

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ОДЕСЬКА МОРСЬКА АКАДЕМІЯ»

НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ АВТОМАТИКИ ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІКИ

Кафедра: «Електричної інженерії та електроніки»

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПІСКА
ДО ДИПЛОМНОЇ РОБОТИ МАГІСТРА

на тему:

«ДОСЛІДЖЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ СУДНОВИХ
СИЛОВИХ ГІБРИДНИХ УСТАНОВОК»

Виконав: студент 6 курсу, групи 3601
спеціальності:

271 – Річковий та морський транспорт

(шифр і назва спеціальності)

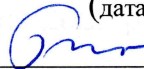
Спеціалізація: «Експлуатація суднового
електрообладнання і засобів автоматики»

 Пашченко.Олександр Олегович

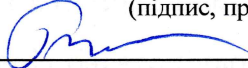
(підпис, прізвище та ініціали)

Допущений до захисту 20.12.2022

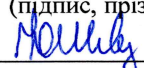
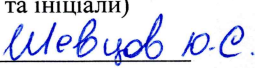
(дата малого захисту)

Завідувач кафедри  Бушер В.В

(підпис, прізвище та ініціали)

Керівник  Бушер В.В

(підпис, прізвище та ініціали)

Нормоконтроль  Нещук  Шевчук Ю.С.

(підпис, прізвище та ініціали)

Рецензент  Гвоздева Т.М.

(підпис, прізвище та ініціали)

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ОДЕСЬКА МОРСЬКА АКАДЕМІЯ»

Навчально-науковий інститут автоматики та електромеханіки

Кафедра електричної інженерії та електроніки

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ЕІ та Е



« 20 » 12 2022 р.

ЗАВДАННЯ

до дипломної роботи магістра

Пашенко Олександра Олеговича

Тема магістерської роботи

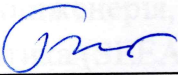
**ДОСЛІДЖЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ СУДНОВИХ
СИЛОВИХ ГІБРИДНИХ УСТАНОВОК**

затверджена наказом ректора академії від 12 грудня 2022 р. No 1337

1. Термін здачі курсантом закінченої роботи: 15.12.2022 року.
2. Вихідні дані до роботи: технічна документація багатоцільового офшорного судна BOA SUB C.
3. Змістовна частина розділів дипломної роботи освітньо-кваліфікаційного рівня «магістр» зі спеціальності 271 «Річковий та морський транспорт» спеціалізації «Експлуатація суднового електрообладнання і засобів автоматики».
- 3.1. Огляд існуючих проблем з викидами в атмосферу та методи вирішення.

- 3.2. Обґрунтування доцільності обладнання кораблів силовими гібридними установками.
- 3.3. Особливості роботи різних видів гібридних установок.
- 3.4. Розрахунок необхідної потужності системи збереження електроенергії для судна BOA SUB C
- 3.5. Моделювання системи контролю частотного перетворювача у програмному забезпеченні MATLAB
- 3.6. Обґрунтування економічної доцільності на прикладі судна BOA SUB C.

Дата видачі завдання: “10” 10 2022 року

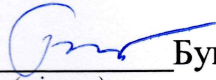
Керівник  Бушер В.В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Завдання прийняв до виконання  Пащенко О.О.
(підпис) (прізвище та ініціали)

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітки
1	Аналітичний огляд науково-технічної літератури по темі дослідження. Обґрунтування теми дослідження, її актуальності та новизни.	19.10.2022- 29.10.2022	
2	Підготовка тез з постановою задач дослідження та доповідь на науково-методичну конференцію "Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика (SEEA-2022)".	02.11.2022- 16.11.2022	
3	Постановка задачі моделювання, обґрунтування допущень, оцінка адекватності моделі, розробка алгоритму проведення моделювання.	23.11.2022- 29.11.2022	
4	Дослідження режимів роботи віртуального синхронного генератора у програмному забезпеченні МатЛаб Симулінк	30.11.2022- 01.12.2022	
5	Обґрунтування і вибір необхідної апаратури для модернізації кораблів у гібридні.	01.12.2022- 03.12.2022	
5	Оформлення дипломної роботи. Підготовка презентації доповіді.	03.12.2022- 15.12.2022	

Курсант (студент)  Пащенко О.О.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи  Бушер В.В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Дипломна робота магістра: 77 с., 23 рис., 1 табл., 3 додатки, 30 джерел, презентація на 14 слайдах, мова українська.

Кваліфікаційна робота на тему «Дослідження енергетичної ефективності гібридних силових установок» на здобуття освітньо-кваліфікаційного рівня магістра. Метою кваліфікаційної роботи є дослідження ефективності модернізації силових установок внутрішнього згорання до гібридних.

У першому розділі роботи розглянуті проблеми з викидами у атмосферу з кораблів та основні методи зменшення кількості викидів. Досліджено світові тенденції та основні напрямки розвитку технологій для досягнення декарбонізації.

В другому розділі проведено обґрунтування доцільності переобладнання кораблів які використовують звичні системи на гібридні силові установки. Приведено основні поняття та описані різновиди обладнання та систем. Детально описані можливості для кожного типу енергетичної системи.

В третьому розділі проведено розрахунок необхідної потужності системи збереження електроенергії для судна BOA SUB C. Описані усі основні елементи судна, приведені однолінійні схеми та розраховано таблицю навантажень CAEES.

У четвертому розділі приведені данні що до технічної реалізації та аналізу ефективності гібридизації судна BOA SUB C. Виконано вибір та обґрунтування необхідної апаратури. Проведено моделювання синхронної роботи генератора та частотного перетворювача системи збереження електроенергії та виконано оцінку часу повернення інвестицій.

Ключові слова: декарбонізація, система збереження електроенергії, гібридизація, ефективність.

ABSTRACT

Master's thesis: 77 pages, 23 figures, 1 table, 3 appendices, 30 sources, presentation on 14 slides, Ukrainian language.

Qualification work on the topic "Research of the energy efficiency of hybrid power plants" for obtaining a master's degree. The purpose of the qualification work is to study the effectiveness of upgrading internal combustion power plants to hybrid ones.

In the first chapter of the work, problems with emissions into the atmosphere from ships and the main methods of reducing the amount of emissions are considered. World trends and main directions of technology development to achieve decarbonization were studied.

In the second section, the justification of the feasibility of converting ships that use conventional systems to hybrid power plants is carried out. Basic concepts and types of equipment and systems are described. The possibilities for each type of energy system are described in detail.

In the third section, the necessary capacity of the power conservation system for the BOA SUB C vessel was calculated. All the main elements of the vessel are described, single-line diagrams are given, and the SAEES load table is calculated.

The fourth chapter provides data on the technical implementation and analysis of the efficiency of hybridization of the BOA SUB C vessel. The selection and substantiation of the necessary equipment is carried out. The simulation of the synchronous operation of the generator and the frequency converter of the electricity conservation system was carried out and the investment return time was estimated.

Key words: decarbonization, electricity conservation system, hybridization, efficiency.

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

CO₂ – Вуглекислий газ

SO_x- Оксиди сірки

NO_x – оксиди азоту

IMO – International maritime organization

EEDI – Energy efficiency design index

EMS -Energy management system

OCV – offshore construction vessel

HES -Hybrid energy system

СПГ – скраплений природний газ

АД – асинхронний двигун з коротко замкнутим ротором

АДЕ – альтернативне джерело енергії

НПП – носовий підрулюючий пристрій

АІН – автономний інвертор напруги

ГД – головний двигун

ДГ – дизель-генератор

ПЧ (FC) – перетворювач частоти

СВК – система векторного керування

СЕЕС – суднова електр енергетична система

ШІМ – широко імпульсна модуляція

САР – система автоматичного регулювання

ЗМІСТ

	С.
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ	7
ВСТУП	10
РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ ПРОБЛЕМ З ВИКИДАМИ У АТМОСФЕРУ З КОРАБЛІВ ТА МЕТОДИ ВИРІШЕННЯ.....	12
1.1. Аналіз об'єму викидів вуглекислого газу у атмосферу з кораб- лів.....	12
1.2. Огляд існуючих методів зменшення викидів у атмосферу.....	17
РОЗДІЛ 2. ОБГРУНТУВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ ОСНАЩЕННЯ КОРАБЛІВ ГІБРИДНИМИ СИДОВИМИ УСТАНОВКАМИ.....	24
2.1. Гібридні установки	24
2.2. Переобладнання кораблів зі силовою установкою внутріш- нього згорання.....	28
2.3. Переобладнання кораблів з дизель-електричною силовою установкою змінного струму.....	36
2.4. Переобладнання кораблів з дизель-електричною силовою установкою постійного струму.....	40
РОЗДІЛ 3. РОЗРАХУНОК НЕОБХІДНОЇ ПОТУЖНОСТІ СИСТЕМИ ЗБЕРЕЖЕННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ДЛЯ СУДНА BOA SUB C	44
3.1. Загальні відомості про судно та опис особливостей ГРЩ.....	44
3.2. Розрахунок таблиці навантажень САЕС для судна BOA SUB C	
3.3. Розрахунок необхідної потужності системи збереження електроенергії для судна BOA SUB C.....	49
РОЗДІЛ 4. ТЕХНІЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ ТА АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ІНТЕГРУВАННЯ ГІБРИДНОЇ СИЛОВОЇ СИСТЕМИ НА ПРИКЛАДІ СУДНА BOA SUB C	50
4.1. Вибір та обґрунтування необхідної апаратури для гібридиза- ції судна BOA SUB C.....	53
4.2. Моделювання системи контролю збереження та розподілення	58

електроенергії у програмному забезпеченні MATLAB.....	
4.3.Розрахунок часу повернення інвестицій за умови встановлення системи збереження електроенергії на судні BOA SUB C....	64
ВИСНОВКИ	73
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	74

ВСТУП

Зовсім недавно при проектуванні та будівництві суден інженери не враховували такий параметр як енергоефективність. Тому, як наслідок, отримуємо навіть зараз судна з високими витратами палива та низькою енергоефективністю. Сьогодні власники верфі поступово додають технології, що дозволяють підвищити цей показник. Вже зараз існують системи, які завдяки впровадженню гібридних силових установок можуть зменшити витрати палива на 20% .

Багато енергії економиться за допомогою впровадженню частотно-регульованого привода до привода суднових електродвигунів, адже приблизно 80% від усіх електродвигунів на судні є приводними моторами до насосів чи вентиляторів. Це значить, що доволі легко знизити енергоспоживання насосами навіть трохи понизивши їх частоту обертання привідного електродвигуна.

Ще одна причина переваги впровадження частотно-регульованого приводу це кавітація. Плавний пуск насоса дозволяє знизити ймовірність кавітації та можливих пошкоджень крильчатки робочого колеса насоса.

Актуальність теми. Енергоефективність стає все більш важливою в промисловості з точки зору екологічних проблем та більш ефективного використання запасів палива. У зв'язку з цим відбувається масове переоснащення та модернізація електроприводів різних систем на судах, найбільш прогресивним методом є модернізація звичайних силових установок внутрішнього згорання до гібридних . Окрім вирішення безпосередньо проблеми економії електроенергії в роботі вирішено також проблему викидів у атмосферу.

Мета роботи. Дослідити ефективність модернізації силових установок внутрішнього згорання до гібридних.

Основні завдання дослідження:

- огляд існуючих способів підвищення енергоефективності;
- розробка схеми модернізації силової установки судна BOA SUB C;
- синтез системи керування розподіленням та генеруванням електроенергії гібридної силової установки;

- аналіз економічних показників використання гібридних силових установок;

Методи, засоби: в роботі використані класичні методи теорії електричних кіл, чисельні методи математичного моделювання, а також методи теорії автоматичного керування.

Робоча гіпотеза: за допомогою інтегрування систем збереження електроенергії у систему генерування електроенергії на судах можна підвищити енергоефективність судна.

Об'єкт дослідження: багатоцільове офшорне судно BOA SUB C з дизель електричною силовою установкою.

Предмет дослідження: процес ефективного використання гібридних силових установок на судах .

Матеріали дослідження доповідались на науково-методичну конференцію "Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика (SEEA-2022)".

О.О. Пащенко, В.В. Бушер «Гібридні силові установки на судах» 23.11.2022 – Одеса: НУ ОМА. – 2022.

РОЗДІЛ 1

ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ ПРОБЛЕМ З ВИКИДАМИ У АТМОСФЕРУ З КОРАБЛІВ ТА МЕТОДИ ВИРІШЕННЯ

1.1 Огляд проблем з викидами з кораблів.

Кораблі у процесі експлуатації генерують багато видів викидів, баластні та стічні води, «сіра» та «чорна» вода, розливи нафтопродуктів, сміття та викиди у атмосферу. Нажаль найбільший довгостроковий вплив на екологію спричиняють саме викиди у атмосферу. Згідно статистичних даних на морський транспорт припадає 3,5–4 % усіх викидів, пов'язаних із зміною клімату, насамперед вуглекислого газу. Перше міжсесійне засідання робочої групи ІМО з викидів парникових газів відбулося в Осло, Норвегія, 23–27 червня 2008 року. Було доручено розробити технічну базу для механізмів скорочення, які можуть стати частиною майбутнього режиму ІМО для контролю викидів парникових газів від міжнародних морських перевезень. У 2019 році міжнародні судноплавні організації, в тому числі Міжнародна палата судноплавства, запропонували створити фонд у розмірі 5 мільярдів доларів на підтримку досліджень та технологій, необхідних для скорочення викидів парникових газів.

Інший підхід до зменшення впливу викидів парникових газів від судноплавства було розпочато агентством RightShip, яке розробило Інтернет-рейтинг викидів парникових газів як систематичний спосіб порівняння викидів CO₂ з суден з рівними судами подібного розміру та типу [1]. На підставі індексу проектування енергоефективності міжнародної морської організації, який застосовується до суден, побудованих з 2013 року, рейтинг RightShip також може застосовуватися до суден, побудованих до 2013 року, що дозволяє ефективно порівнювати судна у всьому світовому флоті. Судна з вищою оцінкою можуть забезпечити значно менші викиди CO₂ протягом усієї тривалості експлуатації, а значить, вони також використовують менше палива. У світі існує сайт де можна в режимі онлайн відстежувати приблизні викиди CO₂ у атмосферу з кораблів. Ця карта комбінує данні

про розташування кораблів та коефіцієнт їх ефективності та приблизно розраховує рівень викидів у атмосферу, сама карта зображена на рис.1.1.

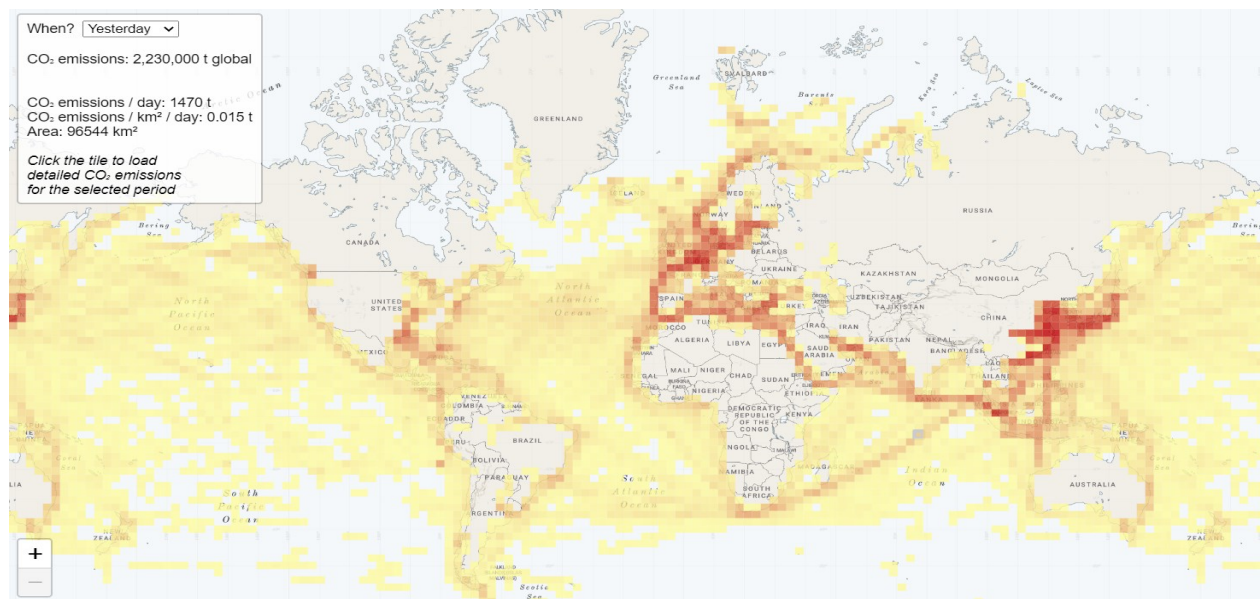


Рис. 1.1 Карта викидів вуглекислого газу з кораблів в режимі реального часу

Найважливіша міжнародна морська екологічна конвенція це - міжнародна конвенція про запобігання забрудненню з суден 1973 року зі змінами, внесеними Протоколом 1978 року, або "МАРПОЛ 73/78". МАРПОЛ – це об'єднання слів «морське середовище та забруднення» багатьма мовами та короткий спосіб позначення мети Конвенції. та 73/78 (скорочено за 1973 та 1978 роки) Він був розроблений Міжнародною морською організацією з метою мінімізації забруднення океанів і морів, включаючи скидання, забруднення нафтою та повітря. Оригінальна МАРПОЛ була підписана 17 лютого 1973 року, але не набула чинності в день підписання. Нинішня конвенція є комбінацією Конвенції 1973 року та Протоколу 1978 року, який набув чинності 2 жовтня 1983 року. Станом на січень 2018 року 156 держав є сторонами Конвенції, державами прапора яких припадає 99,42% світового тоннажу суден. Усі судна під прапором країн, які підписали MARPOL, підпадають під її вимоги, незалежно від того, де вони плавають, і країни-члени несуть відповідальність за судна, зареєстровані в їхньому національному судновому реєстрі.

Конвенція постійно розвивається і вводить нові правила та норми що до рівня викидів, та наприклад з 1 січня 2020 року застосовуються нові стандарти викидів для важкого палива, що використовується судами, згідно з положенням, відомим як ІМО 2020. Глобальне обмеження вмісту сірки (за межами SECA) знизилося з дозволених 3,5% сірки в судновому паливі до 0,5 [2]. Це значно покращить якість повітря в багатьох населених прибережних і портових районах, що у свою чергу позитивно вплине на рівень захворювань дихальних шляхів. Понад 170 країн підписали ці зміни, включаючи Сполучені Штати. Очікується, що це призведе до масштабних змін у судноплавній та нафтовій промисловості, оскільки знадобляться серйозні оновлення кораблів і збільшення виробництва палива з низьким вмістом сірки. Бункерне паливо, що використовується в зоні контролю викидів (наприклад, у Північному морі), повинно мати рівень вмісту сірки менше 0,1% (1000 частин на мільйон). За цим дуже пильно слідкують, а у портах які розташовані на берегах північного моря, вже активно використовують дрони для аналізу викидів вихлопних газів з кораблів.

ІМО працювала над забезпеченням послідовного впровадження обмеження вмісту сірки в 0,5% у своєму Комітеті з охорони морського середовища і підкомітеті із запобігання забрудненню та реагування на нього. Це призвело до розробки кількох регулятивних і практичних заходів, щоб дозволити виявити будь-яку невідповідність, наприклад, під час контролю державою порту. Для того, щоб стандарти ІМО були обов'язковими, їх спочатку має ратифікувати загальна кількість країн-членів, сукупний валовий тоннаж яких становить щонайменше 50% світового валового тоннажу, процес, який може бути тривалим. Таким чином, була запроваджена система мовчазного прийняття, згідно з якою, якщо після закінчення певного періоду від держави-члена не було заперечень, вважається, що вона погодилася з договором. Усі шість Додатків ратифіковано необхідною кількістю країн; найновішим є Додаток VI, який набрав чинності в травні 2005 року. Країна, де зареєстровано судно (державна прапора), відповідає за сертифікацію відповідності судна стандартам запобігання забрудненню MARPOL. Кожна країна, яка підписала Конвенцію, несе відповідальність за прийняття внутрішнього законодавства

для реалізації Конвенції та фактично зобов'язується дотримуватись Конвенції, додатків і відповідних законів інших країн. Одна з труднощів у впровадженні MARPOL виникає через сам міжнародний характер морського судноплавства. Країна, яку відвідує судно, може провести власну перевірку, щоб перевірити відповідність судна міжнародним стандартам, і може затримати судно, якщо виявить значну невідповідність. Якщо інциденти відбуваються за межами юрисдикції такої країни або юрисдикцію неможливо визначити, країна передає справи державам прапора відповідно до MARPOL.

У 2021 році центр стратегічних і міжнародних досліджень заявив, що уряди та лідери судноплавної галузі, такі як Maersk, Mediterranean Shipping Company та французька CMA CGM, виявили інтерес до проєктів декарбонізації. У 2021 році Європейський Союз заявив про рішучу політичну підтримку морської декарбонізації [3]. Однак станом на червень 2022 року лише 33 із них 94 (35%) великих судноплавних компаній мають чітко сформульовану мету звести викиди до нуля до 2050 року та/або взяли на себе зобов'язання щодо цілей ІМО щодо 50% скорочення викидів в 2050 році порівняно з рівнем 2008 року.

Міжнародні транспортні корпорації, які представляють понад 90% світової індустрії судноплавства, закликали ввести податок на вуглець на викиди в галузі судноплавства, щоб забезпечити фінансові стимули для впровадження нових технологій і забезпечити необхідне фінансування для досліджень і розробок.

Нещодавнє дослідження, яке показує, що за один рік одне велике судно може викидати забруднюючі речовини, що викликають рак і астму, еквівалентні викидам 50 мільйонів автомобілів. Низькоякісне бункерне паливо, яке використовують понад 100 000 вантажних суден, містить у 2 000 разів більше сірки, ніж дизельне паливо, яке використовується в автомобілях.

У міжнародних водах викиди з суден залишаються однією з найменш регульованих частин нашої глобальної транспортної системи. Паливом, що найчастіше використовується на кораблях, є важке паливо з високим вмістом сірки, це найдешевше і найбільш забруднююче паливо, і майже 100 000 кораблів у світі використовують його щодня. Судноплавство є найбільшим транспортним забруд-

нювачем у світі. Сьогодні у світі 760 мільйонів автомобілів, які щорічно викидають приблизно 78 599 тон оксидів сірки (SO_x). 100 000 суден у світі спалюють приблизно 370 мільйонів тон палива на рік, викидаючи 20 мільйонів тон оксидів сірки. Це означає, що кораблі викидають у 260 разів більше оксидів сірки, ніж весь автомобільний парк світу. Лише одне велике судно може генерувати приблизно 5200 тон забруднення оксидом сірки на рік, тобто 15 найбільших кораблів зараз викидають стільки ж SO_x, скільки 760 мільйонів автомобілів у світі.

З усіх загальносвітових викидів у повітря на судноплавство припадає 18-30 відсотків оксиду азоту та 9 % оксидів сірки. Сірка в повітрі створює кислотні дощі, які пошкоджують посіви та будівлі. Відомо, що при вдиханні сірка викликає проблеми з диханням і навіть збільшує ризик серцевого нападу. Збільшення товарообігу між країнами сприяє збільшенню кількості суден, що плавають у світовому океані, та посилює багато екологічних проблем. Найбільше викидів утворюють країни які швидко розвиваються, такі як Китай, на карті відображеній на рисунку 1 чітко видно, що найбільше викидів утворюється саме у прибережних водах Китаю. Очікується, що кількість викидів може збільшуватися разом зі збільшенням попиту на товари та розвитком світової економіка, якщо не будуть введені жорсткі вимоги по усьому світу [4].

Також уся галузь судноплавства виробляє 940 мільйонів тонн CO₂ щорічно, що становить 2,5% від світового викиду газу. Для прикладу лише одна доставка контейнеру з Китаю до Європи, виробляє приблизно 1,913 кг CO₂ на контейнер. Насправді, якби світове судноплавство було країною, воно було б шостим за величиною виробником викидів парникових газів. Тільки Сполучені Штати, Китай, Росія, Індія та Японія викидають більше вуглекислого газу, ніж світовий морський флот. Тим не менш, викиди вуглекислого газу з океанських суден у міжнародних водах наразі майже не регулюються, жорсткі правила вводяться поки що у особливих районах та прибережних водах деяких країн. Разом із CO₂, судна викидають різноманітні забруднювачі глобального потепління, включаючи сажу, оксиди азоту (NO_x) і закис азоту (N₂O). Усі ці забруднювачі також сприяють глобальній зміні клімату.

Значна кількість нерегульованих викидів з кораблів довгі роки забруднювали атмосферу Землі, але станом на 2022 рік, людство має детальний план що до зменшення кількості шкідливих викидів, та загального покращення стану атмосфери землі і попередження кліматичних змін.

1.2. Огляд існуючих методів зменшення викидів у атмосферу.

Скорочення викидів від судноплавства – справа не одного дня. Людство повинно об'єднати зусилля, щоб мінімізувати забруднення, спричинене транспортуванням. В даний час ІМО вживає заходів для запобігання змінам клімату, викликаних морськими викидами. Одним із важливих кроків, зроблених ІМО, є розробка початкової стратегії ІМО щодо викидів ПГ. У 2018 році ІМО розробила рамки для скорочення викидів парникових газів у міжнародному судноплавстві. Стратегія має дві цілі, щоб допомогти досягти температурних цілей, встановлених Паризькою угодою та зниження загальних річних викидів парникових газів морським транспортом на 50% до 2050 року порівняно з рівнем 2008 року. Поступове припинення викидів від судноплавства якомога швидше в цьому столітті. Цілі, визначені стратегією, звучать багатообіцяюче, але чи вдалося досягти їх поки, що не відомо.

Для досягнення своїх цілей ІМО працюватиме у двох напрямках, а саме:

- Зменшення викидів вуглецю на суднах за допомогою впровадження індексу енергоефективності дизайну (EEDI).
- Створення системи збору даних ІМО є одним із кроків, зроблених органом для кращого розуміння галузі судноплавства. Відповідно до системи, власники великих суден (понад 5000 тон валової місткості) повинні звітувати про споживання палива своїми суднами.

Дані, зібрані системою, допоможуть ІМО приймати рішення щодо підвищення енергоефективності та скорочення викидів парникових газів. Зібрані на практиці дані з 2019 року відіграватимуть важливу роль під час перегляду початкової стратегії ІМО щодо викидів парникових газів у 2023 році. Відстежувати

якість палива можна також за допомогою технології блокчейн. Крім того, ІМО також робить ставку на EEDI для підвищення енергоефективності в судноплавстві.

Індекс EEDI — це технічний показник, який перевіряє енергоефективність нових кораблів. Індекс енергоефективності дизайну (EEDI) для нових суден є найважливішим технічним заходом і спрямований на сприяння використанню більш енергоефективного (менш забруднюючого) обладнання та двигунів. EEDI вимагає мінімального рівня енергоефективності на милю місткості (наприклад, тонну милі) для різних типів і розмірів суден. З 1 січня 2013 року, після початкової дворічної нульової фази, новий дизайн корабля повинен відповідати еталонному рівню для свого типу судна. Рівень підвищуватиметься поступово кожні п'ять років, тому очікується, що EEDI стимулюватиме постійні інновації та технічний розвиток усіх компонентів, що впливають на паливну ефективність судна, починаючи з етапу проектування. EEDI — це механізм, що не має нормативного характеру і базується на продуктивності, який залишає промисловості вибір технологій для використання в конкретному проекті судна. Поки досягається необхідний рівень енергоефективності, проектувальники та будівельники суден можуть вільно використовувати найбільш економічно ефективні рішення для того, щоб судно відповідало нормам. EEDI надає конкретну цифру для індивідуальної конструкції судна, виражену в грамах вуглекислого газу (CO_2) на милю місткості судна (чим менше EEDI, тим енергоефективніша конструкція судна) і розраховується за формулою на основі технічних параметрів конструкції для даного корабля.

Викиди судна залежать від багатьох різних змінних, але параметри двигуна, такі як розмір, швидкість, тип навантаження, мають більш значний вплив. Наразі існує два методи розрахунку викидів, які широко використовуються у всьому світі. Перший метод, підхід зверху вниз, оцінює статистику споживання палива або статистику бункерного палива в морському полі. Дані дозволяють дослідникам оцінити середній коефіцієнт викидів. Другий метод, який називається підходом «знизу вгору», обчислює значно вищий відсоток споживання палива, ніж метод

«зверху вниз», оскільки цей підхід враховує більше параметрів, таких як встановлена потужність і робочий профіль судна. Ми досліджуємо три основні викиди, які утворюються внаслідок морських перевезень, а саме: вуглекислий газ (CO_2), оксиди сірки (SO_x) і оксиди азоту (NO_x).

CO_2 в основному залежить від кількості спаленого палива під час подорожей. Знаючи загальне споживання палива судном за один рейс, можна оцінити викиди CO_2 .

Оксиди сірки та оксиди азоту утворюються при високих температурах у процесі спалювання палива. Виробництво оксиду сірки тісно пов'язане з процентним вмістом сірки в паливі. Вміст сірки змінюється залежно від типу спалюваного палива, але в даний час загальноновживане суднове паливо містить близько 2,7% вмісту сірки.

Оксид азоту оцінити важче. Викиди можна знизити шляхом зниження максимальної температури згоряння. Рівень викидів залежить від режимів роботи, а також від характеристик двигуна.

Зараз у світі існує 2 основних плани що до декарбонізації судноплавства, перший з них представлений ІМО та полягає у поступовому зменшенні викидів кожні 5 років та зменшенню рівня викидів до 2050 року на 50% у порівнянні з рівнем 2008 року. Цей план є досить реальним за умови запровадження міжнародних вимог та стандартів [5]. Інший план був представлений екологами на Паризькій конференції, план екологів полягає у зниженні викидів світового флоту до 0 до 2050 року. Цей план є набагато амбітнішим та набагато важчим у реалізації у порівнянні з планом ІМО.

Транспортування має відповідати цільовій температурі Паризької угоди та повністю використовувати відновлювані джерела енергії з нульовим рівнем викидів до 2050 року. Підписанти цього заклику до дій твердо вірять у термінову та справедливую декарбонізацію морського ланцюга поставок до 2050 року є можливим і необхідним. Для досягнення цих амбіцій на 2030 і 2050 роки потрібні урядові дії та сприятливі політичні рамки, а саме встановлення цілі щодо нульових викидів до 2050 року на світовому рівні.

Судноплавство та морська транспортна індустрія повинні узгодити кліматичні амбіції і ціль Паризької угоди щодо температури. Країни, які виробляють понад 65 відсотків від світового рівня парникових газів і займають 70 відсотків світової економіки, а також багато компаній вже взяли на себе зобов'язання досягти вуглецевої нейтральності приблизно до середини століття. Це створює сильну і зростаюча необхідність для всіх галузей декарбонізувати свої процеси.

У 2018 році Міжнародна морська організація (ІМО) поставила перед судноплавством завдання скоротити викиди парникових газів принаймні на 50 відсотків до 2050 року порівняно з 2008 роком. Це був важливий перший крок, але, враховуючи технологічний розвиток і новітню науку про клімат, настав час чітко визначитися ціль для судноплавної галузі повністю працювати на джерелах енергії з нульовим виходом до 2050 року. Розгорнути комерційно життєздатні судна з нульовими викидами до 2030 року. До 2030 року людство повинно досягти використання щонайменше п'яти відсотків палива з нульовим рівнем викидів у міжнародному судноплаванні і мати комерційно життєздатні судна з нульовими викидами, що працюють уздовж глибоководних торговельних шляхів, за підтримки необхідна інфраструктура для масштабованих видів палива та джерел енергії з нульовими викидами включаючи виробництво, розподіл, зберігання та бункерування. Досягнення цих цілей до 2030 року вимагатиме співпраці між морською екосистемою та уряди щодо наступного:

Удосконалення технологій з нульовими викидами для забезпечення безпеки, надійності та екологічності. У той час як технології, необхідні для будівництва суден з нульовими викидами та виробництва палива з нульовими викидами і рухові системи існують, їх необхідно вдосконалювати, щоб гарантувати, що вони безпечні, чисті, і надійний. Це вимагатиме подальшого вдосконалення як судна, так і технологій виробництва палива а також створення ясності щодо безпеки, стійкості, регулювання, навчання, палива та життєвого циклу судна аналізу та наявності палива, тим самим зводячи до нуля ризику, пов'язані з інвестуванням у подібні кораблі, інфраструктура та виробництво палива.

Реалізація промислових демонстраційних проектів із залученням повного ланцюжка створення вартості. Країни повинні реалізувати демонстраційні проекти промислового масштабу, що включають повний ланцюжок відтворення технології. Такі демонстраційні проекти покажуть, що судноплавство з нульовими викидами є життєздатним у великих масштабах. Демонстраційні проекти передбачають вищі ризики та вищі витрати, і їх потрібно буде зменшити через співпрацю з приватним сектором, інноваційні бізнес-моделі та державні стимули.

Незважаючи на потенціал значного зниження вартості палива з нульовими викидами протягом наступного десятиліття, цього буде недостатньо, щоб усунути розрив конкурентоспроможності зі вичерпним паливом. Це означає, що ринок сам по собі не зможе зробити судноплавство з нульовими викидами комерційно життєздатним у необхідному масштабі. Тому до 2025 року політики повинні запровадити чіткі, ефективні та справедливі рамки політики, такі як значущі ринкові заходи, щоб зробити судноплавство з нульовими викидами комерційно життєздатним. Розкриття можливостей глобального зростання та синергії з іншими секторами, які важче зменшити. Задоволення майбутнього попиту на морські перевезення з нульовими викидами вимагатиме великих інвестицій, особливо у виробництві палива з нульовим рівнем викидів. Це створює нові можливості зростання та робочі місця – не в останню чергу у країнах, що розвиваються, і в країнах із економікою, що розвивається – це має бути розблоковано, щоб досягти справедливого переходу. Оскільки декарбонізація судноплавства є частиною глобального енергетичного переходу, також повинні працювати з іншими секторами, які важче зменшити, щоб отримати синергію, яка може прискорити перехід шляхом створення економії на масштабах.

Існує 6 основних способів зменшити викиди від транспортування:

- Перехід на більш екологічне паливо.

Перехід світового флоту на екологічні види пального, а саме аміак та водень, з часом стане світовим стандартом у будівництві кораблів, та може забезпечити виконання плану по декарбонізації флоту до 2050 року.

- Використання акумуляторів та переобладнання кораблів на гібридні силові установки.

Цей метод є найдорожчим та складним у виконання, але у той самий час є найбільш ефективним методом зменшення викидів у припортових зонах, сучасні технології накопичення електроенергії поки, що не дозволяють виконувати міжконтинентальні подорожі лише за рахунок накопиченої енергії, але технологія розвивається, та з часом це стане можливим.

- Уповільнення швидкості для зменшення викидів від транспортування.

Порівняно з іншими видами транспорту, кораблі, які рухаються на низьких швидкостях, виявилися набагато ефективнішими та менш забруднювальними — приблизно в десять разів ефективнішими, ніж вантажівки, і принаймні в сто разів ефективніше, ніж повітряний транспорт. Зі збільшенням швидкості судна велика частина ефективності втрачається [5]. Зниження середньої швидкості в морі на 12% призводить до середнього зниження щоденного споживання палива на 27%. Але не усі кораблі можуть дозволити собі таке сповільнення через специфіку вантажів.

- Мінімізація споживання палива за допомогою оптимізації подорожі та погоди.

Додаткові заходи здебільшого є короткостроковими, але можуть зменшити викиди до 5%.

- Проведення регулярних чисток корпусу, для запобігання наростання великої кількості водоростів.

Чистий корпус судна значно зменшує тертя з водою, та підвищує швидкість. Кораблі які подорожують у теплих водах швидко обростають мушлями та водоростями, що може навіть сповільнити судно на 1-2 вузли.

- Використання відновлюваної енергії для зменшення викидів.

У судноплавстві використання енергії вітру для руху може бути одним із таких видів використання відновлюваної енергії. Новітні проекти жорстких вітрил вже проходять тестові випробування на різних типах кораблів. Cargill і Wessels спробували системи повітряних зміїв. Компанії Enercon і Norsepower встановили на кораблі конструкції роторів. Загалом потенціал використання величезний.

Держави, які прагнуть скоротити викиди, скоротити забруднення та стимулювати швидкий перехід до низьковуглецевого судноплавства, в односторонньому порядку запровадили податки на викиди вуглецю та бункерні збори за споживання палива на борту суден. Маршаллові та Соломонові Острови запропонували ввести збір у розмірі 100 доларів США за тонну CO₂-еквіваленту, починаючи з 2025 року, і збільшувати щорічно або кожні п'ять років на 30% від 100%. Судноплавна компанія Trafigura запропонувала ІМО стягнути збір у розмірі від 250 до 300 доларів США за тонну CO₂-еквіваленту. Ці ринкові заходи можуть змінити вартість переходу від викопного палива в судноплавстві, зробивши низьковуглецеві технології доступними в масштабі.

Аналізуючи ці методи можна зробити висновок, що для досягнення значних успіхів у декарбонізації, необхідно використовувати комплексний підхід та використовувати різні варіанти, іноді їх навіть доцільно комбінувати. Найбільш ефективним методом є інтегрування в існуючі проекти гібридних акумуляторних систем збереження електроенергії. Цей метод є найбільш дорогим у встановленні але у довгостроковій перспективі дає змогу економити до 20 % палива при тих самих режимах роботи, що на пряму позитивно діє на зменшення викидів в атмосферу.

РОЗДІЛ 2

ОБГРУНТУВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ ОСНАЩЕННЯ КОРАБЛІВ ГІБРИДНИМИ СИДОВИМИ УСТАНОВКАМИ.

1.2 Гібридні установки

Гібридні енергетичні системи (HES) поєднують два або більше пристроїв перетворення енергії для задоволення загального кінцевого споживання енергії. Гібридна силова система — це силова система транспортного засобу з двома або більше джерелами тяги, такими як дизель, батареї та інші відновлювані джерела енергії. Використання гібридних силових установок не є новим, і вони широко використовуються в усьому світі. Існує багато застосувань для гібридних силових установок, від наземних транспортних засобів до морських суден. Гібридна гребна установка — це термін, що стосується до будь-якої силової установки та енергетичної системи для кораблів, яка може працювати за допомогою потужності дизельного двигуна, повністю електричної енергії або керованої комбінації обох. Ця гібридна система живлення дозволяє човнам, буксирам, поромам, водним таксі, рибальським флотам, плавучим будинкам, патрульним човнам, тощо працювати чисто та тихо, перебуваючи в порту чи подорожуючи густонаселеними районами, але використовувати дизельну енергію під час перебування у відкритій воді, та/або використовувати дизель-генератори для підзарядки електричних батарей [6].

Найбільш помітною перевагою гібридної морської енергетичної системи є зменшення кількості забруднювачів повітря, що утворюються, порівняно з використанням традиційних дизельних двигунів, що приводять судно у рух і живлять інші енергетичні. Однак гібридні морські електричні системи також забезпечують набагато вищу паливну ефективність, нижчі витрати на технічне обслуговування та значно тихішу роботу. Зростаюче занепокоєння щодо забруднення повітря та води, наслідків зміни клімату, вартості викопного палива та навіть збільшення занепокоєння щодо шуму призвели до більшого інтересу до альтернатив

традиційним дизельним вигунам. Особливо це стосується власників і керівників – туристичних, рибальських, офшоних компаній – які можуть отримати найбільшу вигоду від гібридної морської енергії.

Гібридні гребні установки можна розділити на 2 типи а саме паралельний та послідовний тип гібридної установки.

Послідовний гібрид – це вид гібридної гребної установки який можливо встановити лише на судно яке використовує дизель-електричний тип гребної установки шляхом встановлення системи збереження електроенергії. Пропелер може приводитися в рух електродвигуном двигуном, використовуючи електроенергію вироблену завдяки дизель-генераторам, і від акумулятора використовуючи накопичену енергію. Приклад можна побачити на рис. 2.1.

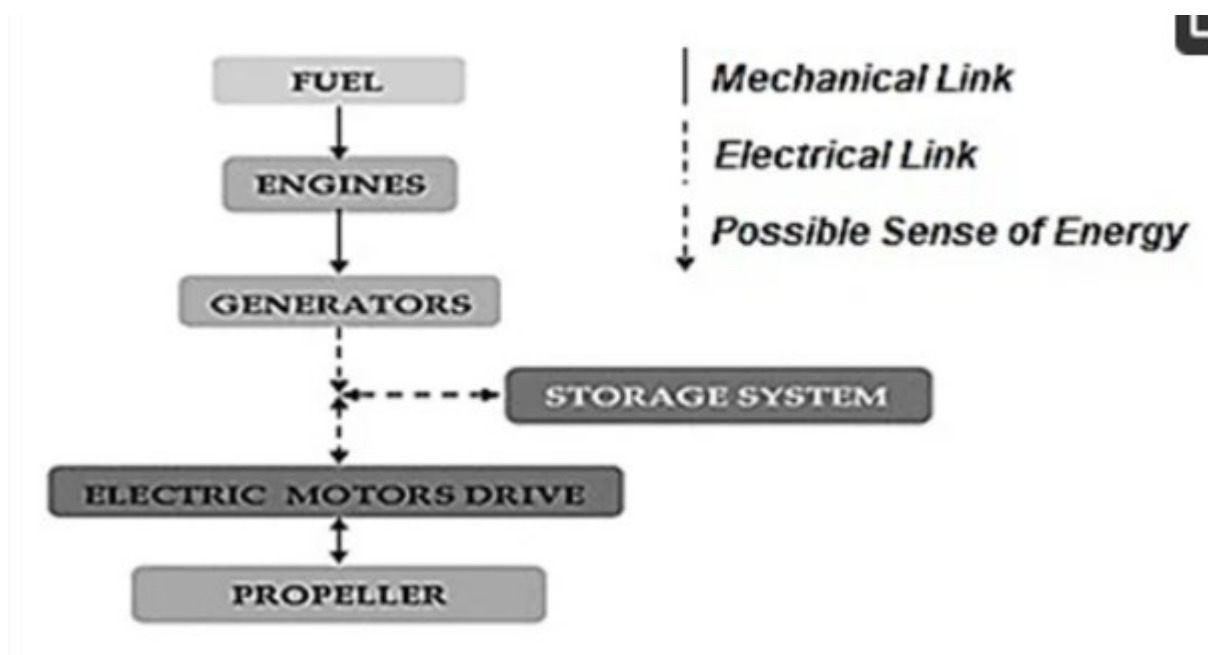


Рис. 2.1. Візуалізація принципу роботи послідовного гібрида

Паралельний гібрид — зовсім інша концепція. Як випливає з назви, існує два різних шляхи передачі, з'єднані паралельно валу. Механічний зв'язок від двигуна до коробки передач і вала зберігається. Окремий шлях передачі встановлюється від акумуляторної батареї, контролера двигуна та двигуна. Потім для підключення двигуна до гребного вала використовується пристрій розподілу потуж-

ності, залежно від системи це може бути до або після коробки передач. Блок схема принципу роботи відображена на рис. 2.2.

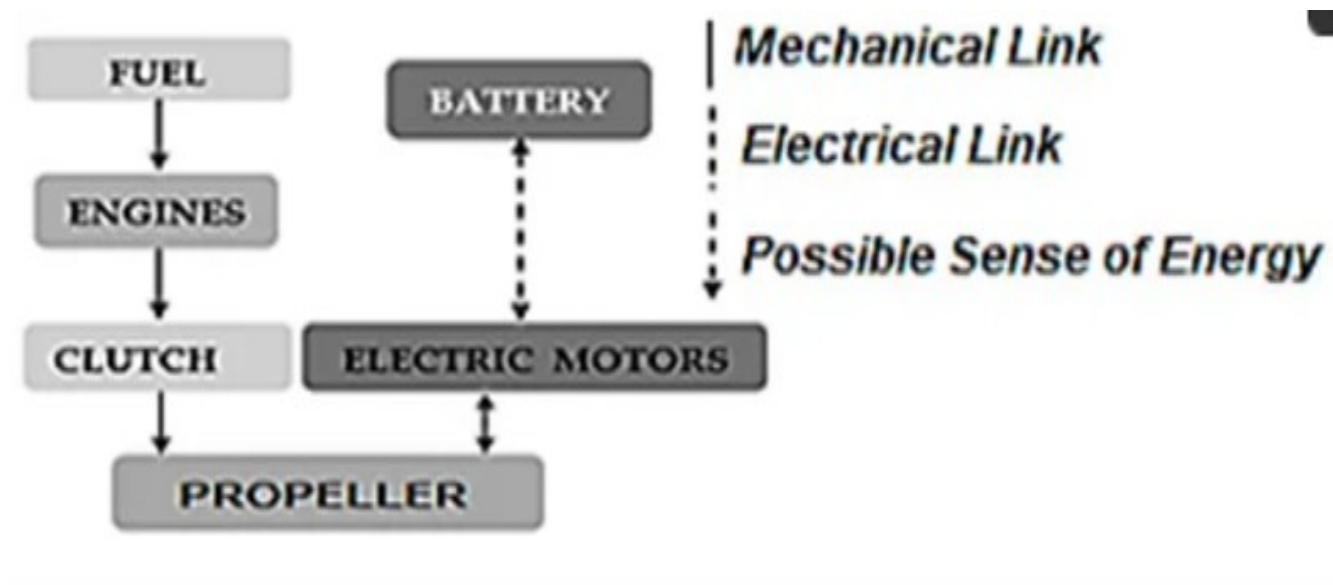


Рис 2.2.Візуалізація принципу роботи паралельного гібрида

Двигун внутрішнього згоряння та електричну систему можна використовувати незалежно, або вторинну систему можна використовувати для посилення основної системи під час перехідного навантаження та оптимізації роботи. Послідовно-паралельна конфігурація по суті є комбінацією обох конфігурацій, як зазначено вище. Це дозволяє судну працювати як з послідовною, так і з паралельною конфігураціями, таким чином успадковуючи їх переваги. Зауважте, що гібридна силова система забезпечує більшу надмірність, захист від невизначеності майбутніх витрат на паливо, страхування від посилення екологічного законодавства та зниження шуму. Гібридна пропульсія також забезпечує гнучкість конструкції, оскільки судно можна налаштувати так, щоб допомогти знайти баланс між економічними обмеженнями та екологічними перевагами. Однак гібридний двигун є більш складним і потребує вищих капітальних витрат і капіталу знань. У міру розвитку гібридної силової установки у довгостроковій перспективі може виникнути проблема з обслуговуванням і закупівлею запасних частин.

За останнє десятиліття гібридні кораблі набули популярності, оскільки власники суден прагнуть слідувати тренду декарбонізації та зменшити витрати на експлуатацію. При вдалій комбінації цих методів живлення судно отримує переваги обох методів. Для суден з динамічним розташуванням гібридна потужність особливо корисна, оскільки системи DP дають кораблю можливість утримуватися на місці, не кидаючи якір, забезпечуючи точне утримання місця розташування або рух за точним маршрутом за допомогою керованих комп'ютером двигунів [7]. Ці судна можуть працювати біля бурових установок, офшорних вітрових турбін, над дослідницькими районами, а також для морського будівництва та ремонту. Здатність працювати від 100% електроенергії зменшує викиди та запобігає проблемам із роботою генераторів із низьким навантаженням, коли вони не дуже ефективні. Зменшення вібрації від електроенергії також є більш комфортним для людей на борту, які можуть працювати, відпочивати або проводити дослідження.

Гібрид довгий час був фаворитом у порівнянні з живленням від чистого акумулятора завдяки своїй універсальності та звичності. Він універсальний у тому плані, що дозволяє кораблям зменшити витрати та викиди, зберігаючи при цьому традиційну дизельну електростанцію, з якою знайомі моряки. Але гібридна енергія відкрила двері для повністю електричних суден, і багато компаній прагнуть побудувати повністю електричні кораблі. Щоб пояснити, чому електрика не злетіла так швидко, як в інших галузях промисловості, давайте подивимося на автомобілі: відколи Tesla популяризувала електромобілі, багато автовиробників наслідували її приклад. Автомобільні компанії в усьому світі електрифікують свої лінійки, і багато виробників розкішних автомобілів, як-от Bentley, Cadillac і Mercedes, планують повністю перейти на електромобілі до 2030 року, а інші підуть їхнім прикладом пізніше. Лише нещодавно технологія двигуна та акумулятора була узгоджена, щоб зробити ці транспортні засоби можливими з правильним поєднанням потужності, ефективності та запасу ходу. У свою чергу великі контейнеровози та судна, що перетинають океан, потребують надто багато енергії, щоб працювати за допомогою сучасних електричних технологій. Високе па-

ливо має вищу щільність енергії, ніж батареї, що означає, що вони можуть подорожувати далі з однаковою кількістю місця для зберігання енергії, виділеного для паливного бака, а не для батареї чи паливного елемента. Однак електричні кораблі вже тут і швидко набувають популярності для коротких подорожей. Оскільки технологія акумуляторів продовжує вдосконалюватися, ми бачимо повністю електричні судна, такі як пороми та транспортні судна для коротких рейсів. Пороми ідеально підходять для живлення від батареї, оскільки вони, як правило, мають короткі рейси, менші за великі вантажні судна та потребують хорошої потужності для зупинки та рушання. Усунення викидів, шуму та вібрації є довгоочікуваними перевагами для пасажирів і жителів узбережжя. Маршрути поромів регулярні та постійні, тому зарядну інфраструктуру можна легко встановити та обслуговувати. Скандинавські оператори поромів лідирували в популяризації електричних і гібридних поромів. Найбільшим електричним судном, що підключається до електромережі, є Color Line Color Hybrid, пором довжиною 160 метрів, який може вмістити 2000 пасажирів і 500 автомобілів. Паром оснащений акумулятором потужністю 5 мегават, який можна зарядити на березі за годину. У Норвегії він працює тихо, без викидів, на екологічно чистій енергії.

2.2. Переобладнання кораблів зі силовою установкою внутрішнього згорання

Найбільш поширений вид двигунів на судах – це 2-х тактний дизельний двигун внутрішнього згорання, завдяки своїй конструкції він не вибагливий до видів палива, та дозволяє економити садовласникам на якості палива. Як вже було зазначено раніше, низька якість палива та висока концентрація сірки на пряму впливає на кількість шкідливих викидів у атмосферу. Найбільш негативний ефект це викликає у прибережних зонах та безпосередньо у портах, саме тому ІМО та адміністрація портів держав Євросоюзу, Австралії, США та Канади ввела чіткі обмеження на використання такого палива у своїх територіальних водах. Компанії

вимушені переходити на більш чисте дизельне паливо з низьким вмістом сірки для того щоб продовжувати працювати у територіальних водах цих країн.

Кожні 5 років вимоги стають жорсткіші, у портах Австралії станом на 2021 рік вже було введено в експлуатація перші портові буксири з нульовим рівнем викидів у атмосферу [8]. Цього ефекту вдалося досягти завдяки інтегруванню гібридних силових установок на вже існуючі проекти буксирів. У наступні 10-15 років, разом з розвитком технологій зберігання електроенергії будуть впроваджуватися більш жорсткі вимоги що до викидів у портах, є великий шанс що у 2050 році дійде до вимоги нульових викидів у прибережних водах світу. Згідно з даними оприлюдненими компанією SIEMENS приблизно 80% кораблів світового флоту мають можливість інтегрування гібридних силових установок. При переобладнанні кораблів з 2х тактними силовими установками, потрібно перш за все враховувати потужність встановлених генераторів, чи зможуть вони видавати додаткові мегавати електроенергії необхідні для гребних електромоторів. Зазвичай генератори на торговому флоту встановлюють з незначним запасом потужності, саме тому кожен випадок є індивідуальним, та потребує особливої уваги до всіх деталей. Список необхідного обладнання досить великий та унікальний для кожного проекту, але можна приблизно описати кількість обладнання, необхідного для переобладнання при мінімальній комплектації, а саме:

- Привідний електромотор та редуктор для під'єднання до гребного валу.
- Частотний перетворювач для привідного двигуна.
- Трансформатор для частотного перетворювача.
- Додатковий автоматичний вимикач для привідного двигуна.
- Додатковий автоматичний вимикач для системи зберігання електроенергії.
- Трансформатор для системи зберігання електроенергії.
- Випрямляч для системи зберігання електроенергії.
- Частотний перетворювач для системи зберігання електроенергії.
- Велика кількість сенсорів, дротів та розподільних кабінетів.

- Інтеграція нової системи контролю для генераторів яка буде працювати синхронно з системою системи зберігання електроенергії.

Загальна система управління енергією судна є найважливішою частиною гібридної системи керування. EMS збирає дані з усіх різних компонентів і запрограмована з логікою, щоб забезпечити баланс потужності, щоб завжди визначати пріоритети та діяти так, як це передбачається. EMS є сполучною ланкою між степеновою станцією судна та загальною системою керування судном, а також гібридною силовою установкою та пропульсивною установкою. EMS і постійно оновлюється і удосконалюється, щоб відповідати усім вимогам клієнтів.

На практиці далеко не всі судновласники погодяться на цей апгрейд через високу собівартість обладнання та складну роботу з інтегрування, але є шанс, що з роками вартість високоточних частотних перетворювачів значно знизиться, а привідні електромотори почнуть виробляти роботи, що значно зменшить собівартість кінцевого продукту.

Для наглядної демонстрації можна привести однолінійну схему судна BOA DEEP C, в якому в ролі головного рушія використовується гібридна силова установка, яка поєднує двигун внутрішнього згорання та привідний електромотор потужністю 3МВт. Пропульсивна установка може працювати у 3 різних режимах, а саме:

- Використання двигуна внутрішнього згорання як головного рушія.
- Використання електромотора як головного рушія.
- Використання обох синхронно працюючих двигунів одночасно.

Використання подібної конфігурації пропульсивного комплексу дозволяє досягти значного покращення у енергоефективності судна да за потреби зменшити кількість викидів у припортових зонах здійснивши перехід на використання електромоторів як головного рушія. Для повного переобладнання судна BOA DEEP C на повністю гібридний тип не вистачає лише системи збереження електроенергії. Однолінійна схема судна BOA DEEP C зображена на рис.2.3.

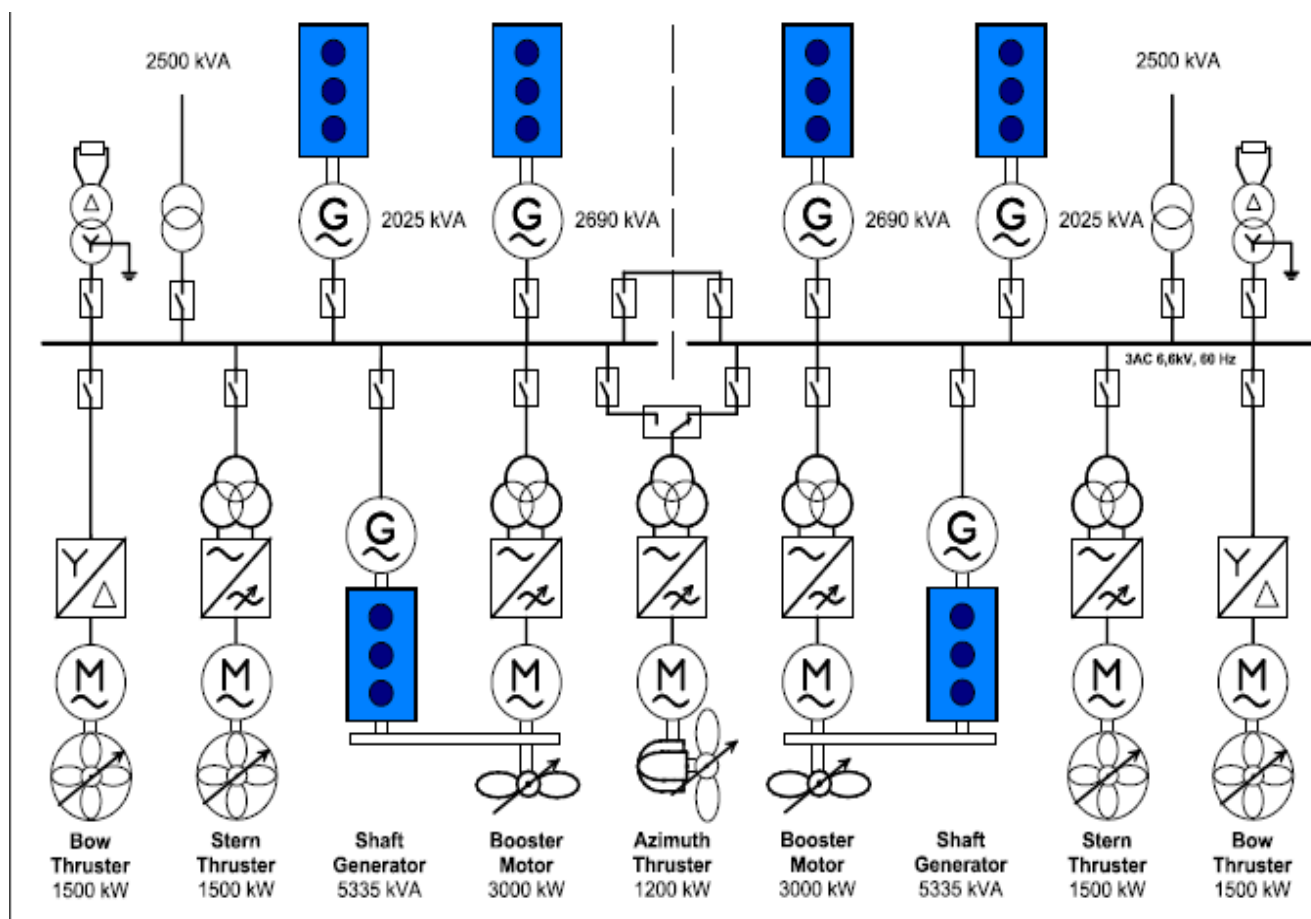


Рис. 2.3. Однолінійна схема BOA DEEP C

Цей тип конфігурації силової гребної установки був побудований ще у 2003 році, але через складність конфігурації та обслуговування не набув широкого розповсюдження у світовому флоті. Вартість обладнання необхідного для подібної системи гібридного дизель-електроходу може сягати десятків мільйонів доларів, що і є основним фактором при виборі типу гребної системи [9]. Але на даний момент, встановлення батарейних модулів та подібних гібридних гребних установок стає більш актуальним навіть для вантажних коралів, саме через впровадження більш жорстких вимог до кількості та якості викидів у територіальних водах та на території портів. Двох електродвигунів максимальною потужністю 3000кВт кожен вистачає щоб, розігнати судно BOA DEEP C дедвейтом 7900 тон до швидкості 13 вузлів у тиху походу. Боковий переріз гребної установки зображена на рис.2.4.

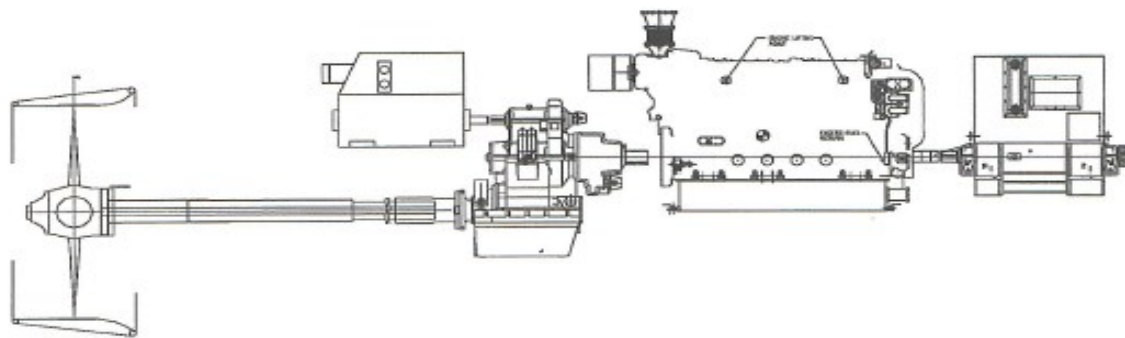


Рис. 2.4. Боковий переріз гребної установки судна BOA DEEP C

Згідно з схемою відображеною на рис.2.4 можна побачити що головний двигун також є привідним двигуном для генератора потужністю 5335кВА. Гребний електродвигун має жорстке кріплення до валу через редуктор. Дизель генератор має щеплення та за потреби може працювати лише як привідний двигун для генератора.

Переобладнання кораблів які у своїй роботі зазвичай використовують тільки 2-х тактні двигуни як основний рушій, потребує багато часу та ресурсів, та не завжди є можливим, саме тому це поки що не набуло широкого поширення. А довгострокова перспектива для судновласників знизити витрати на пальне не зможе компенсувати вартість переобладнання гребної установки за сучасною ціною. В той же час інтегрування системи збереження електроенергії для покращення режимів роботи дизель-генераторів все ще є доцільним та досить легким у виконанні рішенням. Завдяки подібному інтегруванню можна досягти зменшення робочих годин дизель-генераторів та підвищенню їх ефективності. Ціни відрізняються у кожного виробника, але загально прийнята ціна за усе обладнання— це приблизно 1000 доларів США за 1 кВт електроенергії збереженої акумуляторних агрегатах, із часом ця ціна буде знижуватися разом із зниженням світових цін на акумулятори. За умови підтримки держави при встановленні гібридних силових установок, для судновласників можливі компенсації та фінансова допомога. Наприклад уряд Норвегії запровадив державну програму де бере на себе 50 відсот-

ків витрат на встановлення батарейних агрегатів на кораблі які працюють під прапором Норвегії.

Згідно даних оприлюднених DNV у 2020 році [10], загальна кількість часу які кораблі витрачають на стоянку у порту, транзит, очікування та маневрування майже не відрізняється та не залежить від типів кораблів, графічне відображення даних у відсотковому співвідношенні відображене на рис. 2.5.

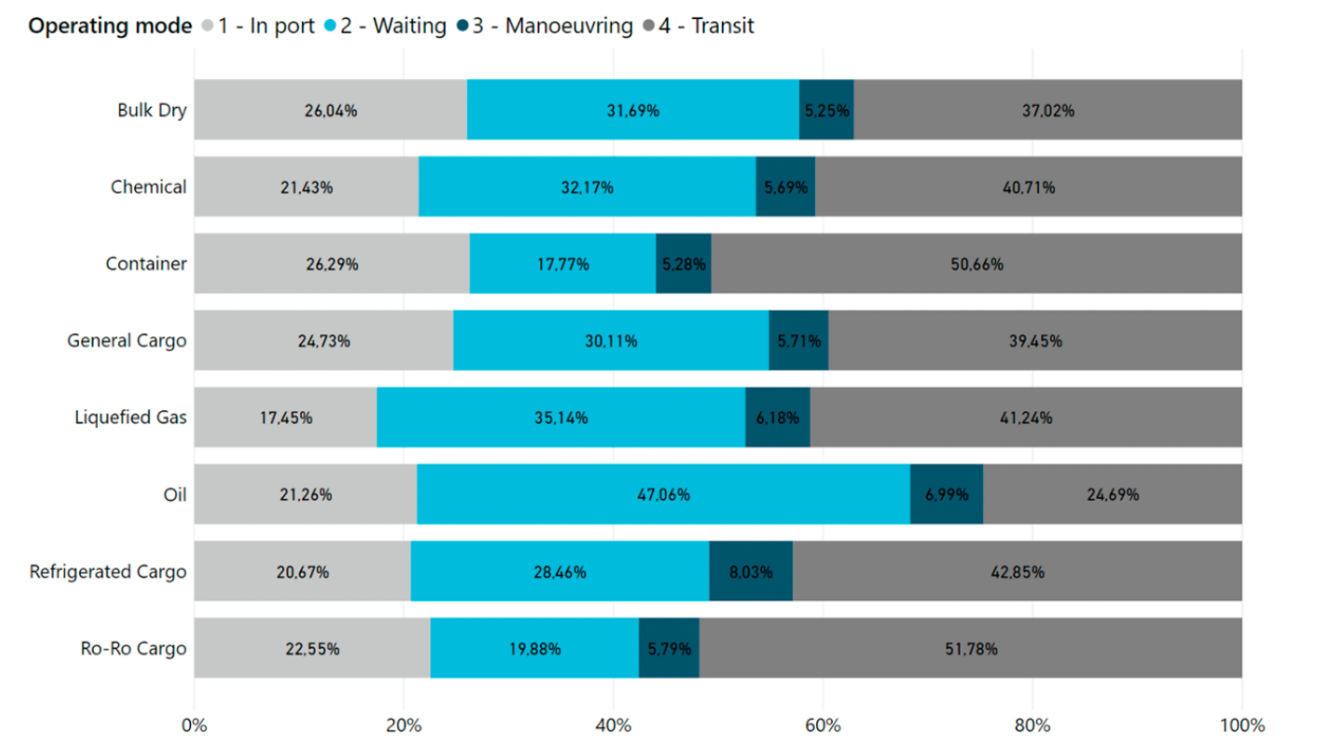


Рис. 2.5. Графічне відображення часу який кораблі витрачають на різні режими роботи

Ці данні свідчать про те, що значну кількість часу кораблі проводять у транзиті, за виключенням танкерів, які більше часу проводять в очікуванні завантаження. Під час транзиту використання батарейних систем збереження електроенергії не ефективним, тому що зазвичай транзит кораблів проходить у міжнародних водах, де не діють жорсткі вимоги що рівня викидів, і судновласники мають повне право використовувати навіть найдешевше важке паливо, та переходити на більш чисті види пального з мінімальним рівнем сірки лише у прибережних водах та у зонах портів.

З розділу можна побачити, що гібрид багато в чому залежить від типу судна, типу двигуна та способу його використання. Гібриди додають додаткові компоненти та коштують установку. Це необхідно порівняти з покращенням ефективності роботи. Є багато інших переваг, які слід враховувати, окрім економії палива. Досконало відомо, що гібридна система зменшить споживання енергії. При роботі, наприклад, на динамічному позиціонуванні, буде великий потенціал економії палива. Також у порту судно має можливість працювати лише від батареї, що значно зменшить викиди. Для екологічно чутливих районів це буде істотною перевагою. Додаткові переваги пов'язані зі зниженням витрат на технічне обслуговування машин, шуму та вібрації.

Враховуючи усе вище сказане більш реальним методом знизити викиди з вантажних кораблів які використовують тільки двигуни внутрішнього згорання у сучасних реаліях є використання альтернативних видів палива які є більш екологічними, а саме природній газ, аміак та водень. Однак використання цих видів пального також потребує переобладнання існуючих двигунів. Немає сумніву, що одне з головних питань, яке виникає у власників суден, коли вони вирішують нове будівництво чи реконструкцію, полягає в тому, який вид пального використовувати. За відсутності однозначних відповідей логічним рішенням є оснащення суден двигунами та системами, які дозволять використовувати якомога більше видів палива, без будь-яких або мінімальних модифікацій. Це підхід, який реалізується через інтегровану систему подачі газу СПГ. Ця система складається з резервуара для зберігання СПГ, технологічної системи СПГ, бункерної станції та системи контролю та безпеки, і є ключовим компонентом у рішеннях щодо використання СПГ.

Глобальна інфраструктура СПГ швидко зростає, що робить його практичним вибором палива на сьогоднішній день – особливо для суден, обладнаних двопаливними двигунами, які можуть використовувати MGO за потреби – але СПГ має додаткову перевагу в тому, що він хімічно близький до кількох запропонованих нових видів палива. Встановлення системи СПГ дає вам вибір. Синтетичний метан і LBG є метановим паливом, як і СПГ [11]. Це означає, що судно,

що працює на зрідженому природному газі, готове до використання принаймні двох нових видів палива з низьким вмістом вуглецю або вуглецево-нейтрального палива без будь-яких модифікацій. Двопаливний двигун, який може спалювати MGO, тим часом також може перейти на відновлюваний біожицель з незначною потребою або взагалі без модернізації. Ключовим компонентом цих пропозицій є широке впровадження двопаливних двигунів і СПГ: незважаючи на те, що СПГ є викопним паливом, екологічні повноваження СПГ дозволяють переконливо прочитати його в порівнянні з МГО. Викиди CO₂ зменшуються на 24%, викиди NO_x – на 87%, а викиди SO_x – на цілих 99%. Тверді частинки є незначними, і аналіз КМ показує, що переваги не лише екологічні – оператори можуть розраховувати на економію до 20%.

Аміак також лише за короткий крок. Якщо ми правильно розробимо систему СПГ, перехід на роботу з аміаком буде відносно простим. NH₃ є дуже корозійним, тому резервуари та транспортні компоненти палива повинні бути в змозі впоратися з цим. Крім того, він менш ефективний, оскільки вимагає більшого об'єму резервуару для того самого обсягу енергії, ніж СПГ, тому кораблі мають бути сконструйовані таким чином, щоб можна було легко додати більше резервуарів. Системи на основі NH₃ також вимагатимуть додаткової обробки вихлопних газів від NO_x і оксиду азоту.

Світові лідери індустрії також досліджують використання водню як у рідкій, так і в газовій фазах. Його займистість і вибухонебезпечність неминуче роблять безпеку ключовою проблемою, тому необхідна велика робота, перш ніж він буде схвалений для використання. Компанія Конгзберг вважає, що найпоширенішим використанням LH₂ буде використання у прибережних водах, для кораблів які проходять коротші маршрути, через витрати на зберігання H₂ і кількість необхідного місця. З тих самих причин LH₂ є менш привабливим варіантом для великих контейнеровозів.

Оскільки майбутнє настільки невизначене, має сенс залишатися максимально гнучким, і саме цього намагаються досягти провідні компанії світу, диверсифікуючи ризики методом запровадження одразу декількох різних технологій та

видів пального для отримання реальних даних, які допоможуть зробити правильний вибір у майбутньому. Можливо, ми побачимо ще не одну заміну нинішніх видів палива, а декілька, і може бути, що накопичена електроенергія відіграє в цьому певну роль.

2.3. Переобладнання кораблів з дизель-електричною силовою установкою змінного струму

Кораблі які використовують дизель-електричну силову установку зустрічаються набагато рідше ніж звичні кораблі з привідними двигунами внутрішнього згорання. Найчастіше подібні силові установки зустрічаються у офшорному секторі, де кораблям необхідно мати надзвичайно високу мобільність та точність у позиціонуванні. Завдяки сучасним технологіям кораблі які обладнані рушіями з електроприводом можуть підтримувати позицію з точністю від 10 сантиметрів [12]. Переобладнання таких кораблів потребує набагато менших ресурсів та має більшу ефективність у порівнянні з кораблями які використовують 2х тактні двигуни. Сучасні електроходи можуть бути обладнані системами зберігання електроенергії загальною потужністю до 10МВт. Ця енергія зазвичай використовується для:

- Згладжування пікових навантажень на генераторах.
- Підвищення швидкості реакції системи на виникаючі потреби.
- Використання у режимах очікування.
- Використання на низьких швидкостях.
- Використання у зонах з 0 викидами.
- Використання у портах без вантажних операцій.

Однолінійна схема дизель-електричної конфігурації ГРЩ на прикладі ВОА SUB C відображена на рис.2.6.

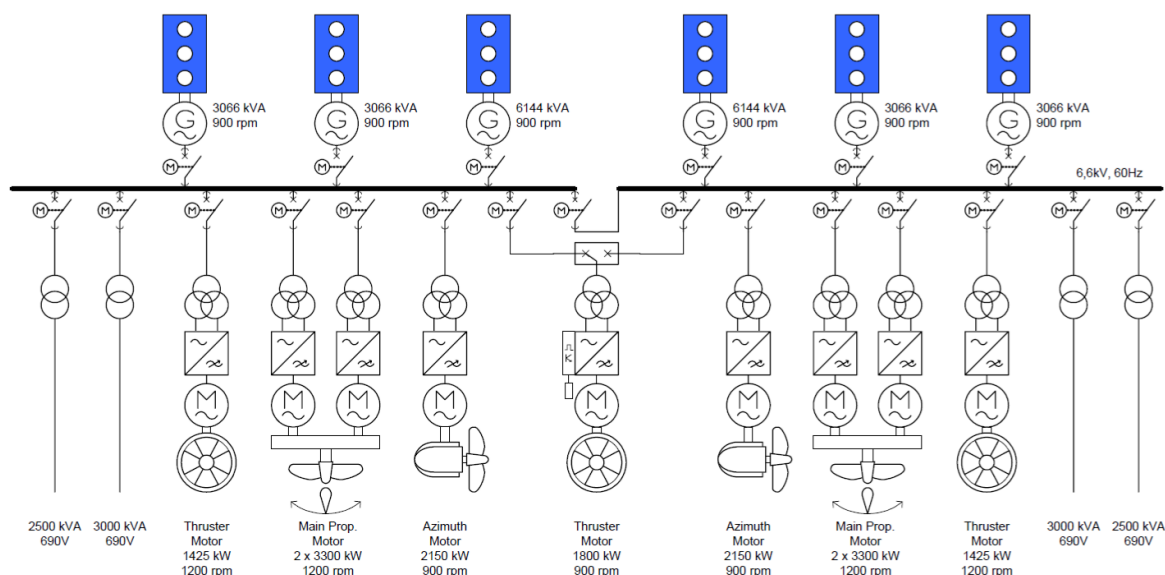


Рис. 2.6. Типова однолінійна схема дизель електричної конфігурації ГРЩ

Кораблі з подібним типом ГРЩ піддаються переобладнанню набагато легше ніж кораблі із роздільними гребними та генераторними системами. Для повного переобладнання необхідно встановити батареї, системи заряду та контролю батарей, частотні перетворювачі, у деяких випадках трансформатори додаткові секції на ГРЩ та встановити нову систему контролю за генераторними агрегатами, яка буде контролювати усі процеси в енергетичній системі. Батареї можливо під'єднати до ГРЩ, або до пропульсивного комплексу якщо дозволяє місце та конфігурація, але як показує практика в системах які використовують змінний струм акумуляторні батареї під'єднують до ГРЩ.

Найбільшої ефективності системи можна досягти під час використання у режимах очікування та режимі згладжування пікових навантажень. Для прикладу можна привести роботу судна яке обслуговує бурові платформи. Більшу частину часу судно чекає у морі на запит вантажу який вони привезли для бурової установки. Більшість часу судно стоїть на відстані від 550 до 1100 метрів від бурової платформи та підтримує свою позицію використовуючи підрулюючі пристрої. Майже усі кораблі офшорного флоту спроектовані з надмірним запасом по потужності, через жорсткі вимоги реєстрів та клієнтів до рівня безпеки. Саме тому більшість часу одночасно працює 2 паралельних генератори з навантаженням 35-

55 відсотків, що не є дуже ефективним. Згідно технічної документації двигунів які використовують як привідні двигуни для генераторів найбільш ефективним є використання на межі 75-85 відсотків від максимальної потужності двигуна. При цьому навантаженні кількість палива у співвідношенні до кількості згенерованої електроенергії буде найбільш ефективною та кількість викидів при стабільній роботі двигуна буде мінімальною. За для забезпечення подібного результату зазвичай використовують один генератор та систему збереження електроенергії які працюють в паралелі, у системі на програмному рівні задається ліміт при якому повинен працювати генератор, зазвичай 75-85%, а усі інші потреби буде покривати система збереження електроенергії. Таким чином вдається досягти значної економії робочих-годин генераторів, зменшити кількість викидів та підвищити ефективність системи не нехтуючи загальним рівнем безпеки.

Фундаментальні властивості технології літєвих батарей підтримують гнучкість системи живлення та пояснюють, чому дизель-електричні гібридні судна спостерігають таке зростання та інтерес. Здатність літій-іонної батареї циклічно заряджатися та розряджатися може здатися тривіальною дією, але ця властивість повністю змінює динаміку системи живлення. Якщо взяти до уваги швидкість реагування акумуляторної технології на потреби в електроенергії та доступність цієї енергії без необхідності запускати дизель генератори, переваги акумуляторної технології стають очевидними. Під час проектування використовують правило, щоб сумарна потужність батарей була рівна або перевищувала потужність встановленого генератора який найчастіше використовують при роботі.

. Робота в режимі динамічного позиціонування (DP) є одним із режимів роботи, який пропонує значний потенціал, коли батареї можна використовувати для зменшення кількості необхідних генераторів і покращення навантаження на генератори, які працюють. Незважаючи на те, що технології акумуляторних батарей існують протягом значного періоду часу, капітальні витрати, пов'язані з акумуляторними системами, різко впали за останнє десятиліття в результаті широкого розгортання, особливо на автомобільному ринку. Це скорочення витрат перейшло

на морський ринок, роблячи інтеграцію акумуляторних систем на судна дедалі привабливішою.

Підсумовуючи, інтеграція дизель-електричних гібридних енергетичних систем може принести економічні та екологічні вигоди для експлуатації широкого спектру суден. Однак важливо визнати, що це залежить від типу судна та експлуатації судна, де океанські вантажні або балкерні судна навряд чи принесуть значну економічну чи екологічну економію [13]. Загалом, найбільша вигода доступна для суден, які демонструють значні варіації у потребах у потужності, і особливо тих, які працюють протягом значної частини свого робочого часу з генераторними установками з низьким навантаженням. Це може стосуватися широкого спектру суден, таких як OSV, PSV, прибережні пороми, круїзні судна та буксири.

Гнучкість, інтеграція та цифровізація є життєво важливими для забезпечення перспективних рішень для світового флоту. Дозволяючи легке впровадження ряду потенційних нових видів палива, бездоганну інтеграцію гібридних рішень і повний контроль і моніторинг усіх бортових систем, власники суден можуть бути впевнені, що вони максимально підготовлені сьогодні до контейнерного виклику завтрашнього дня.

2.4. Переобладнання кораблів з дизель-електричною силовою установкою постійного струму

Найкращим варіантом з точки зору ефективності системи є дизельний електро гібрид у поєднанні з системою розподілу постійного струму (DC). При такій конфігурації втрати на перетворення електроенергії мінімальні. Хоча можливо поєднати батарею з системою розподілу змінного струму, у цьому випадку необхідно враховувати ефективність зарядного пристрою акумулятора та частотного перетворювача, а отже, економія палива та викидів є більшою для систем розподілу постійного струму. Однак слід зазначити, що дизельні електричні гібридні системи не слід вважати ідеальним засобом для скорочення викидів – переваги значною мірою залежать від типу судна та застосування, для якого воно ви-

користовується, хоча при застосуванні до судна правильного типу переваги очевидні

Ця система використовується здебільшого на електроходах, для економії при будівництві та експлуатації. Загалом, прогрес у технології силової електроніки керував розвиток суден у напрямку гібридних систем живлення AC/DC і повного постійного струму. Звичайно, що відкриває нові проблеми стабільності потужності та напруги, гармонічного забруднення та якості електроенергії в енергетичних системах морських суден. Роль систем зберігання енергії, включення відновлюваних джерел енергії і робота без викидів є особливо важливими при проектуванні сучасних суднових енергетичних систем. Загалом, електричне навантаження сучасних суден постійно зростає. Електро енергосистема повинна оперативно реагувати на будь-які зміни в експлуатації, судно повинно бути надійним і мати високий рівень живучості. З економічної точки зору витрата палива має бути ефективним, оскільки безпосередньо означає мінімізацію витрат на паливо та викидів забруднюючих речовин.

Суднову мережу постійного струму можна розглядати як розширення кількох ланок постійного струму, які є невід'ємною частиною перетворювачів частоти в пропульсивних і підрулюючих приводах суден. Оскільки ці системи складають понад 80% споживаної електроенергії Для суден з електричними двигунами ідея полягала в тому, щоб об'єднати всі ланки постійного струму в загальну шину постійного струму. Ця нова концепція зберігає більшість звичних компонентів, таких як генератори змінного струму, інверторні модулі, двигуни змінного струму тощо, але головний розподільний щит змінного струму та трансформатори більше не використовуються.

У мережі змінного струму використовується перетворювач частоти, що складається з випрямляча та інвертора для керування швидкістю асинхронного або синхронного двигуна. Змінна напруга спочатку перетворюється на постійну в випрямлячі, а потім інвертується назад до змінного струму. У випадку мережі постійного струму на стороні двигуна потрібен лише інвертор потім випрямляч переміщується на вихід синхронного генератора. Це означає, що незалежно від сис-

теми розподілу потрібні обидва силові електронні пристрої, але в концепції постійного струму змінилося розташування випрямлячів. Хоча тягові трансформатори не використовуються, трансформатори ВН/НН збережені для мереж низької напруги і живляться через інвертори, розташовані на загальній шині постійного струму. Силові трансформатори важчі, ніж DC/DC перетворювачі, але мають більшу ККД ($> 98\%$), вимагають менше обслуговування та їх ціновий діапазон значно нижчий. Крім того, їх індуктивність покращує якість електроенергії та пригнічує високий рівень гармонік. Однолінійна схема ГРЩ постійного струму відома на рис.2.7.

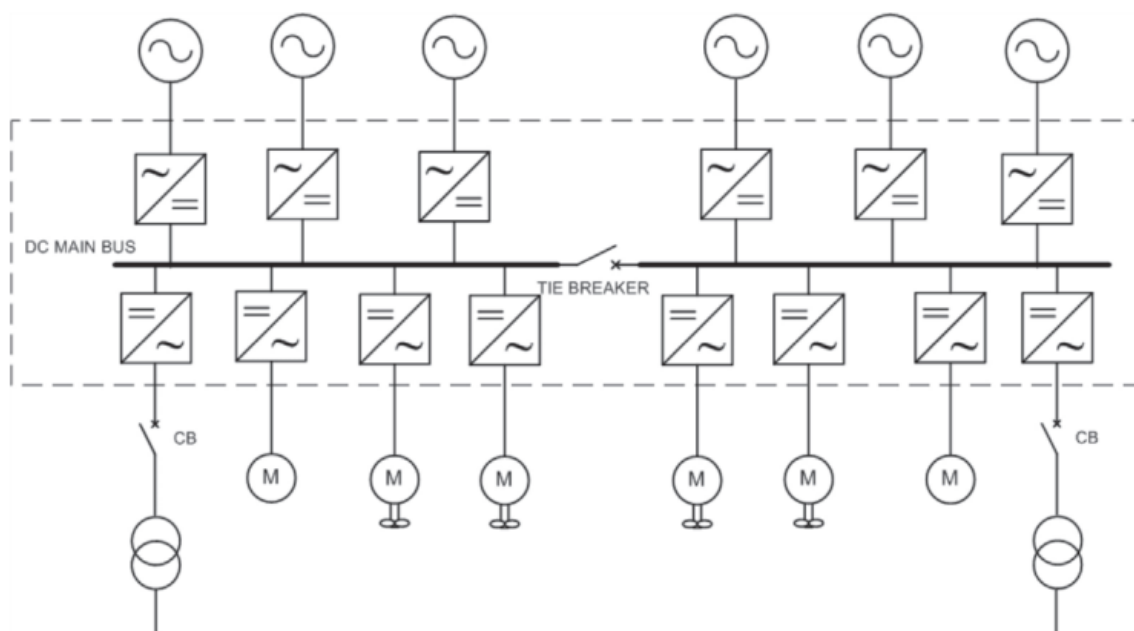


Рис.2.7. Однолінійна схема ГРЩ постійного струму

Однією з причин переваги системи змінного струму над системою постійного струму є використання трансформатора, який може зміщувати рівень напруги вгору або вниз, залежно від співвідношення витків первинної та вторинної котушок. Проте, починаючи з середини 20-го століття швидкий розвиток сучасної силової електроніки сьогодні прокладає до суднових систем живлення постійного струму з таких причин:

- Підвищення ефективності двигуна та зниження витрат на паливо,
- Економія ваги та місця,

- Генератори, що працюють з одиничним коефіцієнтом потужності,
- Менші втрати при передачі,
- Швидше та простіше паралельне підключення генераторів,
- Простіша реалізація накопичення енергії.

У системах живлення змінного струму первинні двигуни підключаються до генераторів із фіксованою швидкістю щоб підтримувати задану частоту енергосистеми (50/60 Гц) у допустимих межах. Оскільки швидкості двигунів є фіксованими завдяки частотному регулюванню, завантаження кожен основний двигун визначає свою паливну ефективність у термінах кількості палива на вироблену кількість корисної енергії - Питома витрата дизелю (SFOC) у г/кВт·год. Графік порівняння використання пального двигунами постійної швидкості та змінної відображено на рис.2.8.

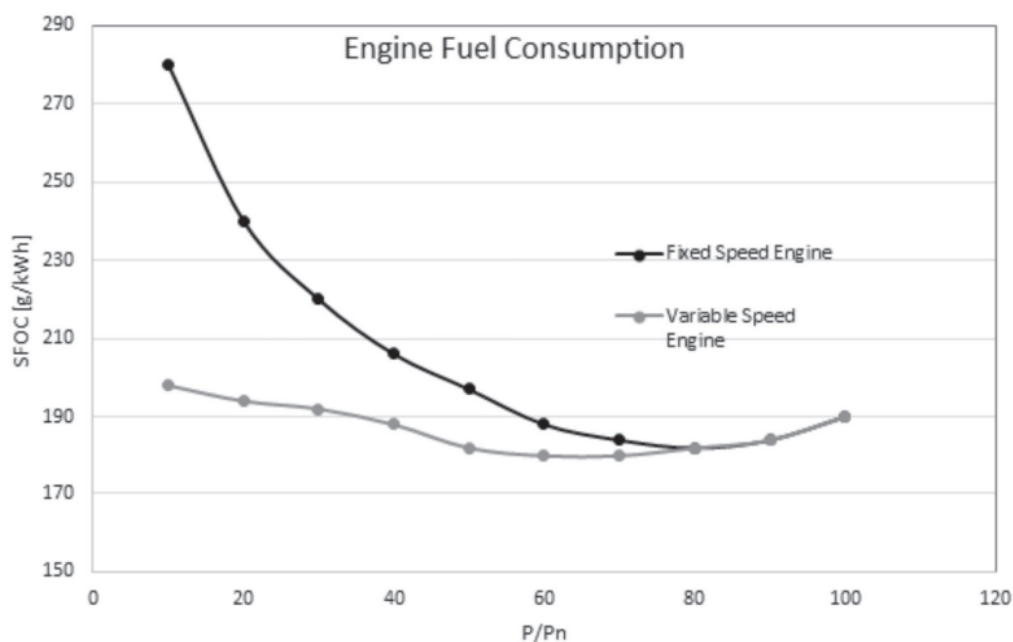


Рис.2.8 Графік ефективності різних типів двигунів

Аналізуючи данні можна чітко виділити відмінності у кількості споживання пального між двигунами постійної швидкості та змінної. У цьому випадку використання двигунів змінної швидкості у системах постійного струму приводить до значно ефективнішого використання пального на низьких завантаженнях. Це може бути дуже вигідно для суден DP, де навантаження увесь час динамічно змінюється, та як правило не перевищує 40-50% від потужності генераторів, та кількість

онлайн-генераторів перевищує реальну потребу з міркувань безпеки. Ця гнучкість пропонує покращення ефективності з боку генерації, а також кардинально змінює загальну систему розподілу на судні в цілому [13].

Вже очевидно, що все більше і більше обладнання на борту кораблів є електричним, і майбутнє морської промисловості рухається до повністю електричних кораблів. Підтвердженням є той факт, що потреба в електроенергії на борту судна продовжується збільшитися, а в деяких випадках навіть перевищує 100 МВт. Це означає, що дослідження та розробки енергетичних систем триватимуть швидкими темпами, щоб задовольнити постійно зростаючий попит на електроенергію. Незважаючи на те, що концепція постійного струму має багато переваг, ця нова технологія створює проблеми, які необхідно швидко вирішити. Вже відомо, що для деяких судин з характерними експлуатаційними профілями системи постійного струму найближчим часом не будуть оптимальним рішенням. На інших типах суден, перехід від змінного струму до постійного буде відбуватися поступово через гібридні рішення, які будуть одночасно містити головну шину змінного струму та головну шину постійного струму [14]. Вибір між судновою системою живлення змінного або постійного струму буде сильно залежати на наявні технології та різні компоненти, які розроблені різними виробниками. Удосконалення технології зберігання енергії та технології автоматичних вимикачів постійного струму можуть схилити терези на користь систем постійного струму.

РОЗДІЛ 3

РОЗРАХУНОК НЕОБХІДНОЇ ПОТУЖНОСТІ СИСТЕМИ ЗБЕРЕЖЕННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ДЛЯ СУДНА BOA SUB C.

3.1. Загальні відомості про судно та опис особливостей ГРЩ

Зовнішній вид судна BOA SUB C показаний на рис. 3.1.



Рис.3.1. Зовнішній вигляд судна

Назва.....	BOA SUB C
ІМО.....	927 51 53
Call Sign.....	LAGE8
Тип.....	Offshore Construction Vessel
Рік будівництва.....	2007
Місце будівництва.....	Vigo, Spain
Dynamic Positioning System	

Kongsberg Simrad SPD-21/SDP11, (IMO DP Class III). Including flexible lay software upgrade

Головні розміри

Загальна довжина.....138.5 m

Ширина30.6 m

Максимальна осадка8.9 m

Літня осадка..... 8.77 m

Тоннаж

Gross Tonnage16,562

Net Tonnage4,969

Машинне відділення та пропульсивна установка

Генераторний агрегат

2 x 5,760 kW

4 x 2,880 kW

Сумарна потужність 23,040 kW

Аварійний генератор 1 x 915 kW

Пропульсивна установка складається з 2 електричних моторів 2 x 3.300 kW на кожну сторону, які з'єднані на один вал

Пропелери2 x Scana Volda 1440/1441

Діаметр пропелера4.4 m

Рульовий пристрій2 x Ulstein Hinze Rudders HLR-S 2700

Підрулюючі пристрої

Носові підрулюючі пристрої

Тунельний підрулюючий механізмBrunvoll 1 x 800 kW

Комбінований підрулюючий механізмBrunvoll 1 x 2,150 kW

Азимутальний підрулюючий механізм..... Brunvoll 1 x 2,150 kW

Кормові підрулюючі пристрої

Тунельні підрулюючі механізми2 x Brunvoll 1,425 kW

Продуктивність

Звичайна швидкість12.5 вузлів

Максимальна швидкість	17 вузлів
Споживання у порту	3 м3 /день
Споживання на економічній швидкості.	25 м3 /день
Споживання у режимі DP.	17 м3 /день
Тип палива.....	MDO
Тяга	220 тон

Палуба

Вільне місце на палубі	2,004 м2
------------------------------	----------

Головний кран

Максимальна вантажопідйомність	400 т
Максимальна робоча глибина	3,000 м
Максимальний робочий радіус	42 м
Максимальні висота крюка над палубою.....	53 м
Moop Pool	7.20 m x 7.20 m

Якірне та буксирвальне обладнання

1 барабан на 600 тон з місткістю 3500м

2 барабани по 500 тон місткістю 3500 м

Горизонтальна карусель - Блок зберігання продукту з вантажопідйомністю 2500 т

ROV Operations - Судно має два ангари ROV, 1 сб. сторона та 1 сторона порту.

Обидва ROV є проектом Oceaneering Millennium Plus потужністю до 3000 м глибини води.

Вертолітний майданчик спроектований під..... Super Puma EC225

Обладнання для пошуку та евакуації відповідно до вимог держави прапора та Solas.

2 рятувальних плотів, кожен з яких вміщує 105 чоловік

Човен MOB 1

6.6кВ, це дозволяє зекономити на кабелях живлення віддалених споживачів та в цілому зменшити розміри ГРЩ. Усі рушії судна приводяться у рух завдяки частотним перетворювачам, перед кожним частотним перетворювачем стоїть трансформатор, який зменшує напругу з 6.6кВ до 720В. Використання частотних перетворювачів, дозволяє досягти максимальної точності у динамічному позиціонування судна, точність яку можна досягти складає від 20см. До кожної ГРЩ підключені по 2 підрулюючих пристрої та 1 пропульсивний агрегат який складається з 2 електромоторів з'єднаних на один вал через коробку передач. Перший підрулюючий пристрій під'єднаний до обох сторін розподільного щита.

Живлення частотних перетворювачів тягової лебідки постійним струмом відбувається з частотних перетворювачів пропульсивного комплексу.

Напруга 690В використовується для живлення великих електромоторів гідравліки крана та гідравліки палубних систем. 2 трансформатори Т3 та Т4 перетворюють 6.6кВ у 690В.

Основним видом напруги для живлення електромоторів на судні є 440В, трансформатори Т1 та Т2 забезпечують живленням розподільні щити з обох сторін ГРЩ. У випадку коли судно стоїть на причалі або у аварійному режимі живлення розподільного щита 440В відбувається на пряму з аварійного/стояночного генератора. Якщо судно піде на холодний відстій на причалі можна підключити живлення з берега.

Трансформатори Т5,Т6 — аварійні, Т7 та Т8 забезпечують живлення розподільних щитів на 220В

Однолінійна схема ГРЩ відображена у додатку А.

3.2. Розрахунок таблиці навантажень САЕС для судна BOA SUB C

При проектуванні САЕЕС і досі використовують табличний метод підрахунку навантажень на систему при різних режимах роботи, розрахунок системи з урахуванням особливостей судна при 7 різних режимах роботи САЕЕС було проведено та відображено у додатку Б.

Вибір генераторів на конфігурації САЕЕС повністю відповідає правилам реєстру та забезпечує надійну роботу усіх систем на судні під час виконання різних проектів.

Для судна BOA SUB C було зроблено рішення використовувати 6 дизель генераторів, 1 стояночний дизель-генератор який по сумісництву є також аварійним дизель генератором. Генератори для ДГ 2 різних типів та потужностей на 2880 кВт та 5760 кВт, для АДГ на 980 кВт.

Така складна конфігурація СЕЕС обумовлена спеціалізацією судна, офшорне багатофункціональне судно повинно відповідати усім вимогам що до забезпечення максимальної безпеки моряків, клієнтів та усього обладнання як на палубі так і на морському дні де ведуться роботи роботами та кранами. 2 крани можуть працювати у режимі синхронізації, для досягнення максимально безпечного та акуратного виконання роботи.

Аналізуючи розрахунки, можна зробити висновок, що обладнання яке використовується на борту підібране дуже ретельно. Що під час ідеальних робочих умов, дозволяє судну використовувати дизельні генератори на оптимальних режимах роботи. Але на практиці іноді виходить так, що двигуни працюють на 25-40% від своєї номінальної потужності, що приводить до не ефективного використання енергоресурсів та збільшення викидів у атмосферу. Саме тому доцільним рішенням є встановлення системи збереження електроенергії для забезпечення оптимальних режимів роботи дизель генераторів, що в свою чергу приведе до зменшення споживання пального та зменшення викидів.

Розрахунок режимів роботи САЕЕС відображений у додатку Б.

3.3. Розрахунок необхідної потужності системи збереження електроенергії для судна BOA SUB C.

Для переобладнання існуючої CAEES до гібридної необхідно врахувати усі необхідні параметри, та режими в яких система буде працювати. Маючи доступ до системи моніторингу генерації та споживання електроенергії можна отримати реальні данні споживання електроенергії у різних режимах роботи. Зазвичай акумуляторні батареї підключені до ГРЩ встановлюють на судах для використання у трьох основних режимах, а саме:

- для стабілізації роботи дизель генераторів за протидії піковим навантаженням у системі.
- для економії палива та робочих годин генераторів під час стоянки в порту в морі без операцій.

Гібридні установки почали масово додавати до правил реєстрів різних класифікаційні товариств у 2012 році. Завдяки стандартизації вимог до встановлення та обслуговування обладнання можна бути впевненими у надійності подібних систем на судах. Розрахунок необхідної потужності акумуляторного обладнання на судах при різних режимах роботи виконується відштовхуючись від розрахунків необхідної потужності CAEES яка відображена у додатку Б , з урахуванням усіх вимог реєстру та судновласника. Для судна BOA SUB C ці вимоги можуть бути наступні:

- у режимі очікування у морі, для найбільш ефективного використання пального, необхідно використовувати 1 генератор з навантаженням 75-85% від номінальної потужності, а усі інші потреби гасити за рахунок електроенергії накопиченої у батареях.
- під час стоянки у порту, для мінімізації годин роботи двигунів та зменшення викидів, необхідно мати можливість забезпечити живлення судна лише за рахунок батарей, та вминати дизель генератори лише для підзарядки.
- під час повного знеструмлення у морі біля бурової платформи, судно повинно мати можливість відійти на безпечну відстань лише завдяки електроенергії накопиченій у батареях.

У випадку з судном BOA SUB C необхідно провести досить точні розрахунки через специфічні вимоги реєстрів до кораблів такого класу. Згідно розрахунків приведених у додатку Б та характеристик судна приведених у розділі 3.1 можна підрахувати, що для живлення гребної установки необхідно 40 кВт електроенергії для моторів гідравліки рульового механізму, 40 кВт електроенергії для системи охолодження гребних електромоторів та обладнання пов'язаного з ним та приблизно 4500кВт електроенергії для живлення привідних моторів, за умови роботи одного мотору з кожного боку при потужності до 75% від номінальної. Додатково необхідно подати живлення на усе аварійне освітлення що споживає загально 17 кВт та врахувати втрати при перетворенні електроенергії. Розрахунки провозяться з урахуванням того, що усе обладнання для контролю та керування судном має свої особисті елементи живлення які дозволяють працювати до 4 годин при повній відсутності живлення на кораблі. Враховуючи клас та тип судна а саме DP3, під час важливих та небезпечних операцій усі роботи виконуються з відкритим між секційним автоматичним вимикачем, що забезпечує надійність навіть у випадку повної втрати одної із сторін. Саме тому система збереження електроенергії повинна бути встановлена з обох сторін, для збереження права виконувати роботи класу DP3. Враховуючи вище сказане, мінімальна потужність яка буде необхідна судну для того щоб відійти від бурової платформи у випадку повного знеструмлення буде складати 2300кВт електроенергії для кожної сторони, без урахування втрат у мережі та додаткових споживачів. Витрати при перетворенні та транспортуванні електроенергії від батарейних агрегатів до гребної установки можуть складати ще приблизно 3-5%.

Якщо взяти у розрахунок вимогу що до автономної роботи гребної установки під час повного знеструмлення судна протягом мінімум 15 хвилин від акумуляторних агрегатів, можна вирахувати мінімальну необхідну потужність системи збереження електроенергії.

$$2300\text{кВт} \cdot 0.25\text{год} = 575\text{кВт} \cdot \text{год}$$

З урахуванням втрат при перетворення та транспортуванні електроенергії мінімальна потужність повинна складати не менше ніж 600 кВт*год. Розрахункові

данні ідеально збігаються з системою збереження електроенергії від компанії SIEMENS. Цю потужність теоретично може забезпечити 1 система на 10 модулів, але для підвищення ефективності та продовження часу експлуатації системи збереження електроенергії важливо не допускати розряд батарей до 0. Доцільним рішенням у цьому випадку буде встановлення 2 систем для кожної сторони розподільного щита. Таким чином можна досягти надійності та підвищити час автономної роботи судна при повному знеструмленні. Потужності 1200кВт*год для кожної сторони розподільного щита вистачить для усіх потреб судна при різноманітних режимах роботи. Сумарна потужність встановленої системи збереження буде складати 2400кВт*год.

На практиці переобладнання кораблів такого розміру та потужності, через складність та високу вартість обладнання, проводиться не часто. Станом на 2022 рік обладнано усього 50 кораблів офшорного флоту батарейними агрегатами різної потужності. Найбільшим подібним проектом є багатоцільове офшорне судно EDDA Freya, яка була обладнана батарейними агрегатами компанії Siemens ще у 2016 році, саме на початку кризи у офшорному секторі [16]. Однолінійна схема головного розподільного щита та потужність встановлених батарей є конфіденційною інформацією, але згідно інформації з відкритого доступу завдяки гібридизації вдалося досягти скорочення витрат пального на 15-20%, що є досить значним досягненням для судна з загальною потужністю генераторних агрегатів 17096кВт.

Однолінійна схема ГРЩ з урахуванням встановлених батарей відображена у додатку В.

РОЗДІЛ 4.

ТЕХНІЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ ТА АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ІНТЕГРУВАННЯ ГІБРИДНОЇ СИЛОВОЇ СИСТЕМИ НА ПРИКЛАДІ СУДНА BOA SUB C

4.1. Вибір та обґрунтування необхідної апаратури для гібридизації судна BOA SUB C.

Станом на 2022 рік на ринку представлені готові рішення по гібридизації від багатьох компаній, найвідоміші з них Siemens, Kongsberg, ABB та Wartsila. Усі ці компанії використовують батареї різних форматів починаючи з 18650 і до 42120, зібрану у модулі технологією контактного зварювання [17]. На судні BOA SUB C – генератори, головний розподільний щит, обладнання контролю та керування енергоустановкою зроблені компанією Siemens, тож для вдалого інтегрування нової системи, доцільним рішенням буде використати систему тієї ж фірми. При інтегруванні нових систем на вже існуючі кораблі частою проблемою є відсутність місця для нового обладнання, часто доводиться чимось жертвувати заради встановлення нової апаратури. Саме при встановленні габаритних модулів збереження електроенергії ця проблема постає особливо гостро. Одна збірна батарея має потужність 6.6 кВт*год, розміри 400мм*800мм*135мм, вагу 57 кілограмів та видає 100 вольт постійного струму . Зовнішній збірної батареї зображений на рис 4.1.



Рис 4.1. – Зовнішній збірної батареї

У свою чергу батареї збираються у секції, в одній секції розташовується 9 батарейних агрегатів, автоматичний вимикач та система охолодження. Така секція

вже видає 900 вольт постійного струму та має потужність 60 кВт*год. Вага такої секції складає 800 кілограмів, зовнішній вигляд представлений на рис 4.2.



Рисунок 4.2. Зовнішній вигляд акумуляторної секції

В свою чергу секції складаються у системи, зазвичай в системі може входити до 10 акумуляторних секцій та додаткова секція охолодження та контролю. Така система вже може видавати 600 кВт*год електроенергії. Креслення системи відображено на рис 4.3.

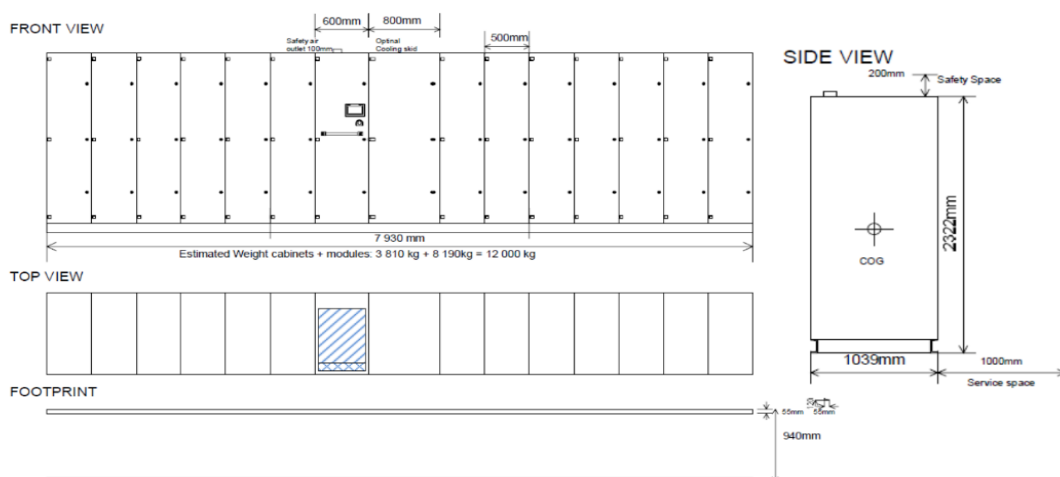


Рис 4.3. Креслення системи збереження електроенергії

У випадку з судном BOA SUB C необхідно встановити по 20 секцій батарейних модулів на кожен борт. Розмір акумуляторної секції складає 500*1039*2322, де 500мм це ширина, 1039мм глибина, а 2322мм це висота. Згідно

розрахунків, площа яку потребують акумуляторні батареї складає 15 метрів квадратних для кожної сторони. 30 квадратних метрів вільного простору не завжди вдасться знайти на кораблях офшорного флоту, але для багатоцільового судна довжиною 138 метрів та шириною 30 метрів це не проблема. На судні є 6 величезних приміщень для зберігання ланцюгів які використовуються під час роботи з встановлення якорів. За увесь час експлуатації судна вони використовувалися лише декілька разів, і саме тому доцільним рішенням буде переобладнати по 1 такому приміщенню з кожної сторони під місцерозташування акумуляторних батарей. Ідеальне розташування біля обох ГРЩ, дозволяє зекономити кошти на кабелях та зменшити можливі втрати у мережі під час транспортування електроенергії. Місце розташування відмічено жовтим кольором на рис.4.4. Загальна вага обладнання без урахування трансформаторів, частотних перетворювачів та зарядних пристроїв складає 48 тон.

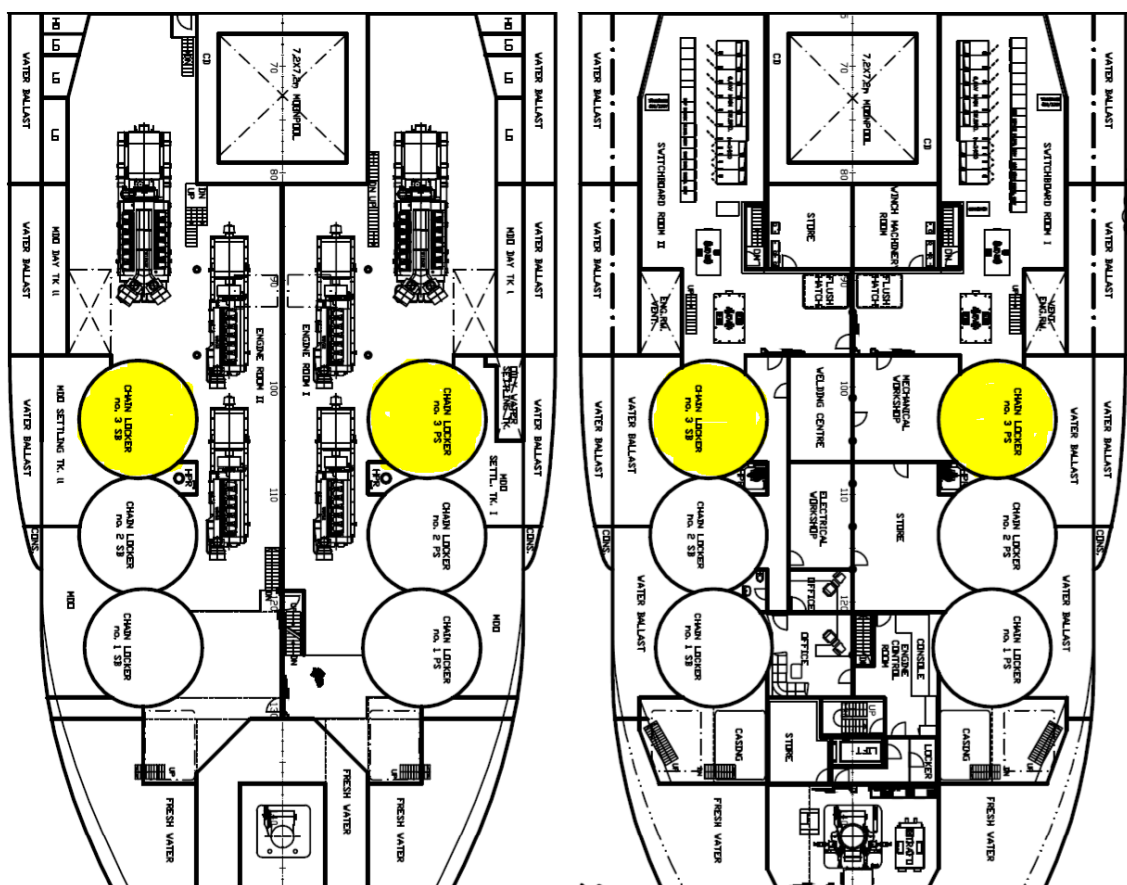


Рис 4.4. Місце розташування системи збереження електроенергії.

Напруга яку виробляють генератори складає 6600 вольт змінного струму, для перетворення постійного струму у змінний високовольтний можна використовувати 2 методи, а саме високотехнологічний високовольтний трьох-каскадний частотний перетворювач або звичайний трьох каскадний частотний перетворювач з робочою напругою до 1000 вольт змінного струму та підвищуючий трансформатор.

Найбільш раціональним рішенням буде використання другого варіанту через нижчу вартість обладнання та вищий рівень надійності. Підвищувальний трансформатор — це різновид електричного приладу, який перетворює низьку напругу (НН) і високий струм на вході з первинної секції пристрою на високу напругу (ВН) і низький струм на виході вторинної секції приладу. Зворотна функція цієї функції називається понижуючим трансформатором. Як обговорювалося раніше, цей пристрій є частиною статичного електричного обладнання, яке перетворює електричну енергію в первинній обмотці в магнітну форму в магнітопроводі і знову в електрику на вторинній стороні. Згідно з цим визначенням, підвищувальний трансформатор має широкий спектр випадків у лініях електропередачі та електричних системах. Трансформатор може передавати електроенергію в обох напрямках, від НН до ВН, а також у зворотному напрямку.. Обидві форми трансформатора мають однакову конструкцію та принцип. Котушки ВН містять велику кількість витків порівняно з котушками НН. Дріт котушки НН має більший поперечний переріз, ніж лінія ВН, через більшу величину струму на ділянці НН. До того ж трансформатор використовується в обох режимах, під час зарядки батарейних агрегатів для зменшення напруги на зарядних пристроях та під час живлення мережі від акумуляторних батарей [18]. Потужність трансформатора складає 3000кВА, перш за все він спроектований на перетворення 690 вольт у 6600 вольт, але має можливість працювати у зворотному режимі, у режимі зарядки. Перевірений часом трансформатор фірми TRASFOR THT FN 3M/G який вже використовується на судні ідеально підходить за характеристиками.

Частотний перетворювач який використовується являється трьох каскадним частотним перетворювачем який можливо синхронізувати з працюючими високовольтними генераторами. Кожна секція акумуляторних батарей живить свій частотний перетворювач, які працюють в паралелі. Таке технічне рішення дозволяє заощадити кошти за рахунок того що, частотні перетворювачі більшої потужності коштують набагато дорожче та складніші у експлуатації. Частотний перетворювач у своїй роботі використовує 900 вольт постійного струму та генерує 690 вольт змінного струму чистого синусу. Який у свою чергу без проблем синхронізується з працюючими генераторами. Частотний перетворювач який дозволяє це зробити- це Siemens blue drive PlusC CD-2850-IF6000-CB2964-DA з максимальною робочою потужністю 2850 кВт, IGBT транзистори які використовуються в частотному перетворювачі можуть пропускати струм до 600А.

Найважливішим елементом системи є система контролю. Сучасне програмне забезпечення у поєднанні з потужним комп'ютером та оптичними системами передачі сигналів дозволяє досягти ідеальної синхронізації частотних перетворювачів з працюючими генераторами. Система контролю називається VSG (virtual synchrony's generator), що в перекладі означає віртуальний синхронний генератор. Завдяки великій кількості датчиків та штучного інтелекту, система може завчасно визначити скільки потужності буде не вистачати у системі генерування для стабільної роботи. Та завчасно надіслати необхідні команди на частотні перетворювачі для зменшення часу просадок у системі генерування електроенергії. Системи штучного інтелекту широко використовуються у системах контролю на судах, першим застосуванням штучного інтелекту прославилася компанія Kongsberg у своїх системах динамічного позиціонування K-Pos, завдяки точному передбаченню можливих потреб у позиціонуванні вдалося досягти найкращих на ринку показників утримання на заданій точні навіть під час поганої погоди.

4.2 Моделювання системи контролю збереження та розподілення електроенергії у програмному забезпеченні MATLAB

Для перевірки роботи спроможності системи максимально наближеної до реальних умов необхідно виконати моделювання системи у програмному забезпеченні MATLAB. Модель системи контролю складається з типових модулів які доступні у програмному забезпеченні [19]. Існуючу модель акумуляторної системи зберігання та розподілення енергії можна розділити на чотири основні частини: акумулятор, силовий багато каскадний інвертор, фільтр і контролер інвертору. Завдяки багато каскадному інвертору вдається отримати чистий синус, який майже не відрізняється від синусу виробленого генераторами.

Для контролю необхідно змоделювати віртуальний синхронний генератор. Синхронвертери або віртуальні синхронні генератори — це інвертори, які імітують синхронні генератори, щоб забезпечити «синтетичну інерцію» для синхронізації в системах електроенергії. Інерція — це властивість стандартних синхронних генераторів, пов'язана з фізичною масою системи, яка обертається з частотою, пропорційною електроенергії, що генерується. Інерція впливає на стабільність частоти, оскільки потрібна робота, щоб змінити кінетичну енергію фізичної маси, що обертається, і тому протидіє змінам частоти. Генерація на основі інвертора за своєю суттю позбавлена цієї властивості, оскільки форма сигналу створюється штучно за допомогою силової електроніки.

Стандартні інвертори – це дуже малоінерційні елементи. Під час перехідних періодів, які здебільшого виникають через несправності або раптові зміни навантаження, вони швидко слідує за змінами та можуть призвести до погіршення стану якості електроенергії, але синхронні генератори мають помітну інерцію, яка може підтримувати їхню стабільність.

Мережа призначена для роботи на певній частоті. Коли попит і генерація на електроенергію ідеально збалансовані, частота мережі залишатиметься на номінальному рівні. Однак будь-який дисбаланс попиту та пропозиції призведе до відхилення від цієї номінальної частоти. Стандартно для виробництва

електроенергії та попиту не бути ідеально збалансованими, але дисбаланс жорстко контролюється, щоб частота мережі залишалася в межах невеликої смуги $\pm 0,05$ Гц. Обертова маса синхронного генератора діє як накопичувач кінетичної енергії для мережі, щоб протидіяти змінам частоти. Зміна кінетичної енергії пропорційна зміні частоти.

Насамперед багаторівневі інвертори є джерелом високої потужності, часто використовуються в промислових цілях і можуть генерувати чисту або модифіковану синусоїду. Багаторівневий інвертор використовує ряд IGBT транзисторів (зазвичай два-три), таким чином він має змогу генерувати вищу напругу.

Для синхронізації 2 та більше генераторів або частотних перетворювачів необхідно дотримуватися чотирьох основних правил, а саме:

- напруга у системі та генератора/інвертора що під'єднується повинні бути рівні.
- частота обох генераторів/інверторів повинна бути однаковою
- збіг по фазі однойменних векторів фазних напруг обох генераторів/інверторів, або, інакше, рівність нулю кута зсуву по фазі зазначених векторів
- однаковий порядок чергування фаз 3-фазних генераторів/інверторів.

За умови виконання цих вимог генератори зможуть синхронізуватися та працювати в паралелі. Ці вимоги можна легко задовільнити завдяки використанню частотних перетворювачів, де завдяки сучасним методам контролю можна досягти ідеальної синхронізації з працюючими генераторами. Для того щоб переконатися у достовірності даного ствердження на власні очі, була змодельована система контролю та отримані данні з осцилографу, завдяки яким можна зробити висновки що до

Модель системи контролю збереження та генерування електроенергії представлено на рисунку 4.5

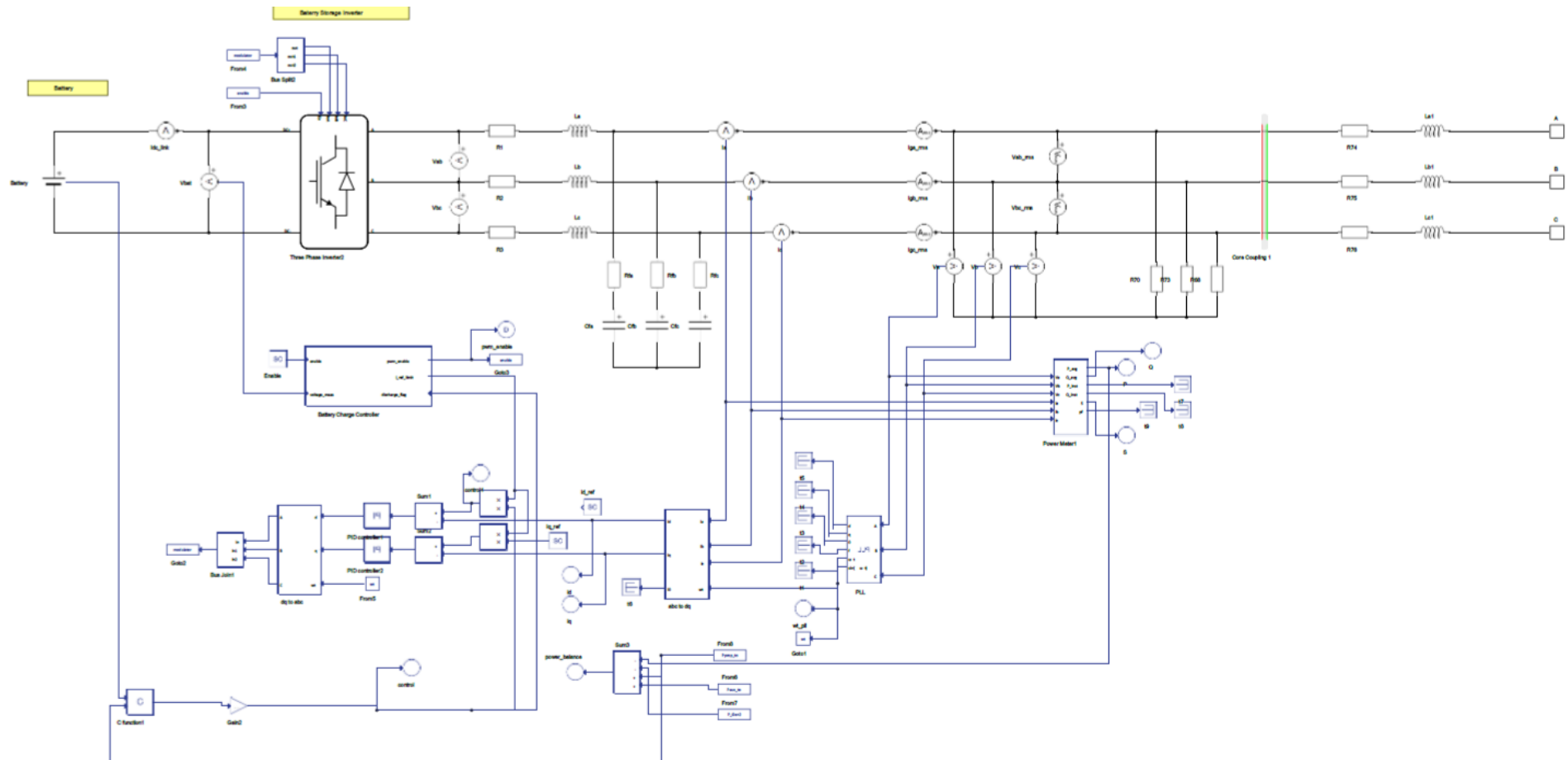


Рисунок 4.5. Блок діаграма системи контролю частотного перетворювача

Інвертор був змодельований за допомогою блоку трифазного дворівневого інвертора в Matlab Simulink з вибором опції внутрішнього модулятора. Цей параметр дозволяє IGBT транзисторам керуватися внутрішнім модулятором ШІМ, опорні сигнали для якого є опорними струмами для кожної фази. Вибрано несучу частоту 10 кГц модуляції з мертвим періодом 0,5 мкс. Втрати потужності на комутацію та провідність не розглядаються в цьому дослідженні. Дослідження синхронного режиму роботи системи відображено на рис.4.6.

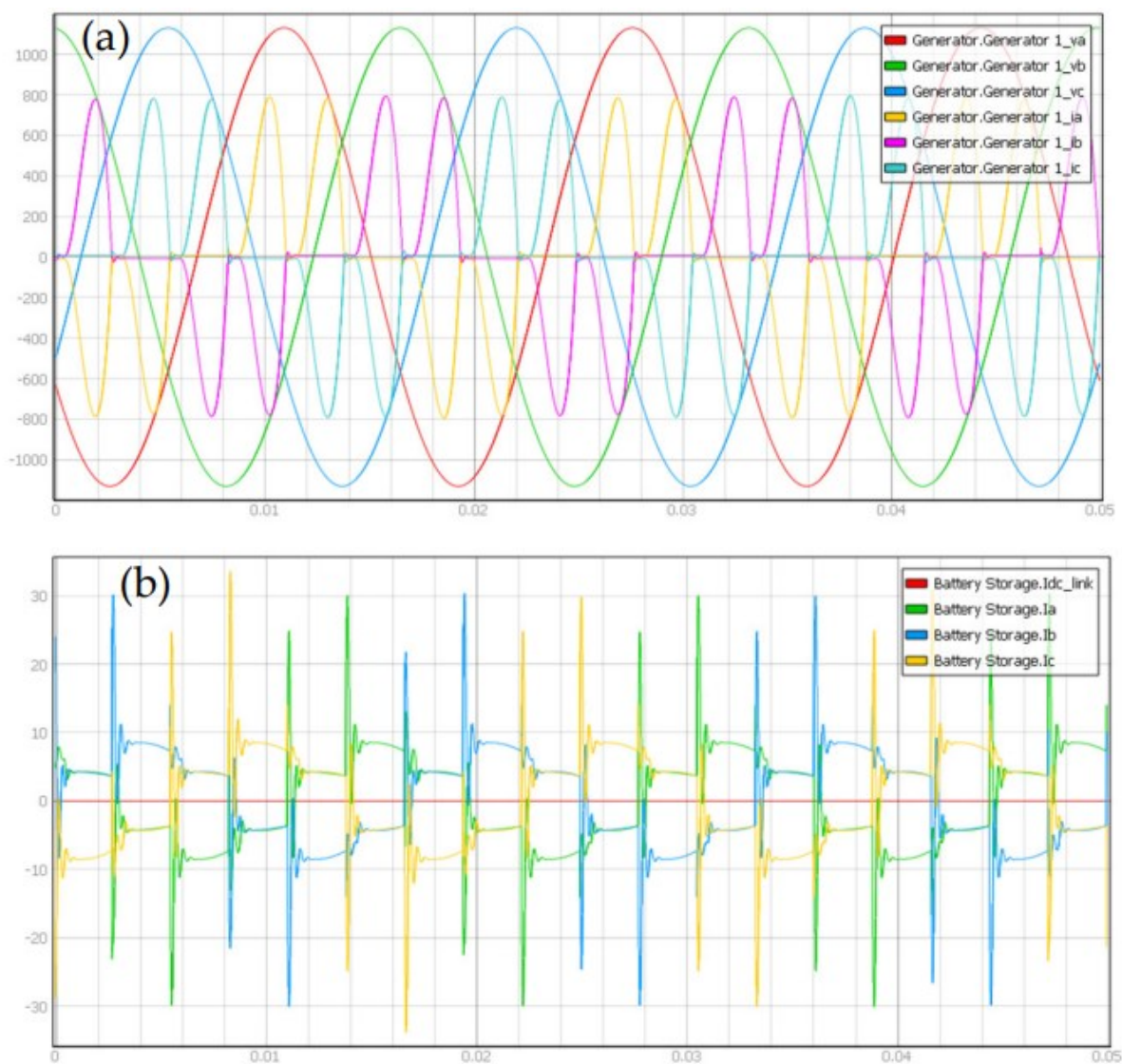


Рис.4.6. а)напруга та струм дизель генератора під навантаженням, б) криві струму акумуляторних батарей від навантаженням.

Дослідження роботи дизель генератора під час зарядки системи збереження електроенергії зображено на рис. 4.7.

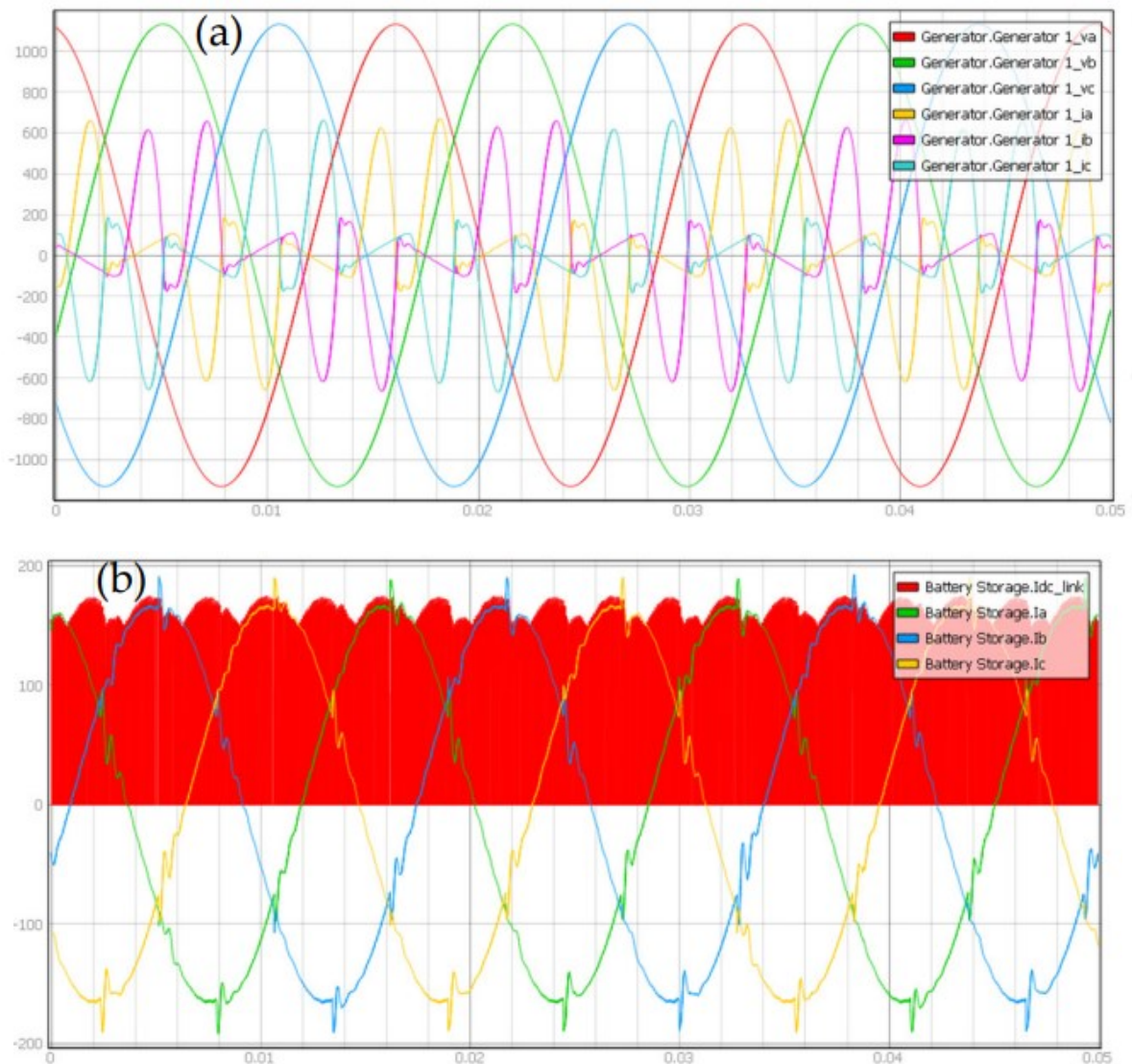


Рис 4.7. а) напруга та струм дизель генератора під навантаженням, б) криві струму зарядки акумуляторних батарей

Одним із важливих факторів перевірки є. візуалізація розподілу навантажень на генератори та систему збереження електроенергії під час запуску потужних споживачів, у цьому прикладі використовується пропульсивний комплекс. Графіки кривих навантажень відображені на рис 4.8.

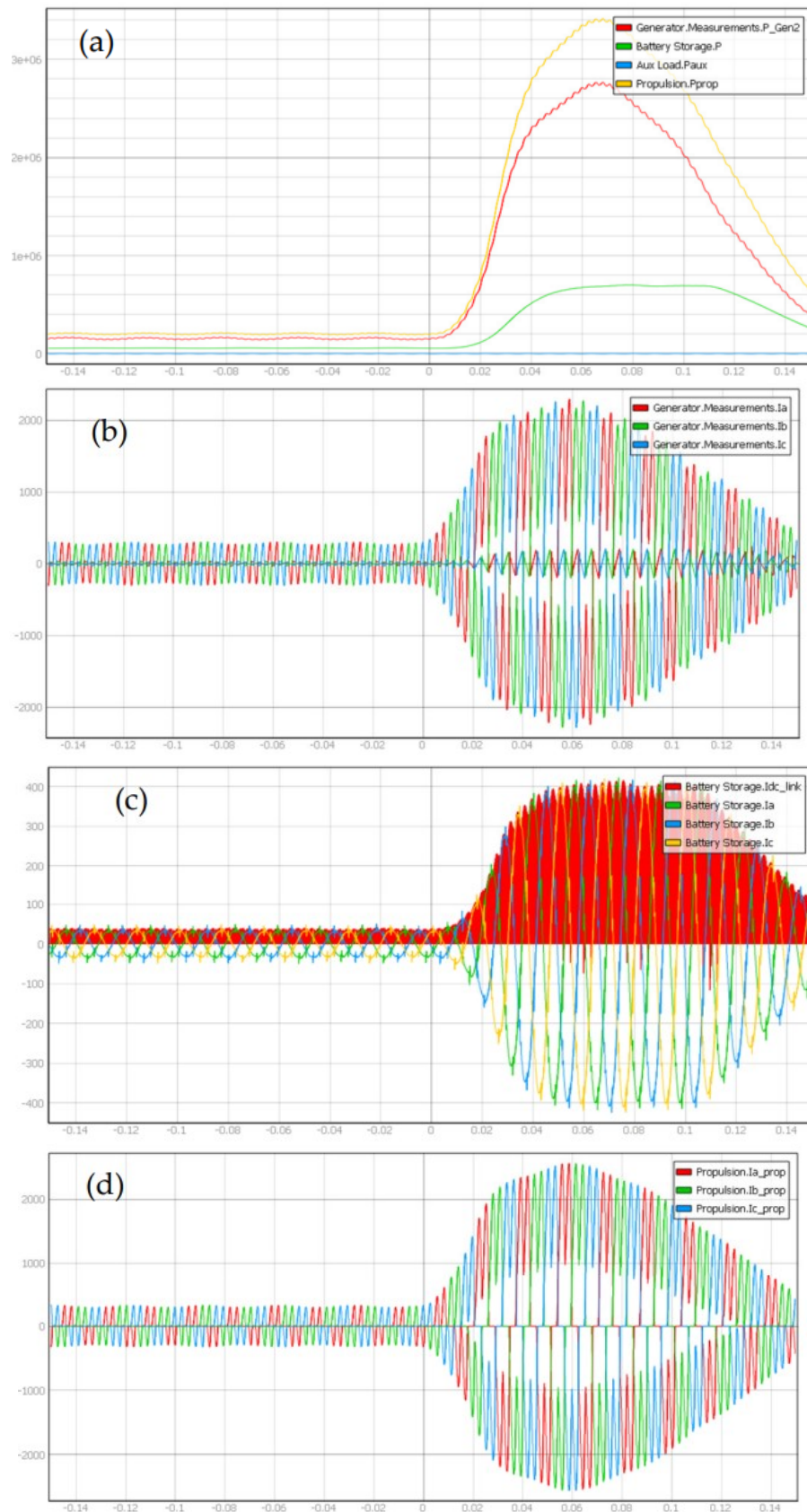


Рис 4.8. а) графіки доступної та необхідної енергії під час запуску потужного споживача. б) струм на генераторі, в) струм на батареях, г) струм пропульсивного комплексу під час запуску

Згідно кривих відображених на рис.4.8.а, чітко видно, що необхідна потужність для запуску пропульсивного комплексу перевищувала максимально допустиму потужність на працюючому генераторі, саме тому система контролю використала електроенергію збережену в батареях для покриття пікових потреб енергосистеми. Таким чином вдалося не допустити запуск резервного дизель-генератора, що і є одним із основних завдань системи енергозбереження[19]. Завдяки даним отриманим із цієї моделі вдалося переконатися у ефективності синхронної роботи дизель-генераторів та частотних перетворювачів.

Це дослідження описувало розробку детальної моделі гібридно-електричного судна. Функціонування цієї моделі було перевірено в моделюванні у реальному часі. Результати показують, що система може забезпечити баланс потужності та забезпечення напругою системи живлення судна. Крім того, система відповідь на тимчасові потреби у додатковій потужності була правильною, без небажаних ефектів. Застосований підхід у цьому дослідженні можна було б використати для подальших досліджень у цій галузі з різних точок зору: розробка нових EMS, включення відновлюваних джерел енергії в морський транспорт, інтеграція нових топологій перетворювачів живлення/електричного приводу. Такі дослідження можуть допомогти покращити енергетичні системи електрорушійних суден та надати рішення щодо їх розвитку.

4.3. Розрахунок часу повернення інвестицій за умови встановлення системи збереження електроенергії на судні BOA SUB C

Технології збереження електроенергії не стоять на місці, вчені невпинно розроб. майже на 1000 доларів США за останні 12 років, графіки вартості в доларах США за $1\text{кВт}\cdot\text{год}$ накопиченої електроенергії відображені на рис.4.9.[20].

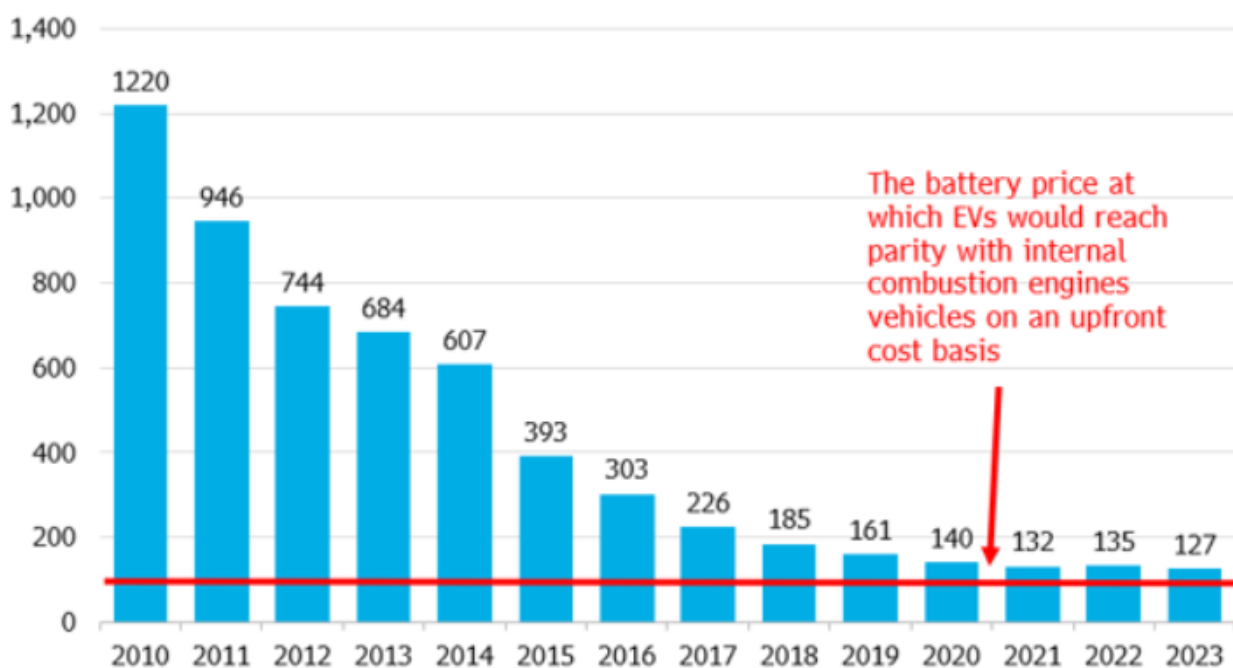


Рис.4.9. Графічне відображення зниження ціни на акумулятори у світі

Згідно цих даних можна чітко відстежити прогрес у технологіях виробництва літій-іонних акумуляторів. Останні 5 років вартість виробництва припинила швидке здешевлення, та майже досягла свого ліміту за існуючими технологіями. Коли ціна одного кіловату накопиченої електроенергії досягне приблизно 100 доларів США, вартість електромобілів буде така сама як у машин які використовують двигуни внутрішнього згорання. За приблизними розрахунками це може статися у 2026 році, за умови використання існуючих технологій. Незважаючи на ціну акумуляторів, загально прийнята вартість систем збереження електроенергії для кораблів залишається досить високою, та складає 1000 доларів США за кВт*год. У цю вартість зазвичай входить усе обладнання включаючи інвертори, трансформатори, зарядні пристрої, програмне забезпечення та самі акумуляторні батареї. Цю суму і будемо використовувати у розрахунках ефективності.

Згідно розрахунків проведених у третьому розділі, необхідна потужність акумуляторних батарей повинна складати 2400кВт*год. Помноживши дану потужність на загальноприйняту ціну за кВт*год, можна отримати вартість, яка буде складати приблизно 2 400 000 доларів США. Для судновласників це великі гроші, які не завжди даються легким шляхом, для прикладу вартість роботи судна ВОА

SUB C з проектами які пов'язані з нафтою та газом може складати 50-80 тисяч доларів США на день в залежності від складності проекту, з яких приблизно 10 тисяч щодня піде на зарплатню екіпажу, 10 тисяч щодня на зарплатню офісним співробітникам а все інше піде у прибуток, з якого потрібно оплачувати запасні частини які замовляє екіпаж, та інші непередбачувані витрати компанії. Під час роботи у секторі зеленої енергетики вартість оренди судна значно менша, та зазвичай складає не більше 30 тисяч доларів США на добу. Саме тому далеко не всі судновласники вирішують встановити подібне обладнання на своїх судах[21].

Але згідно рекламних брошур та презентацій з цими системами можливо зекономити до 20% на пальному, та зменшити витрати на обслуговування дизель-генераторів. Особливу економію обіцяють для кораблів з системами динамічного позиціонування, саме через нестабільні режими роботи та особливості дизель електричного приводу гребних установок. Згідно технічних характеристик дизель генераторів, найбільш ефективним є використання двигунів з постійним навантаженням приблизно 75-85% від номінального. З таким навантаженням вартість одного кіловату електроенергії буде найбільш оптимальною у співвідношенні до витрат пального. Важливою особливістю дизель електричних силових установок є швидке та різке змінення навантаження на дизель генераторах, саме через це двигуни більшу частину часу вимушені постійно змінювати кількість пального для підтримання необхідної потужності, що в свою чергу спричиняє надмірні витрати пального. Загальноприйняті криві витрат дизельного пального на кіловат згенерованої енергії відображена на рис. 4.10.

Згідно кривої зеленого кольору яка відображає максимально наближений до реального значення витрати пального на кВт*год електроенергії, можна вирахувати приблизні витрати пального та порівняти їх з реальними значеннями отриманими від вахтових механіків. Завдяки системі моніторингу та контролю за параметрами судна можна отримати графіки будь яких значень за певний період часу. Для розрахунків буде використано режим очікування без вантажних операцій, але з утриманням позиції завдяки динамічному позиціонуванню[22].

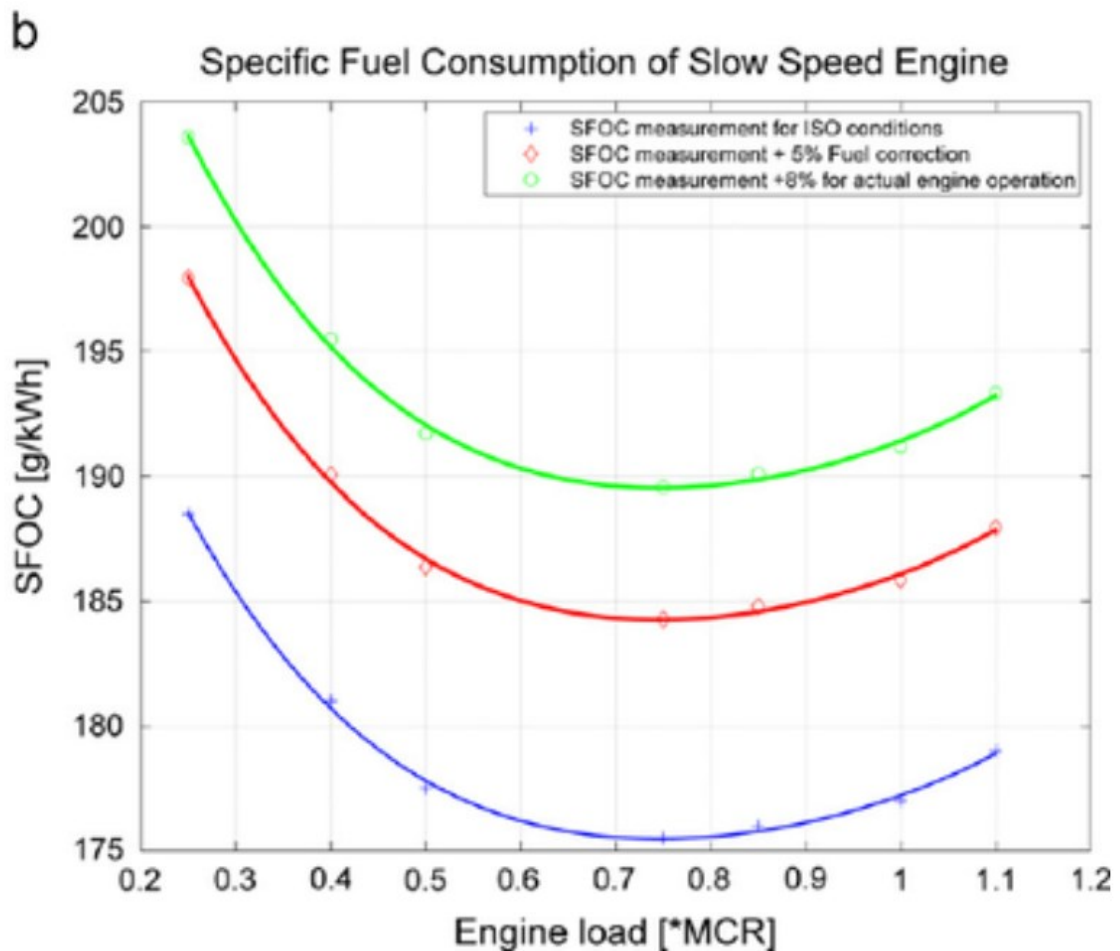


Рис.4.10 Криві витрат пального грам на кВт*год

Для утримання на місці судно може використовувати 2 гребних установки з гвинтами регульованого кроку та швидкості обертання, 2 кормових підрулюючих пристроїв та 3 передніх підрулюючих пристроїв, але зазвичай використовують лише 2 передніх. Усі ці пристрої використовують частотні перетворювачі для регулювання швидкості обертання, саме тому необхідна потужність увесь час змінюється. Реальні графіки навантаження на генераторах відображена на рис.4.11.

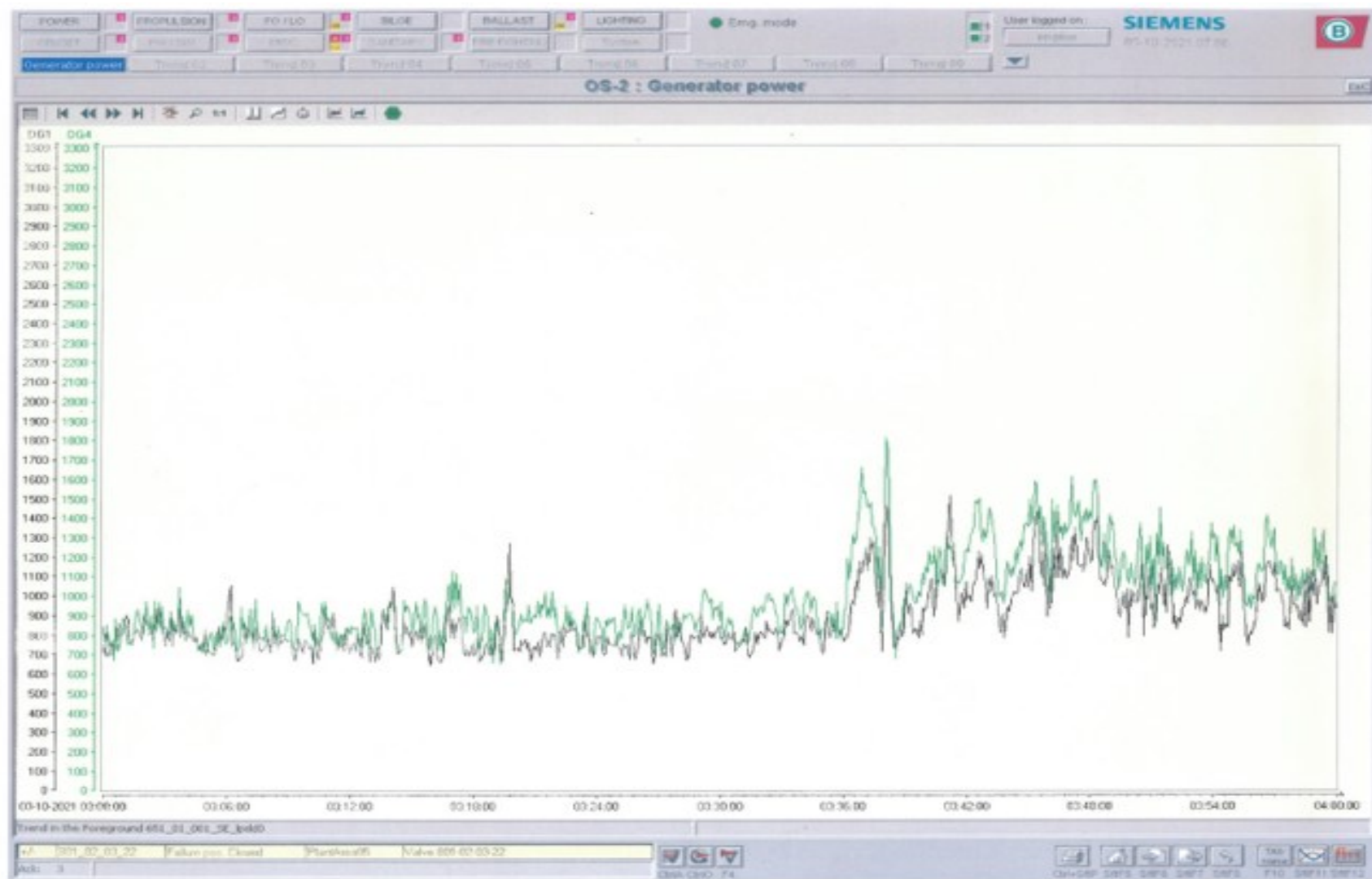


Рис.4.11 Реальні графіки навантаження на генераторах за годину

Згідно реальних графіків отриманих завдяки системі контролю чітко видно, що обидва генератори працюють лише на 25-40% від номінальної потужності. Що згідно графікам витрат приводить до надмірного та не доцільного використання пального. Виходить що приблизно 205 грам дизельного пального використовується кожним дизель-генератором, а враховуючи постійну роботу у не стабільному режимі, витрати пального можуть складати 215-250 грам на кВт*год[23]. Такий режим роботи обумовлений вимогами що до надмірності яка повинна бути під час роботи в режимах динамічного позиціонування. Якщо ж використовувати 1 генератор, його потужність буде складати 50-80% від номінальної, що в свою чергу приведе до зниження витрат пального до 190-195 грам на кВт*год, що в процентному еквіваленті дорівнює 10-15% в залежності від витрат пального при не стабільній роботі. Але через правила чартерів неможливо залишити лише 1 працюючий генератор, для уникнення можливого знеструмлення[25]. Саме тут у нагоді і буде система збереження електроенергії, яка зможе взяти на себе додаткові навантаження, та уникнути запуску другого дизель-генератора. На програмному рівні можна встановити максимальну допустиму потужність роботи двигуна на рівні 80%, яка буде підтримуватися, а всі інші потреби буде задовольняти система збереження електроенергії.

Приклад візуалізації роботи генераторів та системи збереження електроенергії відображено на рис.4.12.

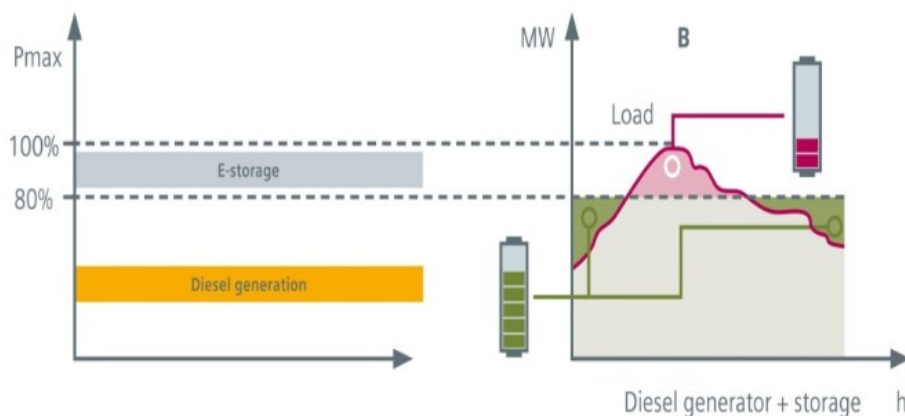


Рис.4.12. Візуалізація роботи системи

Таким чином можна зробити висновок, що данні з брошур відповідають реальним значенням які можливо отримати під час експлуатації гібридних установок. Загальна економія на пальному може досягати 10-15% у режимах очікування в морі, а враховуючи факт що під час роботи на вітряних фермах, час очікування на добу може складати до 80% часу, виходить досить вагома економія. Під час виконання важливої роботи згідно до вимог клієнтів повинні працювати резервні генератори, саме тому час який використовує судно для виконання завдань не входить у розрахунки, тому що витрати будуть майже однаковими[26]. З часом коли ця технологія отримає світове визнання та довіру операторів, вдасться використовувати її навіть під час вадливих операцій. Порівняння даних під час роботи приведено у таблці.4.1.

Таблиця 4.1. Порівняння звичайної та гібридної силових установок

	Використання гібрида	звичайний режим
Використання двигунів	1*80%	2*40%
Пального на грам/кВт*год	190	210
Середня потужність	2100кВт	2*1050кВт
Час в режимі очікування	20 годин	20 годин
Використано пального за добу	7980	8820
Ціна пального	525\$	525\$
Вартість пального за добу	4190\$	4630\$
Різниця вартості пального	440\$	
Економія у %	10%	

Реальні данні витрат пального збігаються з розрахунковими даними, але варто пам'ятати, що 210 грам/кВт*год це майже ідеальне значення при стабільній роботі двигунів [27]. Під час зміни навантаження двигун у пошуках стабільної точки може витратити набагато більше пального, в залежності від стану двигуна та паливної системи витрати можуть складати навіть до 250 грам/кВт*год, що у

процентному еквіваленті буде складати вже 20% у порівнянні з еталонним стабільним навантаженням. Що у грошовому еквіваленті може коштувати додатково 1000 доларів США на добу.

При експлуатації дуже важливим також є використання акумуляторних батарей в порту, згідно таблиці навантажень САЕЕС приведеній у Додатку Б навантаження може складати приблизно 600кВт. Зазвичай у порту використовують 1 генератор потужністю 2880кВт та об'єднують 2 ГРЩ у єдину систему, а генератор працює з 20 відсотковим навантаженням. Завдяки практично стабільній роботі генератора, споживання складає 210-230грам/кВт*год, з незначними піками та просадками, загалом при стоянці в порту за добу витрати складають приблизно 5 000 літрів, що у грошовому еквіваленті складає 2625 доларів США при ціні на пальне 525 доларів за тисячу літрів[28].

При використанні системи збереження електроенергії, під час стоянки в порту, можна взагалі вимикати дизель генератори та отримувати живлення лише від батарей. Згідно розрахунків загальна потужність встановлених батарей буде складати 2400 кВт*год. Цієї потужності вистачить щоб жити судно із споживанням 600 кВт*год приблизно на 3години з урахуванням втрат на перетворення електроенергії. На програмному рівні зазвичай виставляють авто старт дизель генератора як тільки заряд на батареях впаде до 20%, та підтримують роботу до повної зарядки батареї, після чого живлення знову переходить на батареї[29]. Завдяки високому навантаженню на генераторі та стабільній роботі, вдається досягти використанню пального на рівні 190-200 грам/кВт*год, а завдяки потужним зарядним пристроям час зарядки складає приблизно 1 годину. Таким чином можна порахувати, що генератор буде працювати приблизно 6-6.5 годин на добу при завантаженні 75-80%. При цих даних використання пального буде складати 2700 літрів на добу, що майже у двічі менше ніж за умови постійного використання генератора при низькому навантаженні.

Таким чином чітко простежується економія та переваги у використанні систем збереження електроенергії на судах[30]. Як вже згадувалося раніше, вартість встановлення подібних систем складає приблизно 1000 доларів США за кВт елек-

троенергії. При встановленні системи потужністю 2400кВт* год – вартість обладнання та роботи по проектування та встановленню будуть складати 2 400 000 доларів США. Завдяки проекту підтримки від уряду Норвегії які допомагають національним компаніям проводити інтеграції систем які дозволять досягти декарбонізації та зменшення викидів у атмосферу витрати на встановлення можна зменшити на 50%.

Загалом сума необхідних інвестицій за умови допомоги від держати буде складати 1 200 000 доларів США. За умови щоденної економії пального у розмірі від 10 до 20 % від попередніх значень можна досягти зменшення витрат на пальне в середньому 750 доларів США щоденно, при ціні пального 525 доларів США за тисячу літрів. За таких умов термін повернення інвестицій буде складати 4 роки, що являється гарним показником у світі.

ВИСНОВКИ

Кліматичні зміни які з кожним роком відчуються все краще, підштовхують людство на вдосконалення систем моніторингу та контролю за викидами. Зменшення викидів в атмосферу Землі з кораблів є одним із найважливіших екологічних питань ІМО. Морські держави та інтернаціональні корпорації працюючи разом заради досягнення спільної мети в змозі досягти нульових викидів з кораблів до 2050 року.

Для досягнення цієї мети людство повинно ефективно та швидко запроваджувати нові технології та інвестувати кошти у вдосконалення вже існуючу методів. Встановлення гібридних силових систем на суднах має величезний потенціал та яскраве майбутнє. А різноманіття систем та видів пального, дозволить судновласникам підбирати необхідне обладнання для їх кораблів. Аналізуючи різні методи можна зробити висновок, що для досягнення значних успіхів у декарбонізації, необхідно використовувати комплексний підхід та використовувати різні варіанти, іноді їх навіть доцільно комбінувати. Найбільш елективним методом є інтегрування в існуючі проекти гібридних акумуляторних систем збереження електроенергії. Цей метод є найбільш дорогим у встановленні але у довгостроковій перспективі дає змогу економити до 20 % палива при тих самих режимах роботи, що на пряму позитивно діє на зменшення викидів в атмосферу

Найбільшим недоліком системи є не досконалість батарейних агрегатів. Вартість виготовлення поки що складає більше 100 доларів США за кВт збереженої електроенергії. А питома потужність у співвідношення до ваги набагато менше ніж у викопного пального яке зараз використовується найбільше. Існує велика кількість перспективних розробок, які за умови достатніх інвестицій можуть покращити положення, але на це потрібен час.

У наступні 10-15 років, ситуація кардинально зміниться, та людство матиме реальну можливість декарбонізувати морську транспорту індустрію до 2050 року.

СПИСОК ВИКОРАСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. International Maritime Organization. Fourth IMO Greenhouse Gas Study: Executive Summary; International Maritime Organization: London, UK, 2020.
2. DNV. Ammonia as A Marine Fuel, Safety Handbook; DNV-GL: Bærum, Norway, 2020
3. DNV. Assessment of Selected Alternative Fuels and Technologies; DNV-GL Maritime: Bærum, Norway, 2019.
4. DNV. LPG as a Marine Fuel; Group Technology & Research, DNV-GL: Bærum, Norway, 2017
5. DNV. Maritime Forecast to 2050, Energy Transition Outlook 2020; DNV: Bærum, Norway, 2020
6. Oceana Europe Shipping Pollution. Available online: <https://europe.oceana.org/en/shipping-pollution-1> (accessed on 22 December 2021).
7. Psaraftis, H.N.; Kontovas, C.A. Decarbonization of Maritime Transport: Is There Light at the End of the Tunnel? Sustainability 2021, 13, 237. [CrossRef]
8. International Maritime Organization. Initial IMO Strategy on Reduction of GHG Emission from Ships—Resolution MEPC.304(72); International Maritime Organization: London, UK, 2018.
9. Balcombe, P.; Brierley, J.; Lewis, C.; Skatvedt, L.; Speirs, J.; Hawkes, A.; Staffell, I. How to decarbonise international shipping: Options for fuels, technologies and policies. Energy Convers. Manag. 2019, 182, 72–88. [CrossRef]
10. Nicolaides, D.; Cebon, D.; Miles, J. Prospects for Electrification of Road Freight. IEEE Syst. J. 2018, 12, 1838–1849.
11. Xing, H.; Spence, S.; Chen, H. A comprehensive review on countermeasures for CO₂ emissions from ships. Renew. Sustain. Energy Rev. 2020, 134, 110222.
12. Al-Falahi, M.D.A.; Nimma, K.S.; Jayasinghe, S.D.G.; Enshaei, H.; Guerrero, J.M. Power management optimization of hybrid power systems in electric ferries. Energy Convers. Manag. 2018, 172, 50–66.

13. Sulligoi, G.; Member, S.; Vicenzutti, A.; Member, S.; Menis, R. All-Electric Ship Design: From Electrical Propulsion to Integrated Electrical and Electronic Power Systems. *IEEE Trans. Transp. Electrification*. 2016, 2, 507–521.
14. Olmer, N.; Comer, B.; Roy, B.; Mao, X.; Rutherford, D. Greenhouse Gas Emission from Global Shipping 2013–2015, Detailed Methodology; The International Council on Clean Transportation: Washington, DC, USA, 2017.
15. Hou, J.; Sun, J.; Hofmann, H.F. Mitigating Power Fluctuations in Electric Ship Propulsion With Hybrid Energy Storage System: Design and Analysis. *IEEE J. Ocean. Eng.* 2018, 43, 93–107
16. Dedes, E.K.; Hudson, D.A.; Turnock, S.R. Investigation of Diesel Hybrid systems for fuel oil reduction in slow speed ocean going ships. *Energy* 2016, 114, 444–456.
17. Banaei, M.R.; Alizadeh, R. Simulation-Based Modeling and Power Management of All-Electric Ships Based on Renewable Energy Generation Using Model Predictive Control Strategy. *IEEE Intell. Transp. Syst. Mag.* 2016, 8, 90–103.
18. Power system stabilization using virtual synchronous generator with alternating moment of inertia *IEEE J. Emerg. Sel. Top. Power Electron.*, 3 (2014), pp. 451-458
19. Virtual synchronous generators: A survey and new perspectives *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, 54 (2014), pp. 244-254
20. Adaptive virtual synchronous generator considering converter and storage capacity limits *CSEE J. Power Energy Syst.* (2020)
21. Parameter constraints for virtual synchronous generator considering stability *IEEE Trans. Power Syst.*, 34 (2019), pp. 2479-2481
22. J., Belmans R. A voltage and frequency droop control method for parallel inverters *IEEE Trans. Power Electron.*, 22 (2007), pp. 1107-1115
23. Torreglosa, J.P.; Garcia-triviño, P.; Vera, D. Analyzing the Improvements of Energy Management Systems for Hybrid Electric Vehicles Using a Systematic Literature Review: How Far Are These Controls from Rule-Based Controls Used in Commercial Vehicles? *Appl. Sci.* 2020, 10, 8744.

24. IEEE Guide for Synchronous Generator Modeling Practices and Parameter Verification with Applications in Power System Stability Analyses. In IEEE Std 1110-2019 (Revision IEEE Std 1110-2002); The Institute of Electrical and Electronics Engineers: New York, NY, USA, 2020; pp. 1–92.
25. Khan, M.M.S.; Faruque, M.O.; Newaz, A. Fuzzy Logic Based Energy Storage Management System for MVDC Power System of All Electric Ship. *IEEE Trans. Energy Convers.* 2017, 32, 798–809.
26. Hou, J.; Sun, J.; Hofmann, H.F. Mitigating Power Fluctuations in Electric Ship Propulsion With Hybrid Energy Storage System: Design and Analysis. *IEEE J. Ocean. Eng.* 2018, 43, 93–107.
27. Hou, J.; Song, Z.; Hofmann, H.; Sun, J. Adaptive model predictive control for hybrid energy storage energy management in all-electric ship microgrids. *Energy Convers. Manag.* 2019, 198, 111929.
28. Kanellos, F.D.; Anvari-Moghaddam, A.; Guerrero, J.M. A cost-effective and emission-aware power management system for ships with integrated full electric propulsion. *Electr. Power Syst. Res.* 2017, 150, 63–75.
29. Kalikatzarakis, M.; Geertsma, R.D.; Boonen, E.J.; Visser, K.; Negenborn, R.R. Ship energy management for hybrid propulsion and power supply with shore charging. *Control Eng. Pract.* 2018, 76, 133–154.
30. Trovão, J.P.; Machado, F.; Pereirinha, P.G. Hybrid electric excursion ships power supply system based on a multiple energy storage system. *IET Electr. Syst. Transp.* 2016, 6, 190–201.