ЕНЕРГЕТИКА

УДК 502.55
DOI https://doi.org/10.32838/2663-5941/2020.1-2/04

Биковець Н.П.
Дунайський інститут
Національного університету «Одеська морська академія»

ДОДАТКОВИЙ ШЛЯХ ДО СКОРОЧЕННЯ ВИКИДІВ ПАРНИКОВИХ ГАЗІВ ПІД ЧАС ЕКСПЛУАТАЦІЇ СУДНА

У статті розглядається світова екологічна проблема – глобальне потепління та роль людства у зміні клімату. Глобальне потепління пов'язують із «парниковим ефектом», причиною якого є парникові гази (ПГ), а саме: водяні пари, двооксид вуглецю (CO_2), метан (CH_4), закис азоту (N_2O), хлорфторвуглеводи (ХФУ), аерозолі, які містять сірку. У роботі перелічено наслідки глобального потепління. Визначено основне завдання людства – це утримання глобального потепління на рівні 1,5°С. З аналізу останніх досліджень і публікацій випливає, що майже 70% шкідливих викидів планета отримує від автомобільного транспорту, 15% – припадає на річковий і морський флот й останні 15% включають у себе викиди промислових підприємств, залізничного транспорту та вулканічної діяльності. Розглянуто вплив водного транспорту на зміну клімату та відповідні нормативні документи, які регулюють ці зміни. Визначено, що відповідна галузь має великий потенціал у зниженні викидів двооксиду вуглецю. У статті підкреслюється значущість конструктивного індексу двоокису вуглецю, який був введений із метою підвищення ефективності, екологічності судна та для виконання вимог Міжнародної морської організації. Зазначено додаткове джерело утворення двооксиду вуглецю – під час спалювання шламу на водному транспорті. Вказано причини формування шламу та лляльних вод на суднах. Зроблено екологічну оцінку проблеми обробки та утилізації вод, що містять нафтопродукти, під час експлуатації морських і річкових суден. Перелічено найбільш поширені методи та установки для очищення лляльних вод. Відповідно, представлено схему очищення лляльних і підсланевих вод від паливно-мастильних матеріалів (ПММ) на морських і річкових суднах за допомогою установки флотації. Надано характеристику процесу очищення методом флотації. Запропоновано рішення з модернізації роботи наданої схеми установки – встановлення відцентрового сепаратора після другої секції установки флотації. Це дасть можливість відділити паливо для подальшого його транспортування в сервіс-танки головного та допоміжних двигунів. Окреслено шляхи зменшення викидів двооксиду вуглецю під час спалювання шламу.

Ключові слова: *парникові гази, двооксид вуглецю, лляльні та підсланеві води, установка флотації, відцентровий сепаратор.*

Постановка проблеми. Світова спільнота з числа екологічних проблем на перше місце ставить зміну клімату – один з основних сучасних викликів. Клімат Землі за останні 200 млн років безперервно змінювався, але особливо швидко відбуваються ці зміни протягом останнього століття. Причиною зміни клімату Землі є глобальне потепління, яке пов'язане з «парниковим ефектом», до якого призводять так звані парникові гази (ПГ): водяні пари, двооксид вуглецю (CO_2), метан, закис азоту, хлорфторвуглеводи, аерозолі, що утворюються під час спалювання палива, яке містить сірку. За результатами проведених досліджень Міжурядовою групою експертів зі зміни клімату (МГЕЗК) виявлено таке [1]:

– у період 1880-2012 років середня глобальна температура підвищилася на 0,85°С;

– відбулося потепління океанів, скоротився об'єм льоду та снігу, що призвело до підвищення рівня моря. В період 1901-2010 років через танення льоду середньосвітовий рівень моря підвищився на 19 см. Починаючи з 1979 року об'єм льодового покриву в Арктичному океані скорочувався в кожному десятилітті на 0,45-0,51 млн кв. км;

– з урахуванням наявної концентрації ПГ та їхніх тривалих викидів до кінця цього століття середня глобальна температура підвищиться на 1-2°С порівняно з рівнем 1990 року й на 1,5-2,5°С порівняно з доіндустріальною епохою. За оцінками, до 2065 року середньосвітовий рівень моря

підвищиться на 24-30 см, а до 2100 року – на 40-63 см порівняно з рівнем 1986-2005 років. Більшість наслідків зміни клімату зберігатимуться протягом кількох століть, навіть якщо викиди ПГ повністю припиняться.

Основним завданням людства є утримання глобального потепління на рівні 1,5°С. У жовтні 2018 року МГЕЗК опублікувала Спеціальну доповідь про глобальне потепління на 1,5°С [2]. У доповіді висвітлюється низка наслідків зміни клімату, яких можна було б уникнути, обмеживши глобальне потепління 1,5°С порівняно з 2°С, або більше того. Наприклад, до 2100 року глобальне підвищення рівня моря буде на 10 см нижче за глобального потепління на 1,5°С порівняно з 2°С. Правдоподібно, що під час глобального потепління на 1,5°С Північний Льодовитий океан був би вільний влітку від морського льоду один раз у століття, а у разі потепління на 2°С – один раз у десятиліття. Кількість коралових рифів скоротиться на 70-90% за глобального потепління на 1,5°С, тоді як практично всі вони (> 99%) будуть втрачені під час потепління на 2°С. У доповіді зазначається, що обмеження глобального потепління 1,5°С потребує «швидких і далекоглядних» перехідних процесів, що стосуються земельних, енергетичних, промислових систем, а також будівель, транспорту та міст. Глобальні викиди двоокису вуглецю, що спричинені діяльністю людини, необхідно буде скоротити до 2030 року майже на 45% порівняно з рівнями 2010 року, досягнувши «чистого нуля» приблизно до 2050 року. Це означає, що всі викиди мають бути збалансовані через видалення двоокису вуглецю з повітря.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Близько 70% шкідливих викидів планета отримує від автомобільного транспорту, 15% викидів відводиться на річковий і морський флот, інші 15% – це викиди промислових підприємств, залізничного транспорту, вулканічної активності. Задля скорочення емісії ПГ ще в грудні 1997 року в Кіото (Японія) на третій сесії конференції сторін UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change – рамковій конвенції ООН з питань зміни клімату) був ухвалений Кіотський протокол [3]. У цьому Протоколі сформульовано стратегію з обмеження антропогенної емісії шести ПГ (CO_2 – двооксиду вуглецю, N_2O – закису азоту, CH_4 – метану, ГФВ – гідрофторвуглеводнів, ПФВ – перфторвуглеводнів та SF_6 – гексафториду сірки) для різних країн. Перший період виконання зобов'язань почався в 2008 році і закінчився в 2012 році. Другий період почався 1 січня 2013 року і закінчиться в 2020 році. Учасниками Кіотського протоколу є 192 держави. Серед перелічених вище ПГ в зміні клімату особлива увага приділяється CO_2, джерелами викидів якого є промислове спалювання вугілля, нафти, природного газу, а також транспортні викиди.

Водний транспорт вносить свій вклад у зміну клімату. Він водночас являє собою як проблему, так й її вирішення. Ця галузь має великий потенціал для зниження викидів двооксиду вуглецю. Ні морські, ні авіаційні перевезення не підпадають під дію Кіотського протоколу. Проте в пункті 2 статті 2 Кіотського протоколу вказується, що Сторони, перераховані в додатку I до Протоколу, прагнуть до обмеження або скорочення викидів ПГ, не регульованих Монреальським протоколом, в результаті використання бункерного палива під час повітряних і морських перевезень, діючи відповідно через Міжнародну організацію цивільної авіації (ІКАО) (International Civil Aviation Organization (ICAO)) та Міжнародну морську організацію (International Maritime Organization (IMO) [4; 5]. Сторонам було запропоновано вести роботу з цих питань через ІМО та ІКАО з урахуванням мандатів і спеціалізованих знань цих організацій.

За дорученням ІМО було проведено дослідження, в результаті яких було встановлено [6], що загальні викиди CO_2 від судноплавства склали в 2009 році приблизно 1 млрд т, що відповідало приблизно 3,3 сукупних викидів CO_2 від спалювання палива. До 2020 року викиди від судноплавства збільшаться більш ніж на 30% – до 1,47 млрд т [7]. У 2003 році частка викидів ПГ від міжнародного судноплавства становила приблизно 1,8 т світових викидів CO_2, а в 2007 році – приблизно 2,7 т [8].

Енергоефективність судна, як відомо, характеризує енергетичні можливості технічного засобу за найменших витрат ресурсів для вироблення енергії. У найпростішому випадку оцінка енергоефективності робиться за комплексним показником якості суднової енергетичної установки з урахуванням її витратних і ресурсних показників [9].

Постановка завдання. Мета статті – розгляд можливості скорочення викидів ПГ шляхом зменшення об'єму шламу, що утворюється в процесі очищення суднових лляльних вод.

Виклад основного матеріалу дослідження. Підвищення ефективності та екологічності було вивчено на фоні необхідності виконання вимог ІМО, що набули чинності в 2013 році. Дослідження показали, що потенціал для економії енергії великий, а в деяких випадках він досягає 50% [10]. У зв'язку з виниклою проблемою було вве-

дено конструктивний індекс двоокису вуглецю, а також індикатор експлуатаційної ефективності, який визначає ефективність судна по кількості CO_2 в тоннах, викинутого окремою установкою за період рейсу судна на тонну перевезеного вантажу на відстань в 1 милю.

У квітні 2008 року на 57-й сесії Marine Environment Protection Committee (MEPC) – Комітет з охорони морського середовища (КОМС), було визначено основну мету технічних заходів, в основі якої лежить покращення енергетичної ефективності суден, які будуються, шляхом впровадження вимог щодо конструктивного індексу CO_2 [9]. Вперше в Японії в документі (MEPC 57/4/12) була представлена розрахункова формула для визначення величини конструктивного індексу CO_2, який вимірюється в г·CO_2/т-милю:

$$Attained\ \ design\ \ CO_2\ \ index = \frac{C_f \cdot SFC \cdot P}{Capacite \cdot V_{ref}},$$

де P – номінальна потужність головного двигуна, кВт; SFC – питома ефективна витрата палива цього двигуна, г/кВт·год; C_f – безрозмірний перевідний коефіцієнт, г CO_2/г палива, визначений за вмістом вуглецю в конкретному паливі. У знаменнику формули – добуток величини місткості судна *Capacity* в т (як місткість передбачалося приймати дедвейт) та максимальної швидкості судна V_{ref}, миль/год.

Отже, крім CO_2, який потрапляє в атмосферу під час спалювання бункерного палива, слід звернути увагу на додаткове джерело його утворення – під час спалювання шламу на водному транспорті.

Шлам на судні утворюється під час очищення нафтовмісних (лляльних) вод, що є трюмними осадовими відкладеннями, які утворюються на будь-яких суднах внаслідок витоку води, мастила та палива суднової техніки, поживних насосів. Обробка та утилізація лляльних і підсланевих вод – одне з найважчих завдань. Екологічна небезпека лляльних вод позначена другим класом нарівні з цементним пилом, електролітами, сірчаною кислотою та іншими агресивними речовинами [11]. На суднах, не обладнаних станціями очищення нафтовмісних вод, лляльні води повинні перекачуватися у збірну цистерну, зберігатися в ній і періодично здаватися на утилізацію.

Гостро стоїть проблема скидання лляльних вод, що містять у собі нафтопродукти. В середньому вміст нафтопродуктів у лляльних водах становить не менше 2000 млн$^{-1}$ (2000 ppm). Нині, згідно з вимогами Конвенції МАРПОЛ-73/78, вміст нафтопродуктів в очищених лляльних водах, що скидаються із суден, не повинен перевищувати 15 млн$^{-1}$ (15 ppm) [12].

Сьогодні винайдено та застосовується безліч методів очищення, найбільш ефективними з яких є такі [11]:

– очищення флотацією;

– багатоступінчасте очищення з напірною аерацією очищеною рециркулюючою водою;

– ультразвукова кавітація;

– метод термоокислення емульгованих нафтопродуктів;

– відцентрове очищення;

– розділення сепарацією.

У статті розглядається представлена схема очищення лляльних і підсланевих вод від паливномастильних матеріалів (ПММ) на морських і річкових суднах із використанням установки флотації (рис. 1).

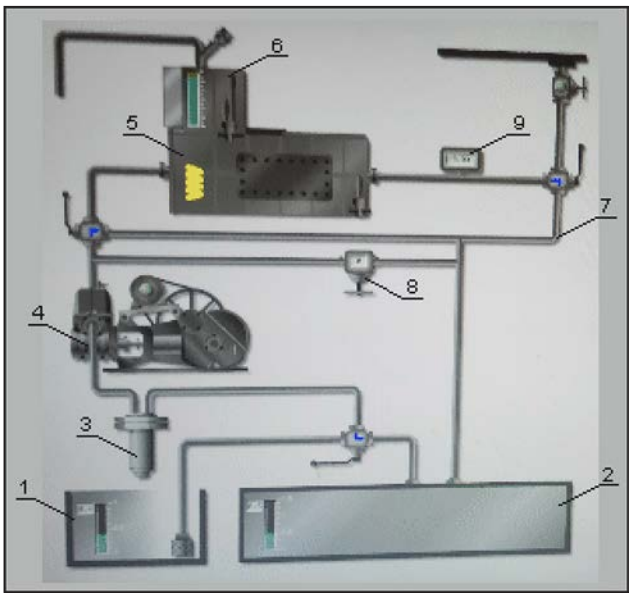

Рис. 1. Схема очищення лляльних вод методом флотації: 1 – лляльний колодязь забору насосом лляльних і підсланевих вод до установки флотації; 2 – система забору лляльних з основної цистерни зберігання (танка); 3 – фільтр грубого очищення (стейнер); 4 – поршневий насос, який подає лляльну та підсланеву воду разом із повітрям через двоходовий клапан до установки флотації; 5 – перша секція установки флотації зі вбудованими підігрівачами; 6 – друга секція установки флотації для адсорбції ПММ із лляльних і підсланевих вод; 7 – байпас на лінії установки флотації першої секції; 8 – перепускний клапан, що перебуває між насосом і нагнітальною частиною танка зберігання; 9 – моніторинговий пристрій по контролю за вмістом ПММ після очищення в установці флотації

Робота установки за цією схемою здійснюється так: забір лляльних і підсланевих вод відбувається з танка зберігання лляльних (2) або

безпосередньо з лляльного колодязя (1). Двоходовий клапан дає змогу пропустити рідину по системі всмоктування через фільтр грубого очищення (3) до поршневого насоса (4). Звідси рідина разом із повітрям подається в першу секцію установки флотації (5). Основний принцип очищення лляльних і підсланевих вод від ПММ полягає в їхньому підігріванні та аерації. В результаті нагрівання, во́ди, що містять нафтопродукти, мають гарну властивість обволікати повітряні бульбашки. Питома вага бульбашки значно нижча від питомої ваги води, тому вона прагне піднятися вгору до другої секції установки флотації (6). Відокремлені в такий спосіб ПММ скупчуються у верхній частині другої камери установки флотації та відводяться до танку змішаного палива.

Наведена схема не дає можливості повноцінного використання ПММ для спалювання у двигунах внутрішнього згорання (ДВЗ) та парових котлах морських суден. Отже, необхідно почати науковий пошук рішень із модернізації роботи цієї схеми.

Процес флотації являє собою складний фізико-хімічний процес, який полягає у створенні комплексу «бульбашка-частинка». Коли цей комплекс спливає на поверхню, він утворює пінний шар, в якому вміст забруднювачів набагато вищий, ніж на початку [13; 14]. Під час протікання процесу флотації найчастіше потік рідини та повітряний потік рухаються в одному напрямі. Зважені забруднюючі частинки розподілені по всьому об'єму рідини, й під час спільного руху з бульбашками вони стикаються та з'єднуються. У тому разі, якщо розмір повітряної бульбашки занадто великий, порівняно з розмірами частинки, відповідно, й швидкість руху бульбашки буде набагато нижчою, що робить процес з'єднання цих елементів практично неможливим. А ще великі бульбашки нерідко стають винуватцями розриву вже наявних зв'язків між бульбашкою та частинкою. Тому в установках флотації повинні бути бульбашки, які не більші за визначений розмір.

Установка флотації, яка працює на судні, повинна повною мірою виконувати очищення лляльних і підсланевих вод від ПММ. Та, на жаль, через кільову та бортову хитавиці виконання процесу очищення ускладнене.

Одним із можливих рішень із модернізації роботи представленої схеми очищення є встановлення відцентрового сепаратора (10) після другої секції установки флотації (рис. 2).

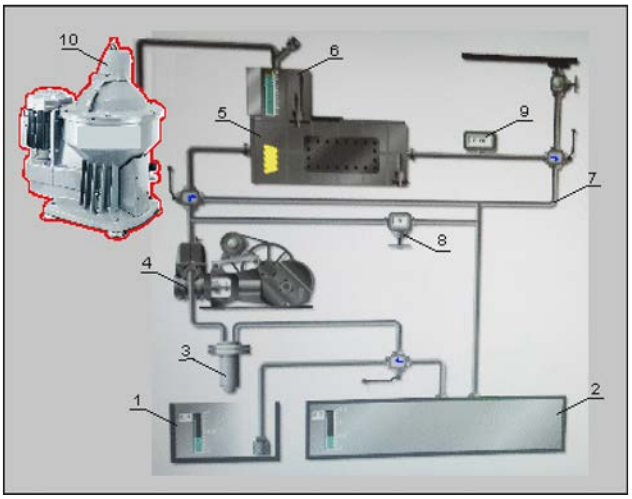

Рис. 2. Модернізація схеми очищення лляльних вод методом флотації: 1–9 – див. рис. 1; 10 – відцентровий сепаратор.

Висновки. Встановлення сепаратора після другої секції установки флотації забезпечить відділення та отримання високоякісного палива для подальшого його транспортування в сервіс-танки головного та допоміжних двигунів.

Підбір сепаратора необхідної продуктивності необхідно здійснювати залежно від розмірів судна, потужності силової установки, дизель-генераторів, стану мастильної та паливної систем тощо.

Моніторингова система забезпечить якість вод після обробки, що скидаються в дозволених районах, що, у свою чергу, значно знизить ризик утворення емульсії. Видалення з води емульсованих нафтопродуктів досить складний процес, тому необхідно виключити всі фактори, які сприяють їхньому утворенню.

Зменшення викидів двооксиду вуглецю під час спалювання шламу можна добитися, якщо провести додаткові дослідження з вибору оптимального варіанта конструкції відцентрового сепаратора.

Список літератури:

1. Изменение климата. URL: https://www.un.org/ru/sections/issues-depth/climate-change/index.html (дата звернення: 08.01.2020).

2. Глобальное потепление на 1,5 °C: Резюме для политиков. Межправительственная группа экспертов по изменению климата. 2019. 26 с. URL: https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=9958 (дата звернення: 08.01.2020).

3. Сайт свободной энциклопедии «Википедия». URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Киотский протокол (дата звернення: 08.01.2020).

4. Міжнародна організація цивільної авіації. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki (дата звернення: 09.01.2020).

5. Міжнародна морська організація. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki (дата звернення: 09.01.2020).

6. Energy Efficiency related Rules and Regulations – EEDI and Ship Design. EEDI and other EEE Rules and Regulations. Mia Elg. 2014. 55 p. URL: http://laradi.fi/images/files/syyspaivat_2014/Deltamarin_Elg_EE_Rules_and_Regulations_-_EEDI.pdf (дата звернення: 10.01.2020).

7. Fournier A. Controlling Air Emission from Marine Vessels: Problems and Opportunities. *University of California Santa Barbara*. 2006. 91 p. URL: http://www.ourair.org/itg/past-activities (дата звернення: 10.01.2020).

8. Anink D., Krikke M. The IMO Energy Efficiency Design Index. A Netherlands Trend Study. Centre for Maritime Technology and Innovation, 2009. 52 p.

9. Иванченко А.А., Живлюк Г.Е. Энергетическая эффективность судов и регламентация выбросов парниковых газов. *Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова*. 2015. № 3 (31). С. 103–112. DOI: 10.21821/2309-5180-2015-7-3-103-112.

10. Boletis E. Integrated Propulsion Systems. The CIMAC Circle at the 2012 SMM. 2012. 34 c. URL: http://www.cimac.com/congress_events/events-1.asp (дата звернення: 10.01.2020).

11. Сайт компании «Cribrol». Очистка (разделение) льяльных вод. 2012. URL: http://composite-lab.ru (дата звернення: 15.01.2020).

12. Международная конвенция по предотвращению загрязнения с судов. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki (дата звернення: 15.01.2020).

13. Флотационные установки. URL: https://www.promstok.com/articles/ochistnye-sooruzheniya/flotatsionnaya_ochistka_stochnykh_vod_ (дата звернення: 17.01.2020).

14. Вилавский Е.И., Масакбаева С.Р, Баймухамбетова М.Г. Интенсификация процессов флотационной очистки промышленных сточных вод от нефтепродуктов. *Universum: Технические науки* : электрон. научн. журн. 2016. № 11 (32). URL: http://7universum.com/ru/tech/archive/item/3882 (дата звернення: 17.01.2020).

Bykovets N.P. AN ADDITIONAL WAY TO REDUCE GREENHOUSE GAS EMISSIONS WHILE OPERATING THE SHIP

The article deals with the global environmental problem – global warming and the role of humanity in climate change. Global warming has been linked to the greenhouse effect caused by greenhouse gases (GHG), namely: water vapor, carbon dioxide (CO_2), methane (CH_4), nitrous oxide (N_2O), Chlorofluorocarbons (CFCs), sulfur-containing aerosols. The effects of global warming are listed in the article. The defining basis for humanity is to keep global warming at level 1.5 °C. The analysis of recent researches and publications shows that almost 70% of the planet's emissions are from road transport, 15% are from river and sea fleets, and the last 15% include emissions from industrial enterprises, rail transport and volcanic activity. The impact of water transport on climate change and the relevant regulations governing these changes are examined. It has been identified that the relevant industry has great potential for reducing carbon dioxide emissions. The importance of the constructive carbon dioxide index, which was introduced to improve the ship's efficiency, environmental friendliness and to meet the requirements of the International Maritime Organization, is emphasized in the article. An additional source of carbon dioxide formation when burning sludge in water transport is mentioned. The reasons for the formation of sludge and bilge water on ships are indicated. An environmental assessment of the problem of treatment and recycling of water containing petroleum products during the operation of sea and river vessels was made. The most common methods and installations for bilge water treatment are listed. Accordingly, the article presents a scheme for cleaning bilge and under-shale waters from combustive-lubricating materials (CLM) on board of sea and river vessels using a flotation unit. The process of flotation purification is described. The solution to modernize the operation of the provided installation scheme – installation of a centrifugal separator after the second section of the flotation installation is proposed. This will allow separating the fuel for further transportation to the service tanks of the main and auxiliary engines. Ways to reduce carbon dioxide emissions from sludge combustion are outlined.

Key words: *greenhouse gases, carbon dioxide, bilge and under-shale waters, flotation unit, centrifugal separator.*