

РІЧКОВИЙ ТА МОРСЬКИЙ ТРАНСПОРТ

УДК 629.54:629.067

DOI <https://doi.org/10.33082/td.2022.4-15.02>

ДОСЛІДЖЕННЯ ШЛЯХІВ ЗМЕНШЕННЯ ЗАБРУДНЕННЯ ПОВІТРЯ ВІД СУДНОПЛАВСТВА

**А.І. Головань¹, І.П. Гончарук², А.О. Волошин³,
О.М. Шумило⁴, Ю.О. Никифоров⁵, О.В. Шапов⁶**

¹к.т.н., доцент кафедри судноводіння і морської безпеки,
Одеський національний морський університет, Одеса, Україна,
ORCID ID: 0000-0001-6589-4381

²к.т.н., доцент кафедри судноводіння і морської безпеки,
Одеський національний морський університет, Одеса, Україна,
ORCID ID: 0000-0002-5306-4206

³к.т.н., професор, завідувач кафедри судноводіння і морської безпеки,
Одеський національний морський університет, Одеса, Україна,
ORCID ID: 0000-0003-3993-5826

⁴к.т.н., професор, проректор з навчально-педагогічної роботи,
Одеський національний морський університет, Одеса, Україна,
ORCID ID: 0000-0003-0574-1951

⁵к.т.н., професор, завідувач кафедри технічного обслуговування і ремонту суден,
Одеський національний морський університет, Одеса, Україна,
ORCID ID: 0000-0002-8901-6935

⁶к. т. н., директор Навчально-наукового інституту морського флоту,
Одеський національний морський університет, Одеса, Україна,
ORCID ID: 0000-0002-1913-379X

Анотація

У статті розглядаються сучасні проблеми запобігання забрудненню повітря в процесі експлуатації судна. Вказані проблеми зумовлені тим, що викиди вуглекислого газу сприяють глобальному потеплінню, а гази оксидів сірки і оксидів азоту швидко перетворюються на кислотні речовини, які впливають на хімічний склад морських, поверхневих вод та ґрунту, що має наслідки для організмів, які населяють підкислену воду. Всі фізіологічні і ферментативні процеси є чутливими до водневого показнику і, отже, можуть мати великий вплив, наприклад, на ріст мікроорганізмів, а також на більших тварин, наприклад, впливаючи на відчуття і органи нюху живих організмів. В теперішній час національні та міжнародні екологічні норми визначають необхідність покращення стану навколишнього середовища. Проведений аналіз попередніх досліджень і публікацій свідчить про те, що питанням визначення оптимального способу запобігання забрудненню повітря в процесі експлуатації судна не приділено належної уваги. З огляду на прогнозування очікування збільшення глобальних морських перевезень приблизно на 3 % на рік з

2021 по 2030 рік через економічне зростання та сприяння морському транспорту, цей прогноз формує необхідність аналізу та застосування дієвих засобів запобігання забруднення повітря. **Метою** статті є аналіз динаміки забруднення повітря від судноплавства і визначенні оптимального способу запобігання забруднення повітря в процесі експлуатації судна. А також аналіз нормативно правової бази, що регулює питання запобігання забруднення повітря і аналіз існуючих способів запобігання забруднення повітря в процесі експлуатації судна. **Результати.** Запропоновані заходи та надані рекомендації щодо вибору оптимального способу запобігання забруднення повітря в процесі експлуатації судна. **Висновки.** Таким чином, проблеми запобігання забруднення повітря в процесі експлуатації судна повинні вирішуватися в комплексі, з урахуванням того, що найефективнішими, менш витратними, такими, що не потребують значної модернізації самого судна, є наступні способи запобігання забруднення повітря: очищення відпрацьованих газів, їх рециркуляція, попередня обробка палива і застосування емульсій води та палива.

Ключові слова: запобігання, забруднення, атмосфера, судноплавство, судно, експлуатація, МАРПОЛ, ІМО.

RESEARCH OF WAYS TO REDUCE AIR POLLUTION FROM SHIPPING

A.I. Golovan¹, I.P. Honcharuk², A.O. Voloshyn³,
O.M. Shumylo⁴, Yu.O. Nykyforov⁵, O.V. Shamov⁶

¹Ph.D (Engineering), Associate Professor of Navigation and Maritime Safety Department,
Odesa National Maritime University, Odesa, Ukraine,
ORCID ID: 0000-0001-6589-4381

²Ph.D (Engineering), Associate Professor of Navigation and Maritime Safety Department,
Odesa National Maritime University, Odesa, Ukraine,
ORCID ID: 0000-0002-5306-4206

³Ph.D (Engineering), Professor, Head of Navigation and Maritime Safety Department,
Odesa National Maritime University, Odesa, Ukraine,
ORCID ID: 0000-0003-3993-5826

⁴PhD (Engineering), Professor, Vice-rector for Educational and Pedagogical Work,
Odesa National Maritime University, Odesa, Ukraine,
ORCID ID: 0000-0003-0574-1951

⁵Ph.D (Engineering), Professor, Head of Maintenance and Repair of Vessels Department,
Odesa National Maritime University, Odesa, Ukraine,
ORCID ID: 0000-0002-8901-6935

⁶Ph.D (Engineering), Head of Maritime Training and Research Institute,
Odesa National Maritime University, Odesa, Ukraine,
ORCID ID: 0000-0002-1913-379X

Summary

The article considers modern problems of air pollution prevention during ship operation. These problems are caused by the fact that carbon dioxide emissions contribute to global warming, and sulphur oxide and nitrogen oxide gases are rapidly transformed into acidic substances that affect the chemical composition of sea, surface water and soil, which has consequences for organisms inhabiting acidified water. All physiological and enzymatic processes are sensitive to the hydrogen index and can therefore have a

major impact, for example on the growth of microorganisms, but also on larger animals, for example by affecting the senses and olfactory organs of living organisms. Currently, national and international environmental regulations define the need to improve the state of the environment. The analysis of previous studies and publications shows that the issues of determining the optimal way to prevent air pollution during ship operation have not been given due attention. Taking into account the forecasted expectation of an increase in global maritime traffic by about 3 % per year from 2021 to 2030 due to economic growth and the promotion of maritime transport, this forecast creates the need to analyze and apply effective means of preventing air pollution. The **purpose** of the article is to analyze the dynamics of air pollution from shipping and determine the best way to prevent air pollution during ship operation. As well as analysis of the regulatory framework governing the prevention of air pollution and analysis of existing ways to prevent air pollution during ship operation. **Results.** Measures are proposed and recommendations are given for choosing the best way to prevent air pollution during ship operation. **Conclusions.** Thus, the problems of preventing air pollution during ship operation should be solved in a complex, considering the fact that the most effective, less costly, such that do not require significant modernization of the ship itself, are the following ways to prevent air pollution: exhaust gas purification, recycling, fuel pretreatment and the use of water-fuel emulsions.

Key words: prevention, pollution, atmosphere, shipping, ship, operation, MARPOL, IMO.

Вступ. Судноплавство має довгу історію вагомого внеску в торгівлю та економічне зростання в усьому світі, і в 2021 році на нього припадало 80 % перевезень від загального об'єму світової торгівлі (UNCTAD 2021). Очікується, що глобальні морські перевезення будуть збільшуватися приблизно на 3 % на рік з 2021 по 2030 рік через економічне зростання та сприяння морському транспорту для пом'якшення кліматичних змін (ICS, 2021). Судноплавство також є джерелом забруднення, на яке припадає 15 % загальних викидів NO_x (оксидів азоту), 13 % SO_x (оксидів сірки) і 3 % CO₂ (вуглекислого газу) у всьому світі (Smith et al., 2015). Викиди CO₂ сприяють глобальному потеплінню, а гази SO_x і NO_x швидко перетворюються на кислотні речовини, які впливають на хімічний склад ґрунту та поверхневих вод, що має наслідки для організмів, які населяють підкислену воду (Jägerbrand et al., 2019).

Постановка проблеми. Викиди вуглекислого газу сприяють глобальному потеплінню, а гази оксидів сірки і оксидів азоту швидко перетворюються на кислотні речовини, які впливають на хімічний склад морських, поверхневих вод та ґрунту, що має наслідки для організмів, які населяють підкислену воду. Наприклад, багато фізіологічних і ферментативних процесів є чутливими до водневого показнику і, отже, можуть мати великий вплив, наприклад, на ріст мікроорганізмів, а також на більших тварин, наприклад, впливаючи на відчуття і органи нюху живих організмів. В теперішній час національні та міжнародні екологічні норми визначають необхідність покращення стану навколишнього середовища, а переваги від скорочення викидів від судноплавства були розраховані провідним науковцями морської галузі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В даний час питанням дослідження запобігання забруднення повітря в процесі експлуатації судна присвячено цілий

ряд публікацій [1, 2, 3, 4]. Аналіз цих публікацій свідчить про те, що питанням визначення оптимального способу запобігання забруднення повітря в процесі експлуатації судна не приділено належної уваги. З огляду на прогнозування очікування збільшення глобальних морських перевезень приблизно на 3 % на рік з 2021 по 2030 рік через економічне зростання та сприяння морському транспорту, цей прогноз формує необхідність аналізу та застосування дієвих засобів запобігання забруднення повітря.

Формулювання цілей статті. Метою статті є аналіз динаміки забруднення повітря від судноплавства і визначенні оптимального способу запобігання забруднення повітря в процесі експлуатації судна, для подальших досліджень і розробки відповідних заходів щодо зниження шкідливих викидів в атмосферне повітря від судноплавства.

Виклад основного матеріалу. Неможливо переоцінити роль океану як важливого критерія стабілізації клімату та підтримки життя та благополуччя людей, а також як ресурсу, який необхідно захищати та підтримувати. Проте, різні оцінки стану Світового океану показують, що біологічні ресурси прибережних морських районів продовжують деградувати [5], а з урахуванням очікуваного збільшення людства до 2050 року до 9,7 мільярда людей [6], негативний вплив на морське середовище значно зросте.

В контексті сталого розвитку морського транспорту, на додаток до заходів щодо мінімізації забруднення океанів від берегових джерел, особливі дії вживаються і щодо скорочення забруднення з суден, захисту атмосферного повітря шляхом впровадження нових лімітів на викиди сірки, управління баластними водами; контролю за перевезенням небезпечних та шкідливих речовин; збереження прибережних та морських районів, у тому числі за межами дії національної юрисдикції [7].

Морські судна є суттєвим чинником забруднення атмосфери. Уздовж основних судноплавних шляхів густі хмари вихлопних газів тягнуться на сотні кілометрів, їх чітко видно з літаків та супутників [8]. Вихлопні гази суден містять:

- вуглекислий газ,
- оксиди азоту,
- оксиди сірки,
- дрібнодисперсний пил і летючі органічні сполуки.

Причини з яких морські судна є суттєвими забруднювачами атмосфери, полягають у наступному (рис. 1).

По-перше, це пов'язано з тим, що судові двигуни дуже потужні і споживають величезну кількість палива.

По-друге, це паливо – мазут, дешеве пальне з високим вмістом сірки, що є, по суті, відходами нафтопереробки.

По-третє, морські судна, на відміну від автомобілів або електростанцій, не в достатній мірі обладнані системами очищення вихлопних газів, оскільки цій проблемі до певного часу не приділялося належної уваги.

Оксиди азоту та двоокис сірки концентруються, насамперед, у безпосередній близькості від джерел викидів і накопичуються вздовж судноплавних маршрутів (рис. 2). Тобто їх вплив на навколишнє середовище має суттєво виражений локальний характер.

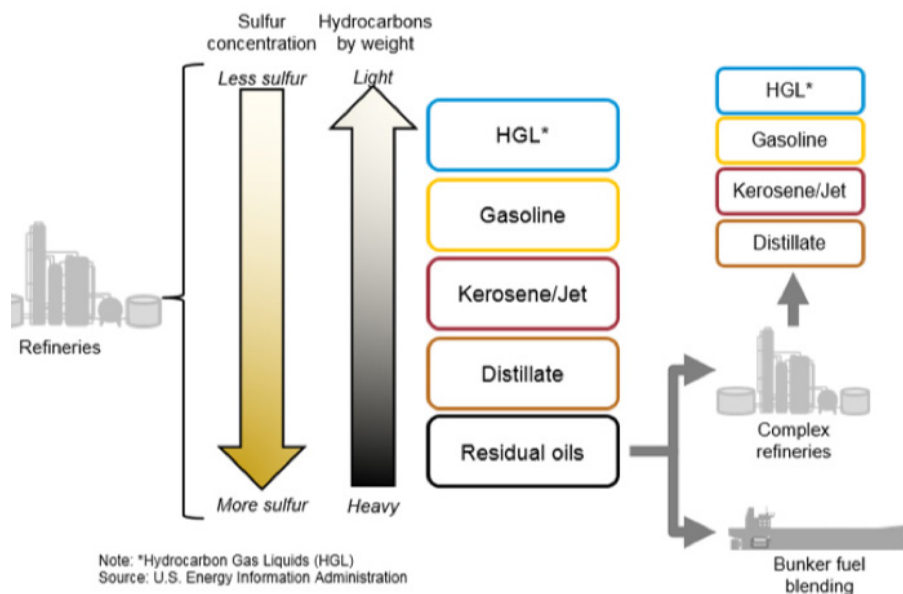


Рис. 1. Причини забруднення атмосфери суднами

А ось дрібнодисперсний пил поводиться інакше. «По всій прибережній смузі шириною до трьохсот кілометрів головним фактором негативного впливу суднових вихлопів на навколишнє середовище є саме тверді частинки. Вони забруднюють атмосферу на набагато більших територіях, ніж усі інші інгредієнти» [9].

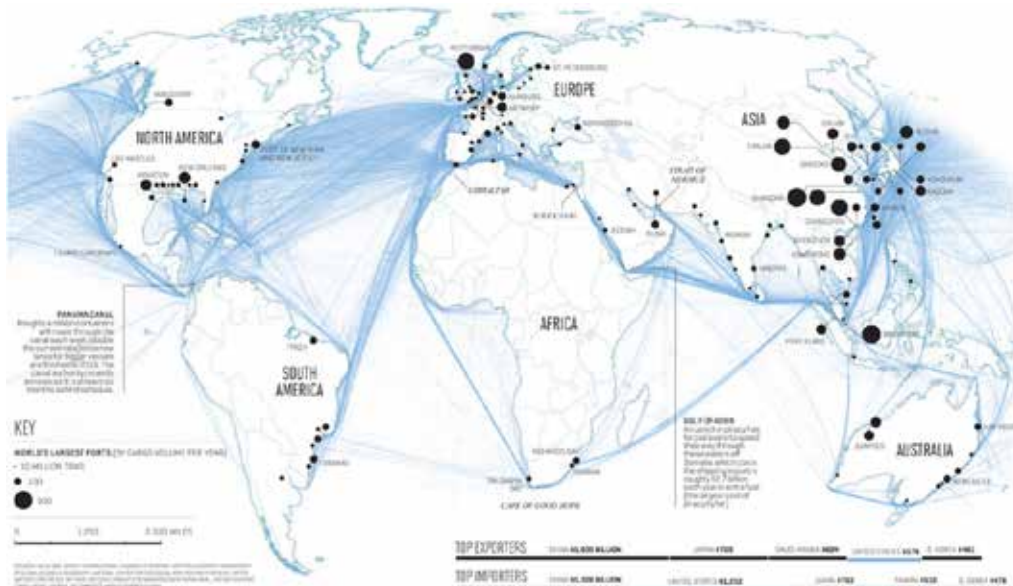


Рис. 2. Підвищена концентрація оксидів азоту та двоокису сірки вздовж судноплавних маршрутів

З 1 січня 2020 року Міжнародна морська організація заборонила використання палива з високим вмістом сірки.

Згідно з новими нормативами суднам заборонено спалювати будь-яке морське паливо із вмістом сірки понад 0,5 % без додаткового очищення вихлопних газів [10]. Міжнародна нормативно правова база, що регулює питання запобігання забруднення повітря з суден:

- Міжнародна конвенція про запобігання забрудненню з суден (MARPOL);
- Поправки до Додатку VI MARPOL (резолюція МЕРС.203(62) – Енерго-ефективність;
- Поправки до Додатку VI MARPOL (резолюція МЕРС.278(70)) – Система збору даних щодо споживання мазуту суднами;
- Керівні принципи щодо розробки плану управління енергоефективністю суден (SEEMP) на 2022 рік (резолюція МЕРС.346(78));
- Керівні принципи 2022 щодо адміністративної перевірки даних про споживання суднового мазуту та експлуатаційної інтенсивності вуглецю (резолюція МЕРС.348(78));
- Керівні принципи 2022 року щодо розробки та управління базою даних ІМО про споживання мазуту (резолюція МЕРС.349(78));
- Циркуляр МЕРС щодо подання даних до системи збору даних ІМО про споживання палива суднами з держави, яка не є учасником Додатку VI MARPOL (МЕРС.1/Circ.871/Rev.1);
- Зразок формату для підтвердження відповідності згідно з правилом 5.4.5 Додатку VI MARPOL (МЕРС.1/Circ.876).

Відомо чотири основні способи відповідати новим нормативам та знизити викиди оксидів сірки в атмосферу (рис. 3):

1. Перехід на паливо з низьким вмістом сірки. Цей перехід не вимагатиме від судновласників великих грошових вкладень і займе лише кілька днів – на заміну масла та регулювання двигуна для роботи на паливі з низьким вмістом сірки.

2. Перехід на альтернативне паливо з низьким вмістом сірки, наприклад, скраплений природний газ (СПГ). Скраплений природний газ – це вид палива, яке не містить сірки. Судна на СПГ скорочують викиди оксидів азоту на дев'яносто відсотків, а оксидів сірки майже на сто відсотків.

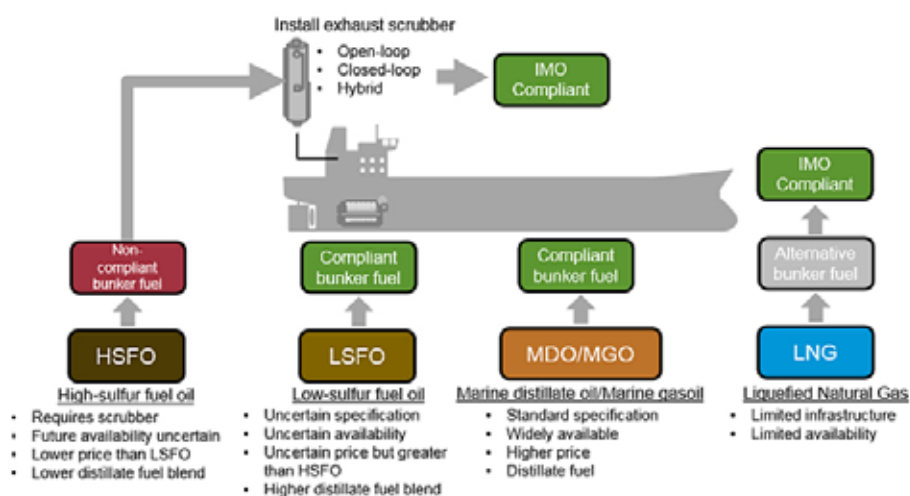


Рис. 3. Способи зниження викидів оксидів сірки та дрібнодисперсного пилу

3. Установка систем очищення вихлопних газів, також відомих як скрубери. Скрубери призначені для видалення оксидів сірки із вихлопних газів суднового двигуна, генератора або котла.

4. Зниження швидкості ходу. За даними незалежного дослідницького центру Delft, при зниженні швидкості суден на тридцять відсотків обсяг викидів у період із 2021 по 2030 роки скоротиться на дві з половиною гігатонни.

В свою чергу, способи зниження викидів вуглекислого газу поділено на конструктивні та експлуатаційні. До конструктивних відносяться:

- Використання нових конструкційних матеріалів
- Використання енергії сонця
- Використання енергії вітру
- Оптимізація обводів корпусу
- Використання нових суднових покриттів
- Система повітряного змащення підводної частини корпусу
- Застосування гібридної енергетичної установки
- Удосконалення головного двигуна
- Удосконалення допоміжних систем
- Застосування систем утилізації теплоти

До експлуатаційних відносяться:

• Планування маршруту судна з урахуванням часу, витрати палива та гідрометеорологічних умов

- Підвищення ефективності використання пропульсивної системи
- Удосконалення використання суднового вантажного простору
- Оптимізація диференту і осадки судна
- Зниження швидкості

До найбільш дієвих експлуатаційних відносяться:

• Планування маршруту судна з урахуванням часу, витрати палива та гідрометеорологічних умов

- Підвищення ефективності використання пропульсивної системи
- Зниження швидкості

А також, способи зниження викидів оксидів азоту поділяються на конструктивні та експлуатаційні. До конструктивних відносяться:

- Підвищення тиску впорскування палива
- Оптимізація форми камери згоряння для отримання максимально однорідної суміші

• Застосування рециркуляції (перепуску) частини відпрацьованих газів через охолоджувач у впускний трубопровід

- Використання емульсії води і палива
- Застосування нейтралізаторів для очищення вихлопних газів
- Переведення роботи двигуна на природний газ

До експлуатаційних відносяться:

- Обмеження використання основних двигунів
- Застосування багатофункціональних присадок до палива
- Попередня обробка палива
- Зниження максимальної температури циклу

- Оптимізація кута випередження упорскування палива
 - Зміна параметрів надувного повітря
- До найбільш дієвих експлуатаційних відносяться:
- Обмеження використання основних двигунів
 - Застосування багатофункціональних присадок до палива
 - Попередня обробка палива

Висновки. Таким чином, проблеми запобігання забруднення повітря в процесі експлуатації судна повинні вирішуватися в комплексі, з урахуванням того, що найефективнішими, менш витратними, такими, що не потребують значної модернізації самого судна, є наступні способи запобігання забруднення повітря: очищення відпрацьованих газів, їх рециркуляція, попередня обробка палива і застосування емульсій води та палива. З організаційних заходів, застосовується зниження швидкості ходу і вводиться обмеження використання основних двигунів в акваторіях портів. Судно, як правило, буксирується до причалу та виводиться на зовнішній рейд за допомогою буксирів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Gang Wang et al. Ozone pollution in the plate and logistics capital of China: Insight into the formation, source apportionment, and regional transport, *Environmental Pollution*, Volume 313, 2022, 120144, ISSN 0269-7491, <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.120144>.
2. Silveira RS, Corrêa SM, de M Neto N. Possible influence of shipping emissions on metals in size-segregated particulate matter in Guanabara Bay (Rio de Janeiro, Brazil). *Environ Monit Assess*. 2022 Sep 26;194(11):828. doi: 10.1007/s10661-022-10517-7. PMID: 36156154; PMCID: PMC9510154.
3. Anindita Mandal et al. A detailed perspective of marine emissions and their environmental impact in a representative Indian port, *Atmospheric Pollution Research*, Volume 12, Issue 10, 2021, 101194, ISSN 1309-1042, <https://doi.org/10.1016/j.apr.2021.101194>.
4. Herdzik, J. Decarbonization of Marine Fuels — The Future of Shipping. *Energies* 2021, 14, 4311. <https://doi.org/10.3390/en14144311>
5. Emissions Gap Report. 2018 // UN Environment. Emissions Gap Report. URL: <https://www.unep.org/resources/emissions-gap-report-2018>
6. The UNCTAD Handbook of Statistics. Geneva, 2019. URL: <https://unctad.org/webflyer/handbook-statistics-2019>
7. Golovan A et al. 2020 Aspects of remote monitoring of the transport vessel under operating conditions. *ICTE in Transportation and Logistics 2019* pp 295-301 https://doi.org/10.1007/978-3-030-39688-6_37
8. Sendai Framework for Disaster Risk Reduction, 2015-2030. URL: <https://www.undrr.org/publication/sendai-framework-disaster-risk-reduction-2015-2030>
9. Golovan A, Rudenko S, Gritsuk I and Shakhov A 2018 Improving the process of vehicle units diagnosis by applying harmonic analysis to the processing of discrete signals SAE Technical Paper 2018-01-1774 <https://doi.org/10.4271/2018-01-1774>

10. Golovan A et al. 2020 Features of mathematical modeling in the problems of determining the power of a turbocharged engine according to the characteristics of the turbocharger SAE Int. J. Engines 13(1) 5-16 <https://doi.org/10.4271/03-13-01-0001>

REFERENCES

1. Wang, G., Zhu, Z., Liu, Z., Liu, X., Kong, F., Nie, L., Gao, W., Zhao, N., & Lang, J. (2022). Ozone pollution in the plate and logistics capital of China: Insight into the formation, source apportionment, and regional transport. *Environmental Pollution*, 313, 120144. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.120144>
2. Silveira, R. S., Corrêa, S. M., & de M. Neto, N. (2022). Possible influence of shipping emissions on metals in size-segregated particulate matter in Guanabara Bay (Rio de Janeiro, Brazil). *Environmental Monitoring and Assessment*, 194(11). <https://doi.org/10.1007/s10661-022-10517-7>
3. Mandal, A., Biswas, J., Farooqui, Z., & Roychowdhury, S. (2021). A detailed perspective of marine emissions and their environmental impact in a representative Indian port. *Atmospheric Pollution Research*, 12(10), 101194. <https://doi.org/10.1016/j.apr.2021.101194>
4. Herdzik, J. (2021). Decarbonization of Marine Fuels—The Future of Shipping. *Energies*, 14(14), 4311. <https://doi.org/10.3390/en14144311>
5. Emissions Gap Report 2018. (2018). UNEP – UN Environment Programme. <https://www.unep.org/resources/emissions-gap-report-2018>
6. Handbook of Statistics 2019. (2019, December 10). UNCTAD. <https://unctad.org/webflyer/handbook-statistics-2019>
7. Golovan, A., Gritsuk, I., Kurtsev, M., Ischuka, O., & Vrublevskyi, R. (2020). Aspects of Remote Monitoring of the Transport Vessel Under Operating Conditions. *ICTE in Transportation and Logistics 2019*, 295–301. https://doi.org/10.1007/978-3-030-39688-6_37
8. Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015-2030. (2015). UNDRR. <https://www.undrr.org/publication/sendai-framework-disaster-risk-reduction-2015-2030>
9. Golovan, A., Rudenko, S., Gritsuk, I., Shakhov, A., Vychuzhanin, V., Mateichyk, V., Kononova, O., Kuric, I., Saga, M., & Zenkin E.Y., E. (2018). Improving the Process of Vehicle Units Diagnosis by Applying Harmonic Analysis to the Processing of Discrete Signals. *SAE Technical Paper Series*. <https://doi.org/10.4271/2018-01-1774>
10. Golovan, A., Gritsuk, I., Popeliuk, V., Sherstyuk, O., Honcharuk, I., Symonenko, R., Saravas, V., Volodarets, M., Ahieiev, M., Pohorletskyi, D., & Khudiakov, I. (2019). Features of Mathematical Modeling in the Problems of Determining the Power of a Turbocharged Engine According to the Characteristics of the Turbocharger. *SAE International Journal of Engines*, 13(1). <https://doi.org/10.4271/03-13-01-0001>