

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

Навчально науковий інститут автоматики та електротехніки

Кафедра суднових електроенергетичних систем

«Допущений до захисту»

Завідувач кафедри

Обрубов А. В.


(підпис)

«05» червня 2026 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття ступеня вищої освіти «бакалавр»

на тему:

«Розрахунок параметрів електроенергетичної системи суховантажного судна проєкту RSD59»

Виконав: студент групи 43013


(підпис)

Пінчук І. М.

Керівник роботи: д. т. н., доцент


(підпис)

Обрубов А. В.

Миколаїв – 2026 р.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
Навчально науковий інститут автоматики та електротехніки
Кафедра суднових електроенергетичних систем
Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
Освітня програма «Електромеханіка та електроенергетика»

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Гарант освітньої програми

д. т. н., проф.

Волянська Я. Б.



«15» грудня 2026 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття ступеня вищої освіти «бакалавр»

Студенту Пінчуку Іллі Мирославовичу

1. Тема роботи: «Розрахунок параметрів електроенергетичної системи суховантажного судна проєкту RSD59»

Керівник роботи д.т.н., доцент Обрубів Андрій Валерійович

Затверджені наказом ректора № 286-уч. від «22» квітня 2026 року

2. Термін подання роботи: до 15.06.2026 р.

3. Вихідні дані по роботі: Суднові електроенергетичні системи, електрообладнання суден, методи розрахунку потужностей суднових генераторів, суднові дизель-генератори, системи регулювання частоти обертів дизельних двигунів

4. Перелік питань, що належать до розробки (найменування розділів):

1. Огляд характеристик судна та його електростанції
2. Перевірочний розрахунок потужностей суднової електростанції
3. Стабілізація напруги суднового синхронного генератора
4. Експериментальне дослідження системи
5. Охорона праці

5. Перелік презентаційних матеріалів:

1. Ціль і задачі роботи
2. Суховантажне судно проєкту RSD59
3. Структурна схема СЕЕС
4. Система авторегулювання напруги
5. Модель генератора з приводом
6. Модель електромагнітної частини синхронного генератора
7. Графіки процесів при накиді і скиданні повного навантаження

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання 15.02.2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Огляд судна і його електростанції	12.03.2026	виконано
2	Складання і виконання табличного розрахунку СЕЕС	27.03.2026	виконано
3	Аналіз роботи компонентів дизель-генератора	10.04.2026	виконано
4	Розробка і перевірка імітаційних моделей дизель-генераторів	22.05.2026	виконано
5	Оформлення дипломної роботи	5.06.2026	виконано

Студент


(підпис)

Пінчук І. М.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи


(підпис)

Обрубов А. В.

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Бакалаврська робота присвячена створенню суміщеної статистично-табличної методики розрахунку потужностей суднової електростанції і дослідженню за допомогою моделювання компонентів судових дизель-генераторів. Розроблена методика розрахунку дозволяє швидко отримати результат і коригувати вхідні дані. Розроблена модель дозволяє дослідити динаміку системи авторегулювання вихідних параметрів судового дизель-генератора і експериментально-аналітичним шляхом налаштувати параметри регуляторів.

В першому розділі роботи представлено огляд характеристик судна і його електроенергетичної системи.

В другому розділі зроблено перевірочний розрахунок потужностей суднової електростанції.

В третьому розділі наведено аналіз роботи компонентів дизель-генераторної установки.

В четвертому розділі наведено опис розроблених імітаційних моделей і результати модельних експериментів.

В п'ятому розділі наведено розгляд питань охорони праці.

Структура і обсяг бакалаврської роботи. Робота складається зі вступу, 5 розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків.

Об'єм роботи складає 86 сторінок, 17 ілюстрацій, 4 таблиць і 7 слайдів.

Ключові слова: авторегулювання частоти обертання; дизель-генератор; табличний розрахунок електростанції.

ABSTRACT

The bachelor's thesis is devoted to the creation of a combined statistical-tabular method for calculating the electrical power of a ship's power plant and research using modeling of components of ship diesel generators. The developed calculation method allows you to quickly obtain a result and adjust the input data. The developed model allows you to study the dynamics of the auto-regulation system of the output parameters of a ship's diesel generator and adjust the parameters of the regulators experimentally and analytically.

The first section of the thesis presents an overview of the characteristics of the ship and its electrical power system.

The second section makes a verification calculation of the electrical power of the ship's power plant.

The third section provides an analysis of the operation of the components of the diesel generator set.

The fourth section provides a description of the developed simulation models and the results of model experiments.

The fifth section provides a consideration of labor protection issues.

Structure and scope of the bachelor's thesis. The work consists of an introduction, 5 sections, conclusions, a list of sources used and appendices.

The volume of the work is 86 pages, 17 illustrations, 4 tables and 7 slides.

Keywords: automatic speed control; diesel generator; power plant spreadsheet.

					141.43013.БР.ПЗ. Анотація	Арк.
						4
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Зміст

Список умовних позначень та скорочень	7
ВСТУП.....	8
Розділ 1. Огляд характеристик судна і його електроенергетичної установки	11
1.1. Суховантажне судно проекта RSD59	11
1.2. Визначення електроенергетичної установки	16
1.3. Структура суднової електростанції.....	19
Розділ 2. Перевірочний розрахунок потужностей електроенергетичної системи судна	27
2.1. Вступні пояснення.....	27
2.2. Складання таблиці навантажень.....	28
2.3. Короткі характеристики режимів роботи судна	35
2.4. Результати розрахунків потужностей електростанції суховантажного судна проекту PV24	38
2.5. Вибір кількості й потужності генераторних агрегатів основної електростанції.....	47
Розділ 3. Стабілізація напруги суднового синхронного генератора	51
3.1. Ефективність суднової електроенергетичної системи	51
3.2. Принципи атоматичного регулювання напруги синхронних генераторів.....	53
Розділ 4. Експериментальне дослідження системи за допомогою імітаційного моделювання	62
Розділ 5. Охорона праці	73
5.1. Розрахунок освітлення робочого приміщення методом використання світлового потоку	73
5.2. Заходи з техніки безпеки	76
Висновки.....	83
Список використаних джерел.....	84

Список умовних позначень та скорочень

АРЩ – аварійний розподільчий щит

ГЕУ – головна енергетична установка

ГРК – (від рос. ВРК – винто-рулевая колонка) гвинто-рульова колонка

ГРЩ – головний розподільчий щит

ДАУ – дистанційне автоматичне управління

ДВЗ – двигун внутрішнього згоряння

Коефіцієнт амплітуди $k_a = U_m / U_{rms}$ – відношення амплітудного значення до діючого, для синусоїди дорівнює $\sqrt{2}$

Коефіцієнт форми $k_f = U_{rms} / U$ – відношення діючого значення до середнього, для синусоїди дорівнює 1,11

ЛГВЛ – (від рос. – грузовая ватерлиния) літня вантажна ватерлінія

ПІД-регулятор – пропорційно-інтегрально-диференціальний автоматичний регулятор по відхиленню

СВАРН – від рос. Система возбуждения и автоматического регулирования напряжения

СГ – синхронний генератор

СЕЕС – суднова електроенергетична система

СЕС – суднова електростанція

					141.4301з.БР.ПЗ.Список скорочень	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

ВСТУП

Сучасний етап розвитку науки й техніки в такий спосіб визначає основні тенденції розвитку суднових електроенергетичних систем СЕЕС і їх систем керування [1]:

1. Збільшення потужності електростанцій і генераторних агрегатів, обумовлене:

- впровадженням атомної енергетики;
- збільшенням кількості й потужності електроприводів технологічних комплексів, допоміжних механізмів;
- підвищенням вимог до населеності судів і кораблів (рівень освітленості, системи кондиціювання, комфорт особового складу й пасажирів).

2. Збільшення терміну служби СЕЕС і підвищення надійності забезпечення електроенергією споживачів за рахунок застосування нових принципів побудови структурних схем СЕЕС.

3. Застосування підвищених рівнів напруги й частоти.

4. Широке використання напівпровідникової техніки в силових установках, системах захисту, контролю й автоматики.

5. Удосконалення систем захисту, апаратів захисту й обмеження максимальних струмів.

6. Підвищення ступеня автоматизації СЕЕС, перехід на нову елементну базу, впровадження програмувальних логічних контролерів (ПЛК) і мікропроцесорів.

Актуальність роботи. Розрахунок потужностей суднових електростанцій в різних режимах роботи є важливим етапом проектування суднового електрообладнання [2, 3]. Потрібно врахувати можливі графіки навантажень, їх статистичні характеристики для правильного вибору типу і величин генеруючих потужностей. Недостатня потужність обмежує надійність і функціональність судна, а надлишкова потужність зменшує величину корисного навантаження і підвищує енергетичні втрати. Тому правильність результатів розрахунків

					141.430/з.БР.ПЗ.Вступ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

суднових електростанцій впливає на якість проекту судна в цілому і є дуже актуальною задачею.

Системи стабілізації вихідної напруги суднових дизель-генераторів повинні забезпечувати точність стабілізації частоти і величини напруги з точністю не гірше 5% при всіх дестабілізуючих факторах. Задача стабілізації напруги при індуктивних навантаженнях ускладнюється при індуктивному навантаженні, коли проявляється розмагнічувальна дія реакції якоря. Тому системи розробка і вдосконалення систем стабілізації напруги суднових генераторів по відхиленню і по збуренню є актуальною задачею.

Ціль роботи: дослідження СЕЕС на прикладі суховантажного судна «Астрол-2». Складення електронної таблиці розрахунків потужностей СЕЕС і розробка імітаційних моделей основних елементів дизель-генератора.

Задачі, які вирішувались в роботі:

- Огляд характеристик суховантажного судна «Астрол-2» і його електроенергетичної системи;
- Розрахунки потужностей генераторів суднової електростанції;
- Синтез імітаційної моделі системи автоматичного регулювання напруги генераторів;
- Настройка регулятора вихідної напруги синхронного генератора за допомогою модельних експериментів;
- Розгляд питань охорони праці.

Об'єктом дослідження є суднові електроенергетичні системи.

Предметом дослідження є процеси потужності, кутової швидкості, величини і частоти напруги і струму в суднових дизель-генераторах.

Методи дослідження. При вирішенні поставлених в роботі задач використовувались методи математичного аналізу, диференційного та інтегрального числення, методи статистичної обробки даних, методи імітаційного моделювання динамічних систем та електронних схем на комп'ютері.

					141.4301з.БР.ПЗ.Вступ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

Практичне значення отриманих результатів полягає в наступному. Суміщена методика розрахунку потужностей суднової електростанції є зручною у використанні, оскільки дозволяє оперативно коригувати результати розрахунків шляхом вибору оптимальних вхідних даних.

Синтезована структурна схема системи автоматичного регулювання збудження і автоматичного регулювання напруги генераторів дозволяє вивчати принципи роботи судових дизель-генераторів та визначати характеристики законів керування ними.

Особистий внесок автора. Автору належить формулювання огляд характеристик судна і електроенергетичної системи, перевірочні розрахунки потужностей суднової електростанції, синтез імітаційної моделі елементів судового дизель-генератора, експерименти з налаштувань регуляторів напруги синхронного генератора, розгляд питань охорони праці.

					141.430/з.БР.ПЗ.Вступ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

					141.43013.БР.ПЗ.Р1			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Огляд характеристик судна і його електроенергетичної установки	Літ.	Аркуш	Аркушів
Студент	Пінчук І. М.							
Керівник	Обрубов А. В.							
Консультант						НУК		
Зав. каф.	Обрубов А. В.							

Розділ 1. Огляд характеристик судна і його електроенергетичної установки

1.1. Суховантажне судно проєкту RSD59

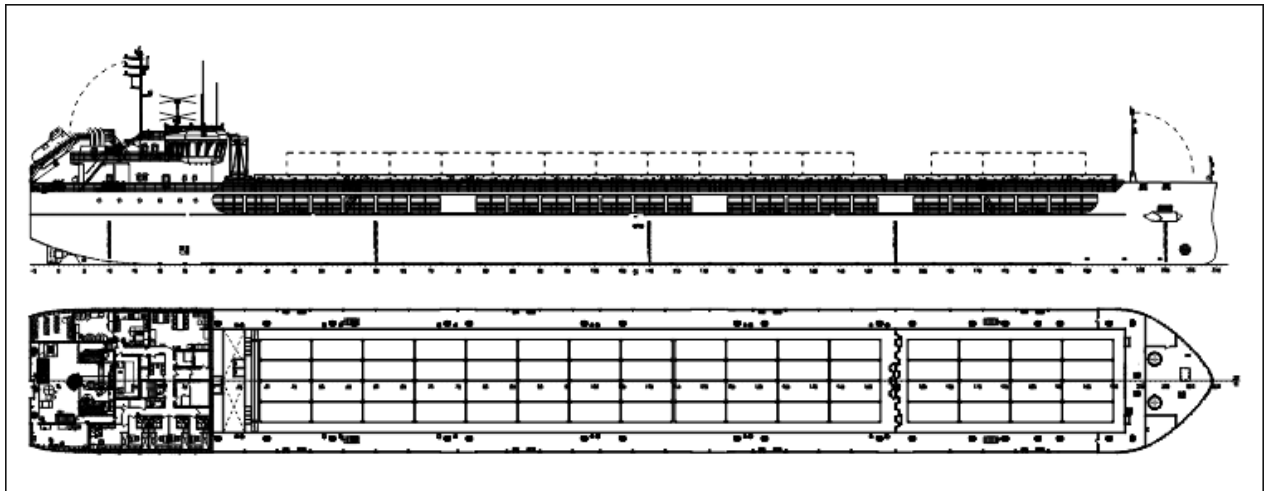


Рис. 1.1. Ілюстрація-ескіз зовнішнього виду проєкту RSD59 [4]

Проект суховантажного судна RSD59 було розроблено Морським Інженерним Бюро м. Одеса в 2017р. 27 вересня 2021 року багатоцільове суховантажне судно проєкту RSD59 дедвейтом 8144 тон судноплавної компанії "Астрол" успішно завершило самий далекий для суден проєкту [RSD59](#) круговий рейс по трасі Північного Морського Шляху по маршруту Архангельськ – Зелений мис (селище Черский, ріка Колима) – Архангельськ. Загальна довжина рекордного маршруту склала більш 5000 морських миль, тривалість майже 40 доби. Світлини надані прес-службою компанії "Астрол".

					141.43013.БР.ПЗ.Р1	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

Завантаження проєктними вантажами, автотехнікою і сорокафутковими контейнерами почалася 13 серпня в терміналі "Економія" (Архангельський морський торговельний порт). Загальна вага вантажу – 1760 т.



Рис.1.2. Фото судна проєкту RSD59, автор Сергій Морозов

Судно проєкту [RSD59](#) вийшло в рейс із Архангельська 19 серпня 2021 року [5]. На трасу північного морського шляху судно ввійшло через Карські ворота. Біля острова Білий у Карському морі т/х проєкту RSD59 потрапив у шторм. Між островами Потрійний і Великий судно проходило льодові поля й окремо плаваючі тороси. Пройшовши успішно мис Челюскін і протока Вількицького, судно проєкту RSD59 знову потрапило в штормові умови в комбінації із хвилями до 3 м у море Лаптевих. При проходженні до острова Великий Ляховський і протоці Дмитра Лаптева 1 вересня зустрівся багаторічний лід. До устя ріки Колими (бухта Амбарчик) по Східно-Сибірському морю судно проєкту [RSD59](#) дійшло в робочому режимі 2 вересня. 3 вересня в 17.00 МСК судно встало на розвантаження в порту Зелений мис (селище Черський) на ріці Коліма. Зворотний перехід в Архангельськ судно проєкту [RSD59](#) успішно завершило 27 вересня. Для суден проєкту [RSD59](#) рейс став рекордним по дальності й часу знаходження на Північному Морському Шляху. Унікальність і успіх рейсу забезпечений

					141.43013.БР.ПЗ.Р1	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

ретельною спільною роботою фахівців, а також плановою підготовкою екіпажів і суховантажів. Успішний рейс багатоцільового суховантажного судна проєкту RSD59 відкрив нові можливості роботи суден проєкту [RSD59](#) на різних ділянках траси Північного Морського Шляху.

Судна проєкту [RSD59](#) є найбільш затребуваними серед суховантажів ріка-море плавання. На сьогодні загальне замовлення багатоцільових суховантажних суден проєкту [RSD59](#) становить 63 судна (сорок шість побудоване, сімнадцять – у роботі): це сама масова серія суден, побудована за останні 10 років на вітчизняних заводах. Замовник багатоцільових суховантажних суден змішаного плавання проєкту [RSD59](#) – АТ "Державна лізингова транспортна компанія", лізингоотримувачі – судноплавні компанії "Пол Райз", "Идель", "Петротранс", "Астрол", "Альфа".

Проєкт [RSD59](#) розроблений Морським Інженерним Бюро. Завод "Червоне Сормово" уже побудував двадцять дев'ять багатоцільових суховантажних суден проєкту [RSD59](#), у будівлі ще 11 суден проєкту [RSD59](#). Окська судноверф уклала контракти на 18 суден проєкту [RSD59](#). Чотирнадцять здані. Невський суднобудівельно-судноремонтний завод здав три судна проєкту [RSD59](#), ще два будуються. Головне судно серії [RSD59](#) "Пол Макарія" увійшло до складу кращих суден 2018 року (Significant Ships of 2018) Британського Королівського суспільства корабельних інженерів (RINA – Royal Institution of Naval Architects). Суду проєкту [RSD59](#) відповідно до прийнятої в Бюро класифікації ставляться до класу "Волго-Дон макс", мають максимально можливі для ВДСК габарити. Судна серії можуть використовуватися для транспортування генеральних, навалювальних, контейнерних, лісових, зернових і великогабаритних вантажів, небезпечних вантажів класів 1.4S, 2, 3, 4, 5, 6.1, 8, 9 МК МПОГ і Додатка В Кодексу ВР у Каспійському морі, а також у Середземному, Чорному, Балтійськом, Білому, Північному морях, включаючи рейси навколо Європи й в Ірландське море взимку.

Новий суховантажний проєкт [RSD59](#), який виконаний в "зверхповних" обводах уже із двома суховантажними трюмами, один з яких має рекордну для "Волго-Дон Макса" довжину, є спадкоємцем трюхтрюмної серії суден [RSD49](#).

					141.43013.БР.ПЗ.Р1	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Переваги проєкту [RSD59](#) (на прикладі судна "Пол Фіва" з посиленою морською функцією) у порівнянні із кращим з раніше побудованих суховантажів "Волго-Дон макс" класу проєкту [RSD49](#): • наявність довгого трюму $L = 77,35$ м (на судні проєкту [RSD49](#) $L = 52$ м), що дозволяє перевозити КТГ, що актуально для ринку країн Каспійського регіону; • висота трюму більше на 620 мм (9000 мм), чому на судні проєкту [RSD49](#), що дозволяє перевозити контейнери висотою до 9,6 футів – "high cube containers" (3 таких контейнера у висоту); • дедвейт у ріці при осаді 3,60 м 5320 тонни (у проєкті [RSD49](#) – 4507 тонн), що більше на 813 тон; • дедвейт при осаді 4,20 м 6944 тон (у проєкті [RSD49](#) – 6021 тонна), що більше на 923 тонни; • дедвейт при максимальному осіданні 4,706 м 8144 тон (у проєкті [RSD49](#) при максимальному осіданні 4,70 м 7143 тонни), що більше на 1000 тонн; • установлені люкові закриття знімного типу. Відкривання й закривання кожної секції здійснюється за допомогою спеціального козлового крана, який по-похідному розташовується в районі носового перебирання житлової надбудови; • рух і керованість забезпечуються двома ВРК (краще маневреність в узкостях, більше вантажного простору за рахунок зменшення розмірів МО).

Проєкт розроблений на клас КМ ⚙ Ice2(hull; power) R2 AUT1-ICS BWM(T) CONT (deck, cargo holds Nos.1,2) DG (bulk, rack) Міжнародної Асоціації класифікаційних товариств й задовольняє всім вимогам міжнародних конвенцій, що діють на момент закладки судна. При цьому по водотоннажності суду проєкту [RSD59](#) є на сьогоднішній день самими більшими із суховантажних суден, що задовольняють габаритам Волго-Донського судноплавного каналу. При характеристичній для ВДСК осаді 3,60 м у ріці дедвейт становить 5320 т, найбільший дедвейт у морі при осаді 4,706 м – 8144 т. Довжина найбільша становить 141,0 м, ширина габаритна – 16,98 м, висота борту – 6,00 м. Місткість вантажних трюмів 11400 куб. м. Обоє трюму виконані ящикової форми, гладкостінні, зручні для проведення вантажних робіт і розміщення вантажу без штивки. Розміри: довжина х ширина х висота 77,35 х 12,25 х 9,0 м і 27,03 х 12,25 х 9,0 м. Швидкість експлуатаційна становить 10,5 вузлів. У якості головних двигунів використовуються два середньооборотних дизеля потужністю 1200 кВт кожний, що працюють на важкому паливі в'язкістю до 380 сст. Запаси важкого

					141.43013.БР.ПЗ.Р1	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

палива розміщаються в диптанках у районі носового перебирання МО, відділених від заборотної води подвійними дном і бортами. Автономність плавання в море становить 20 доби. Екіпаж – 11 людей, місць – 14. Передбачена санітарна каюта й каюта для лоцмана. Розрахунковий термін служби корпусу судна 24 роки. Друге дно розраховане на інтенсивність розподіленого навантаження 12,0 т/кв. м, а також на роботу грейфером вантажопідйомністю 16 т.

Таблиця 1.1. Основні характеристики суховантажного судна проєкту RSD59

#	Параметр	Величина
1.	Головні розміри	
	Довжина максимальна, м	140.88
	Довжина між перпендикулярами, м	137.08
	Ширина габаритна, м	16.98
	Ширина розрахункова, м	16.90
	Висота борту, м	6.00
	L x B x H, м	140.88 x 16.98 x 6.00 = 14 352
2.	Осад (у морі / у ріці), м	4.706/3.60
3.	Дедвейт (у морі / у ріці) (близько), т	8144 / 5320
4.	Автономність (у морі / у ріці), діб.	20/12
5.	Кількість вантажних трюмів	2
6.	Обсяг вантажних трюмів, м ³	11400
7.	Контейнеромісткість (трюм / палуба), TEU	248 (192 / 56)
8.	Клас Українського Морського	КМ ★ Ice2(hull; power) R2 AUT1-ICS BWM(T)

					141.43013.БР.ПЗ.Р1	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

#	Параметр	Величина
	Регістру Судноплавства	CONT (deck, cargo holds Nos.1,2) DG (bulk, pack)
9.	Потужність ГД, кВт	2 x 1200
10.	Гвинто-Кермовий комплекс	2 x ВРК
11.	Носовий пристрій, що підрулює, кВт	1 x 230
12.	Допоміжні генератори:	
	дизель-генератори, кВт	2 x 332
	аварійний дизель-генератор, кВт	1 x 90
13.	Екіпаж / місць, чол.	11/14
14.	Швидкість (при осаді $T = 4.5$ м і 100% МДМ), вузли	10.2 ± 0.2

1.2. Визначення електроенергетичної установки

Суднова електроенергетична система СЕЕС (або установка) складається в основному з генераторних агрегатів, розподільчих щитів і ліній електропередач. Також СЕЕС містить в своєму складі системи управління – локальні системи управління агрегатами і комплексну систему управління електрогенерацією та електропостачанням. Джерелами електричної енергії на судах служать електрогенератори змінного або постійного струму, що приводяться в рух первинними двигунами (паровими машинами й турбінами, двигунами внутрішнього згоряння), й акумуляторні батареї. Генератори струму, змонтовані разом з первинними двигунами на одній фундаментній рамі, називаються електроагрегатами й по роду первинного двигуна розділяються на парогенератори, турбогенератори й дизель-генератори.

					141.43013.БР.ПЗ.Р1	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

До складу СЕЕС, окрім електроагрегатів, входять головний розподільчий щит (ГРЩ) і допоміжні розподільні щити з розміщеними на них апаратурою, приладами й різними допоміжними пристроями. Електрична станція розміщається звичайно в машинному відділенні судна або в спеціальному відсіку, поблизу машинного відділення.

По призначенню судові електростанції підрозділяють на основні, допоміжні й освітлювальні. Основні електростанції встановлюють на судах головних двигунів, що мають у якості, гребні електродвигуни (турбо- і дизель-електроходи). Такі станції служать для забезпечення руху судна, привода допоміжних механізмів і пристроїв, висвітлення судна й живлення побутових електроприладів. Вони досягають по потужності декількох тисяч кіловат.

Допоміжні електростанції встановлюють на судах з паротурбінними, дизельними й газотурбінними установками (турбоходи, теплоходи й ін.). Вони призначені для забезпечення роботи допоміжних механізмів і пристроїв, а також для висвітлення судна. Потужність таких електростанцій досягає кілька сотень і навіть тисяч кіловат. Освітлювальні електростанції встановлюються на невеликих судах, що мають паровий привод допоміжних механізмів, і служать в основному для висвітлення судна. Потужність цих електростанцій, як правило, не перевищує декількох десятків кіловатів. Судові електростанції відповідно до Правил Регістру [6, 7, 8] можуть бути як постійного струму напругою 6В, 12В, 24В, 110В і 220В, так і змінного струму напругою 6В, 12В, 24В, 127В, 220В і 380В. Для силових електромереж допускається застосування напруги до 220В у при постійному струмі й до 380В у при змінному. Для мереж висвітлення незалежно від роду струму застосовується напруга 220В або 110/127В, а для низьковольтного освітлення – 6, 12 і 24В. На танкерах і нафтоналивних судах напруга мережі висвітлення не повинне перевищувати 110В у при постійному струмі й 127В – при змінному.

На судах використовують електродвигуни постійного й змінного струму. Застосування постійного струму дозволяє плавно регулювати частоту обертання електродвигунів у широких межах, допускає в них перевантаження й великий пусковий момент. Тому електродвигуни постійного струму застосовуються на

					141.43013.БР.ПЗ.Р1	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

судах для привода в дію палубних механізмів, кермових машин і деяких допоміжних механізмів машинного відділення. Однак більшу перевагу мають електродвигуни змінного струму (особливо асинхронні), що пояснює сучасну тенденцію повсюдного їхнього впровадження на морських судах.

Так, наприклад, асинхронні електродвигуни з короткозамкненим ротором, що випускаються у водозхищеному і брызгозахищеному виконаннях на напругу струму 380/220В, можуть бути використані як у якості гребних електродвигунів, так і для привода палубних механізмів.

Окрім головної електростанції, більшість суден має незалежну аварійну станцію, що одержує живлення від аварійного дизель-генератора й призначену для забезпечення живленням і висвітленням приладів керування судном і основних допоміжних електромеханізмів у випадку виходу з ладу головного електроагрегата.

На деяких типах суден (нафтоналивні, пасажирські й ін.) поряд з аварійною електростанцією встановлюють спеціальні акумуляторні батареї малого аварійного освітлення, що автоматично включаються при зникненні струму в судновій мережі освітлення.

Головний розподільний щит (ГРЩ) суднової електростанції (СЕС) складається з металевого каркаса й прикріплених до нього однієї або декількох панелей, призначених для розташування на них приладів. Кількість панелей на каркасі щита визначається числом електрогенераторів і кількістю суднових споживачів струму.

Згідно із Правилами Регістру [6, 7, 8] на морських судах допускається установка розподільних щитів тільки закритого типу. Такі щити відрізняються тим, що на їхній лицьовій стороні на панелях розміщують тільки електровимірювальні прилади, а також рукоятки керування іншими приладами й апаратами, які разом зі струмоведучими частинами й шинами монтують на задній стороні щита. Усі електрогенератори приєднують до загальних збірних щитів ГРЩ, які розділяють на окремі секції для можливості відключення й ремонту при працюючій електростанції. До розподільних пристроїв ставляться також вторинні, групові й окремі щити, улаштовані подібно ГРЩ.

					141.43013.БР.ПЗ.Р1	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.3. Структура суднової електростанції

Судно суховантаж проєкту RSD59 має єдину автономну магістрально-фідерну СЕЕС на рис.1.3 з двома основними дизель-генераторними агрегатами ДГ1, ДГ2 потужністю по 332КВт і аварійним дизель-генератором АДГ на 90КВт. Суднова електроенергетична система СЕЕС суховантажного судна живить окрім власних споживачів для забезпечення екіпажу та систем керування ще і пожежні насоси та суховантажну і ескортну лебідки. Двигуни підрулюючого пристрою та кранових лебідок мають регульовану потужність завдяки використанню сучасних перетворювачів частоти ПЧ1, ПЧ2. Для живлення зарядних пристроїв та електроінструменту використовується понижуючий трансформатор з напругою 36В та випрямний агрегат ВА. Мережа

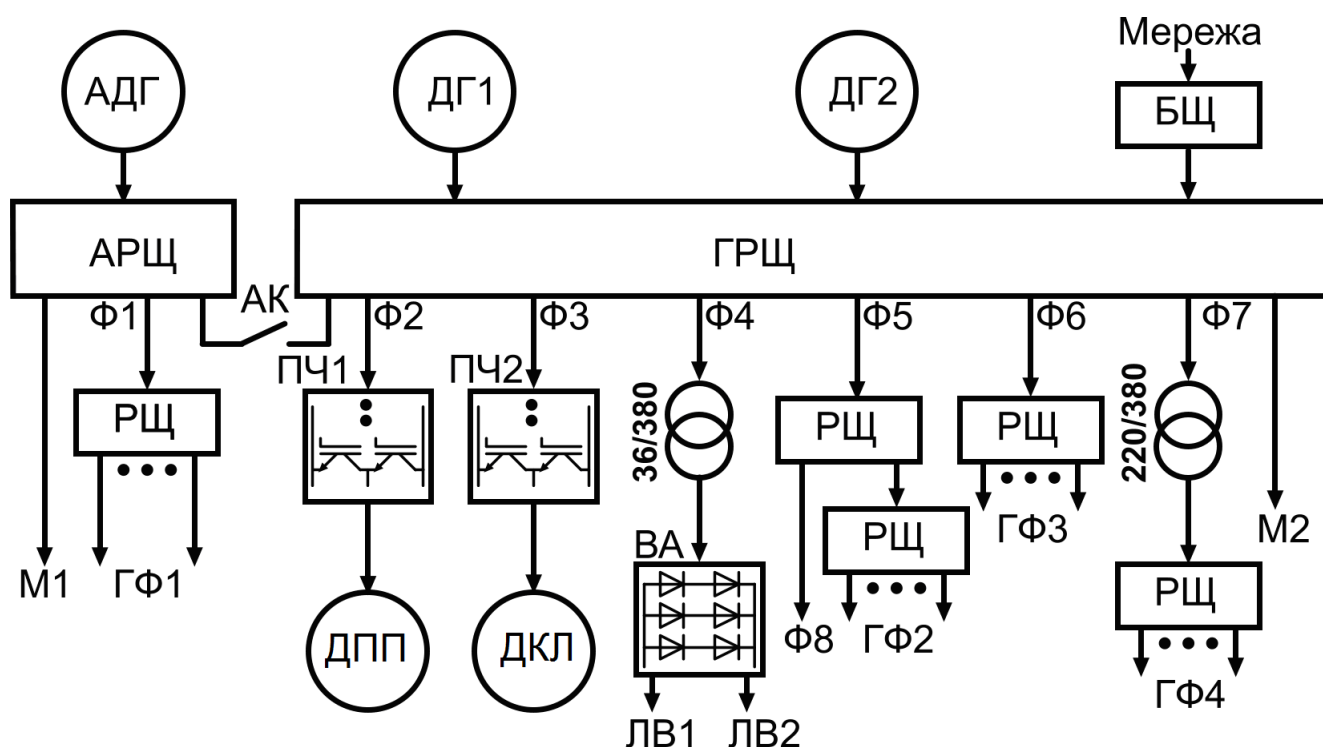


Рис.1.3. Структурна електрична схема СЕЕС суховантажного судна:

АДГ – аварійний дизель-генератор, ДГ1, ДГ2 – основні дизель-генератори СЕЕС, БЩ – щит берегового живлення, АРЩ – аварійний розподільчий щит, ГРЩ – головний розподільчий щит, РЩ – розподільчий щит (локальний), Ф1-Ф8 – фідерні лінії мережі живлення, М1 і М2 – магістральні лінії мережі живлення, АК – аварійний комутатор живлення, ПЧ1, ПЧ2 – перетворювачі частоти для живлення двигунів підрулюючого пристрою і кранової лебідки судна, ЛВ1 і ЛВ2 – лінії випрямленої напруги, ВА – випрямний агрегат, ГФ1-ГФ4 – групи фідерів живлення, ДПП – двигун підрулюючого пристрою, ДКЛ – двигун кранової лебідки

Встановленої генераторна потужність СЕЕС (2*332КВт) на рис.1.3 використовується для живлення відповідальних пристроїв судна (біля 75%) – для підрулюючого пристрою, кранової лебідки, рульового пристрою, насосів. Для постійного живлення решти власних споживачів судна використовується біля 25% сумарної потужності СЕЕС. Тому живлення власних споживачів на стоянці для економії генераторних ресурсів відбувається від одного дизель-генератора ДГ2 потужністю 332КВт, який працює в недовантаженому режимі, або від берегової мережі живлення.

В нормальних режимах роботи судна [9, 10] – ходовому і маневровому – електроенергія виробляється дизель-генераторами ДГ1 і ДГ2. Коли судно знаходиться на короткочасній стоянці, живлення власних нужд, як зазначалося вище, відбувається від другого дизель-генератора ДГ2, а коли судно стоїть на причалі, живлення береться з берега через “берегові” щити БЩ. Судновий БЩ знаходиться на судні, а саме береговий щит, від якого береться живлення – на причалі. Більшість часу в холостому ходовому режимі без завантаження працює тільки один з двох дизель-генераторів ДГ1 або ДГ2.

В режимах підвищеного енергоспоживання – в завантажених операціях, в маневреному режимі і на стоянці з вантажно-розвантажувальними операціями – можуть використовуватись всі два генератори ДГ1 і ДГ2. Такий порядок експлуатації СЕЕС дозволяє повніше використовувати потужність окремих дизель-генераторних агрегатів і збільшити їх ресурс за рахунок роботи в близьких до номінальних режимах, коли витрати палива по відношенню до корисної потужності мінімальні і механізми працюють з рівномірними навантаженнями.

В аварійному режимі судна, коли, наприклад, трапляється пробоїна, пожежа, інші пошкодження судна, що загрожують його живучості, запускається аварійний дизель-генератор АДГ і при зникненні напруги в ГРЩ вмикається аварійний комутатор АК, який через кабельну перемичку подає живлення до відповідальних споживачів, підключених до ГРЩ, і також безпосередньо до споживачів, підключених до аварійного щита АРЩ через магістраль М1 і через фідер Ф1 і розподільчий щит та групу фідерів ГФ1.

					141.43013.БР.ПЗ.Р1	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

Суднові споживачі електроенергії можна розділити на відповідальні, які забезпечують працездатність судна і невідповідальні, які можна вимкнути в критичних ситуаціях і які безпосередньо не впливають на життєздатність судна. До відповідальних відносяться рульові пристрої, електрообладнання ходових двигунів, життєво важлива вентиляція. До не відповідальних – камбуз, загальна вентиляція, кондиціонери, холодильники, майстерня, обладнання для комфорту і обслуговування потреб екіпажа.

Електричне живлення суднових споживачів в нормальних режимах роботи береться від ГРЩ і роздається через фідерні лінії Ф2-Ф8 та локальні розподільчі щити РЩ, які розташовані в різних місцях на судні. До локальних РЩ підключаються кінцеві споживачі електроенергії через групи фідерів ГФ2-ГФ4. Розгалужені споживачі (наприклад, освітлення) а також нестационарні споживачі (наприклад, електроінструмент) можуть підключатися до живлення через магістралі М2, які пролягають через всі робочі простори судна.

Для заряду акумуляторних батарей та живлення інших споживачів постійного струму використовується випрямний агрегат ВА з вихідними лініями випрямленої напруги ЛВ1 і ЛВ2. Живлення регульованих стаціонарних асинхронних двигунів підрулюючого пристрою та кранової лебідки судна здійснюється через перетворювачі частоти ПЧ1, ПЧ2. Освітлення та побутові прилади живляться через понижуючий трансформатор 380/220В і через окремий локальний РЩ з напругою 220В.

Функціональна схема СЕЕС на рис.1.3 є дещо узагальненою і ілюструє принцип побудови СЕЕС за складом основних компонентів. В конкретному проєкті судна кількість основних компонентів, таких як розподільчі щити РЩ, перетворювачі частоти ПЧ, випрямні агрегати ВА, трансформатори, фідери і магістральні лінії може бути більшою за ту мінімальну кількість, що представлено на цій схемі.

На рис.1.4 для наочного пояснення принципу побудови показана структурна схема СЕЕС суховантажного судна з однією системою збірних шин [10], коли в кожній секції ГРЩ і АРЩ є по одній збірній шині. Реальна СЕЕС може містити двійну або для деяких споживачів і більшу кількість збірних шин в секції. Схема

					141.43013.БР.ПЗ.Р1	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

виконана в однолінійному стилі. В кожній провідниковій лінії схеми міститься три окремих фазних провідника. Збірні шини складаються з трьох силових фазних шин, однієї нейтральної шини (яка може бути дещо меншого перетину за фазні шини) та однієї корпусної шини.

Апаратура СЕЕС – автоматичні вимикачі і трансформатори, асинхронні двигуни лебідок теж є трьохфазними. Два основних дизель-генератори змінного струму з номінальною напругою 380В ДГ1, ДГ2 на рис.1.4 підключаються до секцій I і II ГРЩ через автоматичні вимикачі АВГ1, АВГ2, які захищають дизель-генератори від перевантажень.

При відмові генераторного дизеля один з генераторів може відключитися від збірної шини. При порушеннях синхронізації збірні шини роз'єднуються автоматичним вимикачем АВШ1. При аваріях в електросистемі секції відключаються від споживачів фідерними або магістральними вимикачами АВФ або АВМ.

Секції ГРЩ представляють собою відсіки з збірними силовими шинами, ввідними автоматичними вимикачами генераторів АВГ1, АВГ2, автоматичним вимикачем шин АВШ і іншими комутаційними апаратами та клемниками. Схема ГРЩ дозволяє включати генераторні агрегати окремо один від одного або паралельно за допомогою АВШ, а також відключати від живлення будь-яку з секцій I- IV без зупинки системи.

Секція III відведена для напруги 220В і підключається до живлення через один чи два трансформатори Т1 і Т2. Зазвичай один трансформатор працює постійно, а інший є резервним.

В аварійному режимі в роботу вступає аварійний генератор АДГ, який підключається до шин аварійного розподільчого щита АРЩ через автоматичний вимикач АВАГ. Живлення від АРЩ до секцій I та II від секції IV може підводитися через аварійні автоматичні вимикачі АВА1 і АВА2. Живлення подається тільки на необхідні споживачі – насоси пожегартушіння або для відкачки води з трюмів, рятувальні засоби, на радіообладнання, сигнальні вогні тощо.

					141.43013.БР.ПЗ.Р1	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

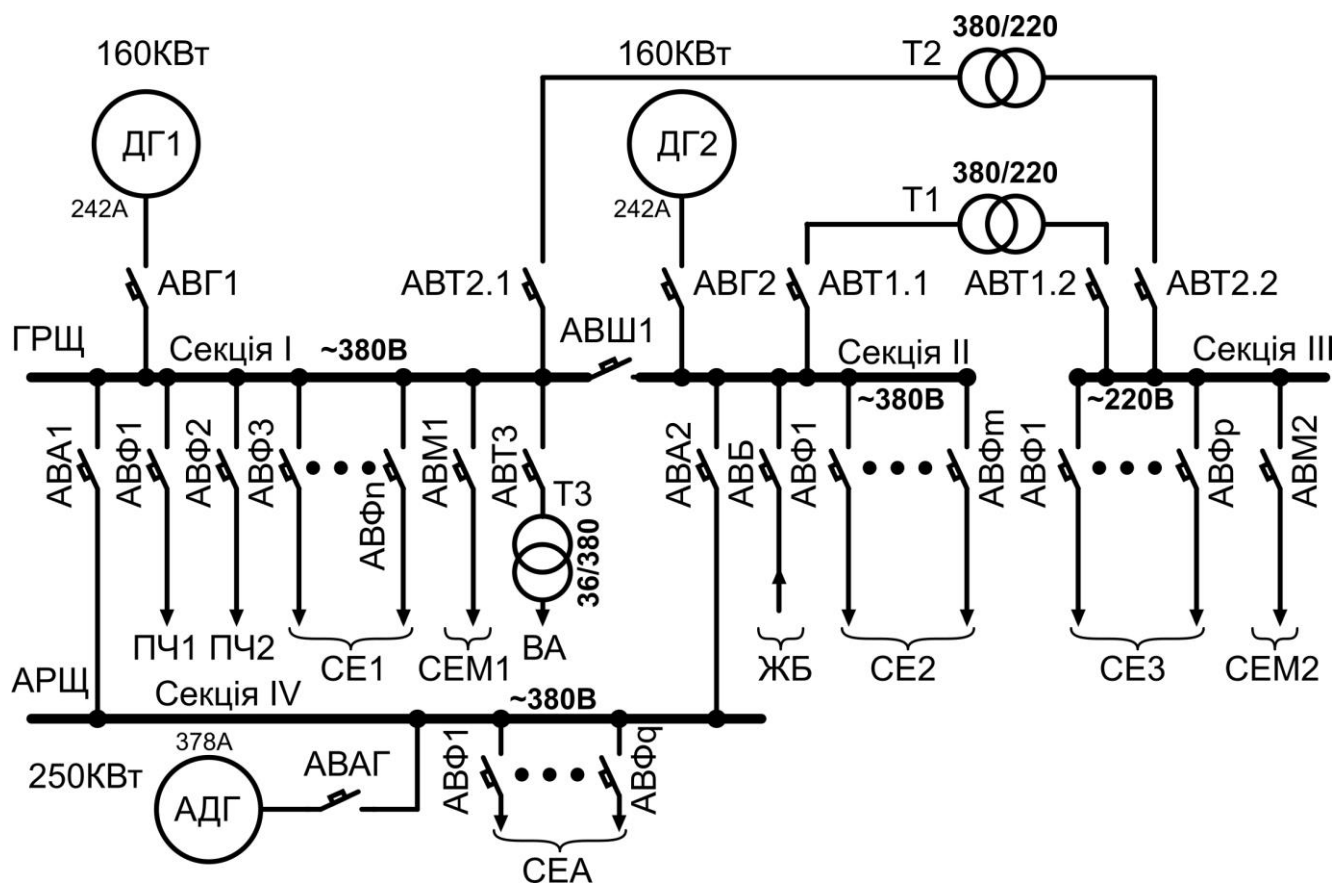


Рис.1.4. Структурна однолінійна схема ГРЩ СЕЕС суховантажного судна:

ДГ1, ДГ2 – основні дизель-генераторні агрегати, АДГ – аварійний дизель-генератор, АВГ1, АВГ2 – автоматичні вимикачі генераторів, Т1 і Т2 – трансформатори напруги, АВТ1.1-АВТ2.2 – автоматичні вимикачі трансформаторів, ГРЩ – головний розподільчий щит, АРЩ – аварійний розподільний щит, АВШ – автоматичні вимикачі шинні, АВА1 і АВА2 – автоматичні вимикачі аварійні, АВФ1 і АВФ2 секції I – автоматичні вимикачі перетворювачів частоти ПЧ1-ПЧ4 ходових і підрулювального двигунів, АВФ3-АВФn, АВФ1-АВФm, АВФ1-АВФр, АВФ1-АВФq – автоматичні вимикачі фідерні для різних груп споживачів електроенергії, АВМ1 і АВМ2 – автоматичні вимикачі магістральні, СЕ1, СЕ2, СЕ3 – групи споживачів електроенергії, СЕМ1, СЕМ2 – споживачі магістральні, ЖБ – живлення з берега, АРЩ – аварійний розподільчий щит, АДГ – аварійний дизель-генераторний агрегат, АВАГ – автоматичний вимикач аварійного генератора, СЕА – споживачі електроенергії в аварійному режимі

Берегове живлення (ЖБ) подається на збірну секцію II через автоматичний вимикач АВБ. Під час стоянки на причалі берегове живлення може працювати паралельно з живленням від другого генератора ДГ2 за умови його синхронізації з береговою мережею живлення. В такому разі генераторний агрегат працює в режимі веденого.

Суднові споживачі електроенергії СЕ поділено на наступні групи:

СЕ1 – основні споживачі ходового режиму кількістю n ,

СЕ2 – резервні споживачі ходового режиму кількістю m ,

СЕ3 – споживачі стояночного режиму кількістю p ,

СЕМ1 – освітлення кількістю q ,

СЕМ2 – побутові споживачі,

СЕА – аварійні споживачі кількістю x .

Перетворювачі частоти ПЧ1, ПЧ2 двигунів підрулюючого пристрою і кранової лебідки живляться від збірної шини секції I через автоматичні вимикачі АВФ1 і АВФ2. Споживачі електроенергії отримують живлення від збірних шин через автоматичні вимикачі фідерів АВФ3-АВФ n , АВФ1-АВФ m , АВФ1-АВФ p , АВФ1-АВФ q і автоматичні вимикачі магістралей АВМ1 напругою 380В і АВМ2 220В. Також в суднових ГРЩ використовується автоматика управління дизелями, регулювання напруги генераторів, автоматична синхронізація, управління резервним та аварійним живленням, підключенням та відключенням окремих груп споживачів електроенергії.

Таким чином, на кожній генераторній секції ГРЩ змінного струму (секції I II і III), є апаратура і автоматика, яка призначена для керування роботою синхронного генератора й контролю над ним [11]. В склад цієї апаратури обов'язково входять наступні прилади й апарати, що встановлюються в ГРЩ, але на схемі рис.1.4 не показані:

- амперметр із перемикачем (або три амперметри) для виміру струму навантаження генератора у всіх трьох фазах;
- вольтметр із перемикачем або вольтметри для виміру лінійної напруги генератора між будь-якими фазами;

					141.43013.БР.ПЗ.Р1	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

- частотомір для виміру частоти струму генератора;
- ватметр для виміру активної потужності генератора;
- фазометр для виміру коефіцієнта потужності генератора;
- автомат вибіркової дії для захисту генератора від перевантаження й коротких замикань;
- реле зворотної потужності для захисту генератора від роботи в руховому режимі при відмові дизеля;
- реле перевантаження;
- регулятор ручного регулювання напруги генератора;
- автоматичний регулятор напруги генератора;
- перемикач дистанційного керування серводвигуном для регулювання подачі палива або пара в первинний двигун генератора;
- пристрій гасіння поля генератора.

Також в кожній секції ГРЩ містяться розрядники і силові варистори для обмеження високовольтних імпульсних перешкод, які виникають у час грози або в результаті комутаційних процесів.

					141.43013.БР.ПЗ.Р1	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

					141.43013.БР.ПЗ.Р2						
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							
Студент		Пінчук І. М.				Перевірочний розрахунок потужностей електроенергетичної системи судна			Літ.	Аркуш	Аркушів
Керівник		Обрубов А. В.									
Консультант									НУК		
Зав. каф.		Обрубов А. В.									

Розділ 2. Перевірочний розрахунок потужностей

електроенергетичної системи судна

2.1. Вступні пояснення

Існують кілька методів розрахунків потужностей СЕЕС: емпіричний метод навантажувальних таблиць (табличний метод), статистичний метод, аналітичний метод і ряд інших. В даній роботі для перевірного розрахунку потужностей СЕЕС використовується табличний метод завдяки наочності й можливості аналізу роботи будь-якого окремого механізму або приймача електроенергії у всіх розрахункових режимах роботи судна. До недоліків цього методу слід віднести невизначеність вибору деяких коефіцієнтів, що веде до неточностей при визначенні загальної потужності СЕЕС. Для зменшення невизначеності параметрів деяких споживачів електроенергії доцільно використовувати розрахунки на основі статистичних даних по існуючих суднах цього класу. Таким чином, комбінація табличного і статистичного методів визначення потужностей СЕЕС дозволить підвищити точність перевірочних розрахунків.

У процесі експлуатації судна состав споживачів електроенергії, режими робіт і їх споживана потужність міняються в широких межах. Тому СЕЕС повинна бути спроектована так, щоб у всьому діапазоні зміни навантаження завантаження генераторів було, по можливості, близька до оптимальної. Розрахунки навантажень СЕЕС проводиться для найбільш характерних експлуатаційних режимів судна. До цих режимів, згідно з Регістром, ставляться режими: ходовий, маневровий, стоянки, стоянки з вантажними операціями (наприклад, для сухогрузів) і аварійний режим. Зіставлення значень потужностей у всіх розрахункових режимах дозволяє вибрати оптимальний состав СЕЕС по типу, кількості й потужності генераторних агрегатів.

Точна збіжність результатів перевірного розрахунку з фактичними параметрами СЕЕС не гарантується, оскільки режими описуються приблизно.

					141.43013.БР.ПЗ.Р2	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

2.2. Складання таблиці навантажень

Таблиця навантажень заповнюється і автоматично розраховується в додатку *Microsoft Excel* пакету програм *MS-Office* (версія починаючи з 2003). Далі за текстом наведено скріншоти таблиці навантажень [12] в таблиці 2.2 з результатами розрахунків. Її файл додається до роботи. Всі стовпці таблиці навантажень пронумеровані. В деякі стовпці вносяться вхідні дані – вони виділені жовтим кольором. В інші стовпці виводяться результати розрахунків. Розглянемо далі, які дані знаходяться в стовпцях таблиці навантажень.

Стовпець 1. Порядкові номери споживачів електроенергії.

Стовпець 2. Вводиться найменування всіх споживачів електроенергії, що наявні на судні (дрібні споживачі, наприклад, лампи висвітлення, деякі побутові прилади й т.п. можуть бути поєднані одним рядком). При цьому доцільно розбити споживачів на наступні групи:

- палубні механізми;
- системи, що обслуговують силову установку; загальносуднові системи;
- суднове освітлення, прожектори й сигнально-відмітні вогні;
- прилади автоматики, радіоустаткування й електронавігаційні прилади;
- інші споживачі.

Такий розподіл дозволяє наочно представити роботу окремих механізмів і споживачів електроенергії, а також їх взаємозв'язки в різних режимах роботи судна.

Стовпець 3. Вводиться кількість N встановлених однойменних споживачів електроенергії.

Стовпець 4. Вводиться номінальна потужність $P_{\text{ном}}$ одного споживача. По замовченню мається на увазі вихідна потужність пристрою. Наприклад, для двигуна – це номінальна механічна потужність на валу.

Стовпець 5. Розраховується ККД споживача. По визначенню ККД є відношення вихідної потужності до споживаної $\eta_{\text{ном}} = P_{\text{ном}} / P_{\text{load}}$. Але зараз споживана потужність (потужність навантаження P_{load} СЕЕС) є не завданою.

					141.43013.БР.ПЗ.Р2	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Тому ККД визначається приблизно наступним чином. Для активного навантаження, наприклад, електронагрівальні прилади і освітлювачі, ККД приймається рівним одиниці $\eta_{\text{ном}} = 1$. Для навантаження у вигляді індуктивних двигунів номінальний ККД розраховується на основі статистичних даних [13] по рядах асинхронних двигунів (Табл.2.1,а,б) за допомогою апроксимуючої формули

$$\eta(P_{\text{ном}}) = (\eta_{\text{max}} - \eta_{\text{min}})(1 - e^{-P_{\text{ном}}/F_p}) / (1 - e^{-P_{\text{ном}}_{\text{max}}/F_p}) + \eta_{\text{min}}, \quad (2.1)$$

де $P_{\text{ном}}$ – номінальна потужність асинхронного двигуна, $\eta_{\text{max}} = 0,95$ і $\eta_{\text{min}} = 0,75$ – максимальний і мінімальний ККД зі статистики, $P_{\text{ном}}_{\text{max}} = 160$ кВт – максимальне значення номінальної потужності зі статистики, $F_p = 15$ – фактор впливу номінальної потужності двигуна на ККД. Формула (2.1) дає приблизні значення ККД, які в більшості не перевищують реальні ККД асинхронних двигунів і входять в 5%- ний коридор знизу. Таким чином, потужності двигунів будуть оцінені по верхніх значеннях.

Таблиця 2.1,а. Статистичні дані асинхронних двигунів

Тип	P	n	ККД	cos(Fi)	Inom	Апроксимація
5A80MA8	0.37	695.00	56.00	0.62	1.60	70.60912326
5A80MB8	0.55	700.00	58.00	0.6	2.40	70.90006464
5AM112MA8	2.20	710.00	79.00	0.7	6.00	73.41045525
5AM112MB8	3.00	710.00	79.00	0.7	8.30	74.53173117
АИРМ132S8	4.00	715.00	82.00	0.7	10.60	75.85179154
АИРМ132M8	5.50	715.00	83.00	0.73	13.80	77.6739845
5A160S8	7.50	725.00	86.00	0.72	18.40	79.83673351
5A160M8	11.00	725.00	87.00	0.74	26.00	82.99236747
АИР180M8	15.00	730.00	88.00	0.78	33.00	85.80301397
5A200M8	18.50	735.00	90.00	0.76	41.00	87.71700272
5A200L8	22.00	735.00	90.00	0.77	48.50	89.23267044
5A225M8	30.00	735.00	91.00	0.78	64.50	91.61661792
5AM250S8	37.00	740.00	92.00	0.73	84.00	92.87831803
5AM250M8	45.00	740.00	93.00	0.75	98.00	93.75532329
5AM280S8e	55.00	740.00	93.60	0.83	108.00	94.36096167
5AM280M8e	75.00	740.00	94.00	0.82	148.00	94.83155133
5AM315S8e	90.00	740.00	94.50	0.85	170.00	94.9380312
5AM315MA8e	110.00	740.00	94.50	0.86	206.00	94.9836652
5AM315MB8e	132.00	740.00	94.50	0.84	253.00	94.99623167

Таблиця 2.1,б. Статистичні дані асинхронних двигунів

Тип	P	n	ККД	cos(Fi)	Inom	Апроксимація
5A80MA6	0.75	930	70	0.68	2.4	71.21926439
5A80MB6	1.1	930	71	0.69	3.4	71.76772463
5AM112MA6	3	950	81	0.8	7	74.53173117
5AM112MB6	4	955	82	0.81	9.2	75.85179154
АИРМ132S6	5.5	960	84.5	0.8	12.4	77.6739845
АИРМ132M6	7.5	960	85.5	0.8	16.7	79.83673351
5A160S6	11	970	87	0.82	23.4	82.99236747
5A160M6	15	970	88.5	0.83	31	85.80301397
АИР180M6	18.5	980	89.5	0.84	37.5	87.71700272
5A200M6	22	975	90.5	0.83	44.5	89.23267044
5A200L6	30	975	90.5	0.84	60	91.61661792
5A225M6	37	980	91.5	0.84	73	92.87831803
5AM250S6	45	985	93	0.84	87.5	93.75532329
5AM250M6	55	985	92.5	0.84	108	94.36096167
5AM280S6e	75	990	94.5	0.85	142	94.83155133
5AM280M6e	90	990	94.5	0.85	171	94.9380312
5AM315S6e	110	990	94.8	0.88	201	94.9836652
5AM315MA6e	132	990	95	0.9	235	94.99623167
5AM315MB6e	160	990	95.1	0.89	288	94.99941727

Стовпець 6. Вводиться ознака навантаження як індуктивного двигуна – асинхронного або синхронного двигуна. Якщо в складі обладнання більшість електроенергії споживає асинхронний або синхронний двигун, то ставиться слово «так», інакше ячейка залишається порожньою.

Стовпець 7. Розраховується споживана потужність одного споживача електроенергії як відношення вихідної потужності до номінального ККД споживача. Ця потужність є навантаженням СЕЕС: $P_{load} = P_{ном} / \eta_{ном}$.

Стовпець 8. Розраховується загальна споживана потужність однойменними споживачами $P_a = NP_{load}$.

Далі йдуть стовпці для **окремих режимів роботи** судна:

- 1) стовпці 9-14 – ходовий режим,
- 2) стовпці 15-20 – маневровий режим,
- 3) стовпці 21-26 – режим стоянки без вантажних операцій,
- 4) стовпці 27-32 – режим стоянки з вантажними операціями,
- 5) стовпці 33-38 – аварійний режим.

Стовпець 9 (15, 21, 27, 33). Вводиться коефіцієнт одночасності $K_o = n_{\text{вкл}} / N$, що дорівнює відношенню кількості одиниць одночасно включеного однойменного обладнання в даному режимі до кількості встановленого однойменного обладнання. Якщо обладнання в даному режимі не працює, приймають $K_o = 0$. Коефіцієнт одночасності може змінюватись дискретно і кратно $1/N$. Якщо працюють всі однойменні споживачі, то приймають $K_o = 1$. Для одного споживача може бути тільки $K_o = 0$ або 1.

Стовпець 10 (16, 22, 28, 34). Вводиться коефіцієнт завантаженості $K_z = P_{\text{роб}} / P_{\text{ном}}$, що дорівнює відношенню робочої потужності до номінальної потужності споживача. Неповна завантаженість (0,7-0,95) часто є рекомендованим режимом роботи по міркуванням надійності (запас міцності), і також по міркуванням енергоефективності, оскільки, наприклад, ККД електродвигунів є максимальними не на максимальній, а на номінальній або близькій до номінальної, потужності. А ККД світлодіодів взагалі збільшується при зменшенні коефіцієнту завантаженості. Також умови роботи обладнання можуть змінюватись. Наприклад, верстат з електроприводом працює на 80% і більшій потужності приводу тільки 10% робочого часу. Більшість часу навантаження на привід не є максимальними і навіть нижчі за номінальні. Якщо коефіцієнт завантаженості більший за 0,5, то ККД двигуна можна вважати близьким до номінального.

Стовпець 11 (17, 23, 29, 35). Розраховується коефіцієнт потужності, який за визначенням дорівнює відношенню активної потужності споживача до його повної потужності $\cos(\varphi) = P/S$. Якщо споживач не має реактивної складової імпедансу (якщо не двигун, а, наприклад, нагрівач або прожектор), приймається $\cos(\varphi) = 1$. Якщо споживач є двигуном, в довідниках наводиться номінальний коефіцієнт потужності $\cos(\varphi)_{\text{ном}}$ двигунів для номінальних потужностей споживання. Знаючи $\cos(\varphi)_{\text{ном}}$ з використанням статистичних даних [13] можна визначити коефіцієнт потужності для широкого діапазону завантаження двигуна $K_z = 0 \dots 1$ з використанням наближеної формули

					141.43013.БР.ПЗ.Р2	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

$$\cos(\varphi)_{K_3} = (\cos(\varphi)_{\text{ном}} - 0.2) \left(1 - e^{-K_3 / F_3} \right) / (1 - e^{-1 / F_3}) + 0.2, \quad (2.2)$$

де $\cos(\varphi)_{\text{ном}}$ – номінальне значення коефіцієнту потужності двигуна зі довідника, $F_3 = 0,32$ – фактор впливу коефіцієнта завантаженості на коефіцієнт потужності двигуна. Нижче на рис.2.2 наведено графік залежності коефіцієнту потужності двигуна від завантаженості для $\cos(\varphi)_{\text{ном}} = 0,92$.

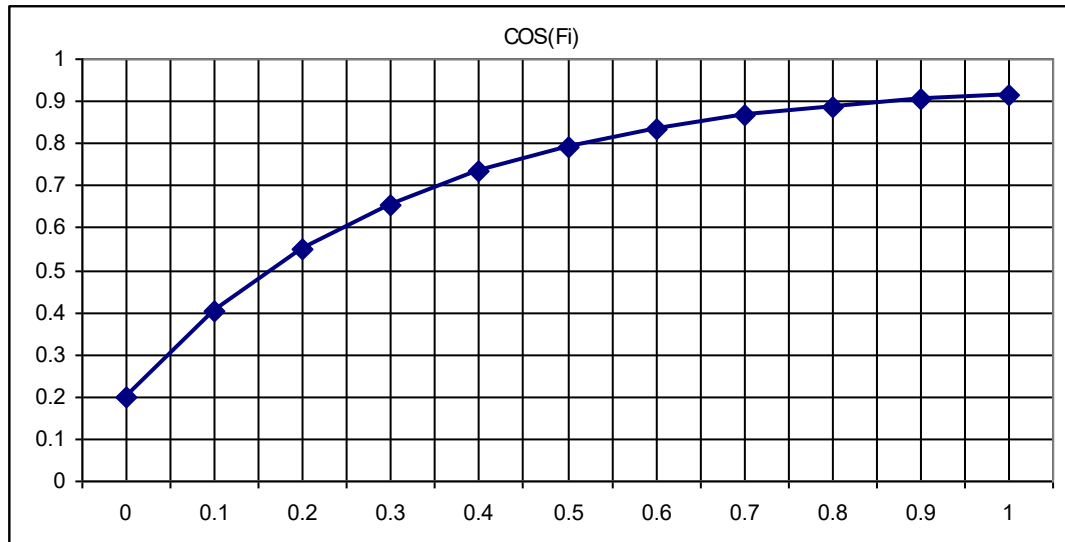


Рис. 2.1. Приблизна залежність коефіцієнту потужності асинхронних двигунів $\cos(\varphi)$ від коефіцієнту завантаженості $K_3 = 0 \dots 1$ на основі статистичних даних

Стовпець 12 (18, 24, 30, 36). Розраховується активна потужність P групи однойменних споживачів в даному режимі роботи судна: $P = P_a K_o K_3$.

Стовпець 13 (19, 25, 31, 37). Розраховується реактивна потужність Q групи однойменних споживачів в даному режимі роботи судна:
 $Q = P \cdot \operatorname{tg}(\varphi) = P \sqrt{1 - \cos^2(\varphi)} / \cos(\varphi)$.

Стовпець 14 (20, 26, 32, 38). Розраховується повна потужність S групи однойменних споживачів в даному режимі роботи судна: $S = \sqrt{P^2 + Q^2}$.

Слід зазначити, що розрахунки СЕЕС необхідно робити з урахуванням плавання судна в найбільш холодну пору року, тобто восени або взимку, у темний час доби, коли включаються прилади опалення й висвітлення. Для тропічних зон враховують найбільш спекотні часи доби.

Якщо двигун працює в широкому діапазоні завантаження, то ККД при коефіцієнті завантаженості до 0,5 помітно зменшується в порівнянні з номінальним значенням. Можна рекомендувати уточнені вирази з методики [14] для розрахунків ККД та коефіцієнту потужності асинхронних двигунів в залежності від завантаженості в широкому діапазоні.

Залежність ККД від завантаженості:

$$\eta(K_z) = 1 / \left(1 + (\eta_{\text{ном}}^{-1} - 1)(1 + K_z^2) / K_z \right), \quad (2.3)$$

де $\eta_{\text{ном}}$ – номінальний ККД двигуна зі справочника, $K_z = 0 \dots 1$ – коефіцієнт завантаженості. Залежність коефіцієнту потужності від завантаженості:

$$\cos(\varphi)[K_z] = K_z / \sqrt{K_z^2 + \text{tg}^2(\varphi)_{\text{ном}}}, \quad (2.4)$$

де $\text{tg}(\varphi)_{\text{ном}} = \sqrt{1 - \cos^2(\varphi)_{\text{ном}}} / \cos(\varphi)_{\text{ном}}$, $\cos(\varphi)_{\text{ном}}$ – номінальне значення коефіцієнту потужності двигуна зі справочника, $K_z = 0 \dots 1$ – коефіцієнт завантаженості. Нижче на рис.2.2,а,б наведено розраховані по (2.3) і (2.4) графіки залежностей ККД і коефіцієнту потужності асинхронного двигуна.

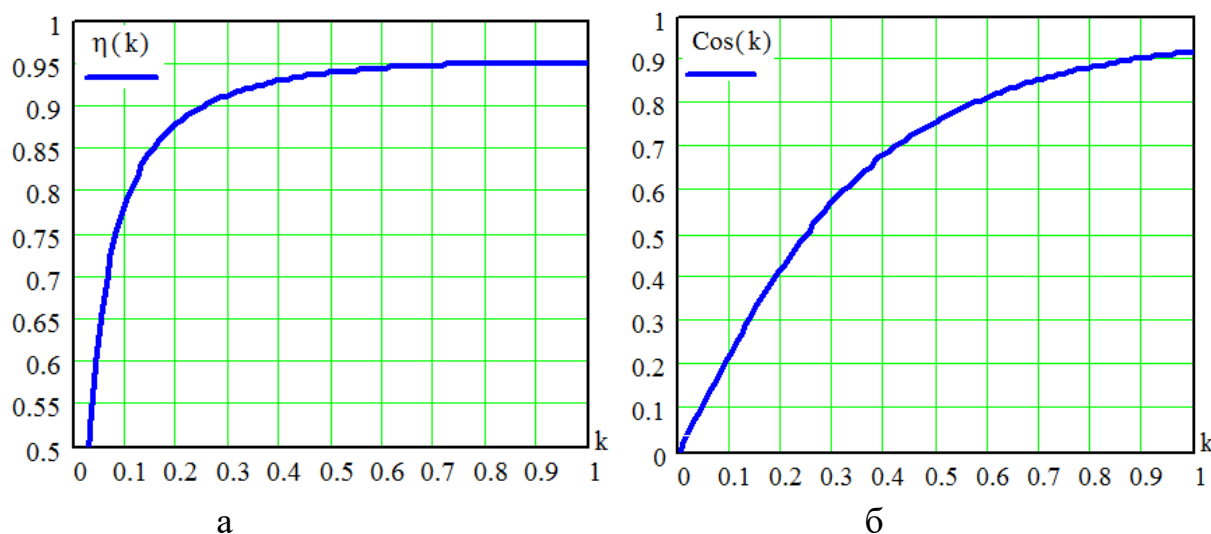


Рис.2.2. Залежності від коефіцієнту завантаженості двигуна $K_z = 0 \dots 1$:
а – ККД, б – коефіцієнт потужності

Уточнені значення, розраховані по (2.3) і (2.4) при необхідності вносяться в стовпчики таблиці навантажень для відповідних режимів роботи судна.

Уточнений ККД (2.3) вноситься в стовпчики 12, 18, 24, 30, 36 для активної потужності групи однойменних споживачів у вигляді множника $\hat{P} = P \cdot \eta(K_z) / \eta(P_{\text{ном}})$. Уточнений коефіцієнт потужності (2.4) може інколи

використовуватись в стовпчиках 11, 17, 23, 29, 35 замість розрахованих на основі статистик, якщо ці дані виявляться більш правдоподібними.

Підсумкові показники таблиці навантажень розташовані під строками з даними по окремих споживачах електроенергії. Розберемо склад і розрахунки підсумкових показників.

Загальна кількість споживачів (підсумок стовпчику 3) і загальна активна споживана потужність (підсумок стовпчику 8) визначаються сумуванням даних цих стовпців (3 і 8) для окремих споживачів:

$$N_s = \sum_i N_i, P_{as} = \sum_i P_{ai}, \text{ де } i - \text{номер споживача (стовпчик 1) в таблиці.}$$

Середні коефіцієнти одночасності (підсумки стовпчиків 9, 15, 21, 27, 33) і коефіцієнти завантаженості (підсумки стовпчиків 10, 16, 22, 28, 34) розраховуються для кожного режиму роботи судна як середні зважені значення з вагами-активними потужностями споживачів електроенергії

$$K_{os} = \frac{\sum_i P_{ai} K_{oi}}{\sum_i P_{ai}} = \frac{P_{a1} K_{o1} + P_{a2} K_{o2} + P_{a3} K_{o3} + \dots}{P_{a1} + P_{a2} + P_{a3} + \dots}, K_{zs} = \frac{\sum_i P_{zi} K_{zi}}{\sum_i P_{zi}} \quad (2.5)$$

де P_{ai} – i -та активна потужність (стовпчик 8), K_{oi} – i -тий коефіцієнт одночасності, K_{zi} – i -тий коефіцієнт завантаженості.

Загальні активна та реактивна потужності по режимах визначаються сумуванням відповідних потужностей: активна $P_s = \sum_i P_i$ (підсумки стовпчиків 12, 18, 24, 30, 36), реактивна $Q_s = \sum_i Q_i$ (підсумки стовпчиків 13, 19, 25, 31, 37), де i – номер споживача (стовпчик 1) в таблиці навантажень.

Повна потужність по режиму розраховується як модуль вектора суми векторів активної і реактивної потужностей $S_{summ} = \sqrt{P_s^2 + Q_s^2}$. (2.6)

Загальний коефіцієнт потужності по режиму розраховується по значеннях загальних потужностей по режиму

$$\cos(\varphi)_s = P_s / S_{summ}. \quad (2.7)$$

2.3. Короткі характеристики режимів роботи судна

Навантаження генераторів СЕЭС не є постійною, а залежить, в основному, від режиму роботи судна. Відповідно до Правил Регістру визначення состава й потужності генераторів основного джерела електричної енергії повинне проводитися з врахуванням наступних режимів роботи судна: ходового; маневрового; аварійного під час пожежі, пробоїни і т.д.; інших режимів відповідно до призначення судна (стоянка з вантажними операціями й без вантажних операцій для транспортних судів, стоянка й хід у льодах для криголамів і т.д.).

1) Ходовий режим. Для транспортних судів цей режим вважається найбільш тривалим за часом. У ходовому режимі працюють механізми суднових систем, головні двигуни, а значить і допоміжні механізми, що їх обслуговують. З палубних механізмів працює кермовий пристрій, а на буксирних судах – автоматична буксирна лебідка. У цьому режимі включається апаратура автоматики й дистанційного керування головними двигунами, радіоустаткування, електронавігаційне встаткування, включається освітлення й сигнально-освітлювальні вогні, працюють побутові споживачі, нагрівальні прилади, у тому числі й камбузні електроплити, тобто створюється повний комфорт для екіпажа й пасажирів. Таким чином, працює більша частина споживачів електроенергії, за винятком аварійних, резервних, швартових, навантажувальних, рятувальних і інших спеціалізованих засобів. В ходовому режимі робота СЕЭС вважається найбільш стабільною, оскільки середньостатистичне електричне навантаження не має великих стрибків і циклічно змінюється практично монотонно. Тому якщо ходовий режим для судна є найбільш довгим в часі перебування в морі, то СЕЭС з відбором потужності від головного двигуна є цілком ефективною завдяки відсутності додаткових потужних дизельних агрегатів.

2) Режим маневрування. Термін «маневрування» може містити в собі різні варіанти роботи судна: підйом якоря, маневрування при шлюзуванні або при підході до причалу, швартування і т.д. Загальним для всіх цих випадків є інтенсивна робота таких суднових механізмів, як брашпиль і шпиль, кермовий

					141.43013.БР.ПЗ.Р2	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

пристрій, включення на деяких судах підрулюючих пристроїв або буксирних лебідок. У цьому режимі можуть включатися механізми суднових систем і пристроїв, а в нічний час – також і освітлення, внутрішнє й зовнішнє. При цьому судно повністю підготовлене до ходового режиму: силова установка працює з малою потужністю, працюють обслуговуючі її механізми, на судні перебуває весь екіпаж і всі пасажирів. Цей режим є одним з найбільш важким для СЕЕС, оскільки активно працюють рульові приводи і також підрулюючі пристрої, завантаженість яких може доходити до 0,85 та більше.

Режим стоянки в причалі або на якорі. Для транспортних суден цей режим може підрозділятися на два режими: стоянка без вантажних операцій (або без пасажирів); стоянка з вантажними операціями (або з пасажирів).

3) Режим стоянки без вантажних операцій (без пасажирів). На судні знаходиться невелика частина екіпажа, яка може займатися профілактичними роботами й оглядом. При цьому працює незначна кількість споживачів електроенергії: частина засобів зв'язку (суднова трансляція), освітлення й опалення, камбузне встаткування, встаткування майстерень. Також можуть працювати деякі споживачі загальносуднових систем, наприклад, санітарний насос, осушувальний насос для збору й перекачування підсланевих вод. У цьому режимі не працюють головні двигуни і їх допоміжні механізми, а також палубні механізми. Навантаження електростанції в такому режимі, як правило, є найменшим. Для живлення споживачів використовується один дизель-генераторний агрегат.

4) Режим стоянки з вантажними операціями. Окрім усіх перерахованих споживачів, працюють вантажно-розвантажувальні засоби: суднові крани або лебідки, вантажні насоси, транспортери, ліфти і т.д. А вночі повністю використовується зовнішнє висвітлення з додаванням спеціальних багатолампових люстр і прожекторів для висвітлення місць навантаження й вивантаження. На судні при цьому знаходиться весь екіпаж, а на пасажирських судах – і всі пасажирів, для яких повинні бути створені всі необхідні побутові умови. Слід враховувати раціональну черговість включення потужних споживачів коефіцієнтами одночасності і завантаженості. Наприклад, двигуни кранових

					141.43013.БР.ПЗ.Р2	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

приводів зазвичай не працюють постійно, а циклічно з коефіцієнтом завантаженості не більше 0,5.

5) Аварійний режим. Під аварійним режимом розуміється не аварія на СЕЕС, а аварія судна – тобто пожежа, одержання їм пробоїни або посадка на мілину, а також участь в аварійно-рятувальних роботах. Тому що заздалегідь важко передбачити, який характер буде мати аварія, доводиться розраховувати на найважчий випадок, при якому для ліквідації аварії буде потрібно спільна робота багатьох механізмів, що звичайно одночасно не працюють. У першу чергу повинні включатися пожежні й осушувальні насоси, при цьому необхідно передбачити одночасну їхню роботу. Можуть працювати допоміжні механізми головних двигунів, а також багато палубних механізмів: кермовий пристрій, брашпиль або шпиль, буксирна лебідка, включаються електродвигуни шлюпкових лебідок. В аварійному режимі можна відмовитися від роботи механізмів, що забезпечують комфорт для екіпажа й пасажирів (камбуза, загально суднової вентиляції, опалення, побутового встаткування й ін.). Однак, незважаючи на це, навантаження на генератори СЕЕС у цьому режимі залишається дуже високе – аварійний режим є одним з найважчих.

Спеціальні режими. Для судів спеціального призначення, таких, як буксири, рефрижератори, рибальські судна, а також для судів технічного флоту – земснарядів, плавкранів і т. д. у таблиці навантажень повинні розглядатися, окрім загальних і спеціальні режими, що також є відповідальними. Так, для буксирів – це хід із составом і без состава, для рефрижераторних судів – це режим заморожування вантажу й режим підтримки заданої температури, для рибальських судів – хід із промислом, для земснарядів – режим робочого переміщення, траншейної роботи, відхід з фарватеру і т.д. Для криголамних суден ходовий режим з льодовим навантаженням теж є досить потужним, навіть більш потужним, ніж маневровий режим. У всіх спеціалізованих режимах включаються механізми, що забезпечують виконання відповідних функцій судна – буксирні й тральні лебідки, компресори рефрижераторних пристроїв, папільонажні й станові лебідки, розпушувачі ґрунту і т.д. Ці механізми можуть мати значну потужність і створювати максимальне навантаження для СЕЕС.

					141.43013.БР.ПЗ.Р2	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

2.4. Результати розрахунків потужностей електростанції суховантажного судна проекту PV24

Нижче наведено результати розрахунків деяких показників потужності електростанції судна проекту RSD59 статистичним методом з використанням програми *MathCAD* по формулам методики [15].

Розрахунок потужностей СЕЕС аналітично-статистичним методом

Вхідні дані:

Повна водотоннажність D , тис. тон ≤ 11 : $D := 8.144$
 Сумарна потужність головних двигунів, N , МВт ≤ 9 : $N := 2.600$
 Об'єм вантажних трюмів, CW , тис. м³: $CW := 11.400$

=====

ХОДОВИЙ РЕЖИМ

Середня оцінювана потужність власних нужд, КВт

Для потужності ГД $N \leq 9$ МВт: $Pr1 := 46 \cdot N$ $Pr1 = 119.6$

Для потужності ГД $N > 9$ МВт: $Pr2 := 13 \cdot N + 330$ $Pr2 = 363.8$

Для ГД фірми Зульцер: $Pr3 := 53 \cdot N^{0.8}$ $Pr3 = 113.829$

Стандартне відхилення потужності S - sigma, КВт

Для водотонажності $D \leq 16$ тис. т.: $Sr1 := 1.7D$ $Sr1 = 13.845$

Для водотонажності $D > 16$ тис. т.: $Sr2 := 0.12D + 25$ $Sr2 = 25.977$

=====

СТОЯНОЧНИЙ РЕЖИМ

Середня оцінювана потужність власних нужд, КВт

Для водотонажності $D \leq 11$ тис. т.: $Ps1 := 9D$ $Ps1 = 73.296$

Для водотонажності $D > 11$ тис. т.: $Ps2 := 0.6D + 100$ $Ps2 = 104.886$

Стандартне відхилення потужності S - sigma, КВт

Для водотонажності $D \leq 11$ тис. т.: $Ss1 := 4.2D^{0.5}$ $Ss1 = 11.986$

МАКСИМАЛЬНА ОЦІНЮВАНА ПОТУЖНІСТЬ ВЛАСНИХ НУЖД

$P_{max} := Pr1 + 3Sr1$ $P_{max} = 161.134$

Потужність освітлення для $D=5-10$ тис. т. (5, 10, 30, 40KW) $PL := 10$

					141.43013.БР.ПЗ.Р2	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

СТОЯНКА З ВАНТАЖНИМИ ОПЕРАЦІЯМИ:

Потужність освітлення вантажних приміщень:

- розжарювання	$PLWa4 := 2.25 \cdot CW^{0.8}$	$PLWa4 = 15.765$
- світлодіодне	$PLWb4 := 0.5 \cdot CW^{0.8}$	$PLWb4 = 3.503$

Додаткова "тропічна" потужність для кондиціювання

$P_{tr} := 18 \cdot D^{0.5}$	$P_{tr} = 51.368$
------------------------------	-------------------

Додаткова потужність електричного обігріву приміщень

$P_{th} := 0.5 \cdot P_{tr}$	$P_{th} = 25.684$
------------------------------	-------------------

ХОДОВИЙ режим: Загальна потужність

$P1 := 46 \cdot N + 1.7 \cdot D + PL + P_{tr}$	$P1 = 194.813$
--	----------------

СТОЯНКА: Загальна потужність

$P3 := 0.9 \cdot D + 4.2 \cdot D^{0.5} + PL + P_{tr}$	$P3 = 80.683$
---	---------------

Потужність підйомних механізмів - лебідок А або кранів В:

(розраховується для кожного механізму окремо)

- кількість механізмів :	$N_{wa} := 1$	$N_{wb} := 1$
- вантажопідйомність, тон :	$G_{wa} := 0.88$	$G_{wb} := 10$
- швидкість підйому, м/хв :	$V_{wa} := 12$	$V_{wb} := 10$
=====		

$PWA := \left(0.53 + \frac{1.05}{N_{wa}} \right) \cdot 0.15 \cdot N_{wa} \cdot G_{wa} \cdot V_{wa}$	$PWA = 2.503$
--	---------------

$PWB := \left(0.53 + \frac{1.05}{N_{wb}} \right) \cdot 0.15 \cdot N_{wb} \cdot G_{wb} \cdot V_{wb}$	$PWB = 23.7$
--	--------------

Встановлена потужність вентиляторів машинного відділення

$PVM := 25 \cdot N^{0.6}$	$PVM = 44.353$
---------------------------	----------------

Встановлена потужність вентиляторів вантажного відділення

$PVW := 3.6 \cdot CW^{1.4}$	$PVW = 108.635$
-----------------------------	-----------------

МАНЕВРОВИЙ режим: Потужність вентиляторів машинного відділення

$PVM2 := 5 \cdot N$	$PVM2 = 13$
---------------------	-------------

СТОЯНКА: Потужність вентиляторів машинного відділення

$PV3 := 0.25 \cdot PVM$	$PV3 = 11.088$
-------------------------	----------------

ХОДОВИЙ, МАНЕВРОВИЙ, СТОЯНКИ режим:
Потужність вентиляторів вантажного відділення

$$PVW123 := 0.3 \cdot PVW$$

$$PVW123 = 32.59$$

СТОЯНКА З ВАНТАЖНИМИ ОПЕРАЦІЯМИ:
потужність вентиляторів вантажного відділення

$$PVW4 := PVW$$

$$PVW4 = 108.635$$

(о) Мінімально потрібна потужність підрулюючих пристроїв

$$Prule := 43 \cdot D^{0.9}$$

$$Prule = 283.937$$

(о) СТОЯНКА З ВАНТАЖНИМИ ОПЕРАЦІЯМИ:
потужність багастних насосів (наливні судна)

$$PBN3 := 61 \cdot 0.65 \cdot D^{0.4}$$

$$PBN3 = 91.744$$

(о) Потужність збудження генераторів і двигунів ГЕУ

$$Pfieldg := 50 (0.95 \cdot N)^{0.6}$$

$$Pfieldg = 86.018$$

(о) Потужність регулювання шагу гребних винтів

$$Pvrs := 8.5 \cdot N^{0.4}$$

$$Pvrs = 12.457$$

(о) Потужність насосів охолодження:

- машинним маслом :

$$Poil := 6.3 \cdot N$$

$$Poil = 16.38$$

- забортною водою:

$$Pw := 4.6 \cdot N$$

$$Pw = 11.96$$

- прісною водою:

$$Ppw := 7.8 \cdot N^{0.6}$$

$$Ppw = 13.838$$

Далі наведено результати розрахунку потужностей основних споживачів і генераторів СЕЕС суховантажного судна проекту RSD59 табличним методом.

					141.43013.БР.ПЗ.Р2	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

Таблиця 2.2. Результати розрахунку потужностей СЕЕС

Жовті поля - вхідні дані для заповнення		Номинальні дані приймачів					
№	Найменування приймачів електроенергії (при додаванні або скороченні строк таблиці треба відповідно коригувати строки допоміжних стовпців під таблицею)	Кількість, N	Номинальна встановлена одинична потужність, P _{nom}	ККД в. о.	Індуктивний двигун так / ні	Споживана потужність P _{load}	Загальна споживана активна потужність P _a
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Рульовий пристрій	2	7.8	0.80137	так	9.73	19.47
2	Брашпіль	2	27	0.908675	так	29.71	59.43
3	Шпіль	2	19	0.879558	так	21.60	43.20
4	Лебідка-шлюпочна	1	8	0.803338	так	9.96	9.96
5	Лебідка-трапова	2	2.503	0.738422	так	3.39	6.78
6	Лебідка-вантажна	2	23	0.896046	так	25.67	51.34
7	Кран: механізм підйому	1	23.7	0.898506	так	26.38	26.38
8	Кран: механізм повороту	1	12	0.837668	так	14.33	14.33
9	Кран: механізм вильоту стріли	1	3.5	0.752028	так	4.65	4.65
10	Кран: механізм переміщення	1	7	0.793228	так	8.82	8.82
11	Підрулюючий пристрій:	1	230	0.95	так	242.11	242.11
12	Головний двигун: насос-паливний і охолодження	4	6	0.78242	так	7.67	30.67
13	Головний двигун: насос-масляний	2	1.5	0.723791	так	2.07	4.14
14	Допоміжні двигуни: насос-охолоджувач	1	3	0.745317	так	4.03	4.03
15	Допоміжні двигуни: насос-паливний	0	1	0.716123	так	1.40	0.00
16	Допоміжні двигуни: насос-масляний	1	0.35	0.705766	так	0.50	0.50
17	Сепаратор палива	2	6	0.78242	так	7.67	15.34
18	Сепаратор масла	2	10	0.821646	так	12.17	24.34
19	Валообертальний пристрій	2	38	0.930152	так	40.85	81.71
20	Котел: насос-живлення	1	5	0.770867	так	6.49	6.49
21	Котел: насос-циркуляційний	1	5	0.770867	так	6.49	6.49
22	Котел: насос-конденсатний	1	3	0.745317	так	4.03	4.03
23	Насос-пожарний головний	2	42	0.934797	так	44.93	89.86
24	Насос-пожарний допоміжний	2	23	0.896046	так	25.67	51.34
25	Насос-баластний	2	55	0.94361	так	58.29	116.57
26	Насос-осушувальний	2	45	0.937553	так	48.00	95.99
27	Насос-санітарний	1	12	0.837668	так	14.33	14.33
28	Насос-прісної води	2	18	0.874701	так	20.58	41.16
29	Компресор-головний	1	42	0.934797	так	44.93	44.93
30	Компресор-підкачуючий	1	17	0.86951	так	19.55	19.55
31	Вентилятор загальносудновий	5	21.75	0.891357	так	24.40	122.00
32	Вентилятор машинного відділення	2	22.3	0.893469	так	24.96	49.92
33	Вентилятор котельного відділення	2	2.5	0.73838	так	3.39	6.77
34	Кондиціонер	2	28	0.91134	так	30.72	61.45
35	Освітлення люменесц./світлодіодне	100	0.2	1		0.20	20.00
36	Радіонавігаційне обладнання	2	12	1		12.00	24.00
37	Прилади управління судном	1	7	1		7.00	7.00
38	Сигнальні вогні	2	10	1		10.00	20.00
39	Прожектор навігаційний	5	0.5	1		0.50	2.50
40	Камбуз: пічки	1	6	1		6.00	6.00
41	Камбуз: кип'ятильник	2	3	1		3.00	6.00
42	Камбуз: електропривід	2	1	0.716123	так	1.40	2.79
40	Камбуз: пічки	1	6	1		6.00	6.00
41	Камбуз: кип'ятильник	2	3	1		3.00	6.00
42	Камбуз: електропривід	2	1	0.716123	так	1.40	2.79
43	Рефрижератор	1	3.5	0.752028	так	4.65	4.65
44	Електрична грілка	1	12.5	1		12.50	12.50
45	Майстерня:Токарний верстат	1	3.5	0.752028	так	4.65	4.65
46	Майстерня:Наждачний верстат	1	1.7	0.726787	так	2.34	2.34
47	Зарядний агрегат	1	18	1		18.00	18.00
48	Гідрофор	3	12	0.837668	так	14.33	42.98
49	Інше моторне обладнання	1	75	0.948316	так	79.0876021	79.0876021
50							
	ІТОГОВІ ПОКАЗНИКИ →	181	936.803			1025.09347	1630.55

Продовження таблиці 2.2.

Жовті поля - вхідні дані для заповнення		1 - Ходовий режим					
№	Найменування приймачів електроенергії (при додаванні або скороченні строк таблиці треба відповідно коригувати строки допоміжних стовпців під таблицею)	Коефіцієнт одночасності Ко	Коефіцієнт завантаженості Кз	Коефіцієнт потужності cos(φ)	Споживана потужність: активна Р	Споживана потужність: реактивна Q	Повна потужність S
1	2	9	10	11	12	13	14
1	Рульовий пристрій	0.5	0.5	0.61	4.87	6.38	8.0225293
2	Брашпіль	0.5	0	0.20	0.00	0.00	0
3	Шпіль	0.5	0	0.20	0.00	0.00	0
4	Лебідка-шлюпочна	0.5	0	0.20	0.00	0.00	0
5	Лебідка-трапова	0.5	0	0.20	0.00	0.00	0
6	Лебідка-вантажна	0.5	0.05	0.26	1.28	4.84	5.00623714
7	Кран: механізм підйому	1	0	0.20	0.00	0.00	0
8	Кран: механізм повороту	1	0	0.20	0.00	0.00	0
9	Кран: механізм вильоту стріли	1	0	0.20	0.00	0.00	0
10	Кран: механізм переміщення	1	0	0.20	0.00	0.00	0
11	Підрулюючий пристрій:	1	0.25	0.61	60.53	79.32	99.7755144
12	Головний двигун: насоси-паливний і охолодження	1	0.87	0.90	26.69	12.88	29.6340726
13	Головний двигун: насос-масляний	1	0.5	0.79	2.07	1.59	2.61408274
14	Допоміжні двигуни: насос-охолоджувач	1	0.12	0.43	0.48	1.00	1.11157427
15	Допоміжні двигуни: насос-паливний	1	0.1	0.40	0.00	0.00	0
16	Допоміжні двигуни: насос-масляний	1	0.05	0.31	0.02	0.08	0.08037758
17	Сепаратор палива	1	0.88	0.90	13.50	6.46	14.9620601
18	Сепаратор масла	1	0.3	0.66	7.30	8.40	11.126717
19	Валообертальний пристрій	1	0	0.20	0.00	0.00	0
20	Котел: насос-живлення	1	0.5	0.79	3.24	2.49	4.09073639
21	Котел: насос-циркуляційний	1	0.3	0.66	1.95	2.24	2.96491397
22	Котел: насос-конденсатний	1	0.1	0.40	0.40	0.92	1.00305229
23	Насос-пожарний головний	0.5	0	0.20	0.00	0.00	0
24	Насос-пожарний допоміжний	0.5	0	0.20	0.00	0.00	0
25	Насос-баластний	1	0.55	0.82	64.12	45.50	78.6179638
26	Насос-осушувальний	0.5	0.27	0.46	12.96	25.14	28.286814
27	Насос-санітарний	1	0.3	0.66	4.30	4.94	6.54833801
28	Насос-прісної води	0.5	0.35	0.52	7.20	11.96	13.9600555
29	Компресор-головний	1	0.05	0.31	2.25	6.93	7.28214387
30	Компресор-підкачуючий	1	0.1	0.40	1.96	4.46	4.87211634
31	Вентилятор загальносудновий	0.5	0.1	0.31	6.10	18.81	19.7744711
32	Вентилятор машинного відділення	1	0.7	0.87	34.94	20.19	40.3561492
33	Вентилятор котельного відділення	1	0.5	0.79	3.39	2.60	4.27072271
34	Кондиціонер	1	0.5	0.79	30.72	23.62	38.754169
35	Освітлення люменесц./світлодіодне	0.45	0.5	1.00	4.50	0.00	4.5
36	Радіонавігаційне обладнання	1	0.5	1.00	12.00	0.00	12
37	Прилади управління судном	1	0.75	1.00	5.25	0.00	5.25
38	Сигнальні вогні	1	0.5	1.00	10.00	0.00	10
39	Прожектор навігаційний	0.6	0.85	1.00	1.28	0.00	1.275
40	Камбуз: пічки	1	0.5	1.00	3.00	0.00	3
41	Камбуз: кип'ятильник	0.5	0.1	1.00	0.30	0.00	0.3
42	Камбуз: електропривід	0.5	0.8	0.74	1.12	1.03	1.51964849
43	Рефрижератор	1	0.85	0.90	3.96	1.95	4.40854541
44	Електрична грілка	1	0.55	1.00	6.88	0.00	6.875
45	Майстерня:Токарний верстат	1	0.05	0.31	0.23	0.72	0.75433066
46	Майстерня:Наждачний верстат	1	0.05	0.31	0.12	0.36	0.37911365
47	Зарядний агрегат	1	0.01	1.00	0.18	0.00	0.18
48	Гідрофор	0.33	0.75	0.60	10.64	14.04	17.6123767
49	Інше моторне обладнання	1	0.15	0.48	11.86	21.64	24.680837
50							
ІТОГОВІ ПОКАЗНИКИ →		0.7912045	0.25962936	0.7009117	361.565	330.482443	515.85

Продовження таблиці 2.2.

Жовті поля - вхідні дані для заповнення		2 - Маневровий режим					
№	Найменування приймачів електроенергії (при додаванні або скороченні строк таблиці треба відповідно коригувати строки допоміжних стовпців під таблицею)	Коефіцієнт одночасності K_o	Коефіцієнт завантаженості K_z	Коефіцієнт потужності $\cos(\phi)$	Споживана потужність: активна P	Споживана потужність: реактивна Q	Повна потужність S
1	2	15	16	17	18	19	20
1	Рульовий пристрій	1	0.5	0.79	9.73	7.48	12.277293
2	Брашпіль	0.5	0.01	0.21	0.30	1.37	1.4040501
3	Шпіль	0.5	0.01	0.21	0.22	1.00	1.020744
4	Лебідка-шлюпочна	0.5	0	0.20	0.00	0.00	0
5	Лебідка-трапова	0.5	0	0.20	0.00	0.00	0
6	Лебідка-вантажна	0.5	0	0.20	0.00	0.00	0
7	Кран: механізм підйому	1	0.1	0.40	2.64	6.02	6.5731082
8	Кран: механізм повороту	1	0.1	0.40	1.43	3.27	3.5698747
9	Кран: механізм вильоту стріли	1	0.1	0.40	0.47	1.06	1.1597858
10	Кран: механізм переміщення	1	0.05	0.31	0.44	1.36	1.4303017
11	Підрулюючий пристрій:	1	0.32	0.67	77.47	84.89	114.93071
12	Головний двигун: насоси-паливний і охолодження	1	0.5	0.79	15.34	11.79	19.345606
13	Головний двигун: насос-масляний	1	0.5	0.79	2.07	1.59	2.6140827
14	Допоміжні двигуни: насос-охолоджувач	1	0.5	0.79	2.01	1.55	2.5385814
15	Допоміжні двигуни: насос-паливний	1	0.5	0.79	0.00	0.00	0
16	Допоміжні двигуни: насос-масляний	1	0.5	0.79	0.25	0.19	0.3127652
17	Сепаратор палива	1	0.5	0.79	7.67	5.90	9.6728032
18	Сепаратор масла	1	0.5	0.79	12.17	9.36	15.351699
19	Валообертальний пристрій	0.5	0	0.20	0.00	0.00	0
20	Котел: насос-живлення	0.5	0.25	0.44	0.81	1.64	1.8321585
21	Котел: насос-циркуляційний	0.5	0.25	0.44	0.81	1.64	1.8321585
22	Котел: насос-конденсатний	0.5	0.25	0.44	0.50	1.02	1.1369795
23	Насос-пожарний головний	0.5	0.05	0.26	2.25	8.47	8.7628576
24	Насос-пожарний допоміжний	0.5	0.05	0.26	1.28	4.84	5.0062371
25	Насос-баластний	1	0.85	0.90	99.09	48.73	110.42347
26	Насос-осушувальний	0.5	0.8	0.74	38.40	35.41	52.233304
27	Насос-санітарний	1	0.5	0.79	7.16	5.51	9.0348404
28	Насос-прісної води	0.5	0.5	0.61	10.29	13.48	16.961427
29	Компресор-головний	1	0.5	0.79	22.46	17.27	28.336277
30	Компресор-підкачуючий	1	0.5	0.79	9.78	7.52	12.330627
31	Вентилятор загальносудновий	0.5	0.2	0.40	12.20	27.85	30.403313
32	Вентилятор машинного відділення	0.5	0.5	0.61	12.48	16.35	20.571939
33	Вентилятор котельного відділення	0.5	0.5	0.61	1.69	2.22	2.7906801
34	Кондиціонер	0.5	0.5	0.61	15.36	20.13	25.323697
35	Освітлення люменесц./світлодіодне	0.5	0.5	1.00	5.00	0.00	5
36	Радіонавігаційне обладнання	0.5	0.5	1.00	6.00	0.00	6
37	Прилади управління судном	1	0.5	1.00	3.50	0.00	3.5
38	Сигнальні вогні	1	0.5	1.00	10.00	0.00	10
39	Прожектор навігаційний	0.5	0.5	1.00	0.63	0.00	0.625
40	Камбуз: пічки	0.5	0.5	1.00	1.50	0.00	1.5
41	Камбуз: кип'ятильник	0.5	0.5	1.00	1.50	0.00	1.5
42	Камбуз: електропривід	0.5	0.5	0.61	0.70	0.92	1.1509645
43	Рефрижератор	0.5	0.5	0.61	1.16	1.52	1.9180237
44	Електрична грілка	0.5	0.5	1.00	3.13	0.00	3.125
45	Майстерня:Токарний верстат	1	0.5	0.79	2.33	1.79	2.9352514
46	Майстерня:Наждачний верстат	1	0.5	0.79	1.17	0.90	1.475207
47	Зарядний агрегат	1	0.5	1.00	9.00	0.00	9
48	Гідрофор	0.33	0.5	0.50	7.09	12.21	14.121383
49	Інше моторне обладнання	1	0.5	0.79	39.54	30.40	49.879197
50							
ІТОГОВІ ПОКАЗНИКИ →		0.7166809	0.361604	0.72754534	459.017	396.664056	630.911

Продовження таблиці 2.2.

Жовті поля - вхідні дані для заповнення		3 - Стоянка без вантажних операцій					
№	Найменування приймачів електроенергії (при додаванні або скороченні строк таблиці треба відповідно коригувати строки допоміжних стовпців під таблицею)	Коефіцієнт одночасно сті Ko	Коефіцієнт завантаже ності Kз	Коефіцієнт потужності cos(φ)	Споживана потужність: активна P	Споживана потужність: реактивна Q	Повна потужність S
1	2	21	22	23	24	25	26
1	Рульовий пристрій	0.5	0.2	0.40	1.95	4.44	4.8510429
2	Брашпіль	1	0.2	0.55	11.89	18.12	21.666847
3	Шпіль	1	0.2	0.55	8.64	13.17	15.751791
4	Лебідка-шлюпочна	0.5	0.2	0.40	1.00	2.27	2.4816182
5	Лебідка-трапова	0.5	0.1	0.31	0.34	1.05	1.0987877
6	Лебідка-вантажна	0.5	0	0.20	0.00	0.00	0
7	Кран: механізм підйому	1	0.05	0.31	1.32	4.07	4.2751834
8	Кран: механізм повороту	1	0.05	0.31	0.72	2.21	2.3218649
9	Кран: механізм вильоту стріли	1	0.05	0.31	0.23	0.72	0.7543307
10	Кран: механізм переміщення	1	0.05	0.31	0.44	1.36	1.4303017
11	Підрулюючий пристрій:	1	0.1	0.40	24.21	55.26	60.332008
12	Головний двигун: насоси-паливний і охолодження	0.25	0.2	0.31	1.53	4.73	4.9716301
13	Головний двигун: насос-масляний	0.5	0.2	0.40	0.41	0.95	1.0328846
14	Допоміжні двигуни: насос-охолоджувач	1	0.2	0.55	0.81	1.23	1.4675426
15	Допоміжні двигуни: насос-паливний	1	1	0.92	0.00	0.00	0
16	Допоміжні двигуни: насос-масляний	1	0.05	0.31	0.02	0.08	0.0803776
17	Сепаратор палива	1	0.2	0.55	3.07	4.68	5.5918044
18	Сепаратор масла	1	0.2	0.55	4.87	7.42	8.8747487
19	Валообертальний пристрій	0.5	0.2	0.40	8.17	18.65	20.361202
20	Котел: насос-живлення	1	0.2	0.55	1.30	1.98	2.3648365
21	Котел: насос-циркуляційний	1	0.2	0.55	1.30	1.98	2.3648365
22	Котел: насос-конденсатний	1	0.2	0.55	0.81	1.23	1.4675426
23	Насос-пожарний головний	0.5	0.01	0.21	0.45	2.07	2.1230455
24	Насос-пожарний допоміжний	0.5	0.01	0.21	0.26	1.19	1.2128999
25	Насос-баластний	0.5	0.15	0.36	8.74	22.90	24.510776
26	Насос-осушувальний	0.5	0.15	0.36	7.20	18.86	20.183817
27	Насос-санітарний	1	0.2	0.55	2.87	4.37	5.223001
28	Насос-прісної води	1	0.2	0.55	8.23	12.55	15.005598
29	Компресор-головний	1	0.2	0.55	8.99	13.70	16.381076
30	Компресор-підкачуючий	1	0.2	0.55	3.91	5.96	7.1282807
31	Вентилятор загальносудновий	0.5	0.35	0.52	21.35	35.45	41.38299
32	Вентилятор машинного відділення	0.5	0.25	0.44	6.24	12.64	14.100291
33	Вентилятор котельного відділення	0.5	0.27	0.46	0.91	1.77	1.99539
34	Кондиціонер	1	0.35	0.70	21.51	22.02	30.777551
35	Освітлення люменесц./світлодіодне	0.85	0.2	1.00	3.40	0.00	3.4
36	Радіонавігаційне обладнання	1	0.2	1.00	4.80	0.00	4.8
37	Прилади управління судном	1	0.8	1.00	5.60	0.00	5.6
38	Сигнальні вогні	1	0.2	1.00	4.00	0.00	4
39	Прожектор навігаційний	1	0.25	1.00	0.63	0.00	0.625
40	Камбуз: пічки	0.66	0.2	1.00	0.79	0.00	0.792
41	Камбуз: кип'ятильник	0.5	0.2	1.00	0.60	0.00	0.6
42	Камбуз: електропривід	1	0.2	0.55	0.56	0.85	1.0182464
43	Рефрижератор	1	0.2	0.55	0.93	1.42	1.6968558
44	Електрична грілка	1	0.2	1.00	2.50	0.00	2.5
45	Майстерня:Токарний верстат	1	0.2	0.55	0.93	1.42	1.6968558
46	Майстерня:Наждачний верстат	1	0.2	0.55	0.47	0.71	0.8528106
47	Зарядний агрегат	1	0.2	1.00	3.60	0.00	3.6
48	Гідрофор	1	0.2	0.55	8.60	13.10	15.669003
49	Інше моторне обладнання	1	0.2	0.55	15.82	24.11	28.834941
50							
ІТОГОВІ ПОКАЗНИКИ →		0.764515	0.1717887	0.5173068	216.882	340.649889	419.252

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

141.43013.БР.ПЗ.Р2

Арк.

44

Продовження таблиці 2.2.

Жовті поля - вхідні дані для заповнення		4 - Стоянка з вантажними операціями					
№	Найменування приймачів електроенергії (при додаванні або скороченні строк таблиці треба відповідно коригувати строки допоміжних стовпців під таблицею)	Коефіцієнт одночасності Ко	Коефіцієнт завантаженості Кз	Коефіцієнт потужності cos(φ)	Споживана потужність: активна Р	Споживана потужність: реактивна Q	Повна потужність S
1	2	27	28	29	30	31	32
1	Рульовий пристрій	0.5	0.05	0.26	0.49	1.83	1.898347
2	Брашпіль	1	0.2	0.55	11.89	18.12	21.666847
3	Шпіль	1	0.2	0.55	8.64	13.17	15.751791
4	Лебідка-шлюпочна	1	0.5	0.79	4.98	3.83	6.2806194
5	Лебідка-трапова	1	0.1	0.40	0.68	1.55	1.6893896
6	Лебідка-вантажна	0.5	0.5	0.61	12.83	16.82	21.156661
7	Кран: механізм підйому	1	0.5	0.79	13.19	10.14	16.635593
8	Кран: механізм повороту	1	0.5	0.79	7.16	5.51	9.0348404
9	Кран: механізм вильоту стріли	1	0.3	0.66	1.40	1.61	2.1274331
10	Кран: механізм переміщення	1	0.27	0.63	2.38	2.96	3.7975134
11	Підрулюючий пристрій:	1	0.1	0.40	24.21	55.26	60.332008
12	Головний двигун: насоси-паливний і охолоджувальний	0.25	0.1	0.26	0.77	2.89	2.9912679
13	Головний двигун: насос-масляний	0.5	0.1	0.31	0.21	0.64	0.6717935
14	Допоміжні двигуни: насос-охолоджувач	1	0.1	0.40	0.40	0.92	1.0030523
15	Допоміжні двигуни: насос-паливний	1	0.1	0.40	0.00	0.00	0
16	Допоміжні двигуни: насос-масляний	1	0.1	0.40	0.05	0.11	0.1235808
17	Сепаратор палива	1	0.05	0.31	0.77	2.36	2.485815
18	Сепаратор масла	1	0.05	0.31	1.22	3.75	3.9452352
19	Валообертальний пристрій	0.5	0.05	0.26	2.04	7.70	7.9679004
20	Котел: насос-живлення	1	0.77	0.88	4.99	2.66	5.6600835
21	Котел: насос-циркуляційний	1	0.75	0.88	4.86	2.65	5.5404494
22	Котел: насос-конденсатний	1	0.85	0.90	3.42	1.68	3.8127744
23	Насос-пожарний головний	0.5	0.1	0.31	4.49	13.85	14.564288
24	Насос-пожарний допоміжний	0.5	0.05	0.26	1.28	4.84	5.0062371
25	Насос-баластний	1	0.75	0.88	87.43	47.66	99.576043
26	Насос-осушувальний	1	0.3	0.66	28.80	33.11	43.880161
27	Насос-санітарний	1	0.1	0.40	1.43	3.27	3.5698747
28	Насос-прісної води	1	0.25	0.61	10.29	13.48	16.961427
29	Компресор-головний	1	0.12	0.43	5.39	11.18	12.407669
30	Компресор-підкачуючий	1	0.7	0.87	13.69	7.91	15.806231
31	Вентилятор загальносудновий	1	0.85	0.90	103.70	51.00	115.56822
32	Вентилятор машинного відділення	1	0.35	0.70	17.47	17.89	25.002427
33	Вентилятор котельного відділення	1	0.75	0.88	5.08	2.77	5.7842209
34	Кондиціонер	1	0.5	0.79	30.72	23.62	38.754169
35	Освітлення люменесц./світлодіодне	1	0.88	1.00	17.60	0.00	17.6
36	Радіонавігаційне обладнання	1	1	1.00	24.00	0.00	24
37	Прилади управління судном	1	1	1.00	7.00	0.00	7
38	Сигнальні вогні	1	1	1.00	20.00	0.00	20
39	Прожектор навігаційний	1	1	1.00	2.50	0.00	2.5
40	Камбуз: пічки	0.33	1	1.00	1.98	0.00	1.98
41	Камбуз: кип'ятильник	0.5	1	1.00	3.00	0.00	3
42	Камбуз: електропривід	0.2	1	0.55	0.56	0.85	1.0182464
43	Рефрижератор	1	0.85	0.90	3.96	1.95	4.4085454
44	Електрична грілка	0.5	1	1.00	6.25	0.00	6.25
45	Майстерня:Токарний верстат	1	1	0.92	4.65	2.02	5.0750757
46	Майстерня:Наждачний верстат	1	1	0.92	2.34	1.02	2.550646
47	Зарядний агрегат	1	1	1.00	18.00	0.00	18
48	Гідрофор	0.33	0.5	0.50	7.09	12.21	14.121383
49	Інше моторне обладнання	1	0.35	0.70	27.68	28.34	39.612757
50							
ІТОГОВІ ПОКАЗНИКИ →		0.867389	0.37810365	0.7421454	562.9697	433.124938	758.571

Продовження таблиці 2.2.

Жовті поля - вхідні дані для заповнення		5 - Аварійний режим					
№	Найменування приймачів електроенергії (при додаванні або скороченні строк таблиці треба відповідно коригувати строки допоміжних стовпців під таблицею)	Коефіцієнт одночасно сті Ко	Коефіцієнт завантаже ності Кз	Коефіцієнт потужності cos(φ)	Споживана потужність: активна Р	Споживана потужність: реактивна Q	Повна потужність S
1	2	33	34	35	36	37	38
1	Рульовий пристрій	0.5	0.05	0.26	0.49	1.83	1.898347
2	Брашпіль	0.5	0.01	0.21	0.30	1.37	1.4040501
3	Шпіль	0.5	0.01	0.21	0.22	1.00	1.020744
4	Лебідка-шлюпочна	0.5	0.1	0.31	0.50	1.54	1.6140573
5	Лебідка-трапова	0.5	0.1	0.31	0.34	1.05	1.0987877
6	Лебідка-вантажна	0.5	0	0.20	0.00	0.00	0
7	Кран: механізм підйому	1	0	0.20	0.00	0.00	0
8	Кран: механізм повороту	1	0	0.20	0.00	0.00	0
9	Кран: механізм вильоту стріли	1	0	0.20	0.00	0.00	0
10	Кран: механізм переміщення	1	0.01	0.22	0.09	0.39	0.3955935
11	Підрулюючий пристрій:	0.5	0.005	0.21	0.61	2.88	2.940504
12	Головний двигун: насоси-паливний і охолодження	0.5	0.1	0.31	1.53	4.73	4.9716301
13	Головний двигун: насос-масляний	0.5	0.1	0.31	0.21	0.64	0.6717935
14	Допоміжні двигуни: насос-охолоджувач	1	0.1	0.40	0.40	0.92	1.0030523
15	Допоміжні двигуни: насос-паливний	1	0.1	0.40	0.00	0.00	0
16	Допоміжні двигуни: насос-масляний	1	0.1	0.40	0.05	0.11	0.1235808
17	Сепаратор палива	0.5	0.5	0.61	3.83	5.02	6.3206396
18	Сепаратор масла	0.5	0.5	0.61	6.09	7.97	10.031482
19	Валообертальний пристрій	0.5	0	0.20	0.00	0.00	0
20	Котел: насос-живлення	1	0.25	0.61	1.62	2.13	2.673069
21	Котел: насос-циркуляційний	1	0.2	0.55	1.30	1.98	2.3648365
22	Котел: насос-конденсатний	1	0.25	0.61	1.01	1.32	1.6588219
23	Насос-пожарний головний	0.5	0.89	0.76	39.99	33.84	52.386656
24	Насос-пожарний допоміжний	0.5	0.01	0.21	0.26	1.19	1.2128999
25	Насос-баластний	0.5	0.01	0.21	0.58	2.69	2.7542152
26	Насос-осушувальний	0.5	0.125	0.33	6.00	16.98	18.01338
27	Насос-санітарний	1	0.1	0.40	1.43	3.27	3.5698747
28	Насос-прісної води	0.5	0.1	0.31	2.06	6.35	6.6706807
29	Компресор-головний	1	0.05	0.31	2.25	6.93	7.2821439
30	Компресор-підкачуючий	1	0.05	0.31	0.98	3.01	3.1688496
31	Вентилятор загальносудновий	0.5	0.01	0.21	0.61	2.82	2.8825372
32	Вентилятор машинного відділення	0.5	0.1	0.31	2.50	7.70	8.0906425
33	Вентилятор котельного відділення	0.5	0.5	0.61	1.69	2.22	2.7906801
34	Кондиціонер	0.5	0	0.20	0.00	0.00	0
35	Освітлення люменесц./світлодіодне	0.5	0.1	1.00	1.00	0.00	1
36	Радіонавігаційне обладнання	0.5	0.5	1.00	6.00	0.00	6
37	Прилади управління судном	1	0.12	1.00	0.84	0.00	0.84
38	Сигнальні вогні	1	0.1	1.00	2.00	0.00	2
39	Прожектор навігаційний	0.5	0.1	1.00	0.13	0.00	0.125
40	Камбуз: пічки	1	0	1.00	0.00	0.00	0
41	Камбуз: кип'ятильник	0.5	0	1.00	0.00	0.00	0
42	Камбуз: електропривід	0.5	0.01	0.21	0.01	0.06	0.0659842
40	Камбуз: пічки	1	0	1.00	0.00	0.00	0
41	Камбуз: кип'ятильник	0.5	0	1.00	0.00	0.00	0
42	Камбуз: електропривід	0.5	0.01	0.21	0.01	0.06	0.0659842
43	Рефрижератор	0.5	0	0.20	0.00	0.00	0
44	Електрична грілка	0.5	0	1.00	0.00	0.00	0
45	Майстерня:Токарний верстат	1	0.01	0.22	0.05	0.20	0.2086331
46	Майстерня:Наждачний верстат	1	0.01	0.22	0.02	0.10	0.1048554
47	Зарядний агрегат	1	0.01	1.00	0.18	0.00	0.18
48	Гідрофор	0.33	0	0.20	0.00	0.00	0
49	Інше моторне обладнання	1	0.05	0.31	3.95	12.19	12.818462
50							
ІТОГОВІ ПОКАЗНИКИ →		0.5849327	0.1018154	0.52850317	91.0909	134.426641	172.356

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

141.43013.БР.ПЗ.Р2

Арк.

46

2.5. Вибір кількості й потужності генераторних агрегатів основної електростанції

Значення розрахункового навантаження P_s , Q_s , S_{summ} для кожного з режимів роботи судна, отримані в попередньому підрозділі в виразі (2.6), дозволяють приступитися до вибору кількості й номінальної потужності основних генераторних агрегатів СЕЕС. Насамперед, необхідно визначити тип проекрованої СЕЕС. У загальному випадку СЕЕС можна класифікувати по двох ознаках:

1. кількості електростанцій, що входять до складу СЕЕС;
2. зв'язки СЕЕС із силовою установкою судна.

По першій ознаці СЕЕС діляться на системи з однієї, двома, трьома й більшою кількістю електростанцій. По другому – на автономні, з відбором потужності від головної силової установки й об'єднані з ГЕУ. Найчастіше на судах застосовуються СЕЕС, що полягають із двох електростанцій, одна з яких є основною, друга – аварійною. СЕЕС із декількома основними електростанціями має більший ступінь живучості в порівнянні із СЕЕС із однієї основною електростанцією, але є більш складною й дорогою.

При виборі числа і потужності суднових генераторів керуються наступними міркуваннями [14].

1. Кількість і номінальна потужності генераторів повинні бути такими, щоб коефіцієнт завантаження кожного працюючого генератора при роботі в найбільш тривалих режимах експлуатації (стоянці без вантажних операцій і ходовому) був не менш 70–80%. Таке завантаження дизель-генераторів забезпечує їх найбільший ККД і найменші витрати палива.

2. Якщо середньозважений коефіцієнт потужності $\cos(\varphi)_s$ (2.7) не менший за номінальний коефіцієнт потужності генераторів (номінальний $\cos(\varphi)_{\text{ном}}$ генераторів зазвичай дорівнює 0,8), то вибір генераторів треба робити за активною потужністю. Інакше треба вибирати потужність генераторів по реактивній потужності.

3. При виборі потужності генераторів слід передбачити можливість нерівномірного розподілу навантажень між паралельно працюючими

					141.43013.БР.ПЗ.Р2	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

генераторами й запас на збільшення кількості й потужності споживачів у процесі експлуатації судна. Тому сформулюємо наступні умови вибору потужності генератора СЕЕС:

$$\text{Якщо } \cos(\varphi)_s > 0.79, \text{ то } P_g \geq \frac{P_s}{N_g \cdot k_{\text{вик}}(1 - k_{\text{пн}})}, \quad (2.8, \text{a})$$

$$\text{Якщо } \cos(\varphi)_s \leq 0.79, \text{ то } P_g \geq \frac{1.33 \cdot Q_s}{N_g \cdot k_{\text{вик}}(1 - k_{\text{пн}})}, \quad (2.8, \text{б})$$

де P_g – потужність одного генератора СЕЕС, P_s і Q_s – активна і реактивна потужності режиму роботи судна, N_g – кількість генераторів СЕЕС, $k_{\text{вик}}$ – максимальний коефіцієнт використання генераторів, $k_{\text{пн}}$ – коефіцієнт падіння напруги суднової електромережі під навантаженням. Еквівалентна активна потужність режиму при заданому коефіцієнті потужності і заданій реактивній потужності режиму визначається за формулою $\hat{P}_s = Q_s / \sqrt{1 - \cos^2(\varphi)_{\text{ном}}}$ і при $\cos(\varphi)_{\text{ном}} = 0.8$ дорівнює значенню $\hat{P}_s = 1.33 \cdot Q_s$, яке використовується для визначення потужності генератора СЕЕС в (2.8,б) по реактивній потужності.

4. Відповідно до Річкового Регістру, на кожному самохідному судні повинне бути передбачене не менш двох основних джерел енергії. Якщо цими джерелами є генератори, то хоча б один з них повинен мати власний незалежний привод. При цьому потужність основних джерел електричної енергії повинна бути такою, щоб при виході з ладу будь-якого з них, ті, що залишилися, забезпечували можливість живлення відповідальних пристроїв у наступних режимах: ходовому, маневруванні, аварійному.

5. При виборі числа й потужності генераторів треба прагнути до встановлення агрегатів, рівних по потужності й однакових по конструкції, що полегшує експлуатацію СЕЕС, дозволяє вирівняти витрати моторесурсів кожного агрегату, уніфікувати потреби в запасних частинах і підвищити статичну й динамічну стійкість паралельної роботи генераторів.

Таким чином, в результаті перевірконого розрахунку потужностей споживачів електроенергії судна проекту RSD59 були отримані наступні значення сумарних потужностей по режимах роботи судна в таблиці нижче.

Таблиця 2.3. Підсумкові показники потужностей по режимах роботи судна і потрібні потужності генераторів

Режими роботи судна	Показники потужностей				Потрібна потужність генератора, КВт
	P_s , КВт	Q_s , КВА	S_{summ} , КВА	$\cos(\varphi)_s$	
Ходовий	361,55	330,48	515,85	0,7	237
Маневровий:	459,017	396,66	630,9	0,73	301
Стоянка:	216,882	340,65	419,252	0,52	142
Стоянка з вантажними операціями:	563	433,125	758,57	0,742	369
Аварійний:	91	134,43	172,36	0,53	120

При розрахунках потрібних потужностей генераторів по (2.8,а,б) були прийняті наступні значення:

- кількість основних генераторів $N_g=2$,
- аварійний генератор $N_{ga}=1$,
- максимальний коефіцієнт використання $k_{вик}=0,8$,
- коефіцієнт падіння напруги мережі живлення $k_{nn}=0,05$.

Отримані величини потрібних потужностей генераторів в таблиці 2.3. відповідають наявним потужностям генераторів СЕЕС на судні проекту RSD59 (три генератори по 300КВт) тільки в ходовому та стояночних режимах. Очевидно, що при проектуванні судна були враховані додаткові умови та інші режими роботи споживачів електроенергії. Але розроблений спосіб розрахунку потужностей СЕЕС з поєднанням статистичного і табличного методів із використанням *MS-Excell* може використовуватись для оцінки потужностей СЕЕС при достатніх відомостях про споживачів електроенергії.

					141.4301з.БР.ПЗ.РЗ							
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата								
Студент		Пінчук І. М.				Стабілізація напруги суднового синхронного генератора			Літ.		Аркуш	Аркушів
Керівник		Обрубов А. В.										
Консультант									НУК			
Зав. каф.		Обрубов А. В.										

Розділ 3. Стабілізація напруги суднового синхронного генератора

3.1. Ефективність суднової електроенергетичної системи

На рис.3.1 показана діаграма перетворення енергії палива в СЕЕС [15]. Найбільші теплові втрати мають місце у дизельному двигуні (55-65%), потім енергія втрачається в генераторах і в комутаційних пристроях та лініях передачі. Можна додати ще статичне перетворення електроенергії в перетворювачах частоти, зарядних випрямлячах та в блоках живлення. Вони мають ККД в межах 0,7-0,95. Але доля енергії, яка перетворюється з низьким ККД складає декілька відсотків від загальної.

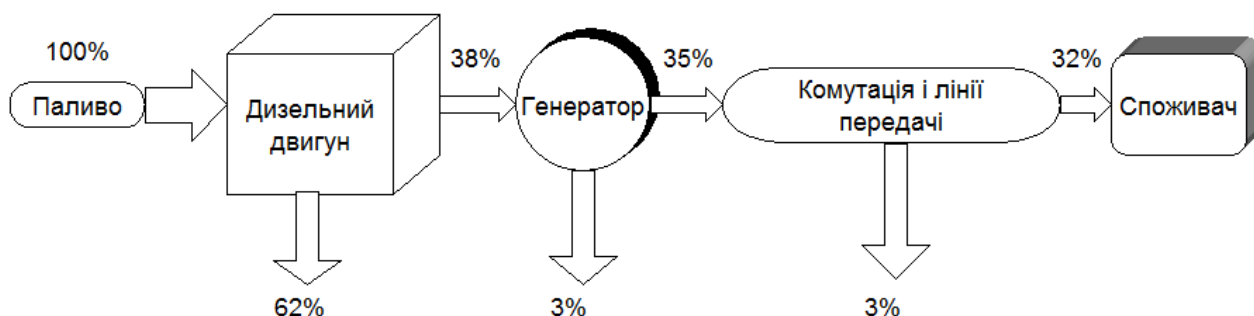


Рис.3.1. Діаграма перетворення і передачі енергії в СЕЕС

Проектування конкретної СЕЕС і її складових елементів здійснюється з урахуванням техніко-економічних показників, які характеризують [16]:

- надійність виробництва й розподілу електроенергії при всіх можливих станах і режимах роботи;
- якість виробництва й розподілу електричної енергії;
- масу й габарити;
- довговічність (що, загалом, пов'язане з поняттям надійності);
- будівельну вартість;
- експлуатаційні витрати;
- рівень автоматизації;
- рівень уніфікації;
- рівень шуму, перешкод радіоприйманню й інші перешкоди.

Базовими є показники надійності і якості функціонування СЕЕС (якості виробництва й розподілу електроенергії). Наступними по значимості можна

вважати масогабаритні показники, ступінь довговічності, будівельна вартість, експлуатаційні витрати і інші.

Усі перераховані вище показники можуть бути представлено у вигляді двох узагальнюючих критеріїв оцінки роботи СЕЕС – її технічної й економічної ефективності.

Висока надійність СЕЕС повинна забезпечуватися з обліком усіх можливих впливів (електричних, механічних і кліматичних) як на систему в цілому, так і на її окремі елементи. Із цією метою в СЕЕС використовують складені елементи, що мають винну безвідмовність і здатність до відновлення, застосовують резервування елементів і відповідні зв'язки між ними, передбачають належне розміщення елементів і зв'язків на судні.

Якість виробництва й розподілу електричної енергії СЕЕС визначається на підставі аналізу, що встановилися й перехідних процесів, які можуть мати місце при зміні навантаження, включенні й відключенні потужних споживачів, включенні генераторів на паралельну роботу, зміні режиму роботи силової установки судна.

Зниження маси й габаритів досягають шляхом створення раціональних схем і конструктивних форм, застосування матеріалів, що допускають найбільші питомі навантаження, а також правильним вибором роду струму, частоти, напруги й інших параметрів електроустановок.

Підвищення довговічності досягається прийняттям апробованих питомих навантажень на матеріали, застосуванням матеріалів, що мають більшу зносостійкість, поліпшенням ремонтпридатності (тобто вибором правильних конструкцій, належним їх розміщенням).

Зниження будівельної вартості є результатом збільшення серійності, застосування широкої уніфікації й типізації, відмови від використання дефіцитних і дорогих матеріалів.

Експлуатаційні витрати перебувають у прямої залежності від надійності, довговічності, ремонтпридатності, коефіцієнтів корисної дії, різновидів енергоносіїв та витратних матеріалів, чисельності екіпажа.

					141.43013.БР.ПЗ.РЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

Рівень автоматизації звичайно визначається на підставі окремих техніко-економічних розрахунків (при цьому оцінюється його вплив на надійність, якість, масу, габарити, вартість, експлуатаційні витрати). У деяких випадках автоматизація необхідна з міркувань технологічних особливостей роботи електроустановки.

Підвищення рівня уніфікації потрібно головним чином для зниження будівельної вартості, зниження експлуатаційних витрат, поліпшення ремонтпридатності й поліпшення експлуатаційних властивостей.

3.2. Принципи автоматичного регулювання напруги синхронних генераторів

Відомо, що напруга генераторів залежить від навантаження з двох причин [16]. По-перше зростання струму навантаження викликає зростання падіння напруги на внутрішніх опорах генератора. По-друге проявляється реакція якоря або статора генераторів в залежності від того, де розміщено основні обмотки. Відхилення вихідної напруги синхронних генераторів на рис.3.2. при збільшенні струму навантаження викликано головним чином індуктивними опорами і розмагнічувальною дією статора.

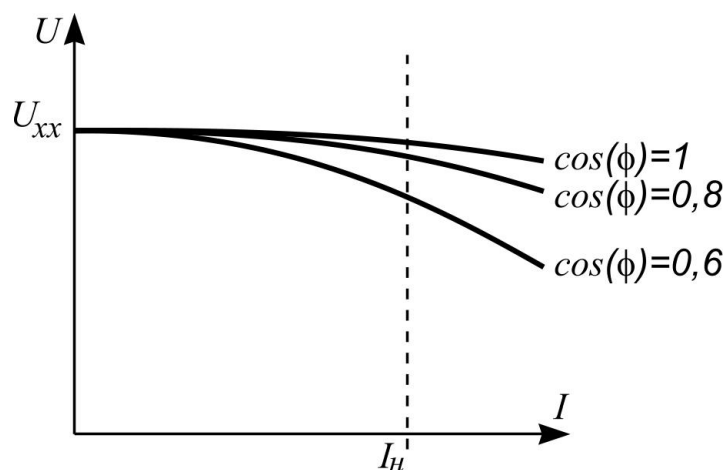


Рис.3.2. Вплив коефіцієнта потужності на зовнішні характеристики синхронного генератора

В найбільшій мірі розмагнічувальна дія статора проявляється при індуктивному навантаженні, коли реакція статора спрямована по повздовжній вісі d проти потоку намагнічування, як показано на рис.3.3 для $\cos(\varphi) = 0$.

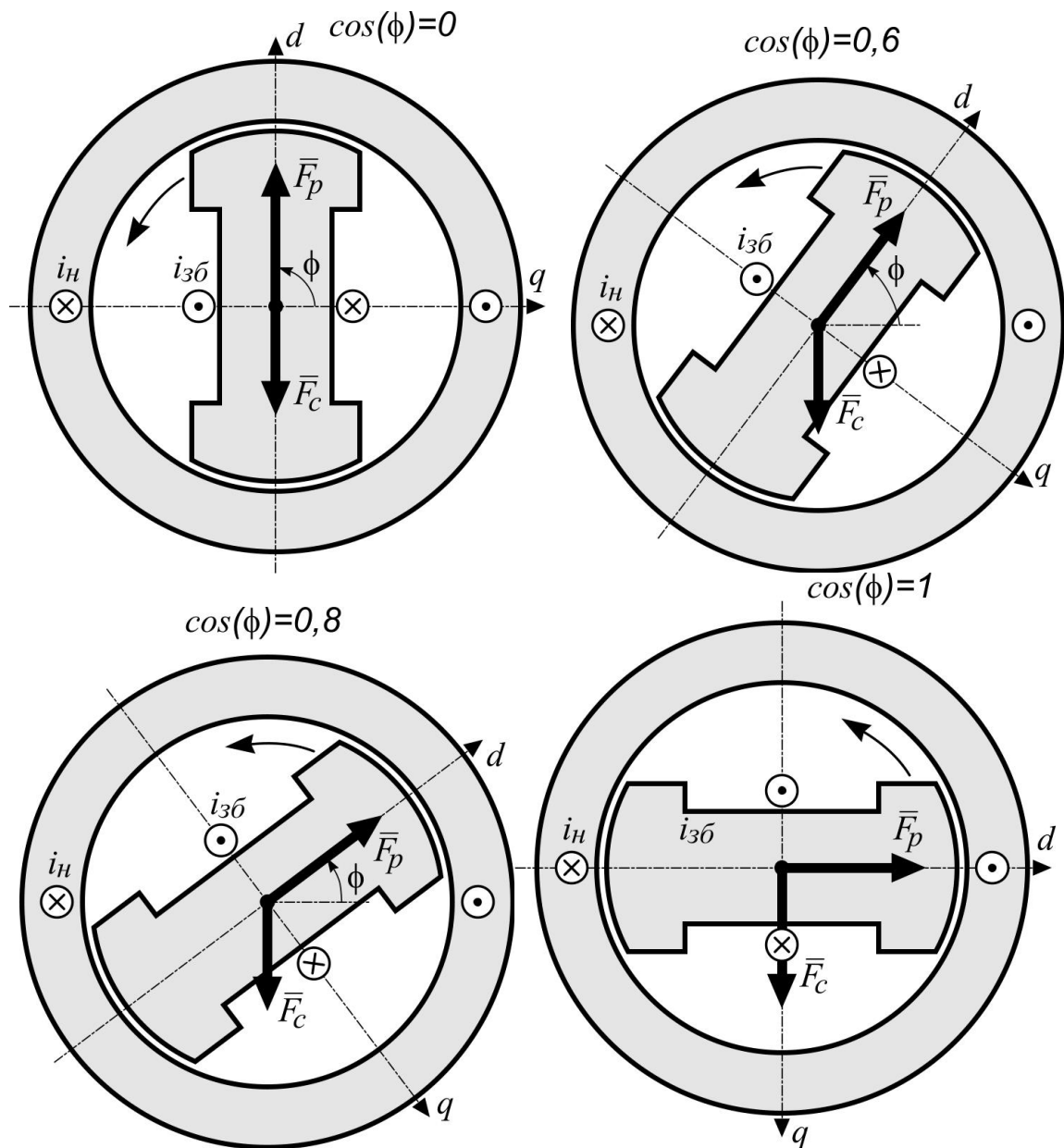


Рис.3.3. Напрями намагнічувальних сил ротора $\overline{F_p}$ і статора $\overline{F_c}$ синхронного генератора при різних коефіцієнтах потужності навантаження: i_H – струм навантаження, $i_{3б}$ – струм збудження

Співставлення графіків на рис.3.2 і діаграм векторів намагнічувальних сил синхронного генератора на рис.3.3 показує, що чим більше індуктивна складова навантаження, тим менше коефіцієнт потужності $\cos(\varphi)$ і тим скоріше буде проявлятися розмагнічувальна дія статора, що призведе до додаткового падіння

напруги генератора. Критичний коефіцієнт потужності, нижче якого буде проявлятися розмагнічувальну дію статора можна приблизно (без врахування ефектів розсіювання потоків і насичення сердечника) оцінити із виразу для суми векторів

$$F_G^2 = F_c^2 + F_p^2 - 2F_cF_p \sin(\varphi), \text{ відкіля для } F_G \geq F_p \text{ отримуємо}$$

$$\cos(\varphi) \geq \sqrt{1 - (F_c/2F_p)^2},$$

де модуль намагнічувальної сили ротора більший за модуль намагнічувальної сили статора $F_p > F_c$ згідно з умовами генераторного режиму роботи.

Згідно вказаним причинам в навантаженому синхронному генераторі напруга може відрізнятись від номінальної на 50% та більше. Відомо, що пуск асинхронних двигунів часто відбувається способом прямого підключення до мережі з великими стрибками струму і з низьким коефіцієнтом потужності. Тому в мережі при обмеженій (порівняльній) потужності суднової електростанції відбувається значне пониження напруги. Це може призвести до відключення працюючих приводів, або зменшення їх частоти обертання чи зупинки. Процес розгону ввімкненого асинхронного двигуна при зниженні напруги затягується, оскільки обертальний момент пропорційний квадрату напруги. Довжина процесів запуску не є великою. Але вони можуть слідувати один за одним і це може призвести до того, що напруга генераторі вже не буде встигати встановлюватися до номінального значення і тому напруга генератора буде додатково знижуватись. Таким чином очевидно є необхідність автоматизації СЕЕС як мінімум за для стабілізації вихідної напруги. Особливо тяжкі умови стабілізації напруги мають місце у валогенераторів, оскільки частота обертів не підлягає регулюванню зі сторони системи управління СЕЕС, а задається зі сторони управління судном. Для стабілізації напруги можна лише впливати на струм збудження генератора. Коли частота обертів головного двигуна опиняється за допустимими для генератора СЕЕС межами, енергоживлення переходить на резервний генератор. Для чіткого вводу резерву потрібна автоматика управління дизелем, яка заздалегідь ініціює запуск дизеля та вихід його на робочий режим, а потім здійснить синхронний

					141.43013.БР.ПЗ.РЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

перехід на резервне живлення суднової мережі. Ці функції на судах виконуються системами дистанційного автоматичного управління (ДАУ) дизель-генераторами.

Системи автоматичного регулювання збудження і автоматичного регулювання напруги генераторів (СВАРН) вибирають в залежності від умов експлуатації. Ці системи є складовими ДАУ. Існуючі правила Регістру передбачають наступні вимоги до точності стабілізації напруги.

Агрегати змінного струму повинні мати СВАРН, які підтримують при змінах навантаження від холостого ходу до номінального навантаження при номінальному коефіцієнті потужності підтримку номінальної напруги генераторів в межах $\pm 2,5\%$ від номінального (аварійні агрегати – до $\pm 3,5\%$). Для основних генераторів допускається підтримка напруги в межах $\pm 3,5\%$ номінальної при коефіцієнті потужності від 0,6 до 0,9. Рекомендується, однак, щоб напруга підтримувалась в межах $\pm 2,5\%$ при номінальній частоті обертів і номінальному навантаженні генератора.

Раптова зміна симетричного навантаження при номінальній частоті обертання й номінальній напрузі при наявних струмі й коефіцієнті потужності, не повинна викликати зниження номінальної напруги нижче 85% і підвищення вище 120%. Після цього напруга генератора повинна протягом не більш 1,5с відновлюватися (з погрішністю $\pm 3\%$ номінальної напруги). Для аварійних агрегатів ці значення можуть бути збільшені за часом до 5с і по напрузі до $\pm 4\%$ номінального значення.

Генератори змінного струму повинні мати достатній резерв збудження для підтримки на протязі 2хв номінальної напруги (з відхиленням 10 %) при перевантаженні генератора 150% номінального, і коефіцієнті потужності, рівному 0,6.

Миттєва зміна частоти обертання дизель-генератора при накиді або скиданні 100%-вого навантаження не повинна перевищувати 10% номінальної частоти обертання, відлічених від частоти обертання попереднього режиму, що встановився. Частота обертання, що знову встановилося повинна відрізнятися від частоти обертання попереднього режиму більш ніж на 5% номінальної частоти обертання.

					141.43013.БР.ПЗ.РЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

Регулятор частоти обертання дизеля повинен мати функцію дистанційної зміни частоти обертання в межах $\pm 10\%$ номінального значення. При паралельній роботі генераторів для забезпечення стійкості роботи СЕЕС у момент відключення короткого замикання СВАРН синхронного генератора повинна забезпечувати досить велику швидкість наростання напруги на обмотці збудження й високий максимальний рівень напруги при форсуванні збудження. У ряді випадків до якості електроенергії постійного й змінного струму пред'являють більш високі вимоги. Крім якісних показників, при виборі СВАРН враховують надійність дії системи, простоту й зручність обслуговування, масу й габаритні розміри.

По принципу дії СВАРН ділять на наступні **типи**.

Системи, які діють **по збуренню** – струму навантаження i_H :

- системи струмового компаундування, у яких струм збудження $i_{зб}$ визначається вихідними струмом і напругою навантаження $i_{зб} = f(i_H, u_H)$;
- системи фазового компаундування, у яких струм збудження визначається вихідними величинами – напругою, струмом навантаження і коефіцієнтом потужності генератора $i_{зб} = f(i_H, u_H, \cos(\varphi))$;

Системи, які діють **по відхиленню** регульованої величини (u_H), у яких струм збудження визначається вихідною напругою і завданням значенням $u_{зав}$ напруги $i_{зб} = f(u_{зав} - u_H)$.

Комбіновані системи, що діють і по збуренню і по відхиленню.

Структурна схема на рис.3.4 системи автоматичного регулювання напруги синхронного генератора СГ може працювати як за відхиленням, так і за комбінованим принципом регулювання. Задаючий блок ЗБ формує сигнал $u_{зав}$, який відповідає бажаній напрузі на виході генератора u_H . Датчики струму ДС і напруги ДН генератора СГ вимірюють вихідні струми і напруги по трьох фазах генератора і формують сигнали зворотних зв'язків $u_{ос1}$ і $u_{ос2}$ (кожен для трьох фаз), які є усередненими сигналами, пропорційними амплітудним або діючим значенням вимірюваних величин. Автоматичний регулятор напруги АРН

					141.43013.БР.ПЗ.РЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

обробляє задаючий сигнал і сигнали зворотних зв'язків і формує сигнал регулювання $u_{рег}$, який керує виконуючим пристроєм – силовим регулятором струму РС обмотки збудження ОЗ генератора. Регулятор струму може бути побудований на основі керованого тиристорного випрямляча або імпульсного перетворювача постійного струму.

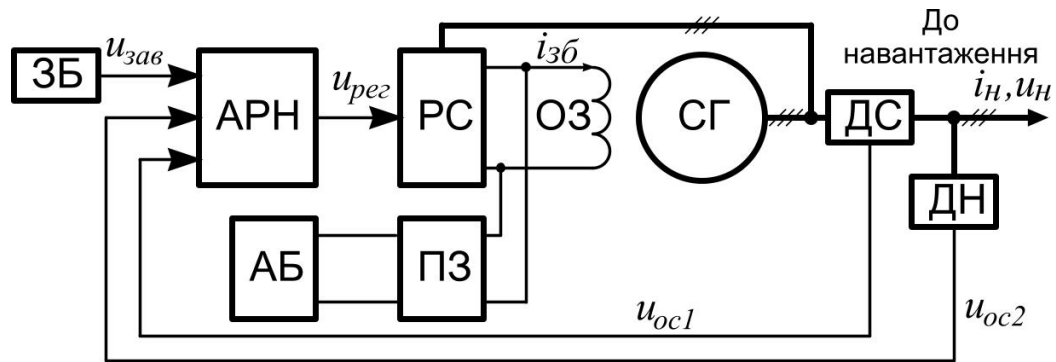


Рис3.4. Структурна схема системи авторегулювання напруги синхронного генератора: ЗБ – задавальний блок, АРН – автоматичний регулятор напруги, РС – регулятор струму, ОЗ – обмотка збудження, АБ – акумуляторна батарея, ПЗ – пристрій збудження, СГ – синхронний генератор, ДС – датчик струмів, ДН – датчик напруг

Регулятор струму РС в ідеалі є лінійним підсилювачем з коефіцієнтом передачі $K_{pc} = i_{зб} / u_{рег}$. Тоді струм збудження при комбінованому регулюванні описується наступним законом регулювання

$$i_{зб} = K_{pc} \left\{ K_n u_e + K_i \int_0^t u_e dt + K_d \frac{\partial}{\partial t} u_e + K_H u_{oc1} \right\}, \quad (3.1)$$

де $u_e = u_{зав} - u_{oc2}$ – похибка регулювання або відхилення, K_{pc} – коефіцієнт передачі регулятора струму РС, K_n – коефіцієнт передачі пропорційної складової регулювання, K_i – коефіцієнт передачі інтегральної складової регулювання, K_d – коефіцієнт передачі диференційної складової регулювання, K_H – коефіцієнт компенсації навантаження. Ці коефіцієнти складових регулювання підлягають оптимізації в процесі аналітичного синтезу ПД-регулятора або в процесі експериментів. Оскільки натурні експерименти з судновим дизель-генератором не

завжди можливо здійснити, доцільно скористатися імітаційним моделюванням системи і в ході моделювання підібрати коефіцієнти регулятора орієнтуючись на вид та характеристики перехідних процесів.

Датчики напруги синхронного генератора СГ на рис.3.5 можуть вимірювати амплітуду або діюче значення напруги з функцією усереднення сигналу. На рис.3.5,а показано діодний датчик напруги трьох фаз генератора U_A , U_B , U_C , який виділяє миттєві значення фазних напруг на кутах 120 градусів симетрично відносно максимумів.

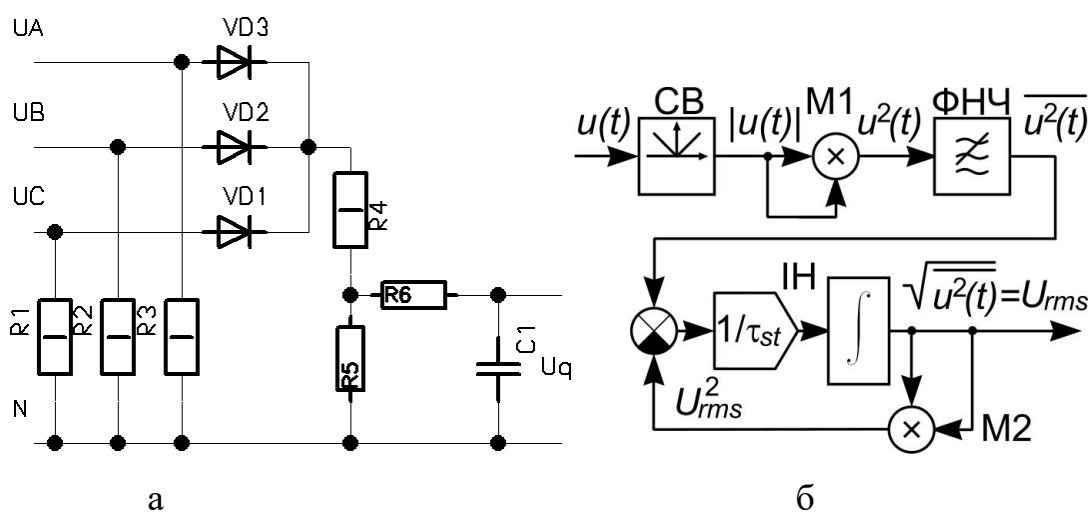


Рис.3.5. Датчики напруги синхронного генератора: а – на основі діодної схеми з усередненням, б – структура датчика діючого значення

Подільник напруги R_4 . R_5 знижує величину сигналу до прийнятного значення, який за допомогою інерційного ланцюга R_6C_1 з постійною часу 0,1-0,5с фільтрується від імпульсних складових. Вихідний сигнал U_q формується відносно нейтральної шини і далі подається на буферний підсилювач системи управління. Діодний датчик напруги реагує на підвищення або провал напруги в окремо взятій фазі, оскільки сигнал U_q є результатом випрямлення трьох напруг.

Якщо треба більш точно слідкувати за вихідною напругою генератора, по кожній фазі встановлюється датчик діючої напруги, принцип дії якого пояснюється структурною схемою на рис.3.5,б. Сигнал напруги $u(t)$ випрямляється сигнальним випрямлячем CB , возводиться у квадрат, потім виділяється середнє значення квадрату за допомогою фільтру низьких частот

ФНЧ. Далі схема стеження за квадратом напруги виділяє корінь з середнього квадратичного, який і дорівнює діючому значенню $U_{rms} = \sqrt{u^2(t)}$.

На початковій стадії роботи генератора вихідна напруга близька до нуля, оскільки остаточне намагнічування осердь ротора і статора генератора дуже невеликі і обумовлюють вихідну напругу на рівні декількох відсотків від номінальної, чого явно не достатньо для живлення системи регулювання, а саме регулятора струму РС збудження. Він живиться від вихідної напруги генератора СГ. Тому існує пристрій початкового збудження ПЗ, який живиться від акумуляторної батареї АБ і в початковий момент запуску подає струм на обмотку збудження ОЗ. Коли вихідна напруга генератора досягне 50% від номінальної, пристрій початкового збудження відключається.

Висновок. По зрівнянню зі схемами СВАРН з компаундуванням по струму і фазовим компаундуванням СВАРН з комбінованим регулюванням (або по відхиленню) представляється найбільш ефективною з точки зору стабілізації вихідної напруги, оскільки коригуючий вплив на збудження генератора не залежить від причини, яка визвала відхилення вихідної напруги. Але СВАРН з регулюванням по відхиленню повинна відповідати критеріям стійкості і може створювати коливальний перехідний процес. Тому потрібно оптимізувати настройки регулятора СВАРН за допомогою модельних експериментів.

					141.43013.БР.ПЗ.РЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

					141.43013.БР.ПЗ.Р4							
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата								
Студент		Пінчук І. М.				Експериментальне дослідження системи за допомогою імітаційного моделювання			Літ.		Аркуш	Аркушів
Керівник		Обрубов А. В.										
Консультант									НУК			
Зав. каф.		Обрубов А. В.										

Розділ 4. Експериментальне дослідження системи за допомогою імітаційного моделювання

Система управління дизель-генератором окрім виконання ряду обов'язкових специфічних функції – регулювання частоти обертів, фази, комутації – повинна виконувати наступні загальні функції:

- Моніторинг параметрів роботи генератора: частоти обертання ротору, напруг і струмів обмоток статора, струму збудження, температури корпусу та обмоток, повітря, вібрацію, та ін..
- Регулювання вихідної напруги шляхом управління струмом збудження.
- Автоматичний захист генератора від перевантажень.

В даній роботі розглянемо регуляторні функції системи. А саме регулювання величини вихідної напруги в одній фазі генератора (теж саме повинно виконуватись і в інших фазах) при зміні струму навантаження. На рис.4.1. представлено імітаційну модель системи управління генератором, яка виконана в пакеті *Matlab 6.5-Simulink* [17].

Модель системи на рис.4.1 складається з наступних елементів:

- модель генератора Generator 100KW потужністю 100 КВт зі схемою на рис.4.2 і з наступними **входами**:

- частоти обертів привідного двигуна N , об/хв,
- кута повороту ротора привідного двигуна F_i , рад,
- напруги обмотки збудження V_{field} , В,

і **виходами**:

- вихідної напруги (одна фаза) V_{out} , В,
- струму навантаження I_{out} , А,
- моменту на валу генератора M_{out} , н*м;

- модель ПДД-регулятора Auto_V_Reg вихідної напруги генератора зі схемою на рис.4.3 і з наступними **входами**:

- сигналу зворотного зв'язку FB по вихідній напрузі генератора,
- сигналу завдання напруги REF,

					141.43013.БР.ПЗ.Р4	Арк.
						62
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- сигналу ввімкнення ON (0 – регулятор виключено, 1 – регулятор включено),

і **виходом** регулювання напруги збудження генератора Y_{Reg} , В;

- задавач максимального значення крутного моменту $M=2000$ н*м привідного двигуна;
- 4-входовий суматор моментів на валу привідного двигуна;
- коефіцієнти моментів інерції $1/J_d+J_g$ привідного дизельного двигуна $J_d=80$ кг*м² і ротора синхронного генератора $J_g=50$ кг*м²;
- $K_{friction}$ – коефіцієнт тертя ковзання в підшипниках привідного двигуна;
- $K_{friction1}$ – крутизна механічної характеристики привідного двигуна

$$K_{friction1} = \Delta M / \Delta N ;$$
- $N_{max}=1000$ об/хв – задавач максимальної частоти обертів привідного двигуна;
- 0-inf – елемент обмеження сигналу в діапазоні $-\infty \dots 0$;
- Integrator і Integrator1 – інтегратори кутового прискорення $\partial \omega / \partial t$ і кутової швидкості ω ;
- w-n – коефіцієнт перерахунку сигналу кутової швидкості рад/с в сигнал частоти обертів об/хв;
- Relay_850 – порогове реле з порогом 300-900 об/хв;
- $V_{ref}=3$ В – задавач номінальної напруги зворотного зв'язку;
- Transfer Fcn – передатна функція по Лапласу датчика амплітудної напруги генератора;
- LoadStep і LoadStep1 – ступінчасті сигнали, що керують комутатором навантаження;
- min – блок вибору мінімального сигналу;
- Breaker – керований комутатор навантаження;
- Abs – сигнальний випрямляч;
- Attenuator 1:100 – атенюатор датчика вихідної напруги генератора з коефіцієнтом ослаблення напруги в 100 разів;
- VM – вимірювач або первинний датчик напруги генератора;

					141.43013.БР.ПЗ.Р4	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		63

- R1 – резистор навантаження 0,48 Ом;
- Модельні осцилоскопи:
 - M_R – момент опору для приводного двигуна зі сторони синхронного генератора, н*м,
 - M_S – сумарний момент на валу приводного генератора, н*м,
 - N_min-1 – частота обертів двигуна і ротора генератора, об/хв,
 - V_Field – напруга збудження, В,
 - |V|_a_avg – текуче середнє огибаючої вихідної напруги генератора, сигнал амплітуди напруги, В,
 - V_out – вихідна напруга генератора, В,
 - Scope1 – струм навантаження генератора, А,
 - Out2 – вивід даних у робочу область.

Модель системи регулювання вихідної напруги генератора на рис.4.1 містить модель генератора з привідним двигуном і елементами регулювання вихідної напруги. Привідний двигун і генератор в натуральному вигляді зазвичай представляють собою дві машини, вали яких з'єднані співвісною або радіальною передачею (часто через ремінну передачу). В суднових дизель-генераторах дизельний двигун поєднується з ротором генератора через муфту, яка з'єднує їхні вали. В даній моделі на рис.4.1 привідний двигун і генератор промодельовані як єдина електромеханічна система з сумою моментів на єдиному валу дизель-генератора. Привідний двигун має постійний монотонний крутний момент М і не моделює специфічні властивості дизеля з імпульсним крутним моментом, оскільки вплив імпульсного моменту в цій інерційній системі буде згладженим і не буде створювати суттєвих пульсації напруги генератора. До постійного крутного моменту М додаються зі знаками плюс і мінус наступні складові по порядку під величиною M_eng на вході суматора зліва на рис.4.1:

- Електромагнітний момент генератора M_R;
- Момент тертя M_friction, пропорційний кутовій швидкості ω ;
- Змінна складова моменту під дією зміни швидкості обертів N, що відповідає механічній характеристиці приводного двигуна.

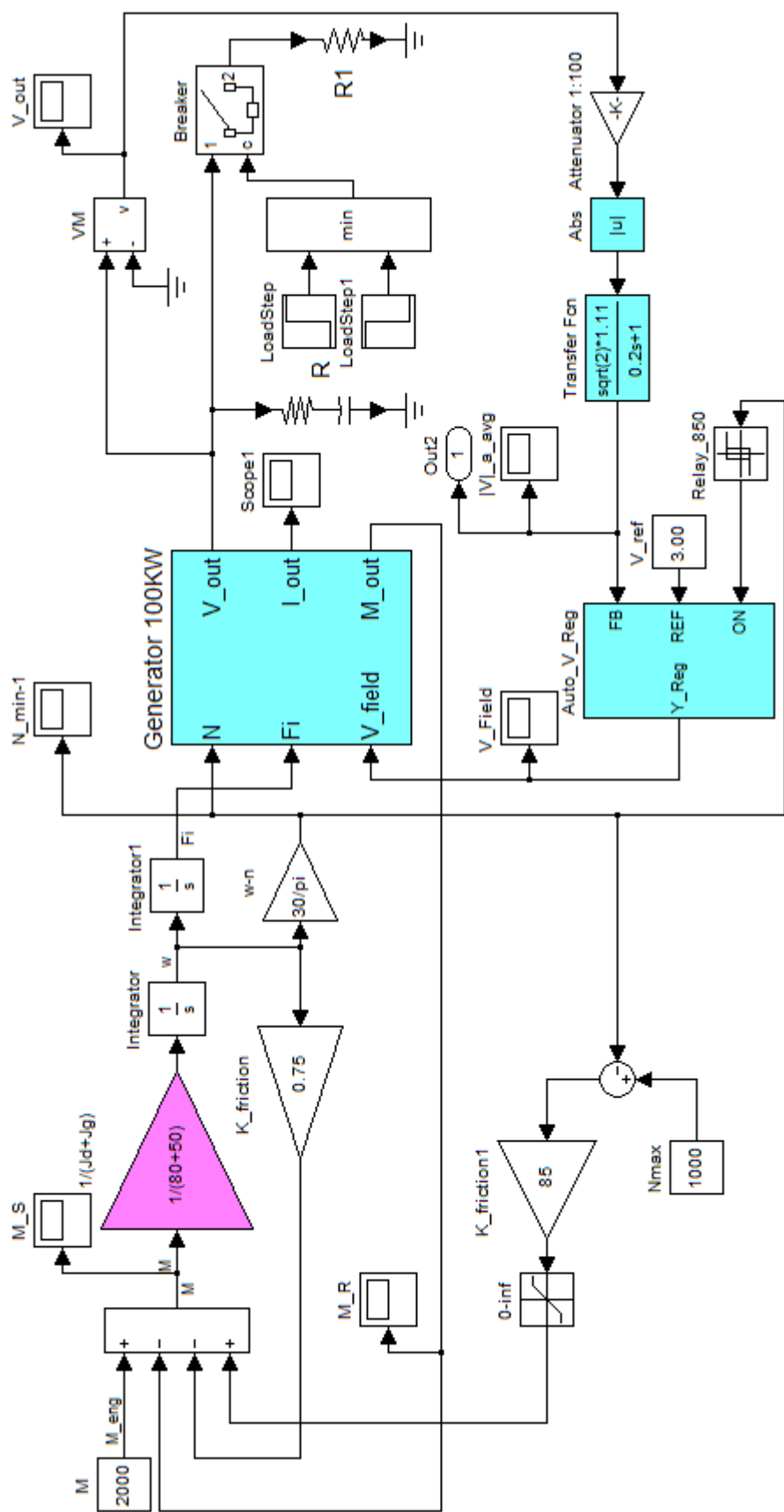


Рис.4.1. Схема моделі системи стабілізації напруги синхронного генератора: M – задавач крутного моменту, $1/Jd+Jg$ – коефіцієнти моментів інерції, $K_friction$ – коефіцієнт тертя, $K_friction1$ – крутизна характеристики двигуна, $0-inf$ – обмеження в $-\infty...0$, Integrator і Integrator1 – інтегратори, $w-n$ – перерахунок рад/с в об/хв, Generator 100KW – генератор, Auto_V_Reg – регулятор напруги, Relay_850 – порогове реле 300-900об/хв, Transfer Fcn – ПФ датчика амплітудної напруги, LoadStep і LoadStep1 – ступінчасті сигнали, min – мінімум, Breaker – керований комутатор навантаження, Abs – сигнальний випрямляч, Attenuator 1:100 – атенуатор, VM – вимірювач напруги, R1 – резистор навантаження

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Привідний двигун на рис.4.1 запускається під дією початкового крутного моменту $M=2000 \text{ н*м}$. Цей крутний момент діє при нульовій швидкості, а коли швидкість обертання доходить до $N_{\max}=1000 \text{ об/хв}$ крутний момент поступово знижується за рахунок зворотного зв'язку по швидкості і підсиленню різниці елементом $K_{\text{friction1}}$. Момент на валу створює кутове прискорення $\partial\omega/\partial t$, зворотно-пропорційне сумарному моменту інерції J_d+J_g , яке інтегрується першим інтегратором Integrator і перетворюється в кутову швидкість ω , яка в свою чергу інтегрується другим інтегратором Integrator1 і перетворюється в кут повороту ротора ϕ .

Пропорційно кутовій швидкості нарастає момент опору тертя з коефіцієнтом тертя 0,75 і потужністю втрат приблизно 8,2 КВт при 1000 об/хв. Це для 120 КВт двигуна. Також на вал двигуна діє момент обору зі сторони генератора, який головним чином залежить від активної потужності генератора. Коли сума моментів на 4-входовому суматорі дорівнює нулю, швидкість обертання стає постійною величиною.

Схема моделі електромагнітної частини синхронного генератора на рис.4.2. сприймає кут повороту ротора F_s і його частоту обертів N (яка перераховується в кутову швидкість ω). В моделі створюється синусоїдальна функція ЕРС фази генератора, яка перетворюється в вихідну напругу генератора і електромагнітний момент та моменти тертя генератора.

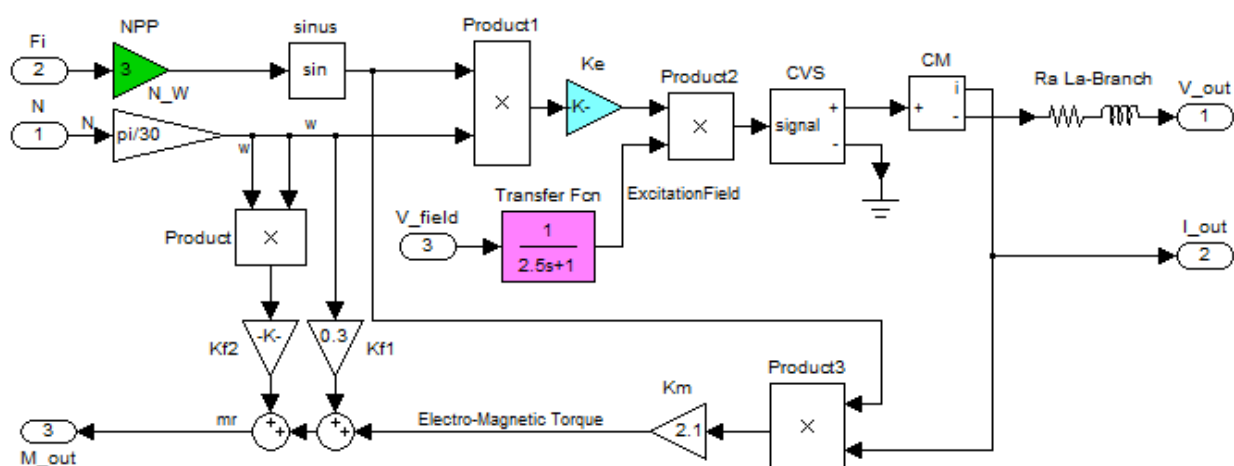


Рис.4.2. Модель електромагнітної частини синхронного генератора з номінальною напругою 220В при 1000 об/хв (1 фаза 3 пари полюсів)

Генератор має потужність 100КВТ, номінальну діючу напругу 220В, номінальний струм навантаження 455А, частоту 50Гц, 3 пари полюсів.

Модель електромагнітної частини синхронного генератора складається з наступних елементів:

$NPP=3$ – кількість пар полюсів генератора;

$\sin$ – синусоїдальна функція;

$Product1$ – добуток кутової швидкості і синусу кута повороту вала з врахуванням кількості пар полюсів;

$Ke=0,02$ – коефіцієнт ЕРС генератора;

$Product2$ – добуток функції ЕРС на умовну величину магнітного потоку генератора;

CVS – кероване джерело напруги;

CM – вимірювач струму навантаження;

Ra $La-Branch$ – внутрішній комплексний опір генератора 27 мОм і індуктивність 20мкГн;

$Product$ – квадрат кутової швидкості для отримання вентиляторного моменту генератора;

$Transfer F_{cp}$ – інерційна передатна функція напруги збудження в умовний магнітний потік збудження з постійною часу 2,5с;

$Kf1=0,3$ і $Kf2=0,00001$ – коефіцієнти тертя ковзання і вентиляторного опору генератора;

$Km=2,1$ – коефіцієнт електромагнітного моменту генератора;

$Product3$ – добуток синусу кута повороту з полюсним діленням та струму навантаження для виділення активного струму і отримання електромагнітного моменту генератора.

Модель автоматичного регулятора напруги генератора представляє собою ПІД регулятор з обмеженнями величин пропорційної складової в діапазоні - 10...10, інтегральної складової в діапазоні 0...3, вихідної величини регулювання в діапазоні 0...220В.

					141.43013.БР.ПЗ.Р4	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		67

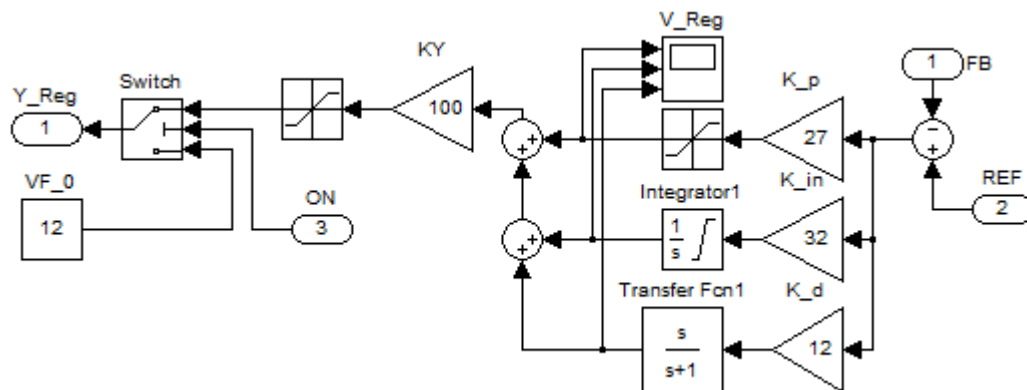


Рис.4.3. Модель автоматичного регулятора напруги АРН

Налаштування ПД-регулятора підбиралися в ході модельних експериментів з моделлю на рис.4.1 по методиці послідовного наближення кривої перехідного процесу до оптимальної по показникам регулювання:

- коефіцієнт пропорційної складової $K_p=27$,
- коефіцієнт інтегральної складової $K_{in}=32$,
- коефіцієнт диференційної складової $K_d=12$.

Модельні експерименти проводилися з наступними налаштуваннями моделі системи:

- Максимальний крутний момент $M=2000 \text{ н*м}$, номінальний 955 н*м ;
- Номінальна частота обертів 1000 об/хв ;
- Максимальна потужність приводу приблизно 200 кВт при 1000 об/хв ;
- Номінальна потужність генератора 100 кВт ;
- Номінальна кутова швидкість $104,6 \text{ рад/с}$;
- Електричне навантаження задавалося таким чином. Спочатку струм навантаження був нульовий, потім з 15 с роботи різко ставав близький до номінального 455 А , потім на 20 с роботи знову ставав нульовий. Ступінчаста функція моменту навантаження створює досить жорсткий режим експлуатації дизель-генератора, який на практиці не виникає в роботі дизель-генератора (момент насправді наростає дрібнішими ступенями на протязі декількох секунд), але це демонструє ефективність стабілізації вихідної напруги.

Графіки перехідних процесів на рис.4.4 з ПД-регулятором напруги генератора демонструють процес розгону дизель-генератора і вихід на номінальні оберти з виникненням навантаження до 455 А 100 КВт.

При ступінчастому наростанні навантаження до номінального середня частота обертів знизилася приблизно на 3,2%. Перерегулювання напруги генератора при виході на номінальні оберти холостий режим склало не більше 1,5%, що є доволі хорошим результатом. При скиданні навантаження перерегулювання напруги склало не більше 3%. Ці показники перевищують вимоги Регістру до параметрів електроенергії суднових дизель-генераторів.

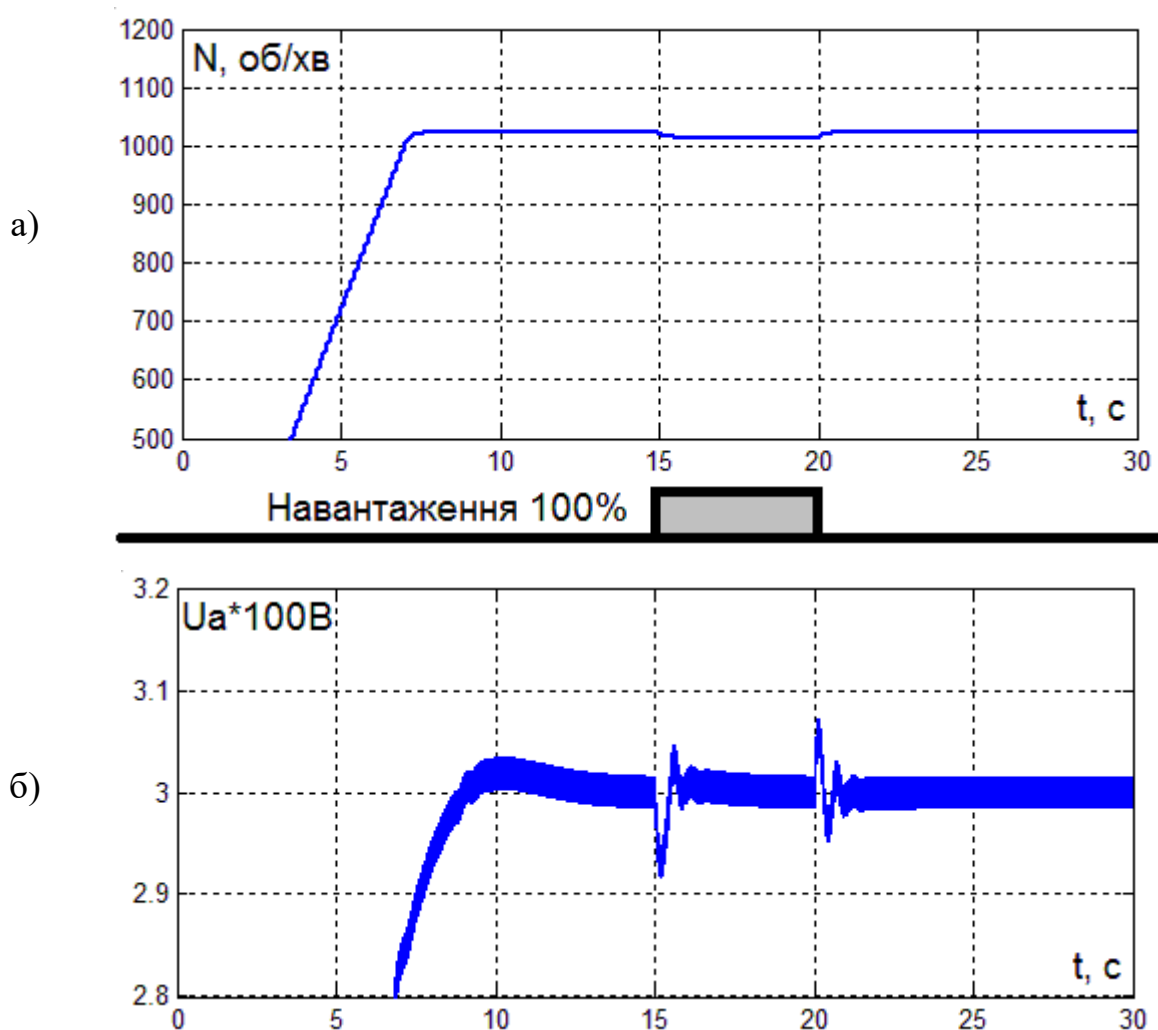


Рис.4.4. Графіки процесів при накиді і скиданні повного навантаження:

- а) графік частоти обертів приводного двигуна і генератора,
- б) графік огибаючої вихідної напруги генератора (сигнал датчика амплітудної напруги)

Графіки перехідних процесів на рис.4.5 з ПД-регулятором напруги генератора демонструють процес розгону дизеля і вихід на номінальні оберти з виникненням навантаження до 455 А 100 КВт.

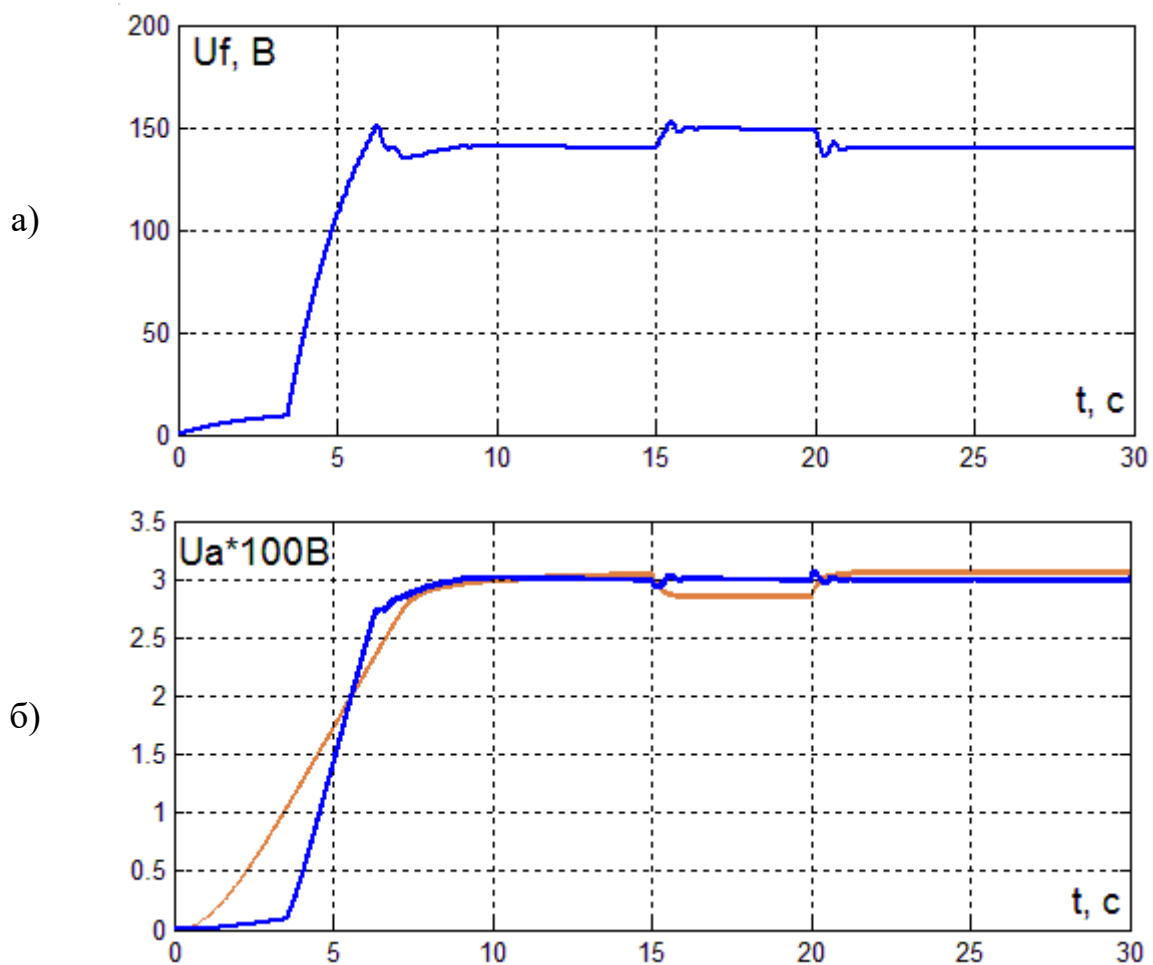


Рис.4.5. Графіки процесів при накиді і скиданні повного навантаження:

- а) графік вихідної напруги регулятора – напруги збудження генератора,
- б) графіки огибаючої вихідної напруги генератора (сигнал датчика амплітудної напруги) без регулятора (рожева крива з номінальною постійною напругою збудження генератора) і з ПД-регулятором (синя крива)

Графіки демонструють ефективність роботи регулятора вихідної напруги генератора. При пуску та накиді і скиданні 100% навантаження видно, що напруга збудження з ПД-регулятором змінювалася, тобто система реагувала на підвищення вихідної напруги генератора в процесі розгону на номінальні оберти і в процесі зміни навантаження. По кривих вихідної напруги на рис.4.5,б видно, що

без автоматичного регулювання вихідна напруга генератора знижувалася при накиді навантаження приблизно на 10%, а при скиданні ставала дещо вище завданої амплітуди на 3%. При наявності ПД-регулятора стала амплітуда вихідної напруги генератора прагне до завданого значення 300В практично без остаточної помилки завдяки наявності інтегральної складової регулювання. Провал напруги при накиді навантаження і підвищення напруги при скиданні навантаження з ПД-регулятором мають місце тільки на протязі 2-3 секунд перехідного процесу, що теж є допустимим згідно Регістру судноплавства.

Наведені в цій роботі графіки процесів є одними з множини результатів опитів, отриманих в ході модельних експериментів. Запропонована модель дизель-генератора може бути використана для дослідження роботи СЕЕС і розуміння властивостей системи регулювання напруги, а також для оптимізації режимів роботи реального обладнання.

					141.43013.БР.ПЗ.Р4	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		71

					141.43013.БР.ПЗ.Р5				
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Охорона праці				
Студент	Пінчук І. М.								
Керівник	Обрубов А. В.								
Консультант									
Зав. каф.	Обрубов А. В.								
					НУК				

Розділ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ

5.1. Розрахунок освітлення робочого приміщення методом використання світлового потоку

Розглянемо розрахунок загального освітлення лабораторії [18]. Довжина кімнати $A = 5$ м, ширина $B = 4$ м, висота $H = 3$ м. Висота робочої поверхні $h_p = 1$ м. Для освітлення приймаємо світильники типу ПО-02. Мінімальна освітленість лампами розжарювання за нормам $E_{\min} = 200$ лк. Коефіцієнт відображення стелі $\rho_n = 70\%$, стін $\rho_c = 50\%$, робочої поверхні $\rho_p = 10\%$. Напруга мережі 220 В. Розміщення світильника зображене на рис. 5.1.

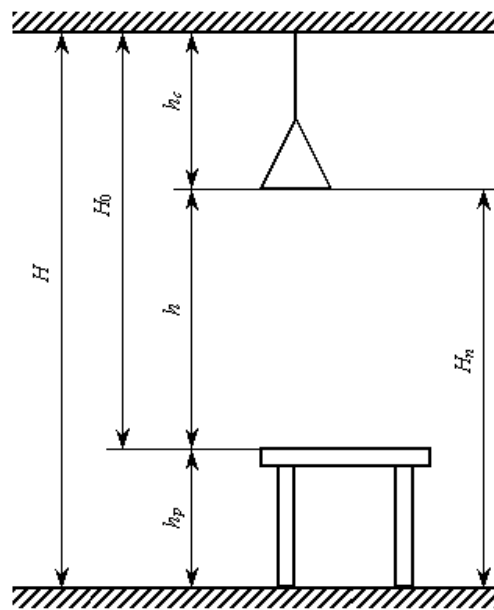


Рис.5.1. Розміщення світильника в приміщенні

де H – висота приміщення, м; H_0 – відстань від стелі до робочої поверхні, м; H_p – висота підвісу світильника над підлогою, м; h – висота підвісу світильника над освітлюваною поверхнею, м; h_c – відстань від стелі до світильника, м; h_p – висота робочої поверхні над підлогою, м; L – відстань між центрами світильників, м;

l – відстань від стіни до центра світильника, м.

Відстань від стелі до робочої поверхні

$$H_0 = H - h_p = 3 - 1 = 2 \text{ м}; \quad (5.1)$$

Відстань від стелі до світильника

$$h_c = 0,2 \cdot H_0 = 0,2 \cdot 2 = 0,4 \text{ м}; \quad (5.2)$$

Висота підвісу світильника над освітлюваною поверхнею

$$h = H_o - h_c = 2 - 0,4 = 1,6 \text{ м}; \quad (5.3)$$

Висота підвісу світильника над підлогою

$$H_{\text{п}} = h + h_p = 1,6 + 1 = 2,6 \text{ м}; \quad (5.4)$$

(величина, що знаходиться в межах норм). Для досягнення найбільшої рівномірності освітлення приймаємо відношення:

$$\frac{L}{h} = 1,5. \quad (5.5)$$

Необхідні параметри розраховуються при відношеннях:

$$\frac{L}{h} = 1,4 - 1,8 - \text{при паралельному розміщенні світильників};$$

$$\frac{L}{h} = 1,8 - 2,5 - \text{при шаховому розташуванні світильників};$$

$$l = 0,25 - 0,3L - \text{при розміщенні робочих місць уздовж стіни};$$

$$l = 0,4 - 0,5L - \text{при віддаленні робочих місць від стіни}.$$

Тоді відстань між центром світильників L :

$$L = 1,5h = 1,5 \cdot 1,6 = 2,4 \text{ м}; \quad (5.6)$$

Визначаємо площу приміщення:

$$S = AB = 5 \cdot 4 = 20 \text{ м}^2. \quad (5.7)$$

Необхідна кількість світильників:

$$N = \frac{S}{L^2} = \frac{20}{2,4^2} = 4 \text{ світильника (два ряди по два світильника)} \quad (5.8)$$

Перевірка:

$$\frac{B}{L} = \frac{4}{2,4^2} \approx 2; \quad l = 0,25 - 0,3L = 0,3 \cdot 2,4 = 0,72 \text{ м};$$

$$\frac{A}{L} = \frac{5}{2,4^2} \approx 2; \quad l = 0,4 - 0,5L = 0,5 \cdot 2,4 = 1,2 \text{ м}; \quad (5.9 - 5.12)$$

$$\text{Для А: } \frac{5 - 2,4}{2} = 1,3 \text{ м}; \quad \text{для В: } \frac{4 - 2,4}{2} = 0,8 \text{ м}. \quad (5.13, 5.14)$$

Приймаємо 4 світильника (два ряди по два світильника).

					141.43013.БР.ПЗ.Р5	Арк.
						74
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Індекс приміщення:

$$i = \frac{AB}{h(A+B)} = \frac{5 \cdot 4}{1,6(5+4)} = 1,4; \quad (5.15)$$

При $i = 1,5$, $\rho_n = 70 \%$, $\rho_c = 50 \%$, $\rho_p = 10 \%$ для світильника типу ПО-02 коефіцієнт використання світлового потоку $\eta = 36 \% = 0,36$.

Світловий потік однієї лампи:

$$\Phi_p = \frac{E_{\min} S K_3 Z}{N \eta} = \frac{200 \cdot 20 \cdot 1,3 \cdot 1,15}{4 \cdot 0,36} = 4153 \text{ лм}, \quad (5.16)$$

де $K_3 = 1,3$; $Z = 1,15$ для ламп розжарювання (визначені за таблицями).

де $E_{\min}$ - нормована освітленість, лк;

S - Площа освітлюваного приміщення, м^2 ;

K_3 - коефіцієнт запасу, що враховує зниження освітленості унаслідок забруднення ламп, а також унаслідок їх експлуатації;

Z - коефіцієнт мінімальної освітленості, що враховує нерівномірність освітленості;

Φ_p – сумарний світловий потік ламп (розрахунковий), лм;

η - коефіцієнт використання світлового потоку, залежний від показника приміщення.

За знайденим світловим потоком вибираємо лампу Г215-225-300, потужністю 300 Вт, що має світловий потік 4610 лм, найбільш близький до розрахункового.

При цьому фактична освітленість E_f дорівнює:

$$E_f = E_{\min} \frac{\Phi_{\text{л}}}{\Phi_p} = 200 \cdot \frac{4610}{4153} = 222 \text{ лк}. \quad (5.17)$$

При перевірці виявили, що E_f відрізняється від $E_{\min}$ на 9,9%, що входить у допустимий діапазон.

Загальна потужність P_3 освітлювальної установки складе:

$$P_3 = P_{\text{л}} \cdot N = 300 \cdot 4 = 1200 \text{ Вт} = 1,2 \text{ кВт}. \quad (5.17)$$

					141.43013.БР.ПЗ.Р5	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		75

5.2. Заходи з техніки безпеки

Щоб уникнути негативних наслідків при використанні свинцевого припою, необхідно впровадити альтернативу в даній технології. Наприклад, індій та вісмут, два метали, які можна використовувати в якості субститутів свинцю в припої. Третя альтернатива – використання срібла як металічного наповнювача для епоксидних смол, що проводять. Але так як технології і методи електронної промисловості розвивались одночасно з свинцевим припоєм, то будь-яка значна зміна, направлена на використання альтернативних матеріалів, особливо, якщо робоча температура цих матеріалів суттєво відрізняється, це б могло вимагати значної реорганізації існуючих процесів, а також значних капіталовкладень в нове обладнання.

Існує п'ять основних груп безсвинцевих припоїв.

Sn/Cu. Евтектичні припої, що містять мідь, з самого початку створювалися для пайки друкованих плат хвилею припою. Недоліком цього типу є висока температура плавлення і гірші механічні властивості у порівнянні з іншими безсвинцевими припоями.

Sn/Ag. Припої, що містять срібло, використовуються в якості безсвинцевих припоїв вже багато років. Вони мають хороші механічні властивості і краще паяються, ніж припої, що містять мідь. Ці припої також є евтектичними, температура плавлення 221°C . Порівняльні тести пайки таким типом припою і звичайним припоєм, що містить свинець, показують значну перевагу безсвинцевого припою за надійністю пайки.

Sn/Ag/Cu. Сплав олова, срібла і міді є трикомпонентним евтектичним припоєм. Він використовувався задовго до появи припою, що містить срібло. Перевага такого типу полягає в більш низькій температурі плавлення (217°C). Співвідношення компонентів у такому припої є й до цього дня предметом постійних дискусій. Припій зі складом 95,5% Sn + 3,8% Ag + 0,7% Cu має кращу надійність і спаюваність, ніж безсвинцевим припої, які містять срібло та мідь. Додавання сурми (0,5% Sb) дозволило пристосувати цей тип припою для пайки хвилею. Цей тип припою використовується в промисловості поряд з тими, що містять срібло. Перевага тому чи іншому типу віддається виходячи з економічних

					141.43013.БР.ПЗ.Р5	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		76

міркувань і устаткування виробництва.

Sn/Ag/Bi(Cu)(Ge). Низька температура плавлення такого сплаву сильно підвищує надійність пайки. Температура плавлення такого типу припою в різних поєднаннях співвідношень металів коливається в діапазоні 200...210°C. Цей тип припоїв має кращу спаюваність серед безсвинцевим припоїв. Додавання Cu і / або Ge покращує міцність паяних з'єднання, а також змочуваність поверхонь, що спаюються припоєм. Значна тенденція такого типу припоїв утворювати припойні перемички в порівнянні з іншими безсвинцевим припоями може бути зменшена додаванням інших домішок.

Sn/Zn/Bi. Цей тип припоїв має температуру плавлення, близьку до евтектичним припою, що містить свинець, однак наявність Zn приводить до багатьох проблем, пов'язаних з їх хімічною активністю: малий час зберігання припойної пасти, необхідність використання активних флюсів, надмірне шлакування і окисдування, потенційні проблеми корозії при збірці. Використання такого типу припоїв рекомендується для пайки в середовищі захисного газу.

Для збірки особливо важливих пристроїв (оборонна промисловість, автономні пристрої) рекомендується використання високоякісних Sn/Ag/Cu припоїв з добавкою, при необхідності, Sb. Для професійної техніки (промисловість, системи зв'язку) рекомендується використання Sn/Ag/Cu або Sn/Ag двокомпонентних евтектичних припоїв. Для техніки широкого вжитку (TV, аудіо-, відео-, офісне обладнання) може використовуватися широкий діапазон сплавів, таких, як Sn/Ag/Cu(Sb) і сплавів групи Sn/Ag. У меншій мірі використовуються припої Sn/Cu і Sn/Ag/Bi - їх вибір обумовлений фінансовою політикою компаній (в основному по відношенню до припою, що містить вісмут (Bi)).

Для того, щоб запобігти пошкодження шкіри, отримання опіків, необхідно дотримуватися правил експлуатації інфрачервоних ламп, а саме не знімати захисних кріплень з них, чітко дотримуватись усіх інструкцій користування пристроєм.

Для запобігання електротравматизму важливе значення має правильна

					141.43013.БР.ПЗ.Р5	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		77

організація обслуговування діючих електроустановок, проведення ремонтних, монтажних і профілактичних робіт. При цьому під правильною організацією розуміється точне виконання ряду організаційних і технічних заходів і засобів, встановлених діючими "Правилами технічної експлуатації електроустановок користувачів і правила техніки безпеки при експлуатації електроустановок користувачів" (ПТЕ і ПТБ користувачів) і "Правилами улаштування електроустановок" (ПУЕ).

Електробезпека повинна забезпечуватися:

- конструкцією електроустановок;
- технічними способами та засобами захисту;
- організаційно-технічними заходами.

Електроустановки та їх частини повинні бути виконані таким чином, щоб працівники не піддавалися шкідливій та небезпечній дії електричного струму.

Основними заходами захисту від ураження електричним струмом є:

- забезпечення недоступності струмопровідних частин, що перебувають під напругою, для випадкового дотику;
- електричний поділ мережі;
- усунення небезпеки ураження з появою напруги на корпусах, кожухах та інших частинах електроустаткування, що досягається захисним заземленням, зануленням, захисним відключенням;
- застосування малих напруг;
- захист від випадкового дотику до струмопровідних частин застосуванням кожухів, огорож, подвійної ізоляції;
- захист від небезпеки при переході з вищої на нижчу напругу;
- контроль і профілактика пошкоджень ізоляції;
- компенсація ємнісної складової струму замикання на землю;
- застосування спеціальних електрозахисних засобів - переносних приладів і запобіжних пристроїв;
- організація безпечної експлуатації електроустановок.

Розглянемо більш детально деякі із необхідних заходів.

					141.43013.БР.ПЗ.Р5	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		78

1. Застосування малих напруг і електричний поділ мереж. Для забезпечення безпеки електроспоживачів варто застосовувати напругу до 42 В, у приміщеннях із підвищеною небезпекою – 36 В, а в особливо небезпечних – 12 В. Необхідно пам'ятати, що для одержання малої напруги необхідно використовувати автономні джерела (акумулятори, спеціальні мотор-генератори і т. д.). Можна використовувати і перетворювачі напруги, але при цьому пам'ятати про обов'язкову умову: мережа малої напруги повинна бути електрично ізольована, відділена від мережі високої напруги.

2. Контроль ізоляції. При порушенні ізоляції мереж і устаткування корпусу, конструкції, на яких вони змонтовані, труби, в яких прокладені проводи, можуть виявитися під небезпечною напругою. Тому необхідно регулярно виконувати профілактичні випробування, огляди. В приміщеннях без підвищеної небезпеки 1 раз на 2 роки, в небезпечних приміщеннях 1 раз на півроку, при роботах перевіряють опір ізоляції.

В установках до 1000 В опір ізоляції повинен бути не нижче 0,5 мОм.

3. Захисне заземлення – це навмисне з'єднання із заземленим пристроєм металевих частин електроустаткування (корпуси, кожухи, постійні огороження, арматура і т. д.), що нормально не знаходяться під напругою, але можуть виявитися такими у випадку ушкодження ізоляції для того, щоб знизити напругу доторкання при ушкодженні ізоляції до безпечної для людини величини.

4. Захисне відключення – це система захисту (наприклад спеціальне реле захисту), що забезпечує безпеку шляхом автоматичного відключення (протягом не більш 0,2 сек.) електроустановки у випадках замикання струмоведучої частини на землю, зниження опору ізоляції, несправності заземлення і т. д.

5. Захист від випадкового дотику до струмоведучих частин досягається шляхом використання огорожень і відповідних конструкцій електроустановок; блокувань; розташування струмопровідних частин на недоступній висоті (наприклад лінії електропередач); застосування подвійної ізоляції.

6. Вирівнювання потенціалів для того, щоб зняти існування і необхідність вирівнювання потенціалів. Різниця потенціалів між двома точками землі в зоні замикання на землю на відстані кроку (0,8 м) по радіусу до точки замикання

					141.43013.БР.ПЗ.Р5	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		79

називається кроковою напругою. Різниця потенціалів між точкою замикання на землю і точкою землі, у якій знаходиться людина при торканні точки замикання, називається напругою дотику. Про існування крокової напруги і напруги дотику потрібно знати і пам'ятати для того, щоб правильно виходити із зони замикання на землю, якщо потрапив у неї (виходити "гусячим" кроком).

Необхідними також є протипожежні заходи.

Забезпечення пожежної безпеки є невід'ємною частиною державної діяльності щодо охорони життя та здоров'я людей, національного багатства і навколишнього природного середовища. Пожежна безпека в Україні регламентується Законом України "Про пожежну безпеку". Цей Закон визначає загальні правові, економічні та соціальні основи забезпечення пожежної безпеки на території України, регулює відносини державних органів, юридичних і фізичних осіб у цій галузі незалежно від виду їх діяльності та форм власності.

Підприємство у своїй роботі має керуватися "Типовим положенням про інструктажі, спеціальне навчання та перевірку знань з питань пожежної безпеки на підприємствах, в установах та організаціях України".

Відповідно до даного Положення підприємство повинно:

- проводити інструктажі з пожежної безпеки;
- організовувати навчання для персоналу в галузі пожежної безпеки;
- стежити за дотриманням виконання норм з пожежної безпеки;
- вести журнали обліку з пожежної безпеки.

Пожежогасіння. На підприємстві необхідно встановити вогнегасники з розрахунку 1 вогнегасник на 20 м² приміщення, але не менше ніж 1 вогнегасник на одне приміщення (кімнату). Як правило – це вуглекислотний вогнегасник. Вогнегасник перед установкою в приміщенні повинен пройти первинний огляд особою відповідальною за пожежогасіння на підприємстві. Після чого, результати огляду занести в паспорт вогнегасника. Періодичний огляд вогнегасника повинен проводитись не рідше одного разу на місяць. Вогнегасник повинен проходити технічне обслуговування на ПТОВ не рідше одного разу на рік.

					141.43013.БР.ПЗ.Р5	Арк.
						80
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Оскільки повністю виключити, в силу відомих причин, імовірність виникнення пожежі неможливо, то необхідно використовувати стратегію обмеження її наслідків, яка досягається такими заходами:

- забезпеченням потрібної вогнестійкості будівель та споруд;
- забезпеченням своєчасної евакуації людей та відповідності чинним нормам шляхів евакуації;
- створенням умов для ефективного гасіння пожежі;
- обмеженням поширення пожежі;
- своєчасною ліквідацією горіння.

Перераховані заходи реалізуються через систему забезпечення протипожежного захисту.

Евакуаційні шляхи і виходи повинні утримуватися вільними, нічим не захащуватися і в разі виникнення пожежі забезпечувати безпеку під час евакуації всіх людей, які перебувають у приміщеннях будівель та споруд.

В усіх, незалежно від призначення, приміщеннях, які після закінчення роботи замикаються і не контролюються черговим персоналом, з усіх електроустановок та електроприладів, а також з мереж їх живлення повинна бути відключена напруга (за винятком чергового освітлення, протипожежних та охоронних установок, а також електроустановок, що за вимогами технології працюють цілодобово).

Висновки

Охорона праці є тією галуззю держави, де найвищі досягнення не можуть бути достатніми для забезпечення повної безпеки і захищеності працівників від професійних захворювань, виробничого травматизму, зменшення факторів шкідливого впливу.

Розглянувши небезпечні та шкідливі фактори, що впливають на систему управління, яка проектується у цій дипломній роботі, виділили основні з них: ураження струмом, виникнення пожежі, шкідливий вплив свинцевого припою, можливі опіки та ушкодження шкіри при контакті з агресивними речовинами.

На роботодавців покладено обов'язок ретельно дослідити та проаналізувати умови праці на робочих місцях, на яких існують шкідливі і важкі умови праці, та зробити заходи що забезпечують усунення причин виникнення нещасних випадків і професійних захворювань встановити пільги і гарантії для працівників, що працюють в цих умовах.

					141.43013.БР.ПЗ.Р5	Арк.
						82
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Висновки

В ході виконання бакалаврської роботи завдання кафедри виконано в повному обсязі і отримано наступні результати роботи:

1. Зроблено перевірочний розрахунок потужностей СЕЕС суховантажного судна проекту RSD59 на базі *MS-Excel* по суміщеній статистичній і табличній методиці, яка дозволяє швидко коригувати результати розрахунків СЕЕС.

2. Запропоновано імітаційну модель системи автоматичного регулювання напруги генераторів, яка враховує залежності напруги від частоти обертів ротора, від струму збудження і від струму навантаження, і може використовуватись для настройки автоматичних регуляторів напруги.

3. З використанням розробленої моделі знайдено оптимальні настройки регулятора напруги, які сходяться з настройками регуляторів реальних генераторів співставної потужності.

					141.43013.БР.ПЗ.Висновки	Арк.
						83
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Список використаних джерел

1. Яковлев Г. С. Судовые электроэнергетические системы: Учеб. для судостроит. техникумов/ Г. С. Яковлев. – 5-е изд., перераб. и доп. – Л.: Судостроение, 1987. – 267,[2] с.: ил.

2. Розрахунок основних параметрів суднових електричних пристроїв. Методичні вказівки до практичних занять для студентів 271 Морський та внутрішній водний транспорт / Укл. Криворучко Д.Ю, Зарицька О.І., Гаур Т.О. / Д.Ю. Криворучко, О.І. Зарицька, Т.О. Гаур. – Одеса: ОНМУ. 2023 – 24 с.

3. Яровенко В.О., Зарицька О.І. Суднові автоматизовані електроенергетичні системи / В.О. Яровенко, О.І. Зарицька // Навчальний посібник. – Одеса: ОНМУ, 2023. – 261 с.

4. Судно проекта RSD59 "Астрол-2" судоходной компании "Астрол" успешно завершило самый дальний рейс [Електронний ресурс]: [Веб-сайт]. – Морское инженерное бюро 2021. – Режим доступа: <http://meb.com.ua/news/news.html?2009> (дата звернення 12.09.2021) – Назва з екрана.

5. ПРОЕКТ RSD59 Многоцелевое сухогрузное судно дедвейтом 8144 / 5320 тонн типа "Пола Макария" класса "Волго-Дон макс" [Електронний ресурс]: [Веб-сайт]. – Морское инженерное бюро 2021. – Режим доступа: <http://meb.com.ua/dry/RSD59.html> (дата звернення 12.09.2021) – Назва з екрана.

6. Видання РС. Діючі правила [Електронний ресурс]: [Веб-сайт]. – РЕГІСТР СУДНОПЛАВСТВА УКРАЇНИ 2024 р. – Режим доступа: <https://ur.ua/pravila-ta-resursi/katalog-vidan/> (дата звернення 12.09.2025) – Назва з екрана.

					141.43013.БР.ПЗ.Список джерел	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		84

7. Український реєстр судноплавства. Правила класифікації і побудови морських суден. Щодо обладнання морських суден. Бюлетень №5 від 01.01.2025 р., Київ 2024

8. Правила регистра Украины. Правила классификации и постройки судов внутреннего плавания. Бюллетень изменений и дополнений №2. Режим доступа https://www.studmed.ru/pravila-registra-ukrainy-pravila-klassifikacii-i-postroyki-sudov-vnutrennego-plavaniya-byulletn-izmeneniy-i-dopolneniy-2_0dc79f2aff4.html

9. Дакі О.А., Колесник В.В., Дорофєєва З.Я., Тришин В.В. Модель та сценарії автоматичного управління судновою енергетичною установкою. Системи озброєння і військова техніка. 2021. № 4 (68). С. 70-76. <https://doi.org/10.30748/soivt.2021.68.10>.

10. Миронов В.В. Конспект лекцій дисципліни «Електрообладнання суден та його експлуатація» за спеціальністю 7.100302 «Експлуатація судових енергетичних установок», Херсон, 1995.

11. Криворучко Д.Ю. Технічна експлуатація електричного та електронного обладнання. Частина 1 / Д.Ю. Криворучко, В.І. Цацко // Навчальний посібник. – Одеса: ОНМУ, 2021. – 251 с. <https://doi.org/10.47049/ONMU-2021-NP5>

12. Файл *РозрахунокСЕЕС_Астрол.xls*

13. КАТАЛОГ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ АИР. Системи якості. Надійне промислове обладнання. АИР Україна. 01.05.2026. URL: https://xn--80aqy.com.ua/katalog_elektrodvigatelei_air/ (дата звернення: 24.01.2026).

14. Горбов В.М., Слаутіна Т.Г., Січкарюк О.В. Методичні вказівки до вивчення дисципліни "Суднові енергетичні установки". – Миколаїв: УДМТУ, 2003. – 50 с.

					141.43013.БР.ПЗ.Список джерел	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		85

15. 2. Основные показатели СЭЭС. *StudFiles. Национальный университет кораблестроения им. адм. Макарова*. 14.02.2015. URL: <https://studfile.net/preview/1849205/page:3/> (дата звернення: 24.05.2026).

16. Осовський Д. І. Системи автоматичного управління судновими енергетичними установками: навчальний посібник. – К.: Видавництво Ліра-К, 2014. – 348с. ISBN 978-966-2609-68-4.

17. Help Center Mathworks [Електронний ресурс]: [Веб-сайт]. – The MathWorks, Inc. 1994-2022. – Режим доступу: <https://www.mathworks.com/help/matlab/ref/system.html> (дата звернення 01.01.2022) – Назва з екрана.

18. Козловская В.Б. Электрическое освещение: справочник / В.Б. Козловская. В.Н. Радкевич, В.Н. Сацукевич. – Минск: Техноперспектива, 2007. – 255с. +8 л. цв. ил.

					141.43013.БР.ПЗ.Список джерел	Арк.
						86
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
Навчально науковий інститут автоматики та електротехніки
Кафедра суднових електроенергетичних систем
Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
Освітня програма «Електромеханіка та електроенергетика»

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Гарант освітньої програми

д. т. н., проф.

Волянська Я. Б. _____
(підпис)

«15» грудня 2026 р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ
на здобуття ступеня вищої освіти «бакалавр»

Студенту Пінчуку Іллі Мирославовичу

1. Тема роботи: «Розрахунок параметрів електроенергетичної системи суховантажного судна проєкту RSD59»

Керівник роботи д.т.н., доцент Обрубов Андрій Валерійович

Затверджені наказом ректора № 286-уч. від «22» квітня 2026 року

2. Термін подання роботи: до 15.06.2026 р.

3. Вихідні дані по роботі: Суднові електроенергетичні системи, електрообладнання суден, методи розрахунку потужностей суднових генераторів, суднові дизель-генератори, системи регулювання частоти обертів дизельних двигунів

4. Перелік питань, що належать до розробки (найменування розділів):

1. Огляд характеристик судна та його електростанції
2. Перевірочний розрахунок потужностей суднової електростанції
3. Стабілізація напруги суднового синхронного генератора
4. Експериментальне дослідження системи
5. Охорона праці

5. Перелік презентаційних матеріалів:

1. Ціль і задачі роботи
2. Суховантажне судно проєкту RSD59
3. Структурна схема СЕЕС
4. Система авторегулювання напруги
5. Модель генератора з приводом
6. Модель електромагнітної частини синхронного генератора
7. Графіки процесів при накиді і скиданні повного навантаження