

Міністерство освіти и науки України
Національний університет «Одеська морська академія»

Кваліфікаційна наукова праця
на правах рукопису

Бражнік Ігор Дмитрович

УДК. 629.123

ДИСЕРТАЦІЯ
ПОЛІПШЕННЯ ПРОЦЕСІВ В СИСТЕМІ ІНЕРТНИХ ГАЗІВ
НА ТАНКЕРАХ ПРИ ПЕРЕВЕЗЕННІ НАФТИ

Спеціальність 271 - Річковий та морський транспорт

Галузь знань 27 - Транспорт

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів других авторів мають посилання на відповідне джерело

_____ (І. Д. Бражнік)

Науковий керівник:

Колегаєв Михайло Олександрович,
кандидат технічних наук, професор

Одеса – 2021

АНОТАЦІЯ

Бражнік І. Д. Поліпшення процесів в системі інертних газів на танкерах при перевезенні нафти. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 271 – Річковий та морський транспорт (Галузь знань 27 - Транспорт). - Національний університет “Одеська морська академія” Міністерства Освіти і Науки України, Одеса, 2021 р.

Дисертаційне дослідження спрямоване на вирішення науково-прикладного завдання – скорочення періоду часу потрібного для інертизації (зниженні концентрації кисню в вантажних танках) нафтоналивних танкерів димовими (інертними) газами. Згідно з Міжнародною Конвенцією СОЛАС та Міжнародними Вимогами щодо Безпеки для Нафтових Танкерів і Терміналів кожний танкер, дедвейтом від 8000 тонн та вище, при перевезенні нафти та нафтопродуктів повинен використовувати систему інертних газів, яка забезпечує підтримку пожеже- та вибухобезпечної мікроатмосфери в вантажних танках за рахунок зниження концентрації кисню в них до значення неперевисуючого 8,0 %.

Головною мотивацією дослідження є наявний запит практики – необхідність забезпечення підвищення економічної ефективності роботи нафтоналивного танкера.

Для розв’язання науково-технічної проблеми, що пов’язана з прискоренням процесу інертизації нафтоналивного танкера було виконано аналіз способів поліпшення процесу інертизації та вдосконалений метод подачі інертного газу всередину вантажних танків. Це в остаточному підсумку призводить до економії паливних ресурсів за рахунок скорочення часу інертизації, зменшенні періоду простою судна, збільшенні вантажообігу, що в

сукупності призводить до підвищення економічної ефективності роботи судна.

На підставі результатів аналізу було встановлено, що для вирішення проблеми прискорення інертизації вантажних танків нафтоналивного танкера необхідно визначити яким чином розподіляється концентрація кисню в їх просторі. Такий розподіл в залежності від часу інертизації постійно змінюється і напрямку визначається характером введення інертного газу та значенням розподілу тиску по висоті вантажного танка.

Обґрунтовано основний напрямок дисертаційного дослідження. Він полягає у поліпшенні процесу інертизації вантажних танків нафтоналивних танкерів за рахунок вдосконалення подачі інертного газу, що призведе до скорочення періоду часу потрібного для зниження концентрації кисню всередині вантажних танків.

Об'єктом дослідження є процес інертизації вантажних танків нафтоналивного танкера за рахунок використання вдосконаленої подачі інертного газу.

Предметом дослідження є система інертних газів нафтоналивного танкера.

Для всіх стадій наукових теоретичних та експериментальних досліджень розроблена методика їх проведення. Головними елементами розробленої технологічної карти досліджень є: наукові завдання, загальний перелік очікуваних наукових результатів; наукова значущість; наукове положення; практична цінність отриманих наукових результатів.

Для кожного сформульованого наукового завдання були обґрунтовані необхідні методи його вирішення. Для експериментальних досліджень окремо розроблена методика їх проведення і сформульовані подальші тези щодо її використання.

З метою подальшого проведення дисертаційних досліджень були сформульовані: мета; перелік головних наукових гіпотез та головне завдання досліджень, яке полягає у підвищенні економічної ефективності роботи

нафтоналивних танкерів шляхом поліпшення процесів в системі генерування і подачі інертного газу. Під час проведення досліджень обробка всіх отриманих результатів розрахунків та вимірювань здійснювалась за допомогою сучасних комп'ютерних програм і з використанням методів математичної статистики.

Перелік допоміжних завдань досліджень підпорядковує до себе наступні три завдання:

- сформулювати основні показники процесу інертизації та визначити механізм і основні параметри, що дозволяють скоротити час інертизації вантажних танків без зміни системи вироблення інертних газів і магістральних ліній їх подачі;

- встановити діапазон зміни загальних робочих характеристик розробленого поліпшеного процесу інертизації вантажних танків нафтоналивного танкера;

- розробити практичну методику оцінювання концентрації кисню в вантажних танках нафтоналивних танкерів при роботі системи їх інертизації.

Для дисертаційних досліджень було сформульовано основне наукове положення, яке полягає в тому, що підвищення економічної ефективності роботи нафтоналивних танкерів досягається поліпшенням процесу інертизації їх вантажних танків за рахунок вдосконаленої подачі інертного газу, що забезпечує значне скорочення часу потрібного для підготовки судна до прийому нового нафтового вантажу. Приведений повний опис вирішення всіх сформульованих етапів вирішення головного завдання досліджень. До таких етапів віднесено: теоретичний спосіб вирішення на підставі аналітичного методу порівняльної оцінки; використання теорії струменів для моделювання руху; статистична теорія для обчислення змін величини концентрації кисню всередині вантажного танка нафтоналивного танкера; теорія одиниць вимірювань для отримання загальних комплексів щодо процесів руху газової суміші повітря з інертним газом; чисельне моделювання процесів стандартної та поліпшеної інертизації вантажних танків нафтоналивного танкера.

В основному обсязі дисертаційної роботи приведено опис відтворення процесу інертизації вантажних танків на нафтоналивних танкерах. Розглянутий процес вдосконаленої подачі інертного газу всередину вантажного танка. Теоретичним шляхом на основі розробленої математичної моделі досліджена зміна загальних показників інертизації танкера. Встановлено, що вдосконалена подача інертного газу суттєво підвищує якісні показники процесу оскільки для довільного розміру вантажного танка нафтоналивного танкера при усіх ідентичних умовах розрахунковий час процесу інертизації зменшується на 62 %; розподіл кисню по висоті вантажного танка не є однорідним оскільки він змінюється в межах від 0,43 до 1,14 % і залежить від висоти наповнення інертним газом простору вантажного танка.

В основній частині дисертаційної роботи наведені результати експериментальних досліджень. На їх підставі з середньоквадратичною похибкою менше ніж 2,5 % встановлено, що скорочення часу інертизації танкера за рахунок переходу від стандартної до вдосконаленої подачі інертного газу може перевищувати 50 %.

Для поліпшення процесу інертизації танкера розроблена та детально описана схема розташування вимірювальних створів та соплових насадок для вдосконаленої подачі інертного газу всередину вантажного танка. Схема складена з урахуванням особливостей та головних характеристик процесу інертизації, що були отримані під час проведення досліджень.

В роботі визначена практична цінність отриманих результатів, яка полягає в наступному: вдосконалена схема подачі інертного газу в вантажні танки нафтоналивного танкера, яка не передбачає зміну основних конструктивних елементів суднової системи інертних газів, вдосконалена технологія інертизації вантажних танків, яка дозволяє скорочувати час процесу інертизації на величину 50 %, вдосконалена методика вимірювання зміни концентрації кисню в ході процесу інертизації. На підставі отриманих залежностей у часі швидкості зміни концентрації кисню та температури

суміші повітря з інертним газом можливе впровадження практичних рекомендацій в роботу судноплавних компаній, суднобудівних та ремонтних підприємств під час побудови або модернізації нафтоналивних танкерів; в навчально-освітній процес для підвищення кваліфікації судових механіків.

Усі результати виконаних наукових досліджень, а також розроблені методики і програми розрахунків впроваджені в навчальний процес Національного університету «Одеська морська академія». Вдосконалена система подачі інертного газу впроваджена на танкерах «Cape Dawson» та «PS Houston». Застосування вдосконаленої подачі інертного газу призвело до скорочення часу інертизації танкерів на 51.9 % та на 50.4 %. Впровадження підтверджено відповідними актами.

Ключові слова: нафтоналивний танкер, система інертних газів, вантажний танк, інертний газ, інертизація, концентрація кисню, вимірювальний створ, насадка для подачі інертних газів, поліпшення процесу інертизації.

ANNOTATION

Brazhnik I.D. - Improvement of Processes in Inert Gas System on Tankers During the Oil Shipment. - Qualifying scientific work as manuscript.

Dissertation for the scientific level of Doctor of Philosophy for specialties 271 - Maritime and river transport (Part of knowledge 27 - Transport). - National University "Odessa Maritime Academy" of the Ministry of Education and Science of Ukraine, Odessa, 2021.

The dissertation research is dedicated to the solution of a scientific and applied problem - reduction of the period of time required for inertization (reduction of oxygen concentration inside of cargo tanks) of oil tankers by flue (inert) gases. According to the SOLAS International Convention and the International Safety Guide for Oil Tankers and Terminals, each tanker, with a deadweight of 8,000 tons and above, must use an inert gas system when transporting oil and oil products, inert gas system provides support for fire-safe and explosion-safe microatmosphere in cargo tanks by reducing the concentration of oxygen inside of them to a value not exceeding 8,0 %.

The main motivation of the scientific work is the existing demand of practice - the need to improve the economic efficiency of the oil tanker.

To solve the scientific and technical problem associated with the acceleration of the inertization process of an oil tanker, an analysis of ways to improve the inertization process and an improved method of supplying inert gas into cargo tanks were performed. This ultimately leads to savings in fuel resources by reducing the period of time required for inertization, reducing the downtime of the vessel, increasing cargo turnover, all of these together lead to increased economic efficiency of the vessel.

Based on the results of the analysis, it was found that for solving the problem of accelerating of the inertization of cargo tanks of an oil tanker, it is necessary to

determine how the oxygen concentration is distributed inside of the cargo tanks. This distribution is constantly changing depending on the inertization time and it is directly determined by the nature of the introduction of inert gas into the cargo tank and the value of the pressure distribution along the height of the cargo tank.

The main direction of the dissertation research was substantiated. It is the improving of the process of inertization of cargo tanks of oil tankers by upgrading of the inert gas supply to cargo tanks, which should lead to the reducing of the period of time required for the reduction of the oxygen concentration inside the cargo tanks.

The object of research is the process of inertization of cargo tanks of an oil tanker with the use of upgraded inert gas supply.

The subject of research is the inert gas system of an oil tanker.

For all stages of scientific theoretical and experimental research has been developed a methodology for their implementation. The main elements of the developed research flow chart are as follows: scientific tasks, a general list of expected research results; scientific significance; scientific point; the practical value of the research results obtained.

For each formulated scientific problem were substantiated necessary methods for its solution. For experimental studies was developed a separate methodology for their implementation.

For continuation of thesis researches were formulated a purpose and made a list of the main scientific hypotheses, as well as the main goal of research work, which goal is to increase the economic efficiency of oil tankers by improving the processes in the inert gas system. During the research was carried out the processing of all the results of calculations and measurements by using modern computer programs and methods of mathematical statistics.

The list of auxiliary research tasks includes the following three tasks:

- to formulate the main indicators of the inertization process and determine the mechanism and basic parameters that reduce the inertization time of cargo tanks without changing the system of inert gases and main supply lines;

- to establish the range of change of the general working characteristics of the developed improved process of inertization of cargo tanks of the oil tanker;
- to develop a practical method for the controlling of oxygen concentration in cargo tanks of oil tankers during the inert gas system operation.

For dissertation research, the main scientific point was formulated - the increasing of the economic efficiency of oil tankers is achieved by improving the inertization of their cargo tanks through upgraded inert gas supply, which significantly reduces the time required to prepare the ship for new oil cargo. There was presented a complete description of the solution of all formulated stages for solving the main research problem. These stages include theoretical solution based on the analytical method of comparative assessment; applying the jet theory to model the motion; using statistical theory for calculating changes in oxygen concentration values inside a tanker cargo spaces; the theory of the movement of a gas mixture of air with inert gases; numerical modeling of standard and improved inertization processes of oil tanker cargo tanks.

In the main part of the scientific work was given a description of the reproduction of the inertization process of cargo tanks of oil tankers. It was researched the process of upgraded inert gas supply into the cargo tank. In a theoretical way, based on developed mathematical model was researched the change in the general indicators of a tanker's inertization. It was found that forced inert gas supply increases significantly the quality indicators of the process, as under all identical conditions the estimated time of inertization process is reduced by 62% for any size of the cargo tank; the distribution of oxygen along the height of the cargo tank is not uniform, since it varies in the range from 0.43 up to 1.14%, and depends on the height of the filling of the space of cargo tank with inert gas.

The main part of the scientific work presents the results of experimental research. On their basis, with a root-mean-square error of less than 2,5 % it was found, that the reduction in the tanker's inertization period can exceed to 50% due to the transition from standard to upgraded inert gas supply.

To improve the inertization process on tankers has been designed and described in detail a scheme for the location of measuring gates and nozzle heads for upgraded inert gas supply to the cargo tank. The scheme was developed by taking into consideration the features and main parameters of inertization process obtained during the research.

The practical value of the obtained results is marked out in the scientific work which consists in the following: improved scheme of inert gas supply to cargo tanks of an oil tanker, which does not involve changing the main structural elements of the ship's inert gas system, improved technology of inertization of cargo tanks, which reduces the period of time of the inertization process by 50%, improved method of oxygen concentration measuring during the inertization process. Based on the obtained time dependences of the rate of change in oxygen concentration and temperature of a mixture of air with inert gases, it is possible to implement recommendations into the practical work of shipping companies, including shipbuilding companies and shipyards when building or modernizing oil tankers and to introduce it into educational process at ship's engineers' extension courses.

All the results of the performed scientific research, as well as developed methods and calculation programs were introduced into the educational process of the National University «Odessa Maritime Academy». The developed systems of upgraded inert gas supply were implemented on mt «Cape Dawson» and mt «PS Houston». The use of upgraded inert gas supply resulted in savings of a 51,9 % and 50,4 % of tankers' inertization periods of time. These implementations have been confirmed by relevant acts.

Key words: oil tanker, inert gas system, cargo tank, inert gas, inertization, oxygen concentration, measuring gate, nozzle for inert gas supply, improvement of the inertization process.

Список опублікованих праць за темою дисертації

Статті у наукових фахових видання України (що входять до переліку наукових видань України, які рекомендовані МОН України для публікації результатів дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук):

1. Малахов А. В., Колегаев М. А., Бражник И. Д. Метод принудительной вентиляции трюмов на танкерах // Вчені записки Таврійського національного університету ім. В. І. Вернадського. Серія «Технічні науки». – 2018. – Т. 29(68). – № 3. – С. 166-169.
2. Malakhov O., Kolegaev M., Malakhova D., Maslov I., Brazhnik I., Gudilko R. Improvement of working parameters of ships with the use of water-fuel emulsions // Technology audit and production reserves. – 2018. – Vol. 6/3(44). – P. 14-20. DOI: 10.15587/2312-8372.2018.152255.
3. 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.
4. Малахов А. В., Колегаев М. А., Бражник И. Д. Совершенствование эксплуатационных показателей системы инертных газов на танкерах // Вісник Херсонського національного технічного університету. – 2018. – Вип. 2(65). – С. 27-34.
5. Бражник И. Д. Модернизация процесса вентиляции грузовых трюмов танкера с помощью системы инертных газов // Вчені записки Таврійського національного університету ім. В.І. Вернадського. Серія: «Технічні науки». – 2019. – Т. 30(69) – № 5. – С.129-133.
6. Бражнік І. 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.

7. Малахов О. В., Колегаєв М. О., Бражнік І. Д., Ліхогляд К. А. Характеристики процесу тепло-масопереносу в застосуванні до вентиляції інертними газами вантажних трюмів танкерів // Суднові енергетичні установки: наук.-техн. зб. – 2019. – Вип. 39 – Одеса: НУ «ОМА». – С. 56-68.

Статті в іноземних виданнях, які входять до міжнародних наукометричних баз даних Scopus та Web of Science

8. Oleksiy V. Malakhov, Mikhail O. Kolegaev, Igor D. Brazhnik, Oksana S. Saveleva, Diana O. Malakhova. New Forced Ventilation Technology for Inert Gas System on Tankers // International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering (IJITEE). – 2020. – Vol. 9. – Iss. 4. – P. 2549-2555.

Статті у збірниках матеріалів наукових конференцій

9. Малахов А. В., Колегаєв М. А., Бражнік І. Д., Гудилко Р. Г., Малахова Д. О. Управление процессом вентиляции трюмов танкера // Матеріали VIII Міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційні управляючі системи і технології» 25-25 вересня 2019. – Одеса. – ДУ «Одеська політехніка». – С. 232-234.

10. Колегаєв М. О., Бражнік І. Д. Технологічна схема модернізації системи подачі інертних газів у вантажні приміщення танкерів // Матеріали науково-технічної конференції «Морський та річковий флот: експлуатація і ремонт» 21.03.2019-22.03.2019. – Одеса. – НУ «ОМА». – С. 266-268.

11. Колегаєв М. О., Бражнік І. Д. Обробка палива в системі інертних газів танкера // Збірник тез доповідей IX Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні підходи до високоефективного використання засобів транспорту» 6-7 грудня 2018. – Ізмаїл. – ДІ НУ «ОМА». – С. 100-104.

12. Бражнік І. Д., Колегаєв М. А. Совершенствование системы подачи инертных газов на танкерах // Матеріали науково-технічної конференції

молодих дослідників «Суднові енергетичні установки: експлуатація та ремонт» 14.12.2017. – Одеса. – НУ «ОМА». – С. 150-152.

13. Колегаев М. А., Бражник И. Д. Исследование процессов принудительной подачи инертных газов в грузовые помещения танкера // Матеріали науково-технічної конференції «Річковий та морський флот: експлуатація і ремонт» 22.03.2018-23.03.2018. – Одеса. – НУ «ОМА». – С. 132-137.

14. Колегаев М. А., Бражник И. Д. Модернизация системы подачи инертных газов на танкерах // Матеріали науково-технічної конференції «Транспортні технології (морський та річковий флот): інфраструктура, судноплавство, перевезення, автоматизація» 16-17 листопада 2017. – Одеса. – НУ «ОМА». – С. 227-229.

15. Колегаев М. А., Бражник И. Д. Использование кавитации в судовых системах инертных газов // Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Транспорт: механічна інженерія, експлуатація, матеріалознавство (ТМІЕТ – 2017)» 21-22 вересня 2017. – Херсон. – ХДМА. – С. 78-79.

16. Бражник И. Д., Колегаев М. А., Малахов А. В., Кирис А. В., Гарагуля Б. А. Модернизация процесса инертизации грузовых танков на танкерах // Матеріали XI Міжнародної науково-технічної конференції «Інновації в суднобудуванні та океанотехніці» 24-25 вересня 2020. Частина I. – Миколаїв. – НУК ім. адм. Макарова – С. 158-161.

17. Малахов О. В., Колегаев М. О., Бражник И. Д., Ліхогляд К. А. Характеристики процесу тепло-масопереносу в застосуванні до вентиляції інертними газами вантажних трюмів танкерів // Збірник тез доповідей X Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні підходи до високоефективного використання засобів транспорту» 12-14 грудня 2019. – Ізмаїл. – ДІ НУ «ОМА». – С. 160-164.