



KAPITEL 4 / CHAPTER 4⁴

ENERGY EFFICIENCY MANAGEMENT SYSTEM ON LNG TANKER DURING OCEAN PASSAGE

СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЮ НА МОРСЬКОМУ ПЕРЕХОДІ LNG ГАЗОВОЗУ

DOI: 10.30890/2709-2313.2022-08-02-020

Введення

Запровадження методів енергоефективності суден, зменшення викиду «Greenhouse» газу, являється проблемою для газозовів, які використовують зріджений природний газ як вид палива. Існує велика кількість енергетичних ресурсів, але не всі вони являються екологічно чистими.

Паливо яке використовують в теперішній час на всіх суднах складаються з шкідливих хімічних сполук, таких як: діоксиду сірки (SO_x), оксиди азоту (NO_x), вуглекислий газ (CO_2) які у величезних кількостях забруднюють навколишнє середовище. Тому щоб вирішити питання з забрудненням навколишнього середовища було прийнято використовувати як альтернативне паливо для існуючих суден зріджений Метан (CH_4). З використанням цього палива виникли й інші питання безпеки навколишнього середовища. При використанні LNG палива виявили, що Метан має вплив на озоновий шар нашої планети. Тому вчені почали шукати вирішення цієї проблеми.

Переваги LNG перед звичайним паливом будуть описані в даній монографії. Також розглянуто поведінку різних типів двигунів та проведено порівняння цих двох видів палива.

4.1. Короткий огляд літератури та резолюцій ІМО щодо поліпшення енергоефективності у судноплаванні

Індекс проектування енергоефективності (EEDI) для нових суден є найважливішим технічним заходом, адже сприяє використанню більш енергоефективного (менш забруднювального) обладнання і двигунів. EEDI вимагає мінімального рівня енергоефективності на милю пропускнуї здатності (наприклад, тонну милі) для різних типів і розмірів судна.

EEDI – це механізм, заснований на продуктивності, який залишає вибір технологій для використання в конкретному проекті судна за призначенням.

⁴ Authors: Stengach O. V.



Поки не буде досягнутий необхідний рівень енергоефективності, корабельні конструктори та суднобудівельники можуть використовувати більш економічні рішення, щоб судно відповідало нормам. EEDI надає конкретну цифру для індивідуального проекту судна, виражену в грамах вуглекислого газу (CO₂) на милю пропускної здатності судна (чим менше EEDI, тим більш енергоефективна конструкція судна), і розраховується за формулою на основі параметрів технічного проекту для даного судна.

Рівень скорочення викидів CO₂ для першого етапу встановлений на 10% і буде посилюватися кожні п'ять років, щоб йти в ногу з технологічними розробками нових заходів щодо ефективності та скорочення. Показники скорочення встановлено на період до 2025 року, і передбачають скорочення ще на 30% для відповідних типів суден.

Судно повинно відповідати наступним правилам і вимогам:

- 2014 Guidelines on survey and certification of the Energy Efficiency Design Index (EEDI), as amended.
- 2014 Guidelines on the method of calculation of the attained Energy Efficiency Design Index for new ships, as amended.
- 2013 Guidelines for calculation of reference lines for use with the Energy Efficiency Design Index (EEDI).
- 2013 Guidelines for calculation of reference lines for use with the Energy Efficiency Design Index (EEDI) for cruise passenger ships having non-conventional propulsion.
- 2013 Interim guidelines for determining minimum propulsion power to maintain the manoeuvrability of ships in adverse conditions, as amended.
- 2016 Guidelines for the development of a Ship Energy Efficiency Management Plan (SEEMP).
- 2013 Guidance on treatment of innovative energy efficiency technologies for calculation and verification of the attained EEDI.

План управління енергоефективністю судна (SEEMP) – це оперативний захід, який встановлює систему економічного підвищення енергоефективності судна. SEEMP також забезпечує підхід для судноплавних компаній до управління ефективністю суден, використовуючи операційний індикатор енергоефективності (EEOI) як інструмент моніторингу. Керівництво щодо розробки SEEMP для нових і існуючих суден містить найкращі методи паливно-ефективної експлуатації суден, а також рекомендації щодо добровільного використання EEOI для нових і існуючих суден (MEPC.1/Circ.684). EEOI дає змогу операторам вимірювати паливну



ефективність судна. SEEMP закликає судовласника та оператора на кожному етапі плану розглядати нові технології та практики щоб оптимізувати продуктивність судна.

4.1.1 Прийняття обов'язкових технічних та експлуатаційних заходів

Поправки до Правил Додатку VI MARPOL щодо запобігання забрудненню повітря з суден, додають новий Розділ 4 до Додатку VI про Положення щодо енергоефективності для суден, щоб зробити обов'язковими EEDI і SEEMP для всіх суден (резолюція МЕРС. 203(62)). Інші поправки додають нові вимоги до огляду та сертифікації судна, включаючи формат нового Міжнародного сертифіката енергоефективності. Нові правила застосовуються до всіх торгових суден валовою місткістю 400 і вище реєстрових тон, незалежно від національного прапора, під яким вони ходять, або громадянства судовласника.

Прийняття ІМО обов'язкових заходів скорочення для всіх суден з 2013 року і далі призведе до значного скорочення викидів, а також до економії витрат для судноплавної промисловості. За оцінками фахівців, до 2030 року цей показник зросте до 420 мільйонів тон CO₂ на рік. Іншими словами, у 2030 році скорочення становитимуть від 19 до 26%. Заходи скорочення викиду CO₂ призведуть до значної економії витрат на паливо для судноплавної промисловості, хоча ця економія вимагає великих інвестицій у більш складні технології. Щорічні оцінки економії палива стверджують, що до 2030 року вона складе 90-310 мільярдів доларів.

4.2. Судновий план енергоефективності та напрямки його вдосконалення

Розглянемо приклад, що на борту судна встановлено чотири основних дизель-генераторних двигуна. Двигуни №2, №3 і №4 мають тип Wärtsilä, який здатний виробляти 11700 кВт при роботі в газовому або дизельному режимах. Двигун №1 відноситься до типу Wärtsilä, здатного виробляти 5850 кВт при роботі в газовому або дизельному режимах. Усі двигуни розроблені для роботи на газі, що випаровується з вантажних танків, або на мазуті морського класу (MGO/MDO/HFO) із службових танків. Незважаючи на те, що обидва види палива мають різну щільність і теплотворну здатність, двигуни можуть однаково добре працювати як на газі, так і на рідкому паливі, та можуть забезпечувати однакову максимальну вихідну потужність на будь-якому паливі. Двигуни також можна перемикаєти з одного палива на інше, продовжуючи працювати під навантаженням і без будь-яких перерв у подачі живлення. Окрім



кількості циліндрів і рядної або V-конфігурації, двигуни ідентичні за принципом роботи та будовою. Встановлення шести та дванадцяти-циліндрових двигунів забезпечує гнучкість у виборі робочих двигунів відповідно до потреби в потужності. Система керування двигуном контролює безпеку двигуна, його швидкість, регулювання палива та інші, пов'язані з двигуном, питання автоматизації.

Для використання газу потрібні системи рідкого та газоподібного палива, адже через дуже низьку якість займання природного газу необхідно вприскувати невелику кількість дизельного палива, як пілотного палива для отримання полум'я, яке запалює газ у циліндрі. Газ направляєється в циліндр разом з повітрям для згорання під час такту всмоктування поршня, в результаті чого газоповітряна суміш стискається, запалюючись від пілотного полум'я. Час вприскування пілотного палива необхідно точно контролювати, щоб у потрібний момент полум'я з'явилося для запалювання газу. Газ запалюється і горить, змушуючи поршень опускатися донизу, так само, як згорання рідкого палива в звичайному дизельному двигуні виробляє потужність.

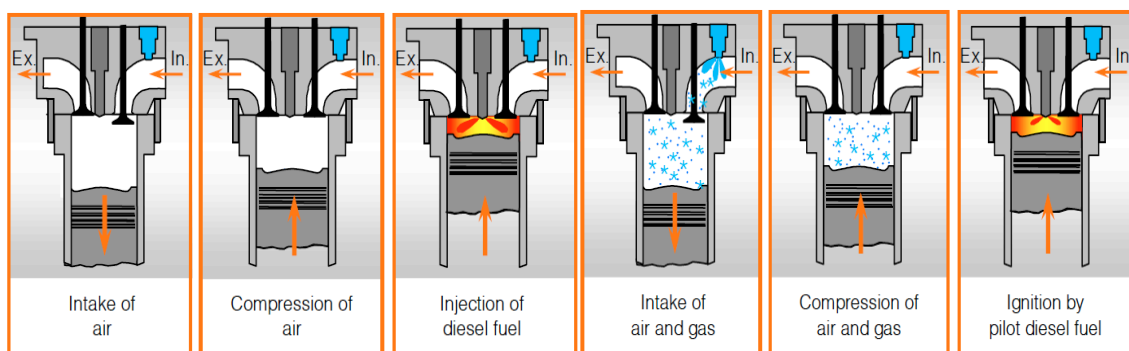


Рисунок 1 – Режими вприскування для газу та рідкого палива

4.2.1. Рекомендації щодо роботи на холостому ході та низького навантаження

- Газовий режим

Робота в газовому режимі нижче 10% навантаження обмежена 5 хвилинами. Двигун автоматично переходить у дизельний режим, якщо навантаження залишається нижче 10% від номінальної потужності протягом більше ніж 5 хвилин. Робота в газовому режимі при навантаженні вище 10% необмежена.

- Дизельний режим. Абсолютний холостий хід (відключений генератор):

А) Максимум 10 хвилин, якщо двигун слід зупинити після холостого ходу.



Перед зупинкою рекомендується працювати на холостому ходу за 3-5 хвилин.

Б) Максимум 6 годин, якщо двигун потрібно завантажити після роботи на холостому ходу.

- **Робота з навантаженням нижче 20%:**

Максимум 100 годин безперервної роботи. З інтервалами в 100 годин роботи двигун повинен бути завантажений мінімум на 70 % від номінальної потужності.

- **Робота з навантаженням понад 20% – без обмежень.**

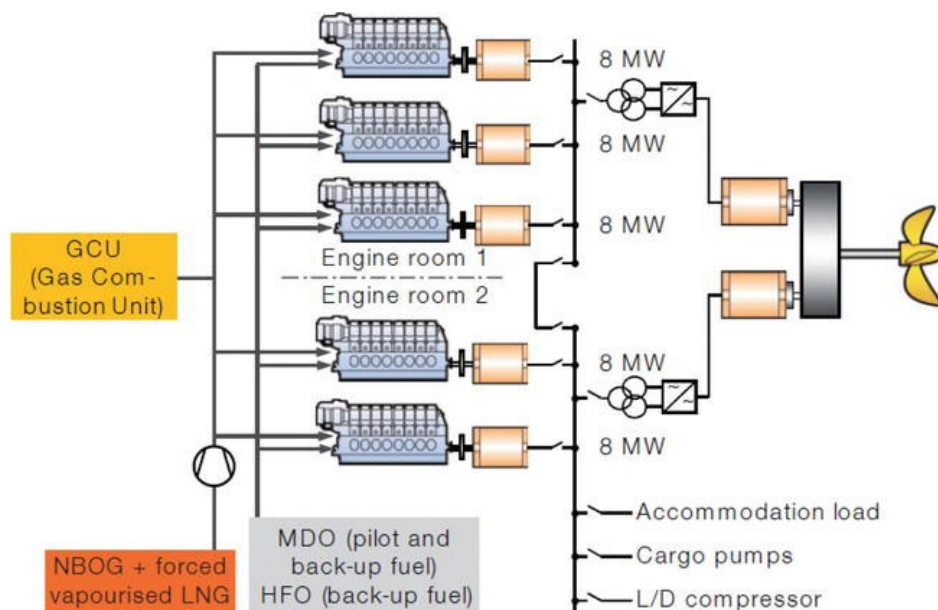


Рисунок 2 – Загальна схема суднової енергетичної системи на прикладі 5-ти генераторів

4.2.2. Газопаливна система

Двигуни зазвичай працюють у режимі випаровування газу з вантажних танків, або на рідкому паливі. Перед тим, як випарений газ надходить у двигун, він проходить через газорегулюючий блок, який вмикає фільтр, регулятор тиску, запірний клапан і вентиляційні клапани. Тиск газу на виході контролюється системою управління відповідно до навантаження на двигун та умов навколишнього середовища. Система включає необхідні запірні та вентиляційні клапани для забезпечення безпечного та безперебійного постачання газу. Після газорегулюючого клапана газ подається до кожного циліндра через велику трубу, що проходить вздовж двигуна (Рис.3).

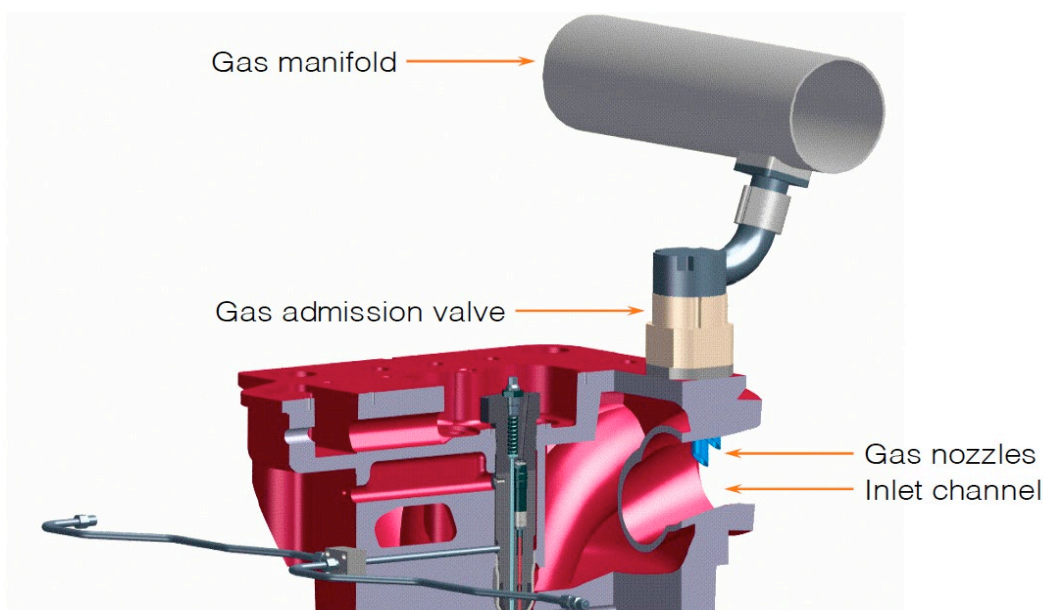


Рисунок 3 – Подача газу в двигун

Кожен циліндр має індивідуальний трубопровід для подачі газу до циліндрів. Газ змішується з повітряним потоком безпосередньо перед впускним клапаном циліндрів. Впускним клапаном газу керує система управління двигуном, яка регулює кількість газу, дозволеного для проходження в кожен циліндр. Газовий клапан керується незалежно від клапанів впуску повітря, тому циліндр може бути повністю очищений до відкриття газового клапана, таким чином запобігаючи подачі газу у вихлопну систему. Незалежне керування газовим клапаном також забезпечує правильну суміш газу і повітря для оптимального згоряння та контролю викидів вихлопних газів.

Для ініціювання займання в циліндрі через пілотну паливну лінію в головну паливну форсунку впорскується невелика кількість дизельного палива. Пілотне паливо впорскується, а час і тривалість електронно контролюються системою керування двигуном.

4.2.3. Розподіл навантаження

Система керування живленням підтримує кілька варіантів розподілу навантаження:

- **Симетричне розподілення:** режим, у якому навантаження від генераторів паралельне. Передбачається невелика мертва зона, 1% від номінальної потужності.

- **Асиметричне розподілення:** мета полягає в тому, щоб спалювати вуглець, накопичений під час роботи двигуна з низьким навантаженням. При асиметричному розподілі навантаження один генератор буде завантажений на 80%, тоді як інші генератори будуть розподіляти навантаження, що



залишилося. Генератори будуть вибрані як основні протягом чотирьох годин, перш ніж він автоматично перемкнеться на наступний генератор. Якщо навантаження на генератор впаде нижче 30%, навантаження на головний генератор зменшиться. Якщо навантаження на генераторах перевищує 80%, навантаження буде розподілено симетрично між усіма генераторами.

Особливості роботи генераторів при різних режимах навантаження:

- **Постійне навантаження** використовується для цілей технічного обслуговування. Цього можна досягти шляхом вибору генератора з фіксованим розподілом навантаження. Встановлене значення обирається оператором і підтримується системою керування електроенергією. Не можна вибрати режим фіксованого навантаження, коли генератор перебуває в режимі очікування.

- **Ручне розподілення навантаження** використовується, коли дизель-генератор обрано для розподілу навантаження вручну. Оператор може керувати збільшенням або зменшенням швидкості за допомогою регулятора швидкості безпосередньо з операторської станції. У цьому режимі система керування живленням не виконує активного розподілу навантаження на генератор. Ручне розподілення навантаження не можна обрати, коли генератор перебуває в режимі очікування.

- **Налаштування зовнішнього навантаження («Режим треку»)** використовується у випадках, коли для двигуна обрано режим треку, а задане значення навантаження для цього двигуна контролюється. У режимі парів газу, генератори, що використовують пари газу як паливо, мають обмеження на зміну навантаження. Криву навантаження буде застосовано постачальником двигуна. Їх двигуни, що працюють у режимі парів газу, не будуть приймати швидкі зміни навантаження.

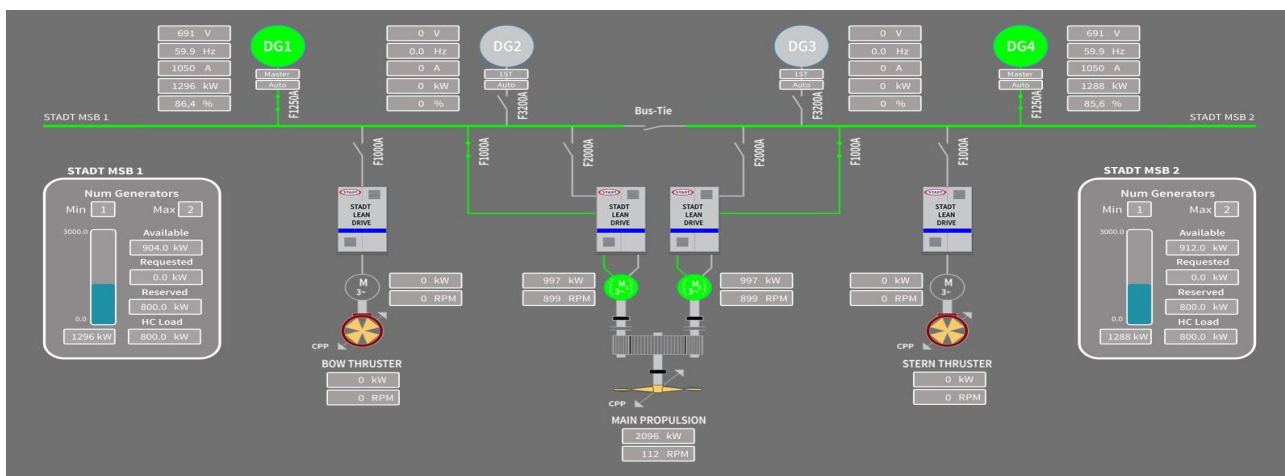


Рисунок 4 – Спрощений вид діаграми моніторингу навантаження на генератори



У режимі змішаного палива генератор, який перебуває в режимі парів газу або переходить на режим парів газу, буде автоматично встановлений на «Режим треків». Задане значення буде надходити від системи управління газом і змінюватиметься залежно від тиску у вантажних танках.

На основі режиму палива працюючих двигунів система керування живленням адаптує ці режими, щоб увімкнути правильний режим розподілу навантаження. У дизельному режимі всі двигуни працюють на дизельному паливі або мазуті. Двигуни зазвичай розподіляються симетрично, але оператор може встановити на фіксований або асиметричний.

- *Змішаний режим.* У змішаному режимі принаймні один двигун працює на парах вантажу, тоді як інші працюють на дизельному паливі або мазуті. Двигуни, що працюють на газі, будуть розподілені для підтримки тиску в вантажних танках. Регулятор тиску у вантажному танку дає задане значення двигунам, що працюють на газі. Якщо тиск у баку вище заданого значення, навантаження двигунів, що працюють на газі, буде збільшено, а якщо тиск у баку нижчий за задане значення – навантаження зменшиться. Решта двигунів, що працюють на дизельному паливі або мазуті, адаптують усі динамічні зміни навантаження, включаючи зміни, викликані тиском у вантажному танку.

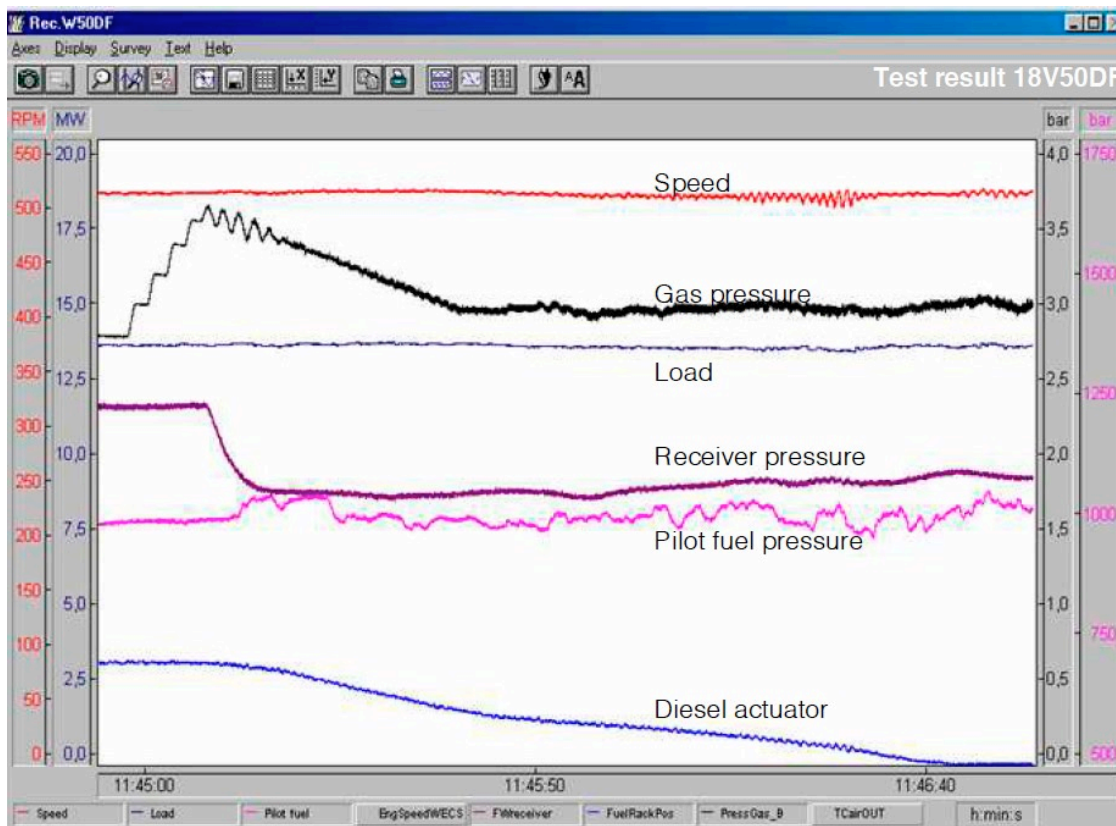


Рисунок 5 – Графік зміни палива з дизелю на газ при 80% навантаженні

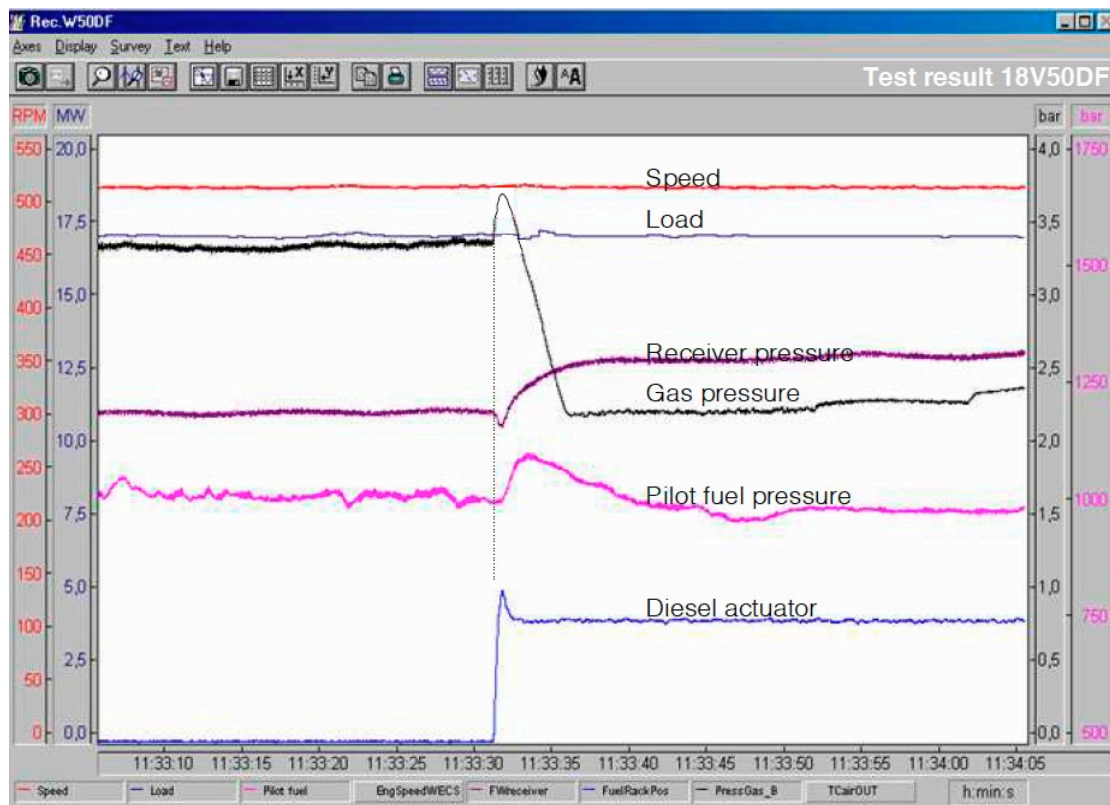


Рисунок 6 – Графік зміни палива з газу на дизель при 100% навантаженні
2.4 Режими роботи

Якщо на газу працює більше одного двигуна, навантаження, що відповідає природному википанню, буде розподілено симетрично між цими двигунами. У максимальному режимі для газових двигунів немає інших режимів розподілу навантаження. У випадку, якщо двигун працює з низьким навантаженням, система управління попередить оператора про низьке навантаження і розпочне перевіряти, який з двигунів здатний перейти в дизельний режим.

Асиметричний режим застосовується до змішаного режиму. Змішаний режим слід обрати, коли тиск у вантажному танку підвищиться до верхньої межі, а потім працювати на газі, поки тиск у вантажному танку не стане менше нижньої межі.

Блок керування силовою установкою підтримує два режими роботи: режим маневрування та морський режим. Блоки керування рушійною силою синхронізовані, так що зміна режиму роботи на будь-якому блоці керування силовою установкою вплине на обидва.

- **Режим маневрування**

У режимі маневрування швидкість і потужність обмежені діапазоном. Завдяки нелінійності пропелера в цьому діапазоні можна маневрувати без перевантаження силової установки. Вибір режиму маневрування запобігає виходу системи з діапазону швидкого реагування. Це гарантує, що система



залишатиметься чутливою, поки обрано режим маневрування. Швидкісний режим керування обирається автоматично, і не може бути змінено вручну.

- **Морський режим**

Морський режим – це робочий режим, при якому силові двигуни можуть працювати у повному діапазоні швидкостей. При спуску в морському режимі режим керування автоматично переходить із режиму швидкості на режим потужності на заданому рівні швидкості.

4.2.4. *Режими керування*

Блок керування силовою установкою підтримує два режими керування рушійними двигунами: **режим швидкості** та **режим потужності**.

Коли швидкість нижча за рівень для автоматичної зміни, дозволяється лише режим швидкості. Це забезпечує точний контроль швидкості під час маневрування. Режим потужності вибирається автоматично при переході до високої потужності руху. Це забезпечує стабільне навантаження на силову установку і дозволяє двигунам працювати в газовому режимі в будь-яких погодних умовах моря. Під час зниження режим автоматично змінюється на режим швидкості, коли швидкість нижче рівня для автоматичної зміни. Оператор може вручну перемикається між режимами швидкості та потужності, коли швидкість вища за рівень для автоматичної зміни.

- **Швидкий режим**

Швидкий режим дозволяє оператору контролювати швидкість пропелера. Положення важеля у вибраному місці керування відображає бажану швидкість пропелера. Фактична рушійна потужність змінюється в міру необхідності для досягнення та підтримки швидкості цієї установки. Програмне забезпечення блоку керування силовою установкою обробляє зміни обраного значення швидкості, щоб воно не перевищувало задану кількість обертів за хвилину.

- **Режим потужності**

Режим потужності дозволяє оператору контролювати потужність гвинта. Швидкість валу оператор може змінювати залежно від навантаження на гвинт, при цьому потужність залишається постійною. У режимі потужності крутний момент, який передається на перетворювач, відображає потужність та фактичну швидкість. Двигуни керуються відповідно до значення, яке розраховується з положення активного важеля керування. Розрахунок цього опорного значення залежить від обраного режиму керування.



4.2.5. Характеристики темпу енергоспоживання

Для досягнення оптимальної продуктивності силової установки блок керування потужністю має три види темпу: нормальний темп, швидкий темп та темп аварійної зупинки. Нормальний і швидкий темпи налаштовані для досягнення стабільного збільшення потужності під час збільшення швидкості, тоді як темп аварійної зупинки налаштований, щоб мінімізувати розсіювання енергії гальмування під час аварії.

Звичайний та швидкий темпи визначаються як точка коліна і сектори зниження навантаження. Існує три точки коліна, що дають чотири різні сектори зниження навантаження. Точки колін розміщуються зі швидкістю, що відповідає телеграфним командам «Найменший хід», «Середній хід» та «Повний хід».

У звичайних темпах сектори зниження навантаження налаштовані для досягнення безпечної роботи, коли двигуни працюють на газу, на дизельному паливі або при роботі на змішаному паливі.

У швидкому темпу сектори зниження навантаження налаштовані для досягнення безпечної роботи, коли двигуни працюють на дизельному паливі. Якщо під час роботи на газу обирається швидкий темп, двигуни можуть бути змушені автоматично перейти на дизельний режим. Вибір режиму темпу відповідно до режиму роботи палива є обов'язком оператора. Швидкий темп налаштований з урахуванням мінімум 22000 кВт вільної від генераторів енергії під час режиму маневрування до «Повний вперед» телеграфного замовлення («Повний вперед» відповідає 62,5% положенню замовлення навантаження). Нормальний темп – під час налаштування з телеграфного порядку «Повний» – від 62,5% до 100 % потужності електродвигунів.

Аварійна зупинка ініціюється, коли положення важеля перевищує 80%. Після початку аварійної зупинки режим спочатку автоматично встановлюється на швидкісний режим, тоді як активний сигнал аварійної зупинки надсилається в інтегровану систему автоматизації. Затримка застосовується до того, як режим темпу буде змінено на темп аварійної зупинки. За цей час інтегрована система автоматизації повинна перевести всі двигуни на дизельний режим. Після затримки у 10 секунд режим темпу змінюється, і гвинт швидко сповільнюється. Щоб запобігти перевантаженню редуктора і гальмівних резисторів, система управління силовою установкою запобігає гальмування, коли швидкість гвинта висока. Після зміни напрямку обертання гвинта темп аварійної зупинки скасовується, і рух продовжується в режимі, який було обрано раніше.



Розглянемо принцип використання енергії на прикладі морського переходу судна з порту Сабін Пасс (Сполучені Штати Америки) до порту Саїд (Єгипет). Початок рейсу – 06.04.2021 р., дата прибуття в Єгипет – 22.04.2021 р., дистанція з порту Сабін Пасс до порту Саїд складає 6983 морських миль. Весь рейс судно використовувало лише пари газу в якості палива для генерування енергії електрорушійної системи.

Розрахунок:

Тривалість: 15 днів 18 годин. У годинах: 378 годин. Ходовий час: 371 годин

Середня швидкість: 18,8 вузлів

Витрачено: 3530,71 куб. м. LNG; 14,1 Метрична Тонна LSMGO

Пройдено: 6983 морських миль

Мазутний еквівалент: 0.5151

Мазутний еквівалент – це коефіцієнт, який описує співвідношення між сумарною енергією в одному кубометрі ЗПГ і в одному МТ мазуту.

Для того, щоб розрахувати навантаження на генератор аналітичним методом скористаємося формулою (1.1) для подальшого аналізу використання енергоефективності судна.

$$Load(\%) = \left(\frac{\left(\frac{DG_{pr} * 1000}{t} \right)}{DG_{max}} \right) * 100 \quad (1.1)$$

де: DG_{pr} – це кількість виробленої електроенергії [МВт]

t – кількість годин роботи [год]

DG_{max} – максимальна кількість виробленої електроенергії яка вказана в характеристиках генератора [кВт/год]

У таблиці 1 відображена інформація щодо виробленої кількості енергії кожним генератором, кількість робочих годин та аналітично розраховане навантаження на кожний генератор.

Помаранчевим та червоним кольором позначені відхилення від максимально енергоефективного навантаження на генератори. При маневруванні судна під час лоцманської проводки режими роботи судновою рушійної установкою декілька відрізняються від максимально енергоефективного режиму у відкритому морі. За рахунок більш частішого реагування на телеграфні ордери суднова енергетична установка повинна бути підготовлена до стрімких змін енергоспоживання, для запобігання знеструмленню судна.



Таблиця 1 – Кількість виробленої енергії та аналітично розраховане навантаження на генератори під час першої частини рейсу

Дата та Час	ДГ1	ДГ2	ДГ3	ДГ4	ДГ1	ДГ2	ДГ3	ДГ4	Навантаження	Навантаження	Навантаження	Навантаження
	[МВт]	[МВт]	[МВт]	[МВт]	ГОД	ГОД	ГОД	ГОД	%	%	%	%
06.04.2021 20:00	1,8	13,2	6,2	13,4	1	2	1	3	31	56	53	38
07.04.2021 12:00	66,9	133,0		132,7	16	16		16	71	71	0	71
08.04.2021 12:00	106,8	212,3		211,8	24	24		24	76	76	0	75
09.04.2021 12:00	102,3	203,6		202,9	23	23		23	76	76	0	75
10.04.2021 12:00	14,1	208,7	186,4	208,8	4	24	22	24	60	74	72	74
11.04.2021 12:00		200,3	201,1	201,6		23	23	23	0	74	75	75
12.04.2021 12:00		218,7	217,9	218,4		24	24	24	0	78	78	78
13.04.2021 12:00		201,4	201,3	201,5		23	23	23	0	75	75	75
14.04.2021 12:00		203,6	202,9	203,3		24	24	24	0	73	72	72
15.04.2021 12:00		194,9	194,2	194,4		23	23	23	0	72	72	72
16.04.2021 12:00		203,7	202,7	203,3		24	24	24	0	73	72	72
17.04.2021 12:00		195,4	194,4	194,9		23	23	23	0	73	72	72
18.04.2021 12:00		203,5	202,7	203,1		24	24	24	0	72	72	72
19.04.2021 12:00		203,6	202,6	203,0		24	24	24	0	73	72	72
20.04.2021 12:00		194,7	194,3	194,5		23	23	23	0	72	72	72
21.04.2021 12:00		200,7	199,4	200,7		24	24	24	0	71	71	71
22.04.2021 12:00	2,4	181,1	161,0	183,8	1	23	20	23	41	67	69	68
22.04.2021 14:00	3,8	0	0	7,7	2			2	32	0	0	33

При виконанні рейсу важливо підтримувати безпечні параметри газу у вантажних цистернах, тому якщо судно довго не використовувало насоси або компресор, вантажні цистерни можуть застигнути, так як судно перевозить скраплений метан (CH₄) при температурі -162°C. Для таких випадків LNG-танкер має спеціальну установку – примусовий випарник. Примусовий випарник – це система для перетворення зрідженого природного газу у пари та подальше транспортування цих парів до системи трубопроводу з компресорів для підтримання тиску 5,1 бар у паливному газопроводі до машинного відділення.

Спочатку підготовлюється лінія транспортування з вантажного танку до системи примусового випаровування, відчиняються усі клапани, а далі з вантажного танку малогабаритним насосом відкачується ЗПГ у напрямку примусового випарника. За допомогою примусового випарника судно має можливість у будь-який час використовувати пари газу з вантажних танків як паливо, навіть якщо судно у баласті. Перед розвантажувальними операціями завжди робиться розрахунок щодо кількості вантажу, яку треба залишити для рейсу до іншого порту завантаження та заохолодження вантажних танків перед завантажувальними операціями. Розрахунок залишку вантажу на судні дуже важливий при завершенні вантажних операцій. В залежності від дистанції до наступного порту, погодних умов, дати заходу судна у порт та об'єму газу, потрібного для заохолодження вантажних танків, формуються спеціальні таблиці щоденного природного випаровування вантажу.



4.3. Система «зеленої енергетики» на газовозах LNG класу

Екологічні норми, що контролюють викиди SO_x, NO_x і парникових газів, змінюють світову судноплавну промисловість. Щоб відповідати правилам Міжнародної морської організації (ІМО), з 1 січня 2020 року оголошено майбутні екологічні цілі для зменшення викидів, відповідно до яких власники судноплавних компаній повинні змінити способи живлення та палива для своїх флотів. Вибір судового палива зараз є значущим інвестиційним рішенням, яке має бути прийняте.

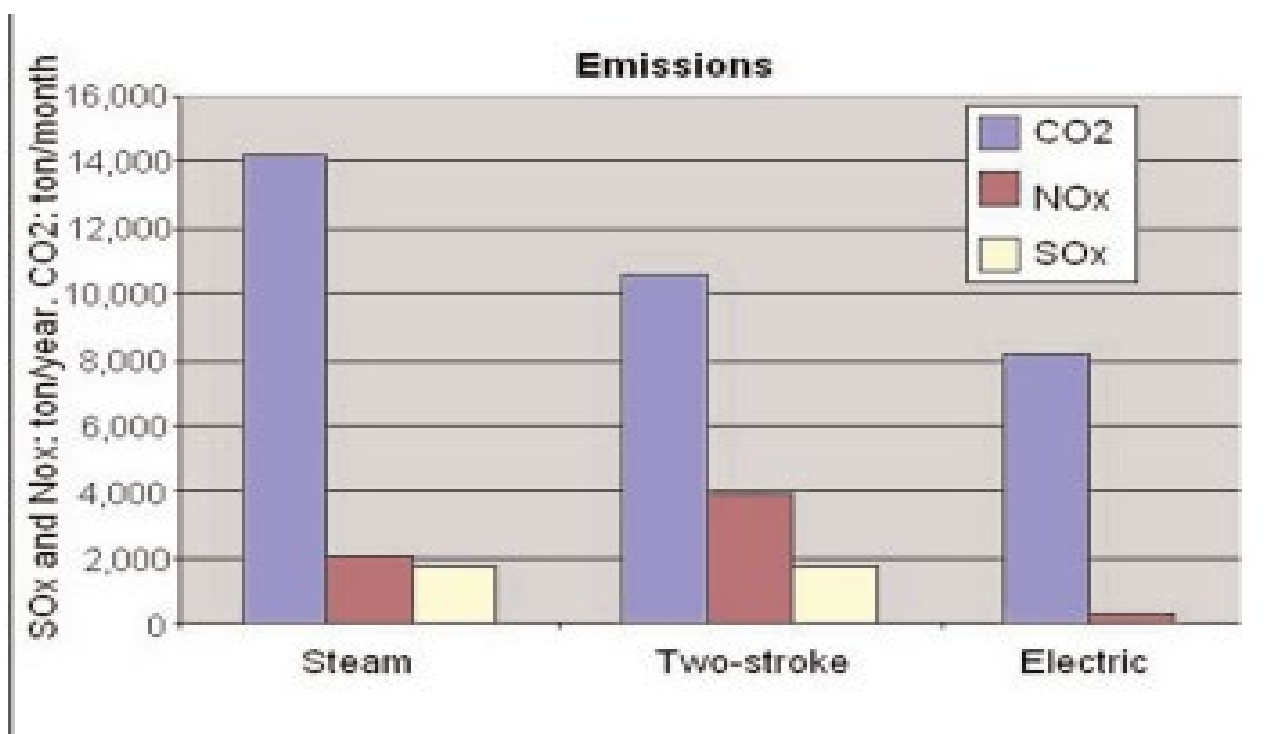


Рисунок 7 – Порівняння викиду CO₂, NO_x, SO_x від різних типів двигунів

Наприклад, компанія DNV GL провела комплексне дослідження для оцінки комерційної та експлуатаційної життєздатності альтернативного судового палива. В дослідженні було оцінено шість основних і альтернативних видів палива (водень, аміак, метанол, LPG, біопаливо, зокрема гідроочищена рослинна олія, і повністю акумуляторні електричні системи) порівняно зі ЗПГ та застарілими видами палива.

ЗПГ є єдиним перевіреним і масштабованим паливом для судна, яке забезпечує скорочення викидів парникових газів, SO_x, NO_x та місцевих викидів. Використання ЗПГ як палива для судна показує переваги зменшення викиду парникових газів у порівнянні з поточним використанням судових нафтових типів палива. Переваги скорочення викидів для двигунів, що



працюють на ЗПГ, порівняно з двигунами, що працюють на VLSFO, становлять від 20% до 30% .

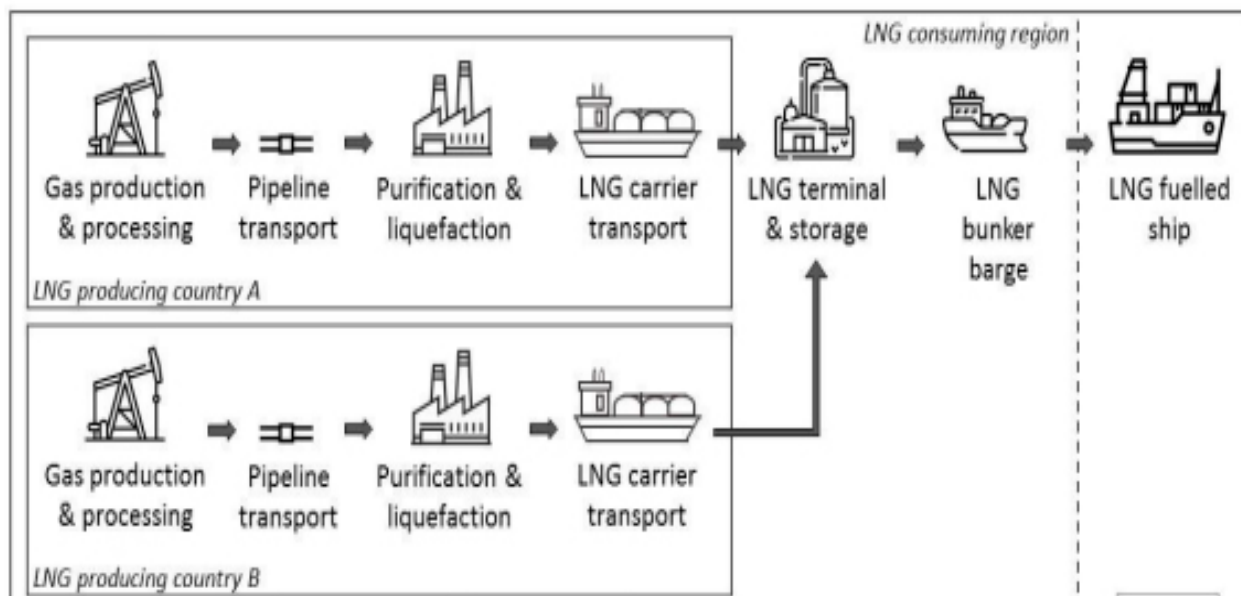


Рисунок 8 – Схема видобутку та споживання ЗПГ

До переваг зрідженого природного газу також можна віднести наступні фактори:

А) ЗПГ забезпечує велику перевагу з точки зору покращення якості повітря та здоров'я людей, що особливо важливо у портах і прибережних районах.

Б) Через незначну кількість сірки в паливі LNG, викиди SO_x скорочуються майже до нуля.

В) ЗПГ практично усуває тверді частки, включаючи чорний вуглець або сажу, які ще не регулюються, є зростаючою проблемою навколишнього середовища.

4.3.1. Дослідження життєвого циклу парникових газів при використанні ЗПГ як палива для судна

Цикл IMO E2/E3 – це стандартизований тип тестування двигунів внутрішнього згорання. Інші цикли випробувань та вагові коефіцієнти повинні застосовуватися для перевірки відповідності судових дизельних двигунів.

Для цього дослідження використали дані про споживання палива та викиди на тестовому стенді для оцінки викидів метану поршневіми двигунами в різних точках навантаження. Кожен з виробників двигунів надав від 1 до 3 наборів даних, кожен з яких представляє дані про споживання та викиди для одного окремого двигуна зі свого портфеля. Загалом зібрали та оцінили 39 наборів даних для двигунів від Caterpillar MaK, Caterpillar Solar Turbines, GE,



MAN, MTU (Rolls Royce), WinGD та Wärtsilä. Безсумнівно, викиди метану суден ЗПГ залежать від точки навантаження двигуна.

Таблиця 2 – Результати викиду хімічних речовин від газу та мазуту отримані на 2 тактних двигунах

Estimated emissions 6S70ME-C		Estimated emissions 6S70ME-GI	
Load 100%	g/kWh	Load 100%	g/kWh
CO ₂	577	CO ₂	446
O ₂ (%)	1359	O ₂ (%)	1340
CO	0.64	CO	0.79
NO _x	11.58	NO _x	8.76
HC	0.19	HC	0.39
SO _x	10.96	SO _x	0.88
PM (mg/m ³)	0.54	PM (mg/m ³)	0.34

Основаючись на отриманих даних, 2-тактні двигуни, що працюють на мазутному паливі, мають найменшу витрату палива при точці навантаження близько 60-65%. Аналізуючи двигуни з ЗПГ – ситуація інша: 2-тактні двигуни, що працюють на ЗПГ, мають найменшу витрату палива в точках навантаження 65-80%. Тобто вони, як правило, мають меншу витрату палива при більш високих точках навантаження, порівняно з двигунами, що працюють на HFO/MGO.

Для 4-тактних двигунів (тобто двигуни, що працюють на HFO/MGO та ЗПГ) мають найнижчу витрату палива в точках навантаження між 80-90%. Як наслідок, вважається, що двигуни, які працюють на HFO/MGO, можуть працювати в різних точках навантаження, порівняно з двигунами, що працюють на ЗПГ. Оператори судна можуть працювати з високою ефективністю двигуна – для HFO/MGO у точках навантаження між 60-65%, для ЗПГ з більш високою точкою навантаження – між 65-80%. Така поведінка також підтримує амбіції ІМО щодо скорочення викидів парникових газів на 50% до 2050 року, порівняно зі значеннями 2008 року. Експлуатація двигунів, що працюють на зрідженому природному газі, у точках з низьким навантаженням не буде ні екологічно, ні економічно вигідною, і, отже, надзвичайно важливо покращити сьогоднішній профіль навантаження на майбутнє.



Таблиця 3 – Результати викиду хімічних речовин від газу та мазуту отримані на 4-х тактних двигунах

6K50MC-C		6S50ME-GI	
Load 100%	g/kWh	Load 100%	g/kWh
CO ₂	556	CO ₂	469
O ₂ (%)	1223	O ₂ (%)	1255
CO	0.71	CO	0.89
NO _x	11.97	NO _x	10.51
HC	0.28	HC	0.57
SO _x	10.57	SO _x	0.85
PM (mg/m ³)	0.49	PM (mg/m ³)	0.31

Експлуатація двигунів ЗПГ на більш високих точках навантаження також допомагає зменшити ефект глобального потепління, що виникає в результаті прослизання метану, оскільки ці викиди нижчі при більших навантаженнях на двигун. Члени асоціації-учасники погодилися, що цикл ІМО Е2/Е3 є прийнятною, стандартизованою методологією, яка повторюється і відтворюється.

Покладатися на визначений стандарт дає перевагу не тільки мати стандартизовану методологію, але й отримувати послідовні та, як сказано, результати, що повторюються. Крім того, різні застосування судна, маршрути, погодні умови тощо також можуть мати великий вплив на роботу двигунів і призвести до різних профілів навантаження від тих, які розглядаються циклом ІМО Е2/Е3. Ці впливи є додатковою причиною покладатися на визначений стандарт.

Світове товариство повністю підтримує ідею використання бортових даних вимірювань замість усталених даних із тестового стенду для згоряння палива. Необхідно розробити технології, які дозволять проводити бортові вимірювання з огляду на перехідну (реальну) роботу. Це допомогло б краще зрозуміти витрату палива в реальному часі, а також величину та значення ковзання метану. Тимчасові бортові вимірювальні дані з експлуатації судна можуть ще більше підвищити якість шляхів вдосконалення енергоефективності суден. Також зрозуміло, що вимірювання на борту приведуть до інших результатів у порівнянні з використанням даних із тестового стенду, і тому



зараз продовжують заохочувати судноплавну галузь працювати над цим аспектом.

Поки що не існує комплексних бортових вимірювальних систем, які б аналізували викиди парникових газів (та інших забруднюючих речовин) від 2-та 4-тактних двигунів, зосереджених на морському судноплаванні, що становить понад 70% світового судноплавання операцій. Наприклад, SINTEF провів і опублікував бортові вимірювання на 4-тактних двигунах під час прибережних операцій у Північному морі, що є чудовою відправною точкою. Проте наразі охоплено тільки 4-тактні двигуни в прибережній експлуатації, які становлять лише незначну частку світового судноплавання, оскільки, як згадувалося, більшість палива, що спалюється в морському секторі, є глибоководним судноплавним простором, де використовуються 2-тактні двигуни.

Більш надійна інформація про споживання палива та дані про викиди в режимі реального часу допоможуть підтримати прийняття рішень, заснованих на фактах, і допоможе промисловості досягти стійкого успіху.

Що стосується покращення якості повітря та здоров'я людей, то LNG може похвалитися неперевершеними показниками викидів, скорочуючи викиди SO_x та твердих частинок до незначної кількості, знижуючи NO_x приблизно на 85%. Крім того, у поєднанні з індексом енергоефективності (EEDI) удосконалення конструкції суден, ЗПГ, за прогнозами, досягне цілі ІМО 2030 щодо декарбонізації на нових суднах. Дослідження викидів ПГ життєвого циклу, опубліковане Thinkstep у квітні 2019 року, широко вважається остаточним дослідженням викидів ПГ від сучасних судових двигунів, тобто тих, які доступні на ринку сьогодні. Він є вичерпним, використовує останні первинні дані для оцінки всіх основних типів судових двигунів і глобальних джерел постачання.

Це гарантована якість, яка оцінює постачання та використання СПГ як судового палива відповідно до стандартів ISO, і є об'єктивною, оскільки була перевірена групою незалежних експертів з аналізу життєвого циклу та технологій судових двигунів. Дослідження чітко показує, що на основі технології двигунів переваги скорочення викидів від резервуара для двигунів, що працюють на LNG, у порівнянні з суднами, що працюють на HFO, становлять від 18% до 28% для 2-тактних двигунів з повільною швидкістю, і від 12% до 22% для 4-тактні двигуни середньої швидкості.

Абсолютні переваги скорочення викидів від свердловини до пробудження, враховуючи викиди метану, для двигунів, що працюють на LNG, у порівнянні з



суднами, що працюють на HFO, сьогодні становлять від 14% до 21% для 2-тактних двигунів з повільною швидкістю, і від 7% до 15% для 4-тактних

Важливо, що близько 70% суднового палива, що споживається сьогодні, припадає на 2-тактні двигуни, а ще 18% використовують 4-тактні двигуни середньої швидкості. Очікувані зміни в LBM і LSM забезпечують користувачам СПГ шлях до 2050 року і далі. На молекулярному рівні LBM і LSM (отримані з викопного палива) ідентичні LNG, що означає відсутність проблем із змішуванням та існуючими активами. Таким чином, LNG із зростаючою заміною LBM та LSM, починаючи з цього моменту, представляє найбільш переконливий шлях декарбонізації для глибоководних суден.

Влітку 2019 року SEA-LNG оприлюднила результати свого дослідження альтернативних видів палива, яке було проведено DNV GL. У дослідженні підкреслюється, що досягнення вуглецевих цілей ІМО до 2050 року вимагає впровадження спеціальних технологій з нульовими викидами. Альтернативні види палива, такі як водень та аміак, можуть відігравати певну роль у певних морських застосуваннях у майбутньому. Але цим альтернативам наразі бракує нормативної бази, виробничих потужностей, прийнятних протоколів безпеки та інфраструктури бункерування для широкого застосування в глибоководних суднах.

Обмеження швидкості не враховують наслідків цієї дії для інших частин високоефективного міжнародного мультимодального логістичного ланцюга, де судноплавство відіграє життєво важливу роль. Ця дія може гальмувати судновласників і менеджерів до інновацій та впровадження альтернативних видів палива з нижчими викидами парникових газів, а також розвитку інших технологічних заходів.



Висновки

Енергоефективність танкера газовозу типу LNG на сьогоднішній день не достатньо вивчена. Існує багато методів зменшення викидів парникового ефекту від цих суден але найкращого та найпростішого ще досі не вибрано. В даній монографії зроблено розрахунки під час рейсу танкера LNG за вид палива приймався тільки зріджений Метан.

У роботі були також представлені дослідження інших іноземних компаній їх спостереження та результати, які показують ефективність використання природного газу перед звичайним паливом який використовується на всіх судах.

Проведено огляд систем які найчастіше зустрічаються в теперішній час на суднах типу LNG, докладно описано принцип роботи газової установки та систему моніторингу за цими параметрами.

Розглянуто вплив Метану (CH₄) на навколишнє середовище та прийнято рішення що до скорочення цих викидів. Досліджено, експериментально, викид так званої «Зеленого газу» при використанні такої паливної системи.

Як висновок до даної монографії можна сказати що ЗПГ є єдиним перевіреним і масштабованим паливом для судна, яке забезпечує скорочення викидів парникових газів, SO_x, NO_x та місцевих викидів. Використання ЗПГ як палива для судна показує переваги зменшення викиду парникових газів у порівнянні з поточним використанням суднових нафтових типів палива. Переваги скорочення викидів для двигунів, що працюють на LNG паливі, порівняно з двигунами, що працюють на VLSFO.