

10.31653/smf48.2024.75-88

Матейко О.В.

Національний університет «Одеська морська академія»

ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ ІНЕРТИЗАЦІ ВАНТАЖНИХ ТАНКІВ СУДЕН-ГАЗОВОЗІВ

Постановка проблеми в загальному вигляді. Морський та внутрішній водний транспорт забезпечує перевезення вантажу між країнами та континентами, що поєднані річками або роз'єднані морями та океанами. При цьому судна морського транспорту є єдиним засобом транспорту, який забезпечує трансокеанське перевезення вантажів [1–3]. Морські судна перевозять практично всі види вантажів:

- насипні (у тому числі зернові та добрива) – за допомогою використання суден класу Bulk Carrier;
- генеральні (у тому числі техніку та обладнання) – на судах класу General Cargo;
- накатні (у тому числі автомобілі) – на судах типу Ro-Ro;
- великотоннажні – за допомогою суден класу Heavy Lift;
- контейнерні – за допомогою використання суден класу Container Ship;
- наливні – на судах Oil Product/Crude Oil/Chemical Tanker.

Також існують судна класів Liquefied Petroleum Gas Ship (LPG-ship) та Liquefied Natural Gas Ship (LNG-ship), які забезпечують перевезення відповідних типів газу [4, 5]. Необхідність у судах-газовозах насамперед пов'язана з тим, що природні родовища газу (континентальні або шельфові) розташовані на великій відстані від великих споживачів газу. У зв'язку з цим, доставка газу звичайними газотрубопроводами стає або нерентабельною, або взагалі неможливою. У таких умовах газові продукти спочатку піддаються скрапленню, після чого транспортуються судами-газовозами [6-8]. При цьому розв'язується проблема транспортування великих обсягів газу на великі (у деяких випадках трансатлантичні) відстані [9-12].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Транспортування вантажів суднами-газовозами завершується обов'язковою інертизацією вантажних танків, мета якою – зниження в них концентрації кисню до рівню, за яким неможливо виникнення самозаймання або вибуху залишків вантажу [13-16].

Одним з найбільш поширених способів інертизації є використання азоту, отримання якого забезпечують спеціальні генератори, які через вуглецеву адсорбцію виділяють азот з повітря [17-20].

Інертизація вантажних танків суден-газовозів виконується за каскадною, напівкаскадною та паралельною схемами [12, 21-23]. Подача інертного газу до вантажних танків, його проходження скрізь вантажні танки (саме під час якого забезпечується витиснення та видалення залишків вантажу) та вихід з вантажних танків зрозумілий з рис. 1 та не вимагає додаткових пояснень.

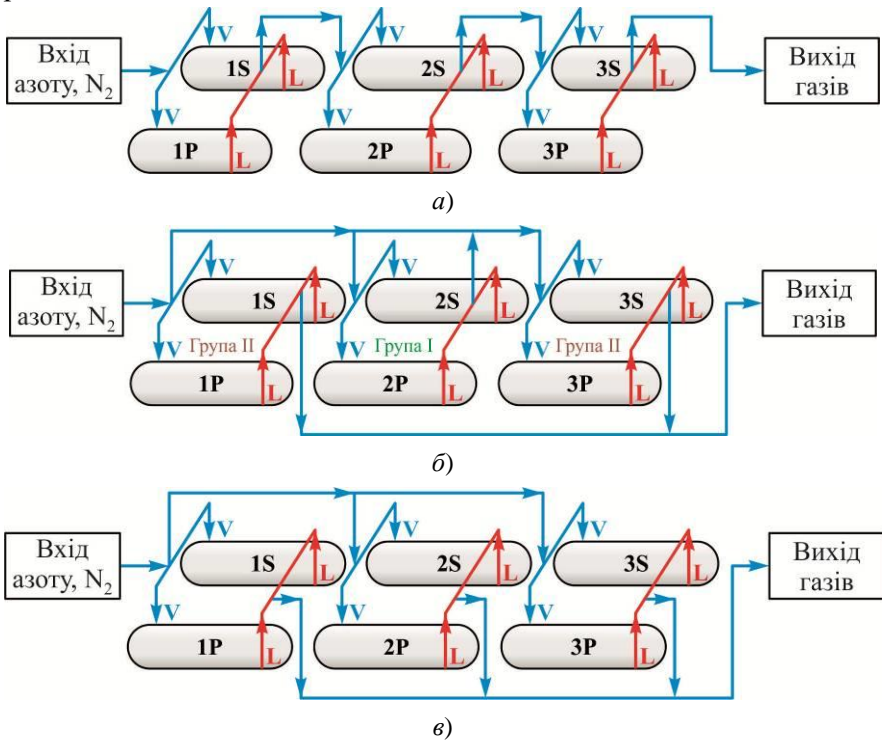


Рис. 1. Принципова схема інертизації вантажних танків суден-газовозів:
а – каскадна; б – напівкаскадна; в – паралельна;

1S, 2S, 3S – танки правого борту (Starboard); 1P, 2P, 3P – танки лівого борту (Port Side); V – рух пари (Vapor line); L – рух рідини (Liquid line)

На сучасних судах-газовозах можливо використання кожної з наведених схем, що забезпечується через відповідне підключення та налаштування відповідної арматури [24-26].

Постановка завдання. Завданням дослідження було визначення оптимальної схеми інертизації вантажних танків суден-газовозів з різною вантажомісткістю.

Виклад основного матеріалу дослідження. Дослідження щодо визначення найбільш оптимальної схеми інертизації вантажних танків виконувались на основі статистичних даних щодо забезпечення даної операції на судах-газовозах різної вантажомісткості. Обробка та аналіз інформації з інертизації вантажних танків виконувався для суден-газовозів, обсяги вантажних танків яких становили 38646 м³, 42427 м³, 42563 м³, 72312 м³, 88248 м³, 88274 м³, 88302 м³, 145673 м³, 146817 м³, 162233 м³. Під час проведення досліджень дані судна були скомпоновані в три групи: менше ніж 50000 м³, 50000...100000 м³, більше за 100000 м³. Усі судна виконували перевезення одного й того ж вантажу між портами Близького Сходу та Китаю. На всіх судах було можливе виконання каскадної, напівкаскадної та паралельної схем інертизації. Після кожного транспортування та вивантаження зрідженого газу в порту виконувався процес інертизації вантажних танків. Інертизація вантажних танків виконувалася з допомогою азоту. Для виробництва азоту використовувалася судова система генерації. Для кожного судна після першого транспортування процес інертизації виконувався за каскадною схемою. Друге транспортування завершувалося інертизацією за напівкаскадною схемою, третє – за паралельною. За період проведення досліджень кожне із суден здійснило понад десять перевезень зрідженого газу. Це забезпечувало необхідний масив експериментальних даних, а також дозволяло зробити висновки щодо коректності проведення експериментів [27-30].

Порівняння каскадної, напівкаскадної та паралельної схем інертизації вантажних танків під час використання азоту доцільно виконувати за двома показниками:

- 1) витрата азоту, необхідного для забезпечення цього процесу;
- 2) тривалість проведення процесу інертизації.

Ці показники залежать від вантажомісткості суден-газовозів. Для оцінки ефективності систем інертизації вантажних танків було введено такі позначення:

G_c, G_s, G_p – витрата азоту, яка необхідна для забезпечення інертизації за каскадною, напівкаскадною та паралельною схемами, відповідно;

t_c, t_s, t_p – тривалість проведення процесу інертизації за каскадною, напівкаскадною та паралельною схемами, відповідно.

Результати досліджень на судах з вантажомісткістю менш ніж 50000 м³. До цієї групи були віднесені судна-газовози з вантажомісткістю 38646 м³, 42427 м³, 42563 м³.

Витрата азоту, яка була необхідна для забезпечення процесу інертизації вантажних танків, визначалась за допомогою витратоміру, що був встановлено після генератору інертних газів (щодо рис. 1 – після елемента «Вхід азоту, N₂»). Технологія проведення процесу інертизації виключала витоки азоту через ущільнення, трубопроводи або арматуру в системі. Тому було прийнято, що процес інертизації виконується без втрат азоту.

Завершення процесу інертизації визначалось за значенням концентрації азоту в газовому середовищі на виході з останньої групи вантажних танків (щодо рис. 1 – перед елементом «Вихід газів»). Аналіз газового середовища виконувався за допомогою газового аналізатору.

Якщо прийняти витрату азоту G_c та тривалість t_c процесу інертизації за каскадною схемою за базові значення, то відносні значення даних величин для всіх схем інертизації визначаються за виразами:

- для каскадної схеми $\overline{G_c} = G_c / G_c = 1$, $\overline{t_c} = t_c / t_c = 1$;
- для паралельної схеми $\overline{G_p} = G_p / G_c$, $\overline{t_p} = t_p / t_c$;
- для напівкаскадної схеми $\overline{G_s} = G_s / G_c$, $\overline{t_s} = t_s / t_c$.

Відносну ефективність процесу інертизації можливо оцінити за наступним критерієм

$$K_E = \overline{G} / \overline{t};$$

де \overline{G} , \overline{t} – відносні значення витрати азоту та тривалості інертизації, відповідно.

З урахуванням цих виразів, отримуємо значення, що наведені в табл. 1-3.

Таблиця 1. Відносна витрата азоту, що необхідний для забезпечення процесу інертизації

Вантажомісткість судна-газовозу, м ³	Схема інертизації		
	каскадна	паралельна	напівкаскадна
38646	1	2,53	1,98
42427	1	2,58	2,06
42563	1	2,73	2,04

Таблиця 2. Відносна тривалість проведення процесу інертизації

Вантажомісткість судна-газовозу, м ³	Схема інертизації		
	каскадна	паралельна	напівкаскадна
38646	1	0,55	0,75
42427	1	0,52	0,69
42563	1	0,48	0,71

Таблиця 3. Відносна ефективність процесу інертизації

Вантажомісткість судна-газовозу, м ³	Схема інертизації		
	каскадна	паралельна	напівкаскадна
38646	1	1,392	1,485
42427	1	1,342	1,421
42563	1	1,310	1,448

З метою кращої візуалізації, за результатами табл. 1-3 побудовані діаграми, що подані на рис. 2.

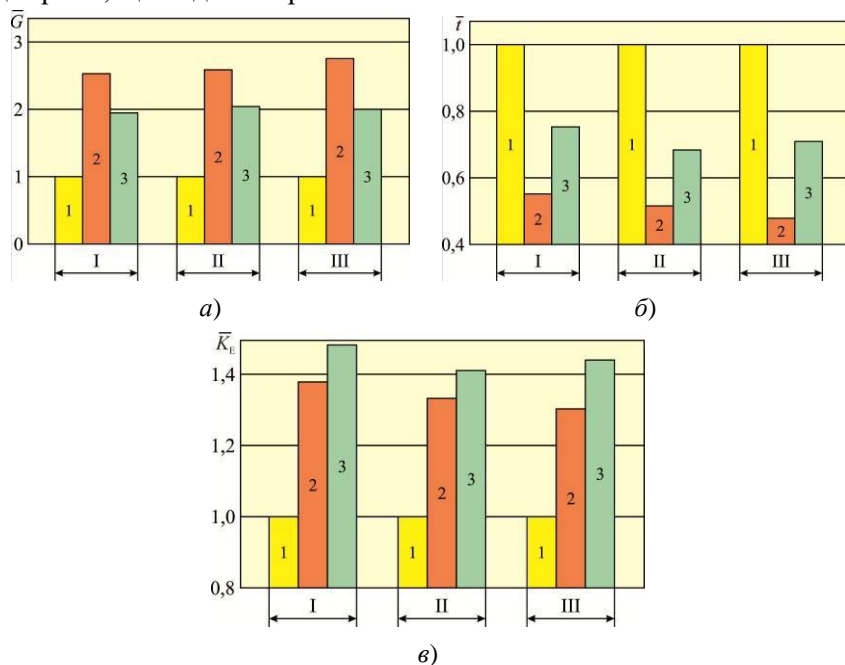


Рис. 2. Показники, що характеризують процес інертизації:
 а – відносна витрата азоту; б – відносна тривалість; в – відносна ефективність; 1 – каскадна, 2 – паралельна, 3 – напівкаскадна схеми;
 вантажомісткість: I – 38646 м³, II – 42427 м³, III – 42563 м³

Результати досліджень на суднах з вантажомісткістю 50000...100000 м³. З метою збільшення масиву експериментальних даних та поширення висновків на судна іншої вантажомісткості, дослідження проводились також на інших суднах. До цієї групи були віднесені судна-газовози з вантажомісткістю 72312 м³, 88248 м³, 88274 м³, 88302 м³.

Результати з визначення відносних значень витрати азоту для каскадної \overline{G}_c , паралельної \overline{G}_p та напівкаскадної схем \overline{G}_s , відносної тривалості процесу інертизації за цими схемами \overline{t}_c , \overline{t}_p та \overline{t}_s , а також відносна ефективність процесу інертизації \overline{K}_E наведені в табл. 4-6.

Таблиця 4. Відносна витрата азоту, що необхідний для забезпечення процесу інертизації

Вантажомісткість судна-газовозу, м ³	Схема інертизації		
	каскадна	паралельна	напівкаскадна
72312	1	2,03	1,68
88248	1	2,08	1,78
88274	1	2,11	1,82
88302	1	2,19	1,76

Таблиця 5. Відносна тривалість проведення процесу інертизації

Вантажомісткість судна-газовозу, м ³	Схема інертизації		
	каскадна	паралельна	напівкаскадна
72312	1	0,61	0,82
88248	1	0,58	0,79
88274	1	0,6	0,76
88302	1	0,55	0,8

Таблиця 6. Відносна ефективність процесу інертизації

Вантажомісткість судна-газовозу, м ³	Схема інертизації		
	каскадна	паралельна	напівкаскадна
72312	1	1,238	1,378
88248	1	1,206	1,406
88274	1	1,266	1,383
88302	1	1,205	1,408

З метою кращої візуалізації, за результатами табл. 4-6 побудовані діаграми, що подані на рис. 3.

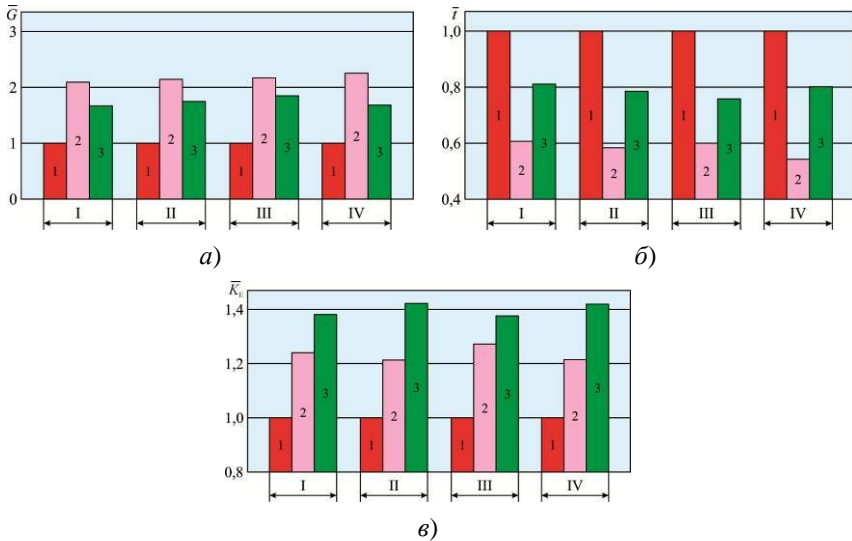


Рис. 3. Показники, що характеризують процес інертизації:
 а – відносна витрата азоту; б – відносна тривалість; в – відносна ефективність; 1 – каскадна, 2 – паралельна, 3 – напівкаскадна схеми; вантажомісткість: I – 72312 м³; II – 88248 м³; III – 88274 м³; IV – 88302 м³

Результати досліджень на суднах з вантажомісткістю більш за 100000 м³. Подібні випробування також були виконані на суднах-газовозах з вантажомісткістю 145673 м³, 146817 м³, 162233 м³. Їхні результати наведені в табл. 7-9.

Таблиця 7. Відносна витрата азоту, що необхідний для забезпечення процесу інертизації

Вантажомісткість судна-газовозу, м ³	Схема інертизації		
	каскадна	паралельна	напівкаскадна
145673	1	1,44	1,38
146817	1	1,46	1,37
162233	1	1,51	1,41

Таблиця 8. Відносна тривалість проведення процесу інертизації

Вантажомісткість судна-газовозу, м ³	Схема інертизації		
	каскадна	паралельна	напівкаскадна
145673	1	0,59	0,82
146817	1	0,61	0,86
162233	1	0,57	0,79

Таблиця 9. Відносна ефективність процесу інертизації

Вантажомісткість судна-газовозу, м ³	Схема інертизації		
	каскадна	паралельна	напівкаскадна
145673	1	0,850	1,132
146817	1	0,891	1,178
162233	1	0,861	1,114

З метою кращої візуалізації, за результатами табл. 7-9 побудовані діаграми, що подані на рис. 4.

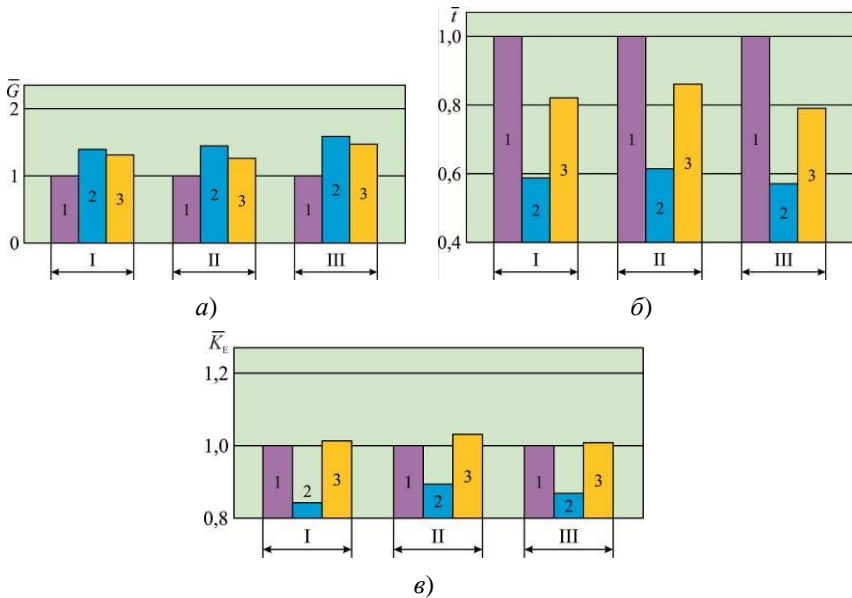


Рис. 4. Показники, що характеризують процес інертизації:
a – відносна витрата азоту; *б* – відносна тривалість; *в* – відносна ефективність; 1 – каскадна, 2 – паралельна, 3 – напівкаскадна схеми;
 вантажомісткість: I – 145673 м³; II – 146817 м³; III – 162233 м³

Аналіз результатів з визначення витрати азоту та тривалості процесу інертизації. Узагальнені значення відносної витрати азоту та відносної тривалості інертизації для різних груп суден-газовозів наведено в табл. 10.

Таблиця 10. Порівняння схем інертизації вантажних танків суден-газовозів

Вантажомісткість, м ³	Відносна витрата азоту		
	каскадна	паралельна	напівкаскадна
I – менш за 50000	1,0	2,53...2,73	1,98...2,06
II – 50000...100000	1,0	2,03...2,19	1,68...1,82
III – більш за 100000	1,0	1,44...1,51	1,37...1,41
	Відносна тривалість проведення інертизації		
I – менш за 50000	1,0	0,48...0,55	0,69...0,75
II – 50000...100000	1,0	0,55...0,61	0,76...0,82
III – більш за 100000	1,0	0,57...0,61	0,79...0,86
	Відносна ефективність процесу інертизації		
I – менш за 50000	1,0	1,310...1,392	1,421...1,485
II – 50000...100000	1,0	1,205...1,238	1,378...1,408
III – більш за 100000	1,0	0,850...0,891	1,114...1,132

За даними табл. 10 побудовані діаграми, що подані на рис. 5.

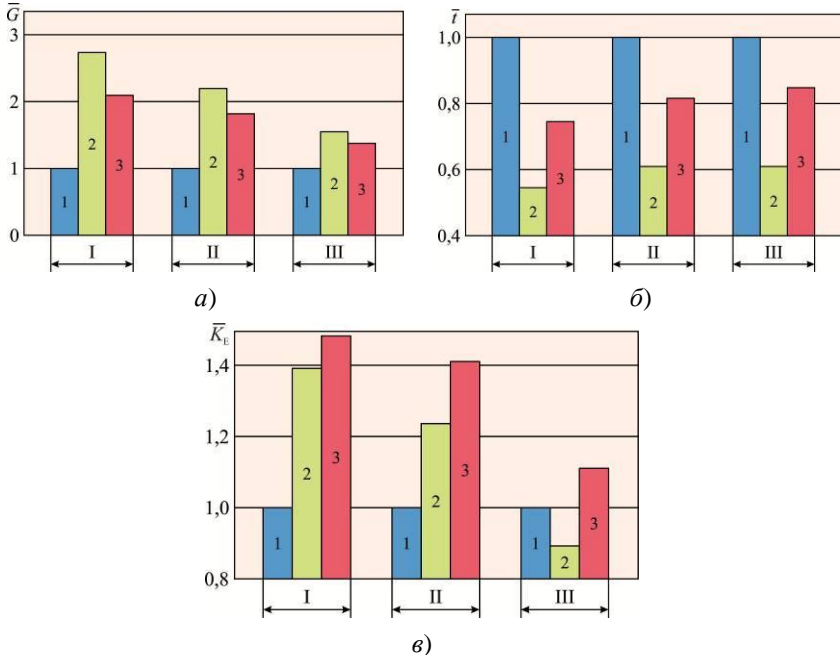


Рис. 5. Показники, що характеризують процес інертизації:

а – відносна витрата азоту; б – відносна тривалість; в – відносна ефективність; 1 – каскадна, 2 – паралельна, 3 – напівкаскадна схеми; вантажомісткість: I – менш за 50000 м³; II – 50000...100000 м³; III – більш за 100000 м³

Всі дослідження виконувались з виконанням вимог таких міжнародних морських документів: International Maritime Dangerous Goods Code, Equipment of Ships Carrying Liquefied Gases in Bulk, International Safety Management Code. Усі дослідження з інертизації вантажних танків виконували або під час баластних переходів судна, або в порту розвантаження. При цьому контролювалися та підтримувалися у необхідному діапазоні всі основні параметри роботи головного та допоміжних двигунів, параметри в системах, які забезпечують їхнє функціонування, а також усі основні параметри в системі генерації інертних газів. Крім того, постійно контролювався крен і диферент судна, а також його стійкість. Проведення досліджень було погоджено з технічним департаментом судноплавної компанії, якій належали судна, а також із фрахтувальником [24, 31, 32].

Висновки і перспективи подальших досліджень. Потреба в газовому паливі та неможливість деяких країн отримання подібного палива континентальними газопроводами сприяють транспортуванню зріджених газів морськими та океанськими шляхами суднами-газовозами. Навігаційні переходи цих суден (як із вантажем, а також у баласті) неможливі без інертизації вантажних танків. Основним завданням процесу інертизації є зменшення концентрації кисню в атмосфері танка до рівня, на якому неможливе займання парів газів, що знаходяться в них.

Інертизація вантажних танків може бути забезпечена шляхом їх заповнення інертним газом. При цьому одним із найбезпечніших способів є використання азоту. Виробництво азоту можливе у спеціальних генераторах, що встановлюються на суднах, крім того, азот може бути отриманий з берегових станцій постачання.

Інертизація вантажних танків азотом виконується за такими схемами: каскадною, напівкаскадною, паралельною. Порівняння схем інертизації при використанні азоту доцільно виконувати за коефіцієнтом відносної ефективності, який враховує витрату азоту, необхідного для забезпечення інертизації, та тривалість проведення процесу інертизації. Значення цього коефіцієнту (також, відповідно, схем інертизації вантажних танків) різне для різної вантажомісткості суден-газовозів. Експериментально встановлено, що:

для суден вантажомісткістю до 100000 м³ найбільш оптимальною схемою інертизації є каскадна, далі слідує паралельна та напівкаскадна;

для суден вантажомісткістю більш за 100000 м³ найбільш оптимальною схемою інертизації є паралельна, далі слідують каскадна та напівкаскадна.

Вибір схеми інертизації залежить від рейсового завдання, вимог берегової адміністрації та можливостей порту-вивантаження щодо забезпечення судна азотом, а також характеристик суднової системи генерації інертних газів.

У всіх випадках процес інертизації повинен виконуватись відповідно до вимог міжнародних класифікаційних товариств із захисту довкілля, а також міжнародних та національних правил щодо перевезення небезпечних вантажів.

Перелік використаних джерел

1. Sagin S.V., Sagin S.S., Madey V. Analysis of methods of managing the environmental safety of the navigation passage of ships of maritime transport // *Technology Audit and Production Reserves*. – 2023. – № 4(3(72)). – P. 33–42. doi: <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2023.286039>.

2. Burmaka I., Vorokhobin I., Melnyk O., Burmaka O., Sagin S. Method of Prompt Evasive Manuever Selection to Alter Ship's Course or Speed // *Transactions on Maritime Science*. – 2022. – Vol. 11(1). – P. 1-9. <https://doi.org/10.7225/toms.v11.n01.w01>.

3. Сагін С.С., Ворохобін І.І. Мінімізація ризику виникнення небезпеки морських подій під час навігаційних переходів суден морського транспорту // *Водний транспорт. Збірник наукових праць*. – 2024. – Вип. 2(40). – С. 206-215. doi.org/10.33298/2226-8553.2024.2.40.07.

4. Manos A., Lyridis D., Prousalidis J., Sofras E. Investigating the Operation of an LNG Carrier as a Floating Power Generating Plant (FPGP) // *Journal of Marine Science and Engineering*. – 2023. – Vol. 11. – 1749. <https://doi.org/10.3390/jmse11091749>.

5. Sagin S., Madey V., Sagin A., Stoliaryk T., Fomin O., Kučera P. Ensuring Reliable and Safe Operation of Trunk Diesel Engines of Marine Transport Vessels // *Journal of Marine Science and Engineering*. – 2022. – Vol. 10(10). – 1373. <https://doi.org/10.3390/jmse10101373>.

6. Sagin S.V., Stoliaryk T.O. Comparative assessment of marine diesel engine oils // *Austrian Journal of Technical and Natural Sciences. Scientific journal*. – 2021. – № 7-8. – P. 29-35. <https://doi.org/10.29013/AJT-21-7.8-29-35>.

7. Поповский А.Ю., Сагин С.В. Комплексная оценка эксплуатационных характеристик смазочных углеводородных жидкостей // Автоматизация судовых технических средств : науч.- техн. сб. – 2014. – Вып. 20. – НУ "ОМА". – С. 74-83.

8. Sagin S.V., Sagin S.S., Fomin O., Gaichenia O., Zablotskiy Y., Pišt'ek V., Kučera P. Use of biofuels in marine diesel engines for sustainable and safe maritime transport // Renewable Energy. – 2024. – Vol. 224. – P. 120221. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2024.120221>

9. Wu S., Zhou X., Lu J., Liang D., Li D. Experimental Study on CH₄ Hydrate Dissociation by the Injection of Hot Water, Brine, and Ionic Liquids // Journal of Marine Science and Engineering. – 2023. – Vol. 11. – 713. <https://doi.org/10.3390/jmse11040713>.

10. Lyridis D.V. Spot Charter Rate Forecast for Liquefied Natural Gas Carriers // Journal of Marine Science and Engineering. – 2022. – Vol. 10. – 1270. <https://doi.org/10.3390/jmse10091270>.

11. Сагін С.В., Матейко О.В. Особливості інертизації вантажних танків суден-газовозів під час транспортування вогнебезпечних речовин // Водний транспорт. Збірник наукових праць. – 2024. – Вип. 2(40). – С. 36-49. doi.org/10.33298/2226-8553.2024.2.40.03

12. Сагін С.В., Матейко О.В. Аналіз способів інертизації вантажних танків суден-газовозів // Суднові енергетичні установки : науково-технічний збірник. – 2023. – Вип. 47. – Одеса : НУ «ОМА». – С. 148-156. [doi: 10.31653/smf47.2023.148-156](https://doi.org/10.31653/smf47.2023.148-156).

13. Бражник И.Д. Модернизация процесса вентиляции грузовых трюмов танкера с помощью системы инертных газов // Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: технічні науки. – 2019. – Т.30(69). – Ч. 2. – № 5. – С. 129-133. <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2019.5-2/23>.

14. Даки О.А., Якусевич Ю.Г., Ліганенко В.В., Тришин В.В. Модель системи кондиціонування та охолодження повітря на сучасних нафтоналивних суднах і газовозах. // Водний транспорт: Збірник наукових праць. – 2022. – Вип. 1(35). – С. 121-127. doi.org/10.33298/2226-8553.2022.1.35.15.

15. Бражник И. Д. Изменение рабочих характеристик системы инертизации танкера за счет принудительной подачи газов // Науковий вісник Херсонської державної морської академії. Науковий журнал. – 2019. – № 1(20). – Херсон: ХДМА. – С. 4-11.

16. Mrzljak V., Poljak I., Kosor M., Culin J. Bisection Method for the Heavy Fuel Oil Tank Filling Problem at a Liquefied Natural Gas Carrier //

Journal of Marine Science and Engineering. – 2023. – Vol. 11. – 849. <https://doi.org/10.3390/jmse11040849>.

17. Mangan S., Lohrer A.M., Thrush S.F., Ellis J.I., Pilditch C.A. The Effects of Long-Term Nitrogen Enrichment on Estuarine Benthic-Pelagic Coupling // Journal of Marine Science and Engineering. – 2022. – Vol. 10. – 1955. <https://doi.org/10.3390/jmse10121955>.

18. Li H.-C., Yu K.-W., Lien C.-H., Lin C., Yu C.-R., Vaidyanathan S. Improving Aquaculture Water Quality Using Dual-Input Fuzzy Logic Control for Ammonia Nitrogen Management // Journal of Marine Science and Engineering. – 2023. – Vol. 11. – 1109. <https://doi.org/10.3390/jmse11061109>.

19. Sagin S.V. Decrease in mechanical losses in high-pressure fuel equipment of marine diesel engines // Materials of the International Conference “Scientific research of the SCO countries: synergy and integration”. Part 1. August 31, 2019. Beijing, PRC. – P. 139-145. DOI. 10.34660/INF.2019.15.36258.

20. Kolegaev M.O., Brazhnik I.D. Main ways of tanker inert gas system modernization // Суднові енергетичні установки: наук.-техн. зб. – 2018. – Вип. 38. – Одеса : НУ «ОМА». – С. 200-216.

21. Sagin S., Куропятник О., Tkachenko I. Ensuring the environmental friendliness of marine diesel engines of specialized ships // Суднові енергетичні установки : науково-технічний збірник. – 2022. – Вип. 45. – Одеса : НУ «ОМА». – С. 5-16. doi: 10.31653/smf45.2022.5-16.

22. Куропятник А.А., Сагин С.В. Управление выпускными газами судовых дизелей для обеспечения экологических показателей // Автоматизация судовых технических средств : науч. -техн. сб. – 2018. – Вип. 24. – Одесса : НУ "ОМА". – С. 72 - 80.

23. Sagin S.V., Куропятник О.А., Zablotskyi Yu.V. Gaichenia O.V. Supplying of Marine Diesel Engine Ecological Parameters // Nase More : International Journal of Maritime Science and Technology. – 2022. – Vol. 69(1). – P. 53-61. DOI 10.17818/NM/2022/1.7.

24. Matieiko O. Selection of optimal schemes for the inerting process of cargo tanks of gas carriers // Technology Audit and Production Reserves. – 2024. – № 4(1(78)). – P. 43–50. <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2024.310699>

25. Мадей В.В., Сагін С.В., Волков О.М. Управління процесом впорскування під час використання в судових дизелях паливних сумішей до складу яких входить паливо біологічного походження //

Водний транспорт. Збірник наукових праць. – 2024. – Вип. 1(39). – С. 193-205. doi.org/10.33298/2226-8553.2023.2.38.21.

26. Сагін А.С., Сагін С.В. Експериментальне визначення оптимальних фаз подачі палива в циліндр суднових дизелів // Водний транспорт. Збірник наукових праць. – 2024. – Вип. 1(39). – С. 206-215. doi.org/10.33298/2226-8553.2023.2.38.22.

27. Kolegaev M.O., Brazhnik I.D. Main ways of tanker inert gas system modernization // Суднові енергетичні установки: наук.-техн. зб. – 2018. – Вип. 38. – Одеса : НУ «ОМА». – С. 200-216.

28. Сагін С. В. Зниження енергетичних втрат в прецизійних парах паливної апаратури суднових дизелів / С. В. Сагін // Суднові енергетичні установки : наук.-техн. зб., 2018. – Вип. 38. – Одеса : НУ «ОМА». – С. 132-142.

29. Sagin S., Kuropyatnyk O., Sagin A., Tkachenko I., Fomin O., Pištěk V., Kučera P. Ensuring the Environmental Friendliness of Drillships during Their Operation in Special Ecological Regions of Northern Europe. Journal of Marine Science and Engineering. – 2022. – Vol. 10(9). – 1331. <https://doi.org/10.3390/jmse10091331>.

30. Sagin S.V., Kuropyatnyk O.A. Using exhaust gas bypass for achieving the environmental performance of marine diesel engines // Austrian Journal of Technical and Natural Sciences. Scientific journal. – 2021. – № 7-8 (July – August). – P. 36-43. <https://doi.org/10.29013/AJT-21-7.8-36-43>.

31. Sagin S., Karianskyi S., Madey V., Sagin A., Stoliaryk T., Tkachenko I. Impact of Biofuel on the Environmental and Economic Performance of Marine Diesel Engines // Journal of Marine Science and Engineering. – 2023. – Vol. 11(1). – 120. <https://doi.org/10.3390/jmse11010120>.

32. Тимошук О.М., Даки О.А., Бойко О.А., Карадобрій Т.А. Аналітичний огляд адаптивних систем керування судном та шляхи їх побудови // Водний транспорт. Збірник наукових праць. – 2020. – Вип. 3(31). – С. 120-125. <https://doi.org/10.33298/2226-8553/2020.3.31.13>.