углерода  $CO$  – бесцветный газ, без вкуса и запаха, легче воздуха (удельная масса по отношению к воздуху 0.97), практически нерастворимый в

воде. Воздействие СО на организм человека зависит от ее концентрации в атмосфере.

3. В третью группу входят окислы азота, главным образом окись и двуокись. Окись азота NO – бесцветный газ, двуокись NO<sub>2</sub> – газ красновато-бурого цвета с характерным запахом, тяжелее воздуха. По действию на человеческий организм окислы азота значительно более опасны, чем окись углерода.

4. К четвертой группе, самой многочисленной, относятся различные углеводороды (соединения типа C<sub>n</sub>H<sub>m</sub>), являющиеся представителями всех гомологических рядов: алканов, алкенов, алкадиенов, циаланов, а также ароматических соединений, в том числе канцерогенов. Углеводороды токсичны и участвуют в фотохимических реакциях с окислами азота. Особое значение при-

дают наиболее распространенному 3,4-бенз(а)пирену, обладающему высокой канцерогенной активностью.

5. В пятую группу входят альдегиды. В отработавших газах присутствуют в основном формальдегид и акромин.

6. В шестую группу выделяют сажу.

Состав рабочей смеси характеризуется коэффициентом избытка воздуха α:

$$\alpha = \frac{GB}{L_0B}$$

где GB – расход воздуха, кг/ч; B – расход топлива, кг/ч; L<sub>0</sub> – теоретически необходимое количество воздуха при сжигании 1 кг топлива.

Количество воздуха GB, потребного для работы теплового двигателя, зависит, прежде всего, от мощности двигателя и ряда других факторов.

Компонент ОГ	Концентрация, г/м <sup>3</sup>	Удельный выброс, г/(кВт·ч)	ПДК в воздухе рабочей зоны, мг/м <sup>3</sup>
Оксиды азота, NO <sub>x</sub>	1,5÷8	8÷30	2
Окись углерода, СО	0,25÷2,5	0,5÷6,0	20
Углеводороды, C <sub>x</sub> H <sub>y</sub>	0,25÷2,0	0,25÷2,5	-
Оксиды серы, SO <sub>x</sub>	0,1÷0,5	0,4÷1,5	4
Альдегиды, RCHO	0,001÷0,04	0,05÷0,2	0,2
Сажа, С	0,05÷0,5	0,25÷0,5	4

Нормируются следующие параметры выбросов [2]:

– выброс оксидов азота на 1 кг расхода топлива – L\*NO<sub>x</sub>;

– выброс окиси углерода на 1 кг расхода топлива – L\*CO.

$$L_{NOx} = 5.72 * 10^3 C_{NOx} \left( \frac{G_B}{G_T} \right) - 0.974 * 10^{-3}$$

$$L_{CO} = 3.48 * 10^3 C_{CO} \left( \frac{G_B}{G_T} \right) - 0.974 * 10^{-3}$$

где GB – расход воздуха кг/с; GT – расход топлива, т/с; NE – эффективная мощность дизеля, кВт; CNO<sub>x</sub> – удельная теплоемкость оксида азота (зависит от температуры отработавших газов), кДж/(кг к); CCO – удельная теплоемкость окиси углерода, кДж/(кг к)

Для определения токсичности отработанных газов следует определить концентрацию вредных веществ в атмосферном воздухе.

Концентрация вредных веществ в отработанных газах зависит от многих факторов, основными из которых являются степень износа элементов топливной аппаратуры и цилиндропоршневой группы, а так же неудовлетворительное состояние возможных регулировок. Концентрация выбросов зависит от вида применяемого топлива, увеличивается также при использовании судовых

дизелей на максимально возможных мощностных режимах [4].

Совокупность всех работающих в порту машин и механизмов также создает мощный выброс загрязняющих веществ в окружающую среду. Происходят выбросы различных газов в атмосферу и веществ в воду. Поэтому в порту требуется постоянный мониторинг окружающей среды, он осуществляется путем сбора измерений соответствующими приборами, передачей данных через каналы и обработкой полученной информации.

На процессы накопления и рассеивания загрязняющих веществ в атмосфере (особенно в порту) существенное влияние оказывают как отдельные метеорологические элементы, так и метеорологические условия в целом. Прогнозирование загрязнения воздуха позволяет своевременно принять меры по сокращению вредных выбросов в периоды неблагоприятных метеорологических условий.

Прогноз загрязнения воздуха является одной из важнейших задач проблемы обеспечения чистоты атмосферы. Разработка такого прогноза ведется в двух направлениях:

- гидродинамический прогноз, основанный на математических моделях;

• физико-статистический прогноз, в котором используются материалы наблюдений за загрязнением воздуха.

В настоящее время в практику широко внедряются гидродинамический метод прогноза загрязнения воздуха от отдельных источников и физико-статистический метод прогноза. Этот метод основан на использовании уравнений гидродинамики и термодинамики для вычислений изменений во времени метеорологических величин по их начальным значениям. Основные уравнения гидродинамики и термодинамики выражают фундаментальные физические законы, сформулированные для сплошной среды: закон сохранения количества движения, закон сохранения массы и закон сохранения энергии. Практическая реализация этого метода стала возможной только при широком использовании вычислительной техники, поскольку, как правило, дифференциальные уравнения гидро- и термодинамики, описывающие состояние атмосферы в целом или ее отдельных элементов, не линейны, не имеют аналитических решений. Поэтому используются численные методы решения путем интегрирования систем дифференциальных во времени уравнений гидродинамики и термодинамики атмосферы при наблюдаемых начальных условиях и выбранных краевых условиях. При реализации этого метода на ЭВМ производные заменяются конечными разностями, решение ищется по шагам во времени, т.е. последовательно находятся решения для коротких интервалов времени (порядка часа), поэтому данный метод дает наилучшие результаты при краткосрочных прогнозах. Вычисления производятся для ряда точек, так называемых узлов регулярной сетки, охватывающей значительную территорию или весь земной шар. Чаще всего прогнозируются значения отдельных элементов, характеризующих состояние атмосферы в пространстве и во времени, таких как распределение атмосферного давления (барическое давление), величина давления на уровне моря, вертикальная составляющая скорости ветра и др. [6].

Для цели защиты морской окружающей среды с судов действуют две международные конвенции, которые легли в основу всех иных международных договоренностей: Конвенция по предотвращению загрязнения моря сбросами отходов и других материалов 1972 г. (Лондонская конвенция); – Конвенции по предотвращению загрязнения с судов 1973 года, – измененной Протоколом 1978 года к ней (МАРПОЛ 73/78). Первая конвенция создана с целью предотвращения утили-

зации отходов в море с судов, летательных аппаратов, платформ или других искусственно сооруженных в море конструкций. Основным и самым действенным инструментом для целей контроля вредного воздействия на атмосферу судов является Приложение VI к МАРПОЛ. Приложение имеет название «Правила предотвращения загрязнения воздушной среды с судов», вступило в силу 19.05.2005 и, по состоянию на 15.09.2020, его ратифицировало 99 государств. Россия присоединилась к Конвенции 24 марта 2011 г. 1 Приложения I-V Конвенции имеют дело с одним из факторов, загрязняющим окружающую среду с судов, Приложение VI - с разными источниками, негативно влияющими на воздушную среду, такими как:

- озоноразрушающие вещества (правило 12);
- оксиды азота ( $\text{NO}_x$ ) (правило 13, технический Кодекс по  $\text{NO}_x$  – (2008 г));
- оксиды серы ( $\text{SO}_x$ ) и твердые частицы (правило 14);
- летучие органические соединения (правило 15);
- сжигание на судне (правило 16).

Резолюцией МЕРС.305(73) внесены последние поправки в отношении контроля  $\text{NO}_x$  и  $\text{SO}_x$ , который вступили в силу 1 марта 2020 г. и ужесточили меры по предотвращению негативного воздействия. Добавлены районы контроля выбросов, ужесточены требования к судовым дизелям, уменьшено допустимое содержание серы в бункерном топливе до 0,50% по массе [1].

Источниками загрязнения в портовом секторе в основном являются суда, стоящие на якоре или ожидающих в море и транспортные средства, которые перевозят товары в порт, в основном автомобильным и железнодорожным транспортом. В связи с нарастающей проблемой, морская отрасль приняла ускоренную программу обеспечения экологической устойчивости, приняв ряд конвенций, серьезно сократив максимальное содержание серы в морском топливе до 0,5%. Последним таким нормативным документом стали правила ИМО 2020. Кроме того, существуют зоны контроля выбросов, где лимит содержания серы в топливе для судов составляет 0,1%.

Среди альтернативных видов топлива в настоящее время рассматриваются: малосернистое топливо, сжиженный природный газ, метанол и др.

В настоящее время всю совокупность способов снижения токсичности отработавших газов СЭУ можно свести к следующим основным направлениям: конструктивные изменения систем и конструкции двигателя; использование

альтернативных видов топлива и присадок; регулировка топливной аппаратуры; капитальный ремонт и восстановление деталей цилиндро-поршневой группы и топливной аппаратуры; каталитическая нейтрализация отработавших газов [5, 7].

Таким образом, для судоходных компаний есть несколько выходов: закупка более дорогого топлива, либо модернизация судов с помощью специальных установок. Этот процесс не столько длительный, сколько затратный для судовладельцев.

#### Литература

1. <https://marinelaw.ru/wp-content/uploads/2020/12/Sovremennye-vyzovy-v-pravovom-regulirovanii-predotvrashheniya-zagryazneniya-s-sudov.pdf>
2. Бурлакова Н.Н., Масютин А.Г. Предотвращение загрязнения окружающей среды с судов: для студентов направления подготовки 26.04.02 «Кораблестроение, океанотехника и системотехника объектов морской инфраструктуры» (магистратура) очной формы обучения: учебно-методическое пособие / Инженерная школа ДВФУ. – Владивосток: Дальневост. федерал. ун-т, 2019. – 38 с. – ISBN 978-5-7444-4425-9
3. Тормашев Д.С. К вопросу организации экономии топлива в СЭУ, основанной на термодинамических принципах сохранения энергии / Д.С. Тормашев. — Текст: непосредственный // Молодой ученый. – 2015. – № 20 (100). – С. 84-88. — URL: <https://moluch.ru/archive/100/22466/> (дата обращения: 24.08.2022).
4. Исаков А.Я. Экология атмосферных судовых выбросов// Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета.– 2007.– № 27.– С. 72-83.
5. Медведев Г.В. Состояние проблемы и варианты снижения вредных выбросов дизельных судовых энергетических установок / Геннадий Валериевич Медведев, Нина Николаевна Горлова // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. – 2019. – №6(58). – С. 1133-1140. DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11-6-1133-1140
6. Морозов А.Е. Метеорологические условия и загрязнение атмосферы: учебное пособие / А.Е. Морозов, Н.И. Стародубцева. – Екатеринбург: Уральский государственный лесотехнический университет, 2020. – 128 с.
7. Епихин А.И., Курьлев Г.А. Управление токсичностью выхлопов судовых двигателей// Материалы международной научно-практической конференции «Комплексные проблемы текущего состояния транспортного комплекса. – Новороссийск, РИО ФГБОУ ВО "ГМУ имени адмирала Ф.Ф. Ушакова", 2020 г.

#### References

1. <https://marinelaw.ru/wp-content/uploads/2020/12/Sovremennye-vyzovy-v-pravovom-regulirovanii-predotvrashheniya-zagryazneniya-s-sudov.pdf>
2. Burlakova N.N., Masyutin A.G. Predotvrashchenie zagryazneniya okruzhayushchej sredy s sudov: dlya studentov napravleniya podgotovki 26.04.02 «Korablestroenie, okeanotekhnika i sistemotekhnika ob"ektov morskoy infrastruktury» (magistratura) ochnoj formy obucheniya: uchebno-metodicheskoe posobie / Inzhenernaya shkola DVFU. – Vladivostok: Dal'nevost. federal. un-t, 2019. – 38 s. – ISBN 978-5-7444-4425-9
3. Tormashev, D. S. K voprosu organizacii ekonomii topliva v SEU, osnovannoj na termodinamicheskikh principah sohraneniya energii / D. S. Tormashev. — Tekst: neposredstvennyj // Molodoy uchenyj. — 2015. — № 20 (100). — S. 84-88. — URL: <https://moluch.ru/archive/100/22466/> (data obrashcheniya: 24.08.2022).
4. Isakov A.YA. Ekologiya atmosferyh sudovyh vybrosov// Politematicheskij setевой elektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2007. № 27. S. 72-83.
5. Medvedev G. V. Sostoyanie problemy i varianty snizheniya vrednyh vybrosov dizel'nyh sudovyh energeticheskikh ustanovok / Gennadij Valerievich Medvedev, Nina Nikolaevna Gorlova // Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova. - 2019. - №6(58). - С. 1133-1140. DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11-6-1133-1140
6. Morozov A. E. Meteorologicheskie usloviya i zagryaznenie atmosfery: uchebnoe posobie / A. E. Morozov, N. I. Starodubceva; Mini-sterstvo nauki i vysshego obrazovaniya Rossijskoj Federacii, Ural'skij gosudarstvennyj lesotekhnicheskij universitet. – Ekaterinburg: UGLTU, 2020. – 128 s.
7. Epihin A.I., Kurylev G.A. Upravlenie toksichnost'yu vyhlopov sudovyh dvigatelej// Materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii «Kompleksnye problemy tekushchego sostoyaniya transportnogo kompleksa. - Novorossijsk, RIO FGBOU VO "GMU imeni admirala F.F. Ushakova", 2020 g.