

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 вантажно-пасажирського судна проєкту PV24»

Виконав: студент групи 4367стЗ

(підпис)

Дьяченко В. А.

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 Дьяченко Владиславу Андрійовичу

1. Тема роботи: «Розрахунок параметрів електроенергетичної системи вантажно-пасажирського судна проєкту PV24»

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. Аналіз роботи компонентів дизель-генератора
4. Моделювання елементів суднових дизель генераторів
5. Охорона праці

5. Перелік презентаційних матеріалів:

1. Ціль і задачі роботи
2. Вантажопасажирське судно проєкту PV24
3. Структурна схема СЕЕС
4. Система фазового компаундування
5. Модель синхронного генератора
6. Модель системи регулювання напруги
7. Графіки процесів при накиді і скиданні повного навантаження
8. Висновки по роботі

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	<i>Огляд судна і його електростанції</i>	12.03.2026	виконано
2	<i>Складання і виконання табличного розрахунку СЕЕС</i>	27.03.2026	виконано
3	<i>Аналіз роботи компонентів дизель-генератора</i>	10.04.2026	виконано
4	<i>Розробка і перевірка імітаційних моделей дизель-генераторів</i>	22.05.2026	виконано
5	<i>Оформлення дипломної роботи</i>	5.06.2026	виконано

Студент

Керівник роботи


(підпис)

Дьяченко В. А.
(прізвище та ініціали)


(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 87 сторінок, 16 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 87 pages, 16 illustrations, 4 tables and 7 slides.

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

					141.4367cm3.БР.ПЗ. Анотація	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		4

Зміст

Список умовних позначень та скорочень	7
ВСТУП.....	8
Розділ 1. Огляд характеристик судна і його електроенергетичної установки	11
1.1. Вантажопасажирське судно проєкту PV24	11
1.2. Визначення електроенергетичної установки	16
1.3. Структура суднової електростанції.....	18
1.4. Вимоги до судових електроенергетичних систем	25
Розділ 2. Перевірочний розрахунок потужностей електроенергетичної системи судна.....	29
2.1. Вступні пояснення	29
2.2. Складання таблиці навантажень.....	30
2.3. Короткі характеристики режимів роботи судна	37
2.4. Результати розрахунків потужностей електростанції вантажопасажирського судна проєкту PV24	40
2.5. Вибір кількості й потужності генераторних агрегатів основної електростанції.....	49
Розділ 3. Стабілізація напруги судового синхронного генератора з врахуванням фази	51

					141.4367см3.БР.ПЗ.Зміст	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		5

3.1. Фазове компаундування генератора..... 51

3.2. Динамічна модель синхронного генератора..... 57

Розділ 4. Експериментальне дослідження системи за допомогою імітаційного моделювання..... 62

Розділ 5. Охорона праці 73

Висновки 83

Список використаних джерел 84

					141.4367см3.БР.ПЗ.Зміст	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

Список умовних позначень та скорочень

АРЩ – аварійний розподільчий щит

ВРШ (рос.) – гвинт регульованого кроку

ВРК (рос.) – гвинторульовий комплекс

ГД – головний двигун

ГЕУ – головна енергетична установка

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

ГРЩ – головний розподільчий щит

ДГ – дизель-генератор

ДВЗ – двигун внутрішнього згоряння

КВЛ – конструктивна ватерлінія

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

МДМ (рос.) – максимальної тривалої потужності

МК – міжнародна конвенція

ОП – Основна площина – горизонтальна площина, дотична до лінії кіля (краю обшивки) у його нижній крапці

ПДС (рос.) – підвищеної утримуючої сили

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

РС – реєстр судноплавства

СЕЕС – суднова електроенергетична система

СЕС – суднова електростанція

СПУ (рос.) – спуско-підйомний пристрій

					<i>141.4367см3.БР.ПЗ.Список скорочень</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

ВСТУП

Ступінь електрифікації суден, що виражається відношенням потужності електростанції судна в кіловатах до його водотоннажності в тонах постійно зростає [1]. Можна сказати, що потужності суднових електростанцій для суден однієї групи та призначення зростають в 1,5-2 рази кожні десять років. Сучасні судна мають електростанції потужністю декілька сотень або навіть тисяч кіловат, від яких живляться електроприводи суднових механізмів, освітлення, обігрів, кондиціонування, навігаційне обладнання тощо. Окремо можна виділити «електричні» судна, в яких електропривод використовується в якості головних двигунів, і судна з основними електричними енергоносіями – з акумуляторними батареями та фотоелектричними джерелами електроенергії.

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

Ціль роботи: дослідження СЕЕС на прикладі судна проєкту PV24. Складення електронної таблиці розрахунків потужностей СЕЕС і розробка імітаційних моделей основних елементів дизель-генератора.

Задачі, які вирішувались в роботі:

- Огляд характеристик судна проєкту PV24 і його електроенергетичної системи;
- Розрахунки потужностей генераторів суднової електростанції;
- Аналіз роботи суднового дизеля в складі дизель-генераторної установки;
- Синтез імітаційної моделі суднового дизеля;

					141.4367см3.БР.ПЗ.Вступ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

–Настройка регуляторів частоти обертів коленвалу дизеля 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.

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.

Запропонована імітаційна модель суднового дизеля може використовуватись в дослідженнях динаміки дизель-генераторів і для експериментальних налаштувань автоматичних регуляторів.

Особистий внесок автора. Автору належить формулювання огляд характеристик судна і електроенергетичної системи, перевірочні розрахунки потужностей суднової електростанції, синтез імітаційної моделі суднового дизеля, експерименти з налаштувань регуляторів частоти обертів коленвалу дизеля, розгляд питань охорони праці.

					141.4367см3.БР.ПЗ.Вступ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

					141.4367см3.БР.ПЗ.РІ			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Студент		Дьяченко В. А.			Огляд характеристик судна і його електроенергетичної установки			
Керівник		Обрубов А. В.						
Консультант								
Зав. каф.		Обрубов А. В.						
					Літ.	Аркуш	Аркушів	
					НУК			

Розділ 1. Огляд характеристик судна і його електроенергетичної установки

1.1. Вантажопасажирське судно проекту PV24

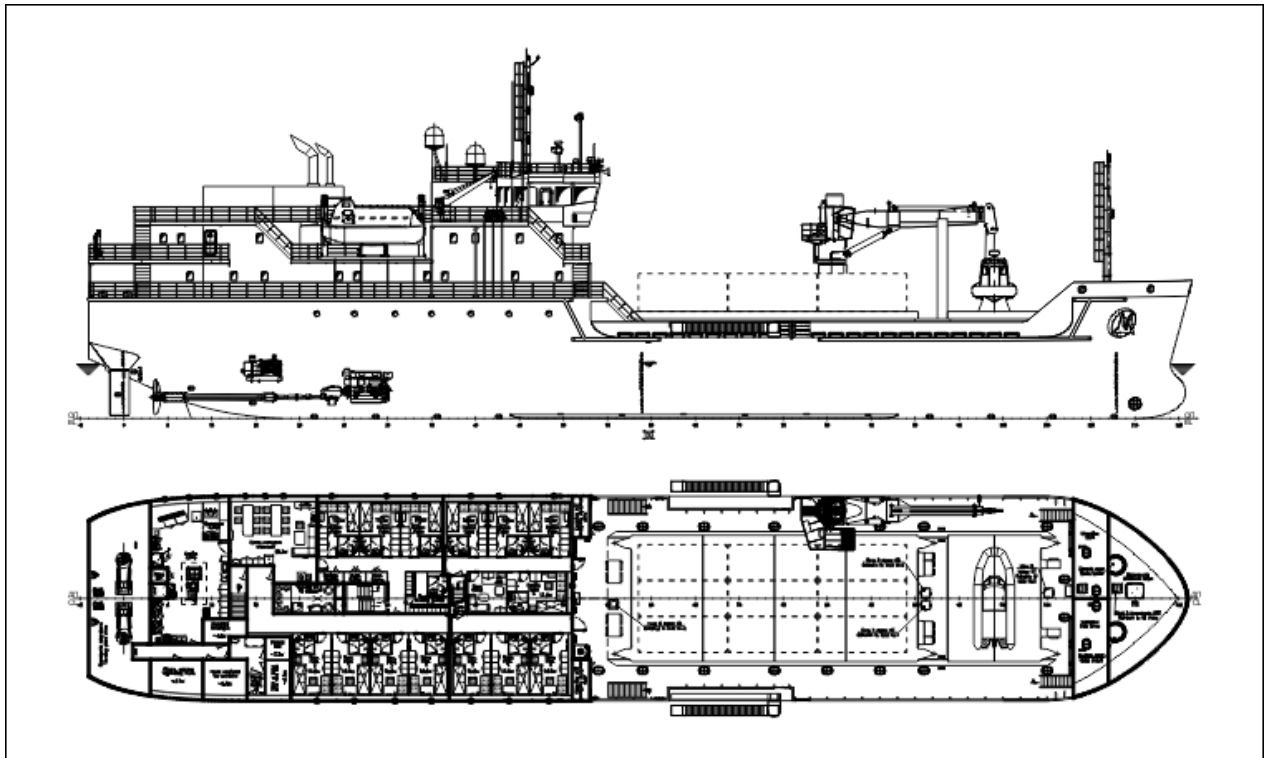


Рис. 1.1. Ілюстрації-ескізи зовнішнього виду судна проекту PV24 [4]

30 серпня 2021 року було спущено на воду головне вантажопасажирське судно проекту PV24 (NE-020.2) для роботи між портами й портопунктами Камчатки, а також на Командорські острови (будівельний номер судна 7001). Замовник – ФКУ "Дирекція державного замовника програм розвитку морського транспорту".

Проектна документація судна в будівлі проекту PV24 (NE-020.2) розроблена Морським Інженерним Бюро м. Одеса. Судно призначено для

					141.4367cm3.БР.ПЗ.Р1	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		11

перевезення 36 пасажирів, генеральних вантажів, контейнерів (у т. ч. рефрижераторних) між портами й портопунктами Камчатки, а також на Командорські острови, і обладнане вантажним краном з можливістю виконувати вантажні операції на необладнаному березі.



Рис.1.2. Фото судна проєкту PV24, автор Сергій Морозов

Новий концепт проєкту PV24 має поліпшені маневрені якості в порівнянні з існуючими судами за рахунок пристрою, що підрулює, і 2 гвинтів. Обсяг двох трюмів – 1405 куб. м (проти 208-215 куб. м. на існуючих судах) [5]. Судно має можливість перевезення 27 контейнерів (18 у трюмах і 9 на палубі). Резервування руху забезпечене за рахунок двохвальної двохдвигунної установки. Довжина найбільша – 75,36 м. Довжина розрахункова – 70,84 м. Ширина розрахункова – 13,98 м. Висота борту – 5,50 м. Пасажири розміщуються в блок-каюті класу люкс із індивідуальним санвузлом і ванною; 3 каютах класу напівлюкс із індивідуальним санвузлом і душем; 15 двомісних каютах з індивідуальним санвузлом і душем; каюті матері й дитину з індивідуальним санвузлом і душем. Загальна кількість стаціонарних спальних місць для пасажирів – 36. Для пасажирів є їдальня із зоною відпочинку, буфет, лобі, прогулянкові зони.

					141.4367cm3.БР.ПЗ.Р1	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

Приміщення медичного призначення включають одномісну санітарну каюту-ізолятор з індивідуальним санвузлом з ванною, стаціонар на одне койко-місце з індивідуальним санвузлом з душем і амбулаторію.

При осаді 3,70 м дедвейт судна близько 1357 тонн. Вантаж розміщується у двох трюмах обсягом 1405 куб. метрів і на палубі. Для вивантаження вантажу встановлений вантажний кран вантажопідйомністю до 25 тонн при вильоті стріли до 16 м (проти кранів вантажопідйомністю 2,5-3,5 тонн на існуючих судах). Клас Міжнародної спілки класифікаційних товариств КМ Ⓢ Ice2(hull; power) [2] AUT3 BWM(T) CONT(deck, cargo hold No.2) DG(pack) Passenger ship. Потужність головних двигунів 2 x 1003 кВт. Швидкість 12,0 вузлів. Автономність 15 діб. Носовий пристрій, що підрулює, – 185 кВт. Екіпаж розміщується в 4 блок-каютах, що полягають із кабінету й спальні (капітан, старший помічник, пасажирський помічник капітана, старший механік), 1 одномісній каюті (доктор) і 7 двомісних каютах. Усі каюти екіпажа обладнані індивідуальним санвузлом і душем. Загальна кількість стаціонарних спальних місць для екіпажа – 19. Головне судно проекту PV24 "Анатолій Чернеєв" (будівельний номер 7001) було закладено 18.12.19. Спущено на воду 30.08.21.

Таблиця 1.1. Основні характеристики судна проекту PV24

#	Параметр	Величина
1	Головні розміри	
	Довжина найбільша, м	75.36
	Довжина по міжнародній конвенції про вантажну марку, м	71.64
	Довжина за Правилами РС, м	70.84
	Ширина габаритна, м	14.06
	Ширина розрахункова, м	13.98
	Висота борту, м	5.50
	L x B x H	75.36 x 14.06 x 5.50 = 5 828

					141.4367cm3.БР.ПЗ.Р1	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

#	Параметр	Величина
	Фікспункт від ОП до верхньої крайки незнімних частин (не більш), м	16.80
2	Осаду в море по ЛГВЛ, м	3.70
3	Дедвейт при осаді по ЛГВЛ, т	1357
4	Автономність, діб.	15
5	Дальність плавання, миль	5000
6	Пасажировмісність, чол.	36
7	Загальна кількість кают	20
	одномісних блок-кают класу "люкс" із санвузлом і ванною	1
	одномісних кают класу " підлоги-люкс" із санвузлом і душем	3
	двомісних кают із санвузлом і душем	15
	двомісних кают матері й дитини із санвузлом і душем (2 людини + 1 дитина до року або 1 людина і дитина старше року)	1
8	Загальне число стаціонарних місць	55
9	Приміщення для приймання їжі й відпочинку	- кают-компанія екіпажа (із зоною для відпочинку); - буфет і лобі для пасажирів; - їдальня для пасажирів (із зоною для відпочинку); - прогулянкові зони в кормовій частині палуби надбудови 1-го ярусу й палуби ходового містка; - сауна з басейном і тренажерний зал для екіпажа.
10	Приміщення медичного призначення	- ізолятор із санвузлом і ванною (блокового типу); - амбулаторія; - стаціонар на одне ліжко.

					141.4367cm3.БР.ПЗ.Р1	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

#	Параметр	Величина
11	Кількість вантажних трюмів	2
12	Обсяг вантажних трюмів, м³	1405
13	Інтенсивність розподіленого навантаження на друге дно, т/м²	7
14	Контейнеромісткість (трюм / палуба), TEU	27 (18/9)
15	Люкові закриття	типу "Folding"
16	Вантажні крани	1 x 25 т при вильоті стріли 16 м + 1 x 0.99 т при вильоті стріли 7 м
17	Клас Українського Морського Регістру Судноплавства	КМ ⚙ Ice2(hull; power) [2] AUT3 BWM(T) CONT(deck, cargo hold No.2) DG(pack) Passenger ship
18	Максимальна тривала потужність ГД, кВт	2 x 1003
19	Гвинто-Кермовий комплекс	2 ГФК* +2 обтічних підвісних балансирних керма
20	Носовий підрулюючий пристрій, кВт	1 x 185
21	Допоміжні ДГ	
	дизель-генератори, кВт	3 x 300
	аварійний дизель-генератор, кВт	1 x 150
22	Екіпаж, чол.	19
23	Швидкість ходу при осаді 3.70 м при 85% МДМ (не менш), вузли	12.0
24	Рятувальні шлюпки	1 x 28 чол. + 1 x 28 чол. (чергова)
25	Робочий катер	1 x 8 чол.
26	Рятувальні плоти	2 x 20 чол.

					141.4367cm3.БР.ПЗ.Р1	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

1.2. Визначення електроенергетичної установки

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.

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

По призначенню суднові 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.

Суднові електростанції відповідно до Правил Регістру [6, 7, 8] можуть бути як постійного струму напругою 6В, 12В, 24В, 110В і 220В, так і змінного струму

					141.4367cm3.БР.ПЗ.Р1	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

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 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 судів 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 судів (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

					141.4367cm3.БР.ПЗ.Р1	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

каркасі щита визначається числом електрогенераторів і кількістю суднових споживачів струму.

Згідно із Правилами Регістру [6, 7, 8] на морських суднах 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.

1.3. Структура суднової електростанції

Судно «Анатолій Чернеєв» має автономну магістрально-фідерну СЕЕС на рис.1.3 з трьома основними дизель-генераторними агрегатами по 300КВт.

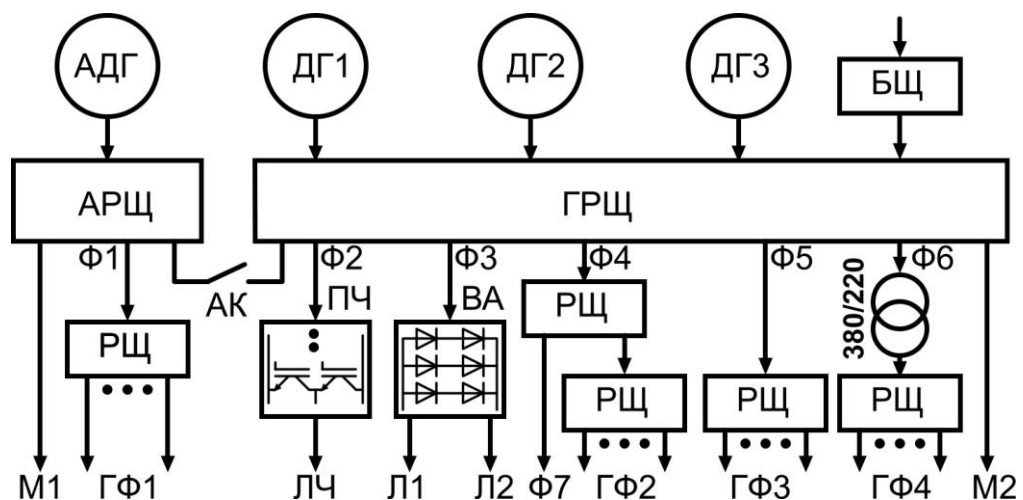


Рис.1.3. Функціональна схема СЕЕС вантажопасажирського судна:

АДГ – аварійний дизель-генератор, ДГ1-ДГ3 – основні дизель-генератори СЕЕС, БЩ – щит берегового живлення, АРЩ – аварійний розподільчий щит, ГРЩ – головний розподільчий щит, РЩ – розподільчий щит (локальний), Ф1-Ф7 – фідерні лінії мережі живлення, М1 і М2 – магістральні лінії мережі живлення, АК – аварійний комутатор живлення, ПЧ – перетворювач частоти, ЛЧ – лінія частотна для живлення підрулюючого пристрою, Л1 і Л2 – лінії випрямленої напруги, ГФ1-ГФ4 – групи фідерів живлення

					141.4367см3.БР.ПЗ.Р1	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

В нормальних режимах роботи судна [9, 10] – ходовому, маневровому, стояночних – електроенергія виробляється дизель-генераторами ДГ1, ДГ2, ДГ3. Коли судно знаходиться на причалі, живлення також береться з берега через “берегові” щити (судновий БЩ знаходиться на судні, а саме береговий щит, від якого береться живлення – на причалі). Більшість часу в ходовому та стояночному режимах працюють тільки один або два з трьох дизель-генератори ДГ1 і ДГ2. Лише в режимах підвищеного енергоспоживання – в маневреному режимі і на стоянці з вантажними операціями – можуть використовуватись всі три генератори ДГ1-ДГ3. 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.

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 головних двигунів, життєво важлива вентиляція. До не відповідальних – камбуз, загальна вентиляція, кондиціонери, холодильники, майстерня, обладнання для комфорту і розваг.

Електричне живлення судових споживачів в нормальних режимах роботи береться від ГРЩ і роздається через фідерні лінії Ф2-Ф6 та локальні розподільчі щити РЩ, які розташовані в різних місцях на судні. До локальних РЩ підключаються кінцеві споживачі електроенергії через групи фідерів ГФ2-ГФ4.

					141.4367см3.БР.ПЗ.Р1	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

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 використовуються випрямні агрегати ВА з вихідними лініями випрямленої напруги Л1 і Л2. Живлення регульованих стаціонарних асинхронних та синхронних приводів судна здійснюється через перетворювачі частоти ПЧ та частотні лінії ЛЧ.

Освітлення та побутові прилади живляться через понижуючий трансформатор 380/220В і через окремий локальний РЩ з напругою 220В.

Функціональна схема СЕЕС на рис.2.3 є дещо узагальненою і ілюструє принцип побудови СЕЕС за складом основних компонентів. В конкретному проекті судна кількість основних компонентів, таких як РЩ, ПЧ, ВА, трансформаторів, фідерів і магістральних ліній може бути більшою за ту мінімальну кількість, що представлено на цій схемі.

На рис.1.4 показана структурна схема ГРЩ СЕЕС вантажопасажирського судна з однією системою збірних шин [10]. Ця схема 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 та однієї корпусної шини. Апаратура СЕЕС – автоматичні вимикачі і трансформатори – теж є трьохфазними. Три основних дизель-генератори змінного струму з номінальною напругою 380В ДГ1, ДГ2, ДГ3 підключаються до секцій І ІІ і ІІІ ГРЩ через автоматичні вимикачі АВГ1, АВГ2, АВГ3, які захищають дизель-генератори від перевантажень.

Носовий підрулюючий пристрій представляє собою гвинт з електроприводом потужністю 185КВт. Для регулювання його потужності і обертів використовується частотний перетворювач (ПЧ на рис.1.3). Живлення береться від першої групи споживачів СЕ1 ерез автоматичний фідерний вимикач АВФ2 на рис.1.4. Для заряду акумуляторів безперебійного живлення кают та пристроїв сигналізації і освітлення використовується випрямний агрегат ВА що живиться через АВФ3 на рис.1.4.

					141.4367см3.БР.ПЗ.Р1	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

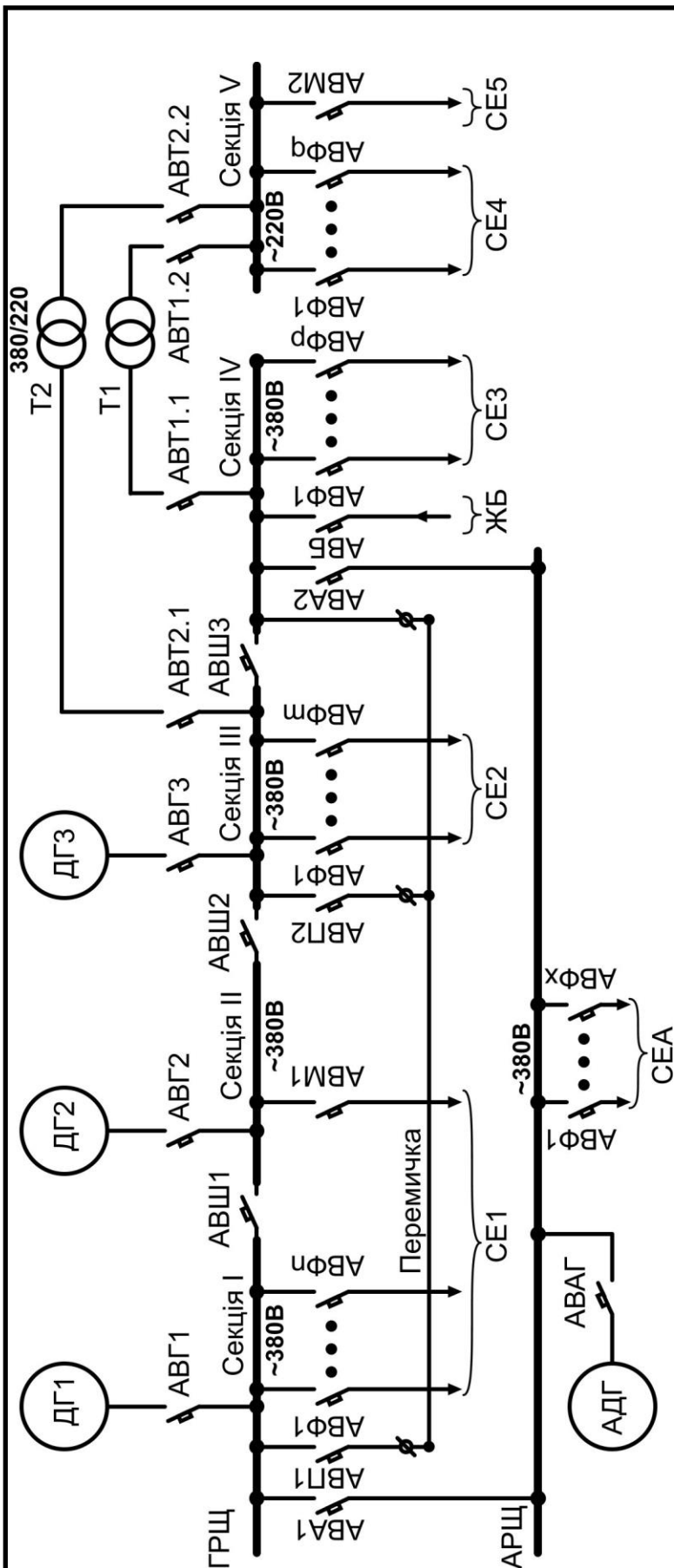


Рис.1.4. Структурна однолінійна схема ГРЩ СЕЕС вантажопасажирського судна:

ДГ1-ДГ3 – дизель-генераторні агрегати, АВГ1-АВГ3 – автоматичні вимикачі генераторів, Т1 і Т2 – трансформатори напруги, АВТ1.1-АВТ2.2 – автоматичні вимикачі трансформаторів, ГРЩ – головний розподільчий щит, АВШ1-АВШ4 – автоматичні вимикачі шинні, АВА1 і АВА2 – автоматичні вимикачі аварійні, АВП1 і АВП2 – автоматичні вимикачі перемички, АВФ1-АВФп, АВФ1-АВФт, АВФ1-АВФр, АВФ1-АВФф, АВФ1-АВФх – автоматичні вимикачі фідерні для різних груп споживачів електроенергії, АВМ1 і АВМ2 – автоматичні вимикачі магістральні, СЕ1-СЕ5 – групи споживачів електроенергії, ЖБ – живлення з берега,

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
------	------	----------	--------	------

При відмові дизеля один з генераторів може відключитися від збірної шини. При порушеннях синхронізації збірні шини роз'єднуються вимикачами АВШ1-3. 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 АВГ1-3, автоматичними вимикачами шин АВШ1-4 і іншими комутаційними апаратами та клемниками. Схема ГРЩ дозволяє включати генераторні агрегати окремо один від одного або паралельно за допомогою АВШ1 і АВШ2, а також відключати від живлення будь-яку секцію I-V без зупинки системи.

Перемичка дає змогу підключати збірну секцію IV до живлення від ДГ1 і (або) ДГ2 в обхід ДГ3. Секція V 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 IV може підводитися через аварійні автоматичні вимикачі АВА1 і АВА2.

Берегове живлення ЖБ подається на збірну секцію IV через автоматичний вимикач АВБ. Під час стоянки на причалі берегове живлення може працювати паралельно з живленням від одного з дизель-генераторів.

Суднові споживачі електроенергії СЕ поділено на наступні групи:

- СЕ1 – основні споживачі ходового режиму кількістю п,
- СЕ2 – резервні споживачі ходового режиму кількістю т,
- СЕ3 – споживачі стояночного режиму кількістю р,
- СЕ4 – освітлення кількістю q,
- СЕ5 – побутові споживачі,
- СЕА – аварійні споживачі кількістю х.

Споживачі електроенергії отримують живлення від збірних шин через автоматичні вимикачі фідерів АВФ1-АВФп, АВФ1-АВФт, АВФ1-АВФр, АВФ1-АВФq, АВФ1-АВФх і автоматичні вимикачі магістралей АВМ1 і АВМ2. Також в

					141.4367см3.БР.ПЗ.Р1	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

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. В склад цієї апаратури обов'язково входять наступні прилади й апарати, що встановлюються в ГРЩ, але на схемі рис.2.4 не показані:

- амперметр із перемикачем (або три амперметри) для виміру струму навантаження генератора у всіх трьох фазах;
- вольтметр із перемикачем для виміру лінійної напруги генератора між будь-якими фазами;
- 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. Варистори мають дуже малу інерційність спрацьовування — порядку 10-100нс. Напруга спрацьовування обмежуючих

					141.4367см3.БР.ПЗ.Р1	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

варисторів для мережі 380В вибирається на рівні 620-700В, а для шин 220В на рівні 350-380В. Повільніший захист від перенапруги з часом реагування не більше 20мс виконується за допомогою реле напруги та реле несиметрії фаз.

Важливою функцією ГРЩ та РЩ на судні є рівномірний розподіл навантаження дизель-генераторів, який може здійснюватись вручну або автоматично. Для реалізації автоматичного розподілу навантажень потрібен надлишок фідерів та комутаційної апаратури. Приклад схеми РЩ з розподілом трьох навантажень між двома джерелами електроенергії на рис.2.5 містить шість комутаторів K1.1-K3.2, які працюють за принципом «виключного АБО». Пари контактів K1.1 і K1.2, K2.1 і K2.2, K3.1 і K3.2 ніколи не вмикаються разом. Тільки окремо, підключаючи в довільних сполученнях навантаження Н1, Н2, Н3 до збірних шин Ш1 або Ш2.

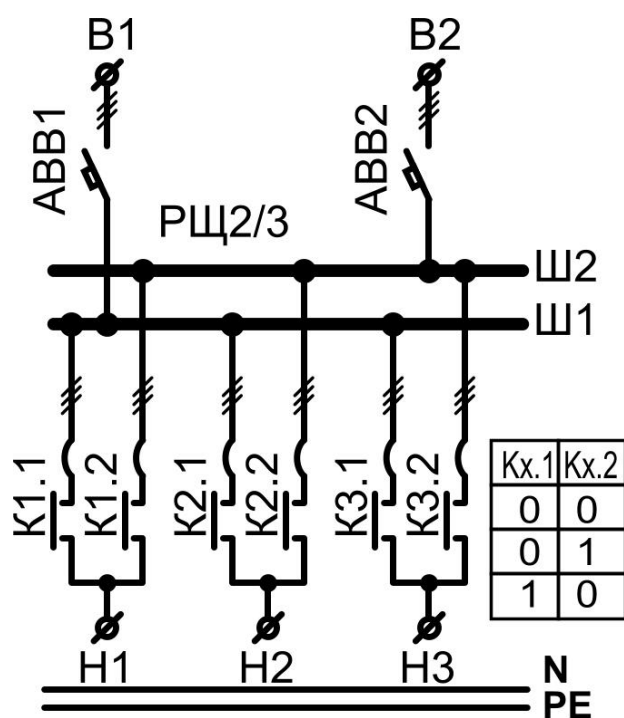


Рис.1.5. Схема локального розподільчого щита РЩ з двома входами і трьома навантаженнями: V1 і V2 – клемники входів живлення, АBB1 і АBB2 автоматичні вимикачі входів, Ш1 і Ш2 – збірні силові шини, K1.1 і K1.2, K2.1 і K2.2., K3.1 і K3.2 – контактори з тепловими реле, Н1-Н3 – клемники підключення навантажень, N – шина нейтралі, PE – шина корпусна

1.4. Вимоги до суднових електроенергетичних систем

В суднових електроенергетичних системах використовується велика кількість різного встаткування, що працює в специфічних умовах, для яких характерні наступні основні особливості [11]:

- різкі коливання температури (від -30 до $+45$ °C), обумовлені районом плавання, часом дня й року й характером суднових приміщень;
- відносна вологість повітря, яка в закритих приміщеннях становить 40–70%, на палубі – 70–95%, наближаючись до межі насичення в тропіках;
- високий зміст солі в морському повітрі (до 6 мг/м³) і в морській воді (у середньому 3,5%);
- високий зміст (від 3 до 20 мг/м³) масла й нафти в повітрі суднових приміщень із дизельними установками;
- тривалий крен судна, що досягає 15, диферент до 10° і бортова хитавиця до $22,5^{\circ}$ від вертикалі;
- загальна вібрація судна, створювана роботою гребних гвинтів, і місцева, викликувана роботою окремих агрегатів, яка може мати частоту до декількох десятків герців при амплітуді коливань в кілька міліметрів;
- струсу судна внаслідок ударів хвиль або його зіткнення із плаваючими льодами й іншими предметами.

Крім того, слід урахувувати скрутність суднових приміщень, що утрудняє проведення оглядів і ремонтів електроустаткування.

Перераховані несприятливі умови утрудняють нормальну роботу суднового електроустаткування й вимагають для його виготовлення високоякісних ізоляційних і конструкційних матеріалів.

Основною вимогою до електроустаткування електроенергетичних систем є надійність його роботи в складних суднових умовах. Це пояснюється, з одного боку, тим, що всі основні суднові механізми електрифіковані, і тому надійна робота електроустаткування обумовлює як нормальну експлуатацію, так і саму цілість судна; з іншого боку, судно має високу автономність і надовго відривається від баз постачання й ремонтних майстерень, часто має обмежену кількість кваліфікованого обслуговуючого персоналу.

					141.4367cm3.БР.ПЗ.Р1	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

Крім того, відповідно до пропонованих до суднового електроустаткування вимог воно повинне мати мінімальні масу й габаритами, високим ККД і забезпечувати зручність в обслуговуванні, мінімальні перешкоди радіоприйманню й малу гучність, а також мінімальну будівельну вартість і максимальну уніфікацію.

Мінімальна маса електроустаткування дозволяє збільшувати кількість корисного вантажу. Необхідність мінімальних габаритів пояснюється скрутністю суднових приміщень. Виконання цих вимог без зниження надійності електроустаткування здійснюється завдяки виготовленню його з високоякісних матеріалів, а також шляхом підвищення частоти обертання електричних машин.

СЕЕС повинні задовольняти ряду вимог, основними з яких є:

- безперебійне постачання електроенергією споживачів у всіх режимах роботи судна;
- можливість швидкої локалізації ушкоджених ділянок;
- простота в керуванні при переході від одного режиму роботи до іншого;
- мінімальна витрата кабелю.

Безперебійність живлення споживачів електроенергією забезпечується:

- подачею живлення до відповідальних споживачів декількома максимально розведеними кабелями;
- захистом кабельних трас від зовнішніх впливів;
- установкою резервних і аварійних генераторних агрегатів;
- розміщенням електроустаткування в місцях найбільш сприятливих умов, що забезпечують, роботи;
- установкою на судні декількох електростанцій.

Залежно від характеру судна відповідальними споживачами, що вимагають подвійного живлення, є: кермовий пристрій, радіозв'язок, навігаційне встаткування, рятувальні й протипожежні засоби, механізми, що забезпечують роботу головної силової установки, брашпиль і інші пристрої.

					141.4367cm3.БР.ПЗ.Р1	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

Кабельні траси прокладають у таких місцях, де вони не будуть зазнати впливу механічних зусиль, високих температур, масел, кислот і т.п. А якщо ні, то їх постачають захисними кожухами, трубами й ринвами.

До суднових електростанцій як основної частини електроенергетичної системи також пред'являються тверді вимоги, найбільш важливими з яких є:

- надійна робота в нормальному й аварійному режимах;
- належна якість електроенергії, обумовлене сталістю напруги й частоти;
- забезпечення економічної роботи генераторів;
- безпека роботи обслуговуючого персоналу.

Важливою властивістю суднового електрообладнання є взаємозамінність і повторюваність характеристик електричних апаратів та електронних пристроїв. В суднових умовах треба максимально спрощувати ремонт та обслуговування техніки. Однак це може бути суперечливою вимогою до забезпечення високої надійності. Тому принципи конструювання суднового електрообладнання допускають надлишок конструктивних елементів для спрощення обслуговування та підвищення надійності. Слід також додати вимогу до органів контролю та керування електрообладнанням. Вони повинні забезпечувати зрозумілість робочого стану, чітку роботу, інтуїтивно зрозумілі принципи використання.

*Гребні гвинти фіксованого кроку — ВФК виготовляють цільними (однієї деталлю), литими, звареними або штампованими, і вони складаються з наступних основних елементів: маточини, що представляє собою втулку, що насаджена на конус шийки гребного вала, і лопат (від 3 до 6), радіально розташованих на маточині. Нижня частина лопати, що з'єднує її з маточиною, називається коренем лопати; верхня частина — вершиною або кінцем; поверхня лопати, звернена у бік корпусу судна, зветься засмоктуючої поверхні, зворотна поверхня — нагнітаючої, яка в більшості випадків являє собою правильну гвинтову поверхню. Перетинання цих двох поверхонь утворює крайки лопатей гвинта.

					141.4367cm3.БР.ПЗ.Р1	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

					141.4367см3.БР.ПЗ.Р2							
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата								
Студент		Дьяченко В. А.				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.

					141.4367cm3.БР.ПЗ.Р2	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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.

					141.4367cm3.БР.ПЗ.Р2	Арк.
						30
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

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

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, $P_{\text{n_max}} = 160$ 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

					141.4367cm3.БР.ПЗ.Р2	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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

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 $\cos(\varphi)_{\text{ном}} = 0,92$.

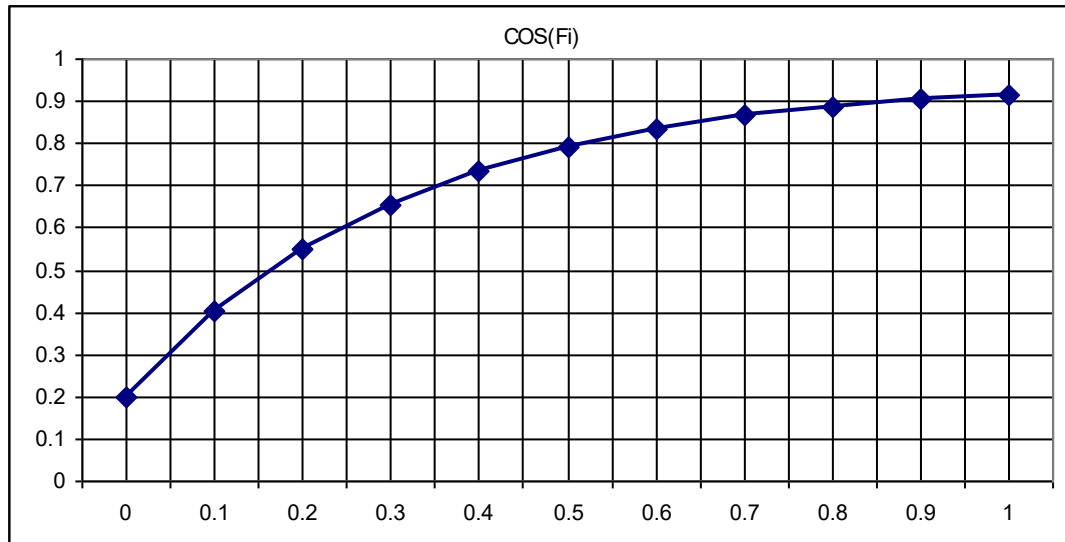


Рис. 2.1. Приблизна залежність коефіцієнту потужності асинхронних двигунів $\cos(\varphi)$ від коефіцієнту завантаженості $K_3 = 0 \dots 1$ на основі статистичних даних

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 з довідника, $K_z = 0 \dots 1$ – 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.

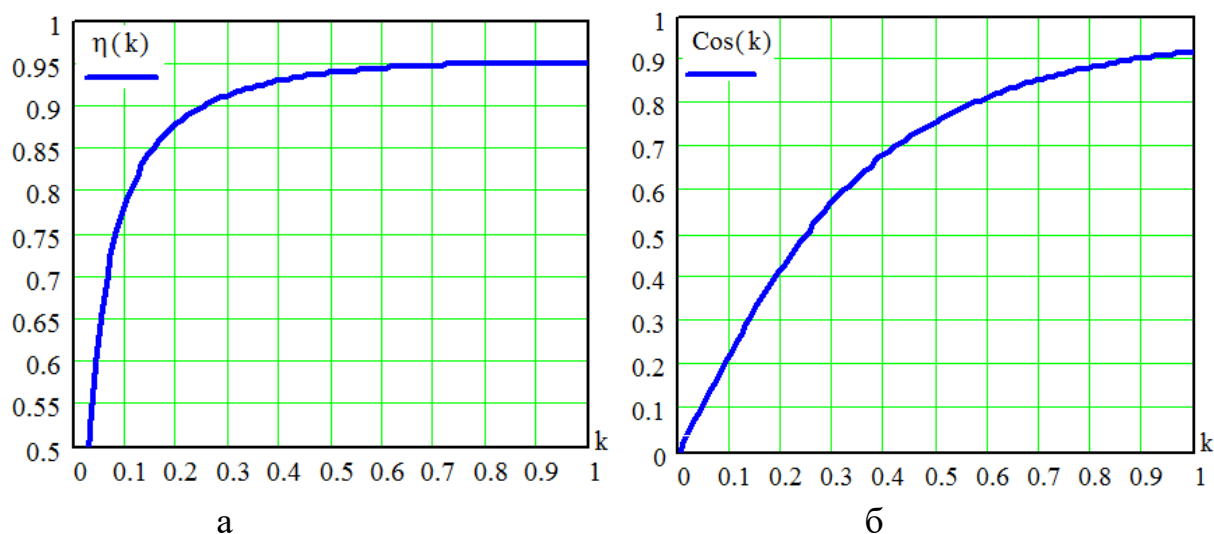


Рис.2.2. Залежності від коефіцієнту завантаженості двигуна $K_z = 0 \dots 1$:
а – ККД, б – коефіцієнт потужності

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

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

					141.4367cm3.БР.ПЗ.Р2	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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

					141.4367cm3.БР.ПЗ.Р2	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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 пасажирами).

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

					141.4367cm3.БР.ПЗ.Р2	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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.

					141.4367cm3.БР.ПЗ.Р2	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.4. Результати розрахунків потужностей електростанції вантажопасажирського судна проєкту PV24

Нижче наведено результати розрахунків деяких показників потужності електростанції судна «Анатолій Чернеєв» 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 := 1.357

Сумарна потужність головних двигунів, N, МВт =<9: N := 2.006

Об'єм вантажних трюмів, CW, тис. м3: CW := 1.405

=====

ХОДОВИЙ РЕЖИМ

Середня оцінювана потужність власних нужд, КВт

Для потужності ГД $N \leq 9$ МВт: $Pr_1 := 46 \cdot N$ $Pr_1 = 92.276$

Для потужності ГД $N > 9$ МВт: $Pr2 := 13 \cdot N + 330$ $Pr2 = 356.078$

Для ГД фірми Зульцер: $Pr3 := 53 \cdot N^{0.8}$ $Pr3 = 92.5$

Стандартне відхилення потужності S - sigma, КВт

Для водотонажності $D < 16$ тис. т.: $Sr1 := 1.7D$ $Sr1 = 2.307$

Для водотонажності $D > 16$ тис. т.: $Sr2 := 0.12D + 25$ $Sr2 = 25.163$

=====

СТОЯНОЧНИЙ РЕЖИМ

Середня оцінювана потужність власних нужд, КВт

Для водотонажності $D < 11$ тис. т.: $P_{s1} := 9D$ $P_{s1} = 12.213$

Для водотонажності $D > 11$ тис. т.: $P_{s2} := 0.6D + 100$ $P_{s2} = 100.814$

Стандартне відхилення потужності S - sigma, K Вт

Для водотонажності $D < 11$ тис. т.: $S_{s1} := 4.2D^{0.5}$ $S_{s1} = 4.893$

МАКСИМАЛЬНА ОЦІНЮВАНА ПОТУЖНІСТЬ ВЛАСНИХ НУЖД

$$P_{\max} := Pr1 + 3Sr1 \quad P_{\max} = 99.197$$

Потужність освітлення для D=1-5 тис. т. (5, 10, 30, 40KW) PL := 5

СТОЯНКА З ВАНТАЖНИМИ ОПЕРАЦІЯМИ:

Потужність освітлення вантажних приміщень:

- розжарювання	$PLWa4 := 2.25 \cdot CW^{0.8}$	$PLWa4 = 2.953$
- світлодіодне	$PLWb4 := 0.5 \cdot CW^{0.8}$	$PLWb4 = 0.656$

Додаткова "тропічна" потужність для кондиціонування

$P_{tr} := 18 \cdot D^{0.5}$	$P_{tr} = 20.968$
------------------------------	-------------------

Додаткова потужність електричного обігріву приміщень

$P_{th} := 0.5 \cdot P_{tr}$	$P_{th} = 10.484$
------------------------------	-------------------

ХОДОВИЙ режим: Загальна потужність

$P1 := 46 \cdot N + 1.7 \cdot D + PL + P_{tr}$	$P1 = 120.551$
--	----------------

СТОЯНКА: Загальна потужність

$P3 := 0.9 \cdot D + 4.2 \cdot D^{0.5} + PL + P_{tr}$	$P3 = 32.082$
---	---------------

Потужність підйомних механізмів - лебідок А або кранів В:

(розраховується для кожного механізму окремо)

- кількість механізмів :	$N_{wa} := 1$	$N_{wb} := 1$
- вантажопідйомність, тон :	$G_{wa} := 5$	$G_{wb} := 10$
- швидкість підйому, м/хв :	$V_{wa} := 12$	$V_{wb} := 10$
=====		

$PWA := \left(0.53 + \frac{1.05}{N_{wa}} \right) \cdot 0.15 \cdot N_{wa} \cdot G_{wa} \cdot V_{wa}$	$PWA = 14.22$
--	---------------

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

Встановлена потужність вентиляторів машинного відділення

$PVM := 25 \cdot N^{0.6}$	$PVM = 37.961$
---------------------------	----------------

Встановлена потужність вентиляторів вантажного відділення

$PVW := 3.6 \cdot CW^{1.4}$	$PVW = 5.795$
-----------------------------	---------------

МАНЕВРОВИЙ режим: Потужність вентиляторів машинного відділення

$PVM2 := 5 \cdot N$	$PVM2 = 10.03$
---------------------	----------------

СТОЯНКА: Потужність вентиляторів машинного відділення

$PV3 := 0.25 \cdot PVM$	$PV3 = 9.49$
-------------------------	--------------

					141.4367cm3.БР.ПЗ.Р2	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ХОДОВИЙ, МАНЕВРОВИЙ, СТОЯНКИ режим:
Потужність вентиляторів вантажного відділення

$$PVW123 := 0.3 \cdot PVW$$

$$PVW123 = 1.738$$

СТОЯНКА З ВАНТАЖНИМИ ОПЕРАЦІЯМИ:
потужність вентиляторів вантажного відділення

$$PVW4 := PVW$$

$$PVW4 = 5.795$$

(о) Мінімально потрібна потужність підрулюючих пристроїв

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

$$Prule = 56.597$$

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

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

$$PBN3 = 44.8$$

(о) Потужність збудження генераторів і двигунів ГЕУ

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

$$Pfieldg = 73.621$$

(о) Потужність регулювання шагу гребних винтів

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

$$Pvrs = 11.229$$

(о) Потужність насосів охолодження:

- машинним маслом:

$$Poil := 6.3 \cdot N$$

$$Poil = 12.638$$

- забортною водою:

$$Pw := 4.6 \cdot N$$

$$Pw = 9.228$$

- прісною водою:

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

$$Ppw = 11.844$$

Далі наведено результати розрахунку потужностей основних споживачів і генераторів СЕЕС вантажопасажирського судна «Анатолий Чернеев» табличним методом.

					141.4367cm3.БР.ПЗ.Р2	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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	6.5	0.787914	так	8.25	16.50
2	Брашпіль	2	23	0.896046	так	25.67	51.34
3	Шпіль	2	18	0.874701	так	20.58	41.16
4	Лебідка-шлюпочна	2	8.295	0.806195	так	10.29	20.58
5	Лебідка-трапова	2	5.925	0.78158	так	7.58	15.16
6	Лебідка-вантажна	2	14.22	0.853121	так	16.67	33.34
7	Кран: механізм підйому	1	23.7	0.898506	так	26.38	26.38
8	Кран: механізм повороту	1	10	0.821646	так	12.17	12.17
9	Кран: механізм вильоту стріли	1	8	0.803338	так	9.96	9.96
10	Кран: механізм переміщення	1	8	0.803338	так	9.96	9.96
11	Підрулюючий пристрій:	1	185	0.949999	так	194.74	194.74
12	Головний двигун: насоси-паливний і охолодження	4	3	0.745317	так	4.03	16.10
13	Головний двигун: насос-масляний	2	0.75	0.712193	так	1.05	2.11
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	3	0.745317	так	4.03	8.05
18	Сепаратор масла	2	5	0.770867	так	6.49	12.97
19	Валообертальний пристрій	2	35	0.925757	так	37.81	75.61
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	30	0.916166	так	32.75	65.49
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	4	5	0.770867	так	6.49	25.94
32	Вентилятор машинного відділення	2	19	0.879558	так	21.60	43.20
33	Вентилятор котельного відділення	2	5	0.770867	так	6.49	12.97
34	Кондиціонер	2	28	0.91134	так	30.72	61.45
35	Освітлення люменесц./світлодіодне	100	0.5	1		0.50	50.00
36	Радіонавігаційне обладнання	2	12	1		12.00	24.00
37	Прилади управління судном	1	7	1		7.00	7.00
38	Сигнальні вогні	1	10	1		10.00	10.00
39	Прожектор навігаційний	5	0.5	1		0.50	2.50
40	Камбуз: пічки	3	6	1		6.00	18.00
41	Камбуз: кип'ятильник	2	12	1		12.00	24.00
42	Камбуз: електропривід	5	1	0.716123	так	1.40	6.98
43	Рефрижератор	2	8	0.803338	так	9.96	19.92
44	Електрична грілка	2	6	1		6.00	12.00
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	27	0.908675	так	29.71	89.14
49	Інше моторне обладнання	1	200	0.95	так	210.526406	210.526406
50							
ІТОГОВІ ПОКАЗНИКИ →		187	973.94			1065.15877	1632.9

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 одночасно сті Ко	Коефіцієнт завантажен ості 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	0.55	0.63	4.54	5.56	7.174387
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	0.83	3.14	3.25089446
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	48.68	63.80	80.2543064
12	Головний двигун: насоси-паливний і охолодження	1	0.77	0.88	12.40	6.61	14.0498738
13	Головний двигун: насос-масляний	1	0.8	0.89	1.68	0.87	1.89652028
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	0.85	0.90	6.84	3.37	7.62554872
18	Сепаратор масла	1	0.85	0.90	11.03	5.42	12.2880086
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	0.8	0.89	5.19	2.68	5.84055569
22	Котел: насос-конденсатний	1	0.83	0.89	3.34	1.67	3.73720621
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	36.02	25.56	44.1670568
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	0.1	0.40	4.49	10.26	11.1963195
30	Компресор-підкачуючий	1	0.1	0.40	1.96	4.46	4.87211634
31	Вентилятор загальносудновий	0.5	0.95	0.78	12.32	9.89	15.7993771
32	Вентилятор машинного відділення	1	0.7	0.87	30.24	17.47	34.927981
33	Вентилятор котельного відділення	1	0.5	0.79	6.49	4.99	8.18147278
34	Кондиціонер	1	0.5	0.79	30.72	23.62	38.754169
35	Освітлення люменесц./світлодіодне	0.45	0.5	1.00	11.25	0.00	11.25
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	0.7	1.00	7.00	0.00	7
39	Прожектор навігаційний	0.6	0.85	1.00	1.28	0.00	1.275
40	Камбуз: пічки	0.66	0.5	1.00	5.94	0.00	5.94
41	Камбуз: кип'ятильник	0.5	0.1	1.00	1.20	0.00	1.2
42	Камбуз: електропривід	0.4	0.8	0.67	2.23	2.45	3.31446969
40	Камбуз: пічки	0.66	0.5	1.00	5.94	0.00	5.94
41	Камбуз: кип'ятильник	0.5	0.1	1.00	1.20	0.00	1.2
42	Камбуз: електропривід	0.4	0.8	0.67	2.23	2.45	3.31446969
43	Рефрижератор	1	0.85	0.90	16.93	8.33	18.8661155
44	Електрична грілка	0.5	0.55	1.00	3.30	0.00	3.3
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	22.06	29.12	36.5311692
49	Інше моторне обладнання	1	0.15	0.48	31.58	57.61	65.698893
50							
ІТОГОВІ ПОКАЗНИКИ →		0.7809339	0.29009741	0.70156894	365.54	333.567356	521.033

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 одночасно сті Ko	Коефіцієнт завантаже ності Kз	Коефіцієнт потужності cos(φ)	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	8.25	6.34	10.405804
2	Брашпіль	0.5	0.01	0.21	0.26	1.19	1.2128999
3	Шпіль	0.5	0.01	0.21	0.21	0.95	0.9723894
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	1.22	2.78	3.0329058
9	Кран: механізм вильоту стріли	1	0.1	0.40	1.00	2.27	2.4816182
10	Кран: механізм переміщення	1	0.05	0.31	0.50	1.54	1.6140573
11	Підрулюючий пристрій:	1	0.5	0.79	97.37	74.86	122.81733
12	Головний двигун: насоси-паливний і охолодження	1	0.5	0.79	8.05	6.19	10.154325
13	Головний двигун: насос-масляний	1	0.5	0.79	1.05	0.81	1.3283264
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	4.03	3.09	5.0771627
18	Сепаратор масла	1	0.5	0.79	6.49	4.99	8.1814728
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	55.67	27.38	62.035181
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	0.5	0.61	6.49	8.50	10.692276
32	Вентилятор машинного відділення	0.5	0.5	0.61	10.80	14.15	17.804878
33	Вентилятор котельного відділення	0.5	0.5	0.61	3.24	4.25	5.346138
34	Кондиціонер	0.5	0.5	0.61	15.36	20.13	25.323697
35	Освітлення люменесц./світлодіодне	0.5	0.5	1.00	12.50	0.00	12.5
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	5.00	0.00	5
39	Прожектор навігаційний	0.5	0.5	1.00	0.63	0.00	0.625
40	Камбуз: пічки	0.5	0.5	1.00	4.50	0.00	4.5
41	Камбуз: кип'ятильник	0.5	0.5	1.00	6.00	0.00	6
42	Камбуз: електропривід	0.5	0.5	0.61	1.75	2.29	2.8774113
43	Рефрижератор	0.5	0.5	0.61	4.98	6.53	8.2080719
44	Електрична грілка	0.5	0.5	1.00	3.00	0.00	3
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	14.71	25.33	29.290235
49	Інше моторне обладнання	1	0.5	0.79	105.26	80.93	132.7754
50							
ІТОГОВІ ПОКАЗНИКИ →		0.7082056	0.4034738	0.75246136	498.926	401.732872	663.058

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 одночасності Ко	Коефіцієнт завантаженості Кз	Коефіцієнт потужності cos(φ)	Споживана потужність: активна Р	Споживана потужність: реактивна Q	Повна потужність S
1	2	21	22	23	24	25	26
1	Рульовий пристрій	0.5	0.2	0.40	1.65	3.77	4.111574
2	Брашпіль	1	0.2	0.55	10.27	15.65	18.717079
3	Шпіль	1	0.2	0.55	8.23	12.55	15.005598
4	Лебідка-шлюпочна	0.5	0.2	0.40	2.06	4.70	5.1280237
5	Лебідка-трапова	0.5	0.1	0.31	0.76	2.34	2.4573806
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	0.61	1.88	1.9726176
9	Кран: механізм вильоту стріли	1	0.05	0.31	0.50	1.54	1.6140573
10	Кран: механізм переміщення	1	0.05	0.31	0.50	1.54	1.6140573
11	Підрулюючий пристрій:	1	0.1	0.40	19.47	44.45	48.527973
12	Головний двигун: насоси-паливний і охолодження	0.25	0.2	0.31	0.81	2.48	2.6095615
13	Головний двигун: насос-масляний	0.5	0.2	0.40	0.21	0.48	0.5248525
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	1.61	2.45	2.9350852
18	Сепаратор масла	1	0.2	0.55	2.59	3.95	4.729673
19	Валообертальний пристрій	0.5	0.2	0.40	7.56	17.26	18.842762
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	4.91	12.86	13.769993
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	4.54	7.54	8.8002484
32	Вентилятор машинного відділення	0.5	0.25	0.44	5.40	10.94	12.203709
33	Вентилятор котельного відділення	0.5	0.27	0.46	1.75	3.40	3.8225917
34	Кондиціонер	1	0.35	0.70	21.51	22.02	30.777551
35	Освітлення люменесц./світлодіодне	0.85	0.2	1.00	8.50	0.00	8.5
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	2.00	0.00	2
39	Прожектор навігаційний	1	0.25	1.00	0.63	0.00	0.625
40	Камбуз: пічки	0.66	0.2	1.00	2.38	0.00	2.376
41	Камбуз: кип'ятильник	0.5	0.2	1.00	2.40	0.00	2.4
42	Камбуз: електропривід	1	0.2	0.55	1.40	2.13	2.545616
43	Рефрижератор	1	0.2	0.55	3.98	6.07	7.2615962
44	Електрична грілка	1	0.2	1.00	2.40	0.00	2.4
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	17.83	27.17	32.50027
49	Інше моторне обладнання	1	0.2	0.55	42.11	64.18	76.756867
50							
ІТОГОВІ ПОКАЗНИКИ →		0.8090863	0.1688282	0.5364322	231.394	342.705771	431.357

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	0.41	1.56	1.6089724
2	Брашпіль	1	0.2	0.55	10.27	15.65	18.717079
3	Шпіль	1	0.25	0.61	10.29	13.48	16.961427
4	Лебідка-шлюпочна	1	0.5	0.79	10.29	7.91	12.978292
5	Лебідка-трапова	1	0.1	0.40	1.52	3.46	3.7782305
6	Лебідка-вантажна	1	0.5	0.79	16.67	12.81	21.024705
7	Кран: механізм підйому	1	0.5	0.79	13.19	10.14	16.635593
8	Кран: механізм повороту	1	0.5	0.79	6.09	4.68	7.6758494
9	Кран: механізм вильоту стріли	1	0.3	0.66	2.99	3.43	4.5521135
10	Кран: механізм переміщення	1	0.27	0.63	2.69	3.34	4.2853924
11	Підрулюючий пристрій:	1	0.27	0.63	52.58	65.25	83.800727
12	Головний двигун: насос-паливний і охолодження	0.25	0.1	0.26	0.40	1.52	1.5700882
13	Головний двигун: насос-масляний	0.5	0.1	0.31	0.11	0.32	0.3413668
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	0.40	1.24	1.3047808
18	Сепаратор масла	1	0.05	0.31	0.65	2.00	2.1025578
19	Валообертальний пристрій	0.5	0.2	0.40	7.56	17.26	18.842762
20	Котел: насос-живлення	1	0.85	0.90	5.51	2.71	6.1440043
21	Котел: насос-циркуляційний	1	0.7	0.87	4.54	2.62	5.2437824
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	0.6	0.83	39.29	25.90	47.059814
26	Насос-осушувальний	1	0.8	0.89	76.80	39.68	86.439111
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	0.85	0.90	38.19	18.78	42.559137
30	Компресор-підкачуючий	1	0.7	0.87	13.69	7.91	15.806231
31	Вентилятор загальносудновий	1	0.85	0.90	22.05	10.85	24.576017
32	Вентилятор машинного відділення	1	0.35	0.70	15.12	15.48	21.639436
33	Вентилятор котельного відділення	1	0.75	0.88	9.73	5.30	11.080899
34	Кондиціонер	1	0.5	0.79	30.72	23.62	38.754169
35	Освітлення люменесц./світлодіодне	1	0.8	1.00	40.00	0.00	40
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	10.00	0.00	10
39	Прожектор навігаційний	1	1	1.00	2.50	0.00	2.5
40	Камбуз: пічки	0.33	1	1.00	5.94	0.00	5.94
41	Камбуз: кип'ятильник	0.5	1	1.00	12.00	0.00	12
42	Камбуз: електропривід	0.2	1	0.55	1.40	2.13	2.545616
43	Рефрижератор	1	0.85	0.90	16.93	8.33	18.866116
44	Електрична грілка	0.5	1	1.00	6.00	0.00	6
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	14.71	25.33	29.290235
49	Інше моторне обладнання	1	0.35	0.70	73.68	75.43	105.44676
50							
ІТОГОВІ ПОКАЗНИКИ →		0.8621151	0.44879114	0.7676035	652.262	469.322688	849.738

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 одночасності Ко	Коефіцієнт завантаженості 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	0.41	1.56	1.6089724
2	Брашпіль	0.5	0.01	0.21	0.26	1.19	1.2128999
3	Шпіль	0.5	0.01	0.21	0.21	0.95	0.9723894
4	Лебідка-шлюпочна	0.5	0.1	0.31	1.03	3.17	3.335293
5	Лебідка-трапова	0.5	0.1	0.31	0.76	2.34	2.4573806
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	0.10	0.44	0.4464167
11	Підрулюючий пристрій:	0.5	0.005	0.21	0.49	2.31	2.3651906
12	Головний двигун: насоси-паливний і охолодження	0.5	0.1	0.31	0.81	2.48	2.6095615
13	Головний двигун: насос-масляний	0.5	0.1	0.31	0.11	0.32	0.3413668
14	Допоміжні двигуни: насос-охолоджувач	1	0.1	0.40	0.40	0.92	1.0030523
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	0.5	0.5	0.61	2.01	2.64	3.3176438
18	Сепаратор масла	0.5	0.5	0.61	3.24	4.25	5.346138
19	Валообертальний пристрій	0.5	0	0.20	0.00	0.00	0
20	Котел: насос-живлення	1	0.5	0.79	3.24	2.49	4.0907364
21	Котел: насос-циркуляційний	1	0.5	0.79	3.24	2.49	4.0907364
22	Котел: насос-конденсатний	1	0.5	0.79	2.01	1.55	2.5385814
23	Насос-пожарний головний	0.5	0.85	0.75	38.19	33.55	50.834056
24	Насос-пожарний допоміжний	0.5	0.125	0.33	3.21	9.08	9.6333214
25	Насос-баластний	0.5	0.01	0.21	0.33	1.51	1.5473001
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	0.05	0.26	0.65	2.45	2.5300811
32	Вентилятор машинного відділення	0.5	0.5	0.61	10.80	14.15	17.804878
33	Вентилятор котельного відділення	0.5	0.5	0.61	3.24	4.25	5.346138
34	Кондиціонер	0.5	0	0.20	0.00	0.00	0
35	Освітлення люменесц./світлодіодне	0.5	0.1	1.00	2.50	0.00	2.5
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	1.00	0.00	1
39	Прожектор навігаційний	0.5	0.1	1.00	0.13	0.00	0.125
40	Камбуз: пічки	0.33	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	0.2	0.01	0.20	0.01	0.07	0.0682263
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	0.95	0	0.20	0.00	0.00	0
49	Інше моторне обладнання	1	0.05	0.31	10.53	32.46	34.121968
50							
ІТОГОВІ ПОКАЗНИКИ →		0.647353	0.1172288	0.52481878	108.952	163.656151	207.599

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 проєктованої 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

					141.4367cm3.БР.ПЗ.Р2	Арк.
						49
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:

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

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

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, $k_{\text{нн}}$ – 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.

					141.4367см3.БР.ПЗ.Р2	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таким чином, в результаті перевірного розрахунку потужностей споживачів електроенергії судна проекту PV24 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	365,54	333,57	521	0,7	160
Маневровий:	499	401,73	663	0,75	218
Стоянка:	231,4	342,7	431,36	0,54	101
Стоянка з вантажними операціями:	652,262	469,323	849,74	0,77	285
Аварійний:	108,95	163,96	207,6	0,53	143

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

- кількість основних генераторів $N_g=3$,
- аварійний генератор $N_{ga}=1$,
- максимальний коефіцієнт використання $k_{вук}=0,8$,
- 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 PV24 (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.

					141.4367см3.БР.ПЗ.РЗ								
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата									
Студент		Дьяченко В. А.				Стабілізація напруги суднового синхронного генератора з врахуванням фази				Літ.		Аркуш	Аркушів
Керівник		Обрубов А. В.											
Консультант										НУК			
Зав. каф.		Обрубов А. В.											

Розділ 3. Стабілізація напруги суднового синхронного генератора з врахуванням фази

3.1. Фазове компаундування генератора

Під компаундуванням тут розуміється компенсація за рахунок додаткової маніпуляції струмом збудження впливу конкретних збурень на вихідні величини синхронного генератора. За допомогою компаундування можна підвищити швидкодію регулювання і зменшити провали напруги при різких змінах параметрів навантаження. Недоліком звичайного компаундування [24] тільки за струмом навантаження є неможливість підтримки напруги на генераторі при різних значеннях $\cos(\varphi)$. Ця обставина приводить до необхідності додаткового регулювання збудження генератора у функції напруги. На регулятор напруги при цьому покладається функція корекції характеристики компаундування. При звичайному компаундуванні коректор повинен бути розрахований на більшу вихідну потужність. Збільшення потужності приводить до збільшення розмірів елементів коректора й більшим запізнюванням, особливо в потужному підсилювачі та обмотці збудження генератора. Більш досконалим є фазове компаундування, сутність якого полягає в тому, що підживлення збудження генератора здійснюється не у функції повного струму генератора, а в основному у функції реактивної складової струму, тобто підживлення додатково залежить від фази струму. Результатом цього є менша залежність характеристики компаундування від $\cos(\varphi)$, і отже, функції коректора напруги ще більше обмежуються. У цьому випадку стає можливим зменшити габаритні розміри елементів коректора напруги й, що особливо важливо, зменшити запізнювання в елементах. При цьому підвищується швидкодія регулювання.

Запропонований принцип фазового компаундування має більші можливості для налаштувань і пояснюється структурною схемою на рис.3.1, де для визначення струму обмотки збудження ОЗ синхронного генератора СГ використовуються три сигнали зворотних зв'язків:

					141.4367см3.БР.ПЗ.РЗ	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- $u_{fb1} = \frac{3\sqrt{3}}{2\pi} U_{c\max}$ – сигнал датчика напруги з трьохфазним однонапівперіодним сигнальним випрямлячем СВ і усереднюючим фільтром низьких частот ФНЧ;
- $u_{fb2} = I_{nm} \sin(\varphi)$ – сигнал зворотного зв'язку по струму і по фазі струму відносно напруги СГ, який отримується за допомогою пристрою вибірки і збереження ПВЗ;
- $u_{fb3} = \frac{3\sqrt{3}}{2\pi} I_{nm}$ – сигнал зворотного зв'язку по струму навантаження.

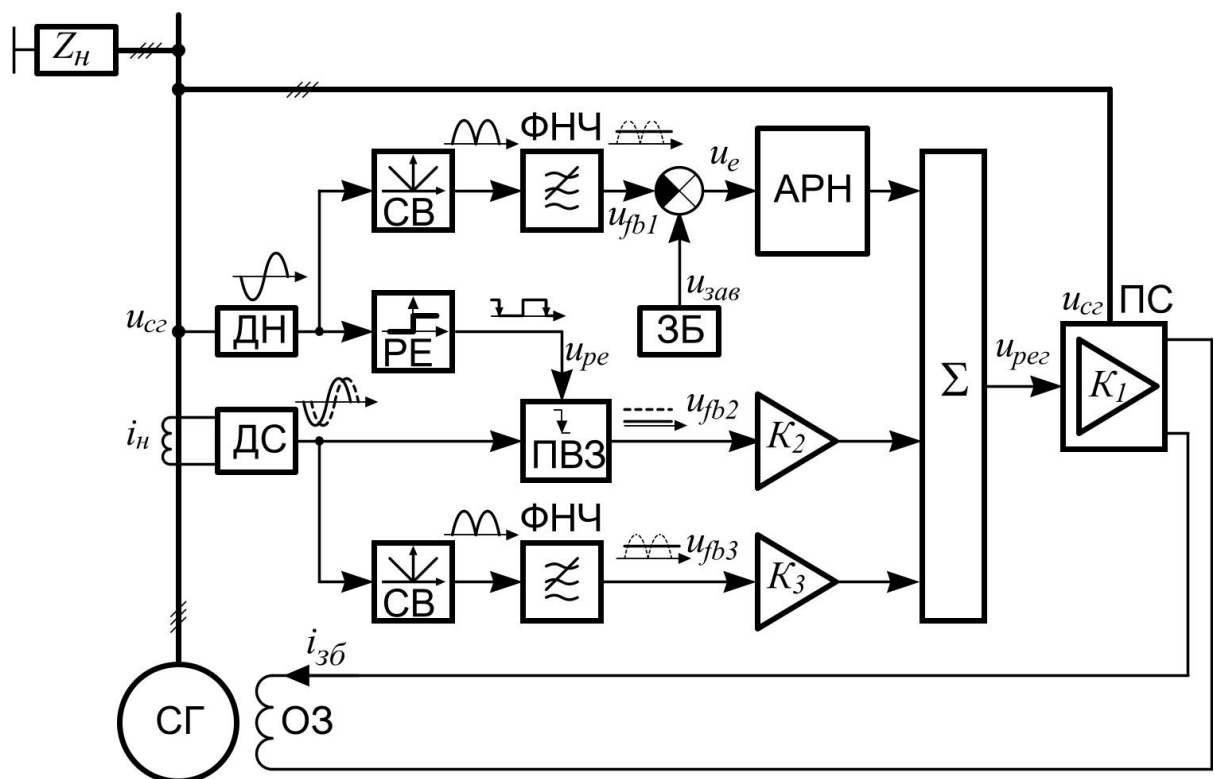


Рис.3.1. Система фазового компаундування синхронного генератора: СГ – синхронний генератор, ОЗ – обмотка збудження, ДН – датчик напруги, ДС – датчик струму, СВ – сигнальний випрямляч, РЕ – релейний елемент з однополярним сигналом, ФНЧ – фільтр низьких частот, ПВЗ – пристрій вибірки і збереження, ЗБ – задавальний пристрій, АРН – автоматичний регулятор напруги, ПС – підсилювач струму, Z_n – повний опір навантаження, $u_{cг}$ – напруга синхронного генератора, i_n – струм навантаження, u_{pe} – напруга релейного елемента, u_{fb1} , u_{fb2} , u_{fb3} – сигнали зворотних зв'язків по напрузі, фазі струму і по середньому випрямленому струму, u_e – сигнал відхилення напруги від завданого значення, $u_{зав}$ – завдане значення напруги, $u_{рег}$ – сигнал регулювання, $i_{зб}$ – струм збудження.

Принцип отримання сигналу зворотного зв'язку u_{fb2} за фазою струму відносно напруги СГ за допомогою пристрою вибірки і збереження ПВЗ пояснюється на рис.3.1 і рис.3.2, де сигнал струму зчитується в моменти переходу через нуль напруги СГ від позитивного до негативного значення за допомогою синхронізації ПВЗ від релейного елемента РЕ. Якщо струм i_n співпадає по фазі з напругою u_{c2} , в моменти переходу через нуль будуть зчитуватись нулеві значення струму. Якщо струм i_n буде зсунутий по фазі у бік запізнення (при індуктивному навантаженні), ПВЗ буде зчитувати позитивні значення струму. Якщо при ємнісному навантаженні струм i_n буде зсуватися в бік упередження, ПВЗ буде зчитувати негативні значення струму. Таким чином, при зсувах фази струму буде вироблятися коригуючий сигнал, який при індуктивному навантаженні буде збільшувати струм збудження, а при ємнісному навантаженні – зменшувати.

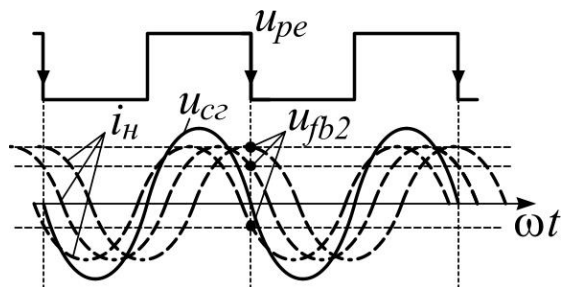


Рис.3.2. Епюри для способу визначення фази струму відносно напруги: u_{re} – напруга релейного елемента, i_n – струм навантаження, u_{c2} – напруга синхронного генератора, u_{fb2} – сигнал зворотного зв'язку по фазі

Розглянемо принцип роботи **системи фазового компаундування** на рис.3.1. Схема містить три канали. Сигнали з трьох каналів регулювання сумуються з коефіцієнтами K_n , K_i , K_δ (всередині ПД-регулятора АРН) і K_2 , K_3 , які налаштовуються в процесі пуско-налагоджувальних робіт. Сума цих сигналів u_{reg} подається на підсилювач струму ПС для формування струму збудження i_{zb} обмотки збудження ОЗ генератора СГ. ПС живиться від вихідної напруги СГ і може видавати струм в діапазоні 0-200% від номінального значення струму збудження.

Перший канал регулювання на рис.3.1 містить звичайний автоматичний регулятор напруги (ПД-регулятор) АРН з принципом регулювання по відхиленню напруги СГ $u_{cг}$ від заданого значення $u_{зав}$. Сигнал напруги СГ поступає від датчика напруги ДН, випрямляється в сигнальному випрямлячі СВ і фільтрується фільтром низьких частот ФНЧ для виділення середнього випрямленого значення $u_{fb1} = (3\sqrt{3}/2\pi) \cdot U_{cгmax}$. Далі різниця-похибка регулювання $u_e = u_{зав} - u_{fb1}$ подається на вхід АРН, де вираховується інтеграл і перша похідна від похибки. Три складових – похибка, її інтеграл і похідна з коефіцієнтами K_n , K_i , K_d подаються на загальний суматор регулювання для отримання сигналу регулювання $u_{рег}$. Взагалі цього ПД-регулятора достатньо для стабілізації напруги СГ при умові, що СГ працює з допустимою потужністю і стрибки струму навантаження не перевищують 150% від номінального струму СГ. Особливістю ПД регулятора в системі регулювання напруги генератора за допомогою струму збудження є невелика швидкодія регулювання, обумовлена відносно великою постійною часу встановлення струму обмотки збудження (одиниці секунд) при номінальній напрузі збудження. Підвищення швидкодії ПД-регулятора обмежується умовами збереження стійкості регулювання напруги. Бажано, щоб процес встановлення напруги був аперіодичним без перерегулювання. Тому регулювання по відхиленню напруги є відносно повільним і при стрибках навантаження можливі суттєві провали напруги СГ.

Для підвищення швидкості реагування системи на стрибки струму навантаження вводяться в роботу ще два канали регулювання по збуренню. Регулювання по збуренню є апіорі стійким і може відбуватися настільки швидко, наскільки дозволяє динаміка системи «підсилювач струму-обмотка збудження» (ПС-ОЗ). Для цього ПС живиться від напруги СГ, яка суттєво

					141.4367см3.БР.ПЗ.РЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

вища за номінальну напругу ОЗ. Тому при стрибках струму навантаження струм збудження теж може змінюватися відносно швидко.

Другий канал регулювання на рис.3.1 по амплітуді і фазі струму навантаження i_H відносно напруги синхронного генератора СГ u_{c2} формує сигнал $u_{fb2} = I_{nm} \sin(\varphi)$ за допомогою релейного елемента РЕ і пристрою вибірки і збереження ПВЗ, який додає в сигнал u_{reg} керування струмом збудження $i_{3\phi}$ корекцію в залежності від характеру навантаження. Якщо навантаження має виражену індуктивну складову, струм запізнюється по фазі і видається позитивний сигнал u_{fb2} на підвищення струму збудження, який компенсує розмагнічувальну дію статора. Якщо навантаження має виражений ємнісний характер, формується негативний сигнал u_{fb2} на зменшення струму збудження, який компенсує підмагнічувальну дію статора СГ. Принцип формування сигналу u_{fb2} для однієї фази пояснюється на рис.3.2, де показані епюри для трьох кутів зсуву фази струму навантаження СГ. Сигнал струму навантаження береться від трьохфазного датчика струму ДС, вихідний сигнал з кожної фази якого проходить через окремий ПВЗ з синхронізацією від сигналу напруги своєї фази за допомогою РЕ. Далі сигнали фазових зсувів передаються з коефіцієнтом K_2 на загальний суматор регулятора для отримання сигналу регулювання u_{reg} .

Третій канал регулювання на рис.3.1 по амплітуді струму навантаження i_H використовує сигнал від трьохфазного датчика струму ДС, вихідний сигнал з кожної фази якого поступає на сигнальний випрямляч СВ, а далі на фільтр низьких частот ФНЧ, на виході якого формується сигнал середнього випрямленого струму навантаження $u_{fb3} = (3\sqrt{3}/2\pi) \cdot I_{nm}$. Цей сигнал передається з коефіцієнтом K_3 на загальний суматор регулятора для отримання сигналу регулювання u_{reg} . При збільшенні струму навантаження він збільшує струм збудження СГ.

					141.4367см3.БР.ПЗ.РЗ	Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Закон формування струму збудження в системі фазового компаундування на рис.3.1 можна описати наступною формулою

$$i_{3\phi} = K_1 \left\{ K_n \cdot u_e + K_i \cdot \int_0^t u_e dt + K_\partial \cdot \frac{\partial u_e}{\partial t} + K_2 \cdot u_{fb2} + K_3 \cdot u_{fb3} \right\}, \quad (3.1)$$

Де $u_{fb1} = (3\sqrt{3}/2\pi) \cdot U_{c2max}$ – сигнал зворотного зв'язку по напрузі СГ, $u_{fb2} = I_{nm} \sin(\varphi)$ – сигнал зворотного зв'язку по струму і його фазі, $u_{fb3} = (3\sqrt{3}/2\pi) \cdot I_{nm}$ – сигнал зворотного зв'язку по струму навантаження СГ, φ – зсув фази струму відносно напруги СГ, $u_e = u_{зав} - u_{ос2}$ – похибка регулювання або відхилення, $K_1 = i_{3\phi} / u_{рег}$ – коефіцієнт передачі підсилювача струму ПС, K_n – коефіцієнт передачі пропорційної складової регулювання, K_i – коефіцієнт передачі інтегральної складової регулювання, K_∂ – коефіцієнт передачі диференційної складової регулювання, K_2 – коефіцієнт компенсації фази струму навантаження, K_3 – коефіцієнт компенсації амплітуди струму навантаження. Ці коефіцієнти складових регулювання підлягають оптимізації в процесі аналітичного синтезу ПД-регулятора або в процесі експериментів з системою фазового компаундування. Оскільки натурні експерименти з судновим дизель-генератором не завжди можливо здійснити і на це потрібно відносно багато часу, доцільно спочатку скористатися імітаційним моделюванням системи і в ході моделювання підібрати коефіцієнти регулятора орієнтуючись на вид та характеристики перехідних процесів.

					141.4367см3.БР.ПЗ.РЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

3.2. Динамічна модель синхронного генератора

Для побудови моделі системи стабілізації напруги дизель-генератора необхідно скласти динамічну модель синхронного генератора як об'єкта управління. Для цього спочатку розглянемо рівняння руху ротора синхронної машини [25]. Рух обертової частини енергоагрегату (ротора генератора) описується згідно із другим законом Ньютона. Стосовно до обертового руху ротора даний закон записується в наступному виді: $\partial\omega/\partial t = \Delta M/J$, де $\partial\omega/\partial t$ – кутове прискорення, $\Delta M = M_{\partial\phi} - M_{\phi m} - M_{mp} - M_{em}$ – сума моментів на валу генератора (н*м), J – момент інерції ротора (кг*м²), $M_{\partial\phi}$ – крутний момент приводного дизельного двигуна, $M_{\phi m}$ – вентиляторний момент обумовлений опором навколишнього повітря та в'язкого тертя, M_{mp} – момент опору, обумовлений тертям ковзання в підшипниках, M_{em} – електромагнітний момент генератора, обумовлений електричним навантаженням генератора і виникаючий в результаті магнітної взаємодії статора і ротора. Таким чином маємо рівняння динамічної моделі синхронного генератора у вигляді

$$J \frac{\partial\omega}{\partial t} = M_{\partial\phi} - M_{\phi m} - M_{mp} - M_{em}. \quad (3.2)$$

Момент двигуна $M_{\partial\phi}$ є вхідною величиною моделі, оскільки привідний двигун є причиною обертового руху і його крутний момент залежить від частоти обертів двигуна згідно з навантажувальною характеристикою.

Момент вентиляторного та в'язкого тертя пропорційний квадрату кутової швидкості і коефіцієнту в'язкого тертя $M_{\phi m} = k_{\phi m} \omega^2$.

Момент тертя в підшипниках пропорційний першій ступені кутової швидкості і коефіцієнту тертя $M_{mp} = k_{mp} \omega$.

Електромагнітний момент M_{em} синхронного генератора можна оцінити через потужність і ЕРС статора. Діюче значення ЕРС фази статора генератора виражається відомою формулою через магнітний потік ротора

$$E_1 = 4.44 \cdot k_{\omega} \cdot (p \cdot \omega / 2\pi) \cdot \Phi \cdot w_1, \quad (3.3)$$

де k_{ω} – коефіцієнт обмотки статора, p – кількість пар полюсів, ω – кутова частота обертання ротора, Φ – магнітний потік ротора, w_1 – кількість витків обмотки статора. Вираз ЕРС статора (3.3) можна переписати в компактному вигляді

$$E_1 = K_e \cdot K_f \cdot \omega \cdot i_{3\phi}, \quad (3.4)$$

де видно, що ЕРС статора синхронного генератора E_1 залежить від двох коефіцієнтів:

$K_e = 4.44 \cdot k_{\omega} \cdot (p/2\pi) \cdot w_1$ – коефіцієнт ЕРС;

$K_f = \Phi / i_{3\phi}$ – коефіцієнт магнітного потоку.

Електромагнітний момент синхронного генератора можна оцінити по виразам потужності

$$\omega M_{em} = U_{c2} I_H \cos(\varphi), \quad (3.5)$$

де в лівій частині вираз механічної потужності на валу генератора, а в правій частині вираз активної електричної потужності генератора.

M_{em} – електромагнітний момент генератора, U_{c2} – вихідна напруга генератора, I_H – струм навантаження, $\cos(\varphi)$ – коефіцієнт потужності.

При визначенні вихідної ЕРС (3.3, 3.4) і моменту (3.6) синхронного генератора для моделі прийняті наступні припущення:

- ЕРС генератора приблизно дорівнює його вихідній напрузі $E_1 \approx U_{c2}$.
- Реакція статора не враховується, оскільки, як відомо, реакція статора пом'якшує характеристику генератора при активно-індуктивних навантаженнях. Для системи автоматичного регулювання об'єкт управління з більшою крутизною характеристики створює менші запаси стійкості. Тому неврахування в даному випадку реакції статора для моделі системи є оправданим. Якщо система буде стійкою з генератором з жорсткою характеристикою, то вона буде стійкою і з генератором з м'якшою зовнішньою характеристикою.

					141.4367cm3.БР.ПЗ.РЗ	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Електромагнітний момент синхронного генератора при зазначених вище припущеннях можна виразити з використанням (3.3)-(3.5)

$$M_{em} = K_e \cdot K_f \cdot \omega \cdot i_{3\phi} \cdot \cos(\varphi) = K_m \cdot \omega \cdot i_{3\phi} \cdot \cos(\varphi), \quad (3.6)$$

де добуток коефіцієнтів ЕРС і магнітного потоку дорівнює коефіцієнту електромагнітного моменту генератора $K_e \cdot K_f = K_m$. Також електромагнітний момент можна виразити через параметри генератора і модуль опору ланцюга статора

$$M_{em} = \omega \cdot (4.44 \cdot k_\omega \cdot (p \cdot / 2\pi) \cdot \Phi \cdot w_1)^2 \cdot \cos(\varphi) / Z, \quad (3.7)$$

де $Z = \sqrt{r^2 + x^2}$ – комплексний опір статорного ланцюга, r – сумарний активний опір генератора і навантаження, x – сумарний реактивний опір генератора і навантаження.

Схема динамічної моделі синхронного генератора на рис.3.3 відповідає виразам (3.3)-(3.7) і моделює процеси в однофазному генераторі з однією парою полюсів. Ця модель може бути легко доповнена до трьохфазної моделі з будь-якою кількістю пар полюсів. Модель враховує наступні властивості синхронного генератора:

- механічну інертність обертальних мас генератора,
- сили тертя в підшипниках,
- електромагнітну взаємодію – залежність електромагнітного моменту від опору навантаження,
- залежність частоти вихідної напруги від частоти обертів ротора,
- залежність електромагнітного моменту від коефіцієнту потужності навантаження,
- залежність ЕРС і електромагнітного моменту генератора від струму обмотки збудження.

Модель не враховує реакції якоря (статора) на потік збудження і інерційності обмотки збудження. Реакція якоря може бути врахована при

подальшій доробці моделі, а інерційність обмотки збудження можна змодельовати зовнішньою інерційною ланкою першого порядку на вході $i_{3\phi}$.

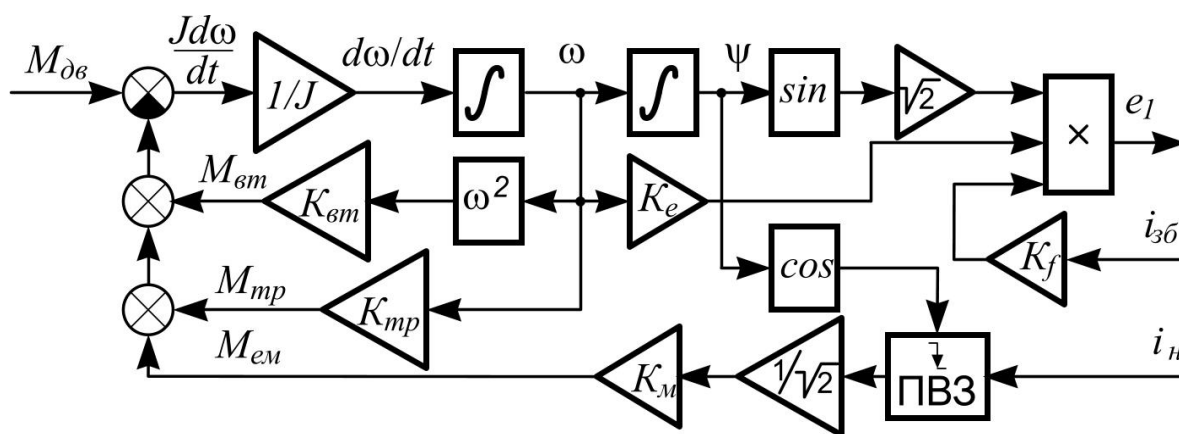


Рис.3.3. Структурна схема динамічної моделі синхронного генератора (одна фаза і одна пара полюсів)

Модель синхронного генератора на рис.3.3 має три входи – крутний момент привідного двигуна M_{dv} , струм збудження $i_{3\phi}$ і струм навантаження i_n , і один вихід миттєвого значення ЕРС генератора $e_1 = \sqrt{2} \cdot E_1 \cdot \sin(\int_0^t \omega \cdot dt)$ або для $\omega = const$ $e_1 = \sqrt{2} \cdot E_1 \cdot \sin(\omega t)$, де діюче значення ЕРС генератора E_1 визначається по (3.4).

Кутова швидкість обертання ротора ω рад/с виражається через частоту обертання n об/хв так $\omega = \pi n / 30$, а частота f Гц вихідної ЕРС і струму навантаження виражається через кутову швидкість або частоту обертання таким чином $f = pn / 60 = p\omega / 2\pi$. В моделі синхронного генератора можна організувати ще виходи по кутовій швидкості ω або по частоті обертів через коефіцієнт $n = \omega 30 / \pi$ і по куту повороту ротора ψ . Ці величини можна використати для організації зворотних зв'язків по частоті обертів і для моделі привідного двигуна, щоб впливати на крутний момент відповідно до механічної характеристики дизельного двигуна.

Запропонована динамічна модель на рис.3.3 може використовуватись для дослідження динамічних процесів дизель-генераторних агрегатів.

					141.4367см3.БР.ПЗ.Р4							
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата								
Студент		Дьяченко В. А.			Експериментальне дослідження дизель-генератора за допомогою імітаційного моделювання			Літ.		Аркуш	Аркушів	
Керівник		Обрубов А. В.										
Консультант								НУК				
Зав. каф.		Обрубов А. В.										

Розділ 4. Експериментальне дослідження дизель-генератора за допомогою імітаційного моделювання

В попередньому розділі запропоновано модель синхронного генератора на рис.3.3, яка була побудована на рис.4.1 і рис.4.2 для наступних задач:

- Дослідження процесів при розгоні та змінах крутного моменту, частоти обертів, навантаження, та ін..
- Налаштування автоматичних регуляторів по заздалегідь введеним в модель параметрам реального генератора.
- Створення в подальшому інших моделей для експериментального дослідження роботи СЕЕС і її компонентів.

В даній роботі розглянемо модель синхронного генератора як об'єкта системи регулювання. А саме регулювання-стабілізацію номінальної напруги генератора при зміні навантаження. На рис.4.1 представлено імітаційну модель системи з моделлю синхронного генератора, що виконана в пакеті *Matlab 6.5-Simulink* [Matlab Help System].

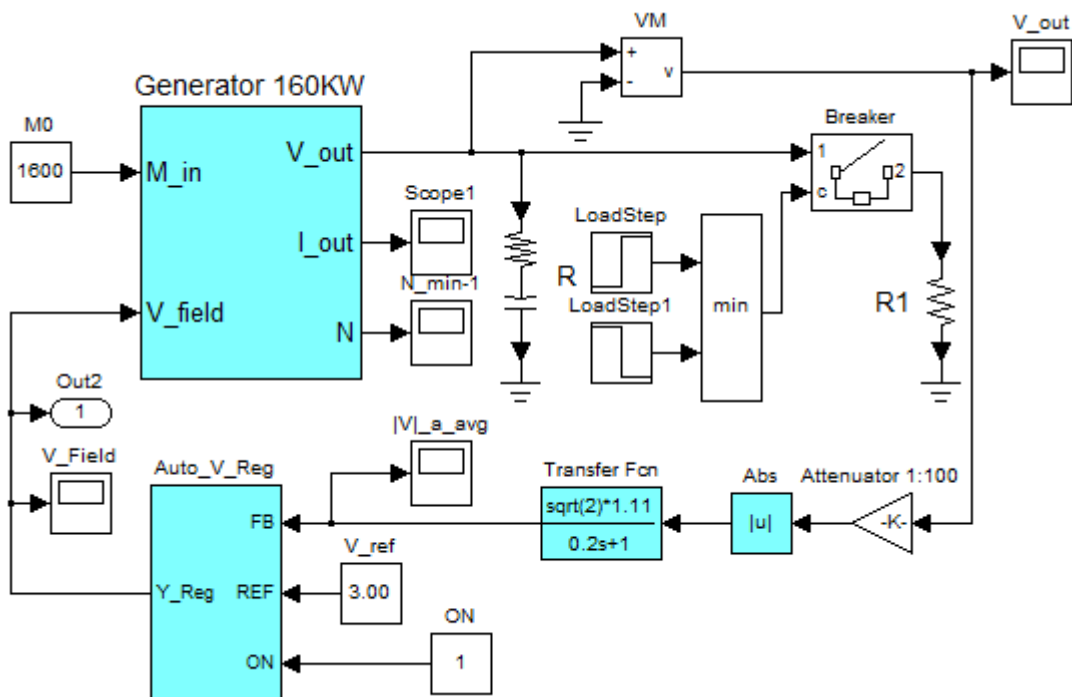


Рис.4.1. Модель системи для дослідження синхронного генератора
M0 – початковий момент, Generator 160KW – модель генератора, ON – елемент ввімкнення регулятора напруги, Auto_V_Reg – регулятор напруги, LoadStep – ступінчастий сигнал навантаження, Breaker – керований комутатор, VM – датчик напруги, R1 – резистор навантаження

Модель системи на рис.4.1 складається з наступних елементів:

- модель генератора Generator 160KW потужністю 160 КВт зі схемою на рис.4.2 і з наступними **входами**:

- початкового крутного моменту M_0 ,
- напруги обмотки збудження V_{field} , В,

і **виходами**:

- вихідної напруги (одна фаза) V_{out} , В,
- струму навантаження I_{out} , А,
- частоти обертів привідного двигуна N , об/хв,

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

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

- M_0 – задавач початкового крутного моменту $M_0=1600 \text{ н*м}$ (при $N=0$), що при $N=1000$ об/хв відповідатиме потужності 168 КВт;

- Transfer Fcp – передатна функція по Лапласу датчика амплітудної напруги генератора з постійною часу 0,2с;

- що відповідає номінальній амплітуді напруги генератора 300 В, $V_{ref}=3\text{В}$ – задавач номінальної напруги зворотного зв'язку;

- ON вмикач (0 – регулятор виключено, 1 – регулятор включено);

- LoadStep і LoadStep1 – ступінчасті сигнали, що керують комутатором навантаження;

- min – блок вибору мінімального сигналу;

- Breaker – керований комутатор навантаження;

- Abs – сигнальний випрямляч;

					141.4367cm3.БР.ПЗ.Р4	Арк.
						63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Attenuator 1:100 – атенюатор датчика вихідної напруги генератора з коефіцієнтом ослаблення напруги в 100 разів;
- VM – вимірювач або первинний датчик напруги генератора;
- R1 – резистор навантаження 0,3 Ом.
- Модельні осцилоскопи:
 - N_min-1 – частота обертів привідного 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,
 - Score1 – струм навантаження генератора, А,
 - Out2 – вивід даних у робочу область.

Модель системи на рис.4.1 може працювати в двох режимах. Перший режим з ПД-регулятором напруги генератора, коли ON=1, і другий режим, коли ПД-регулятор вимкнено (ON=0) і на обмотку збудження подається постійна напруга 150 В. Модель системи дозволяє налаштувати коефіцієнти ПД-регулятора для отримання пускових та перехідних характеристик.

Генератор має потужність 160КВТ, номінальну діючу напругу 220В, струм навантаження 727.2А, частоту 50Гц, 3 пари полюсів. В моделі синхронного генератора на рис.4.2 привідний двигун і генератор промодельовані як єдина електромеханічна система з сумою моментів на єдиному валу дизель-генератора. Привідний двигун має постійний монотонний крутний момент 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 пульсацій напруги генератора. Тому для моделювання генератора як об'єкта управління була обрана лінійна модель привідного двигуна, що дозволить при моделюванні виявити особливості динаміки саме генератора.

					141.4367cm3.БР.ПЗ.Р4	Арк.
						64
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

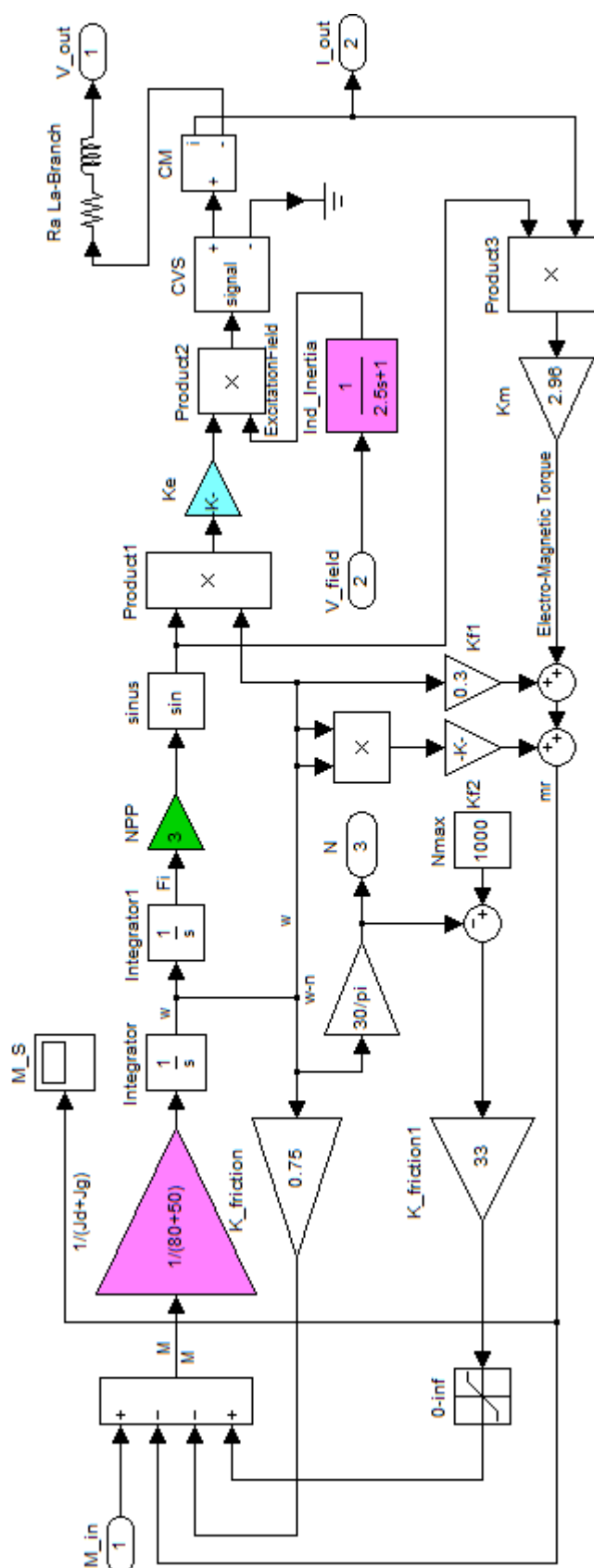


Рис.4.2. Схема моделі синхронного генератора (100КВт, 220В, 1 фаза 3 пари полюсів): M_{in} – задавач крутного моменту, $1/Jd+Jg$ – коефіцієнти моментів інерції, $K_{friction}$ – коефіцієнт тертя, $K_{friction1}$ – крутизна характеристики двигуна, $0-inf$ – обмеження в $-\infty...0$, $Integrator$ і $Integrator1$ – інтегратори, $w-p$ – перерахунок рад/с в об/хв, $NPP=3$ – кількість пар полюсів генератора, $sinus$ – 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 100мкГн, $Product$ – квадрататор кутової швидкості для отримання вентиляторного моменту генератора, $Transfer$ Fcp – інерційна передатна функція напруги збудження в умовний магнітний потік збудження з постійною часу 2,5с, $Kf1=0,3$ і $Kf2$ – коефіцієнти тертя, $Km=2,1$ – коефіцієнт електромагнітного моменту генератора

Модель синхронного генератора на рис.4.2 містить наступні елементи:

- 4-входовий суматор моментів на валу привідного двигуна;
- коефіцієнти моментів інерції $1/J_d + J_g$ привідного дизельного двигуна $J_d = 80 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ і ротора синхронного генератора $J_g = 50 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$;
- K_{friction} – коефіцієнт тертя ковзання в підшипниках привідного двигуна;
- $K_{\text{friction1}}$ – крутизна механічної характеристики привідного двигуна

$$K_{\text{friction1}} = \Delta M / \Delta N ;$$
- $N_{\text{max}} = 1000 \text{ об/хв}$ – задавач максимальної частоти обертів приводного 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;
- $N_{\text{PP}} = 3$ – кількість пар полюсів генератора;
- sinus – синусоїдальна функція;
- Product1 – добуток кутової швидкості і синусу кута повороту вала з врахуванням кількості пар полюсів;
- $K_e = 0,02$ – 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 100 мкГн ;
- Product – квадратор кутової швидкості для отримання вентиляторного моменту генератора;

					141.4367см3.БР.ПЗ.Р4	Арк.
						66
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Ind_Inertia – 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=2,96 – коефіцієнт електромагнітного моменту генератора;
- Product3 – добуток синусу кута повороту з полюсним діленням та струму навантаження для виділення активного струму і отримання електромагнітного моменту генератора.

Модельний привідний двигун (4-входовий суматор, два інтегратори, елементи K_friction, K_friction1, Nmax, w-n, 0-inf, суматор) на рис.4.2 запускається під дією початкового крутного моменту $M_{in}=1600 \text{ н*м}$. 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_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 наростає 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.

В електромагнітній частині моделі (NPP, sin, Product, Kf1, Kf2, Product1, Ke, Product2, CVS, CM, Ra La-Branch, Ind_Inertia, Km, Product3) створюється синусоїдальна функція ЕРС фази генератора, яка перетворюється в вихідну напругу генератора і електромагнітний момент та моменти тертя генератора.

					141.4367cm3.БР.ПЗ.Р4	Арк.
						67
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Модельні експерименти проводилися з наступними налаштуваннями моделі системи:

- Максимальний крутний момент $M=1600 \text{ н*м}$, номінальний 1528 н*м ;
- Номінальна частота обертів 1000 об/хв ;
- Максимальна потужність приводу приблизно 168 КВт при 1000 об/хв ;
- Номінальна потужність генератора 160 КВт ;
- Номінальна кутова швидкість $104,6 \text{ рад/с}$;
- Електричне навантажування задавалося таким чином. Спочатку струм навантаження був нульовий, потім з 15 с роботи різко ставав близький до номінального $727,2 \text{ А}$, потім на 25 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.

Настройки ПД-регулятора Auto_V_Reg 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 $K_d=12$.

Графіки перехідних процесів на рис.4.3 з ПД-регулятором напруги генератора демонструють процес розгону дизель-генератора і вихід на номінальні оберти з виникненням навантаження до $727,2 \text{ А}$ 160 КВт .

При ступінчастому наростанні навантаження до номінального середня частота обертів знизилася приблизно на $4\text{-}5\%$. Перерегулювання напруги генератора при виході на номінальні оберти холостий режим склало не більше $0,5\%$, що є доволі хорошим результатом. При скиданні навантаження перерегулювання напруги склало не більше 5% . Ці показники перевищують вимоги Регістру до параметрів електроенергії суднових дизель-генераторів.

					141.4367cm3.БР.ПЗ.Р4	Арк.
						68
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

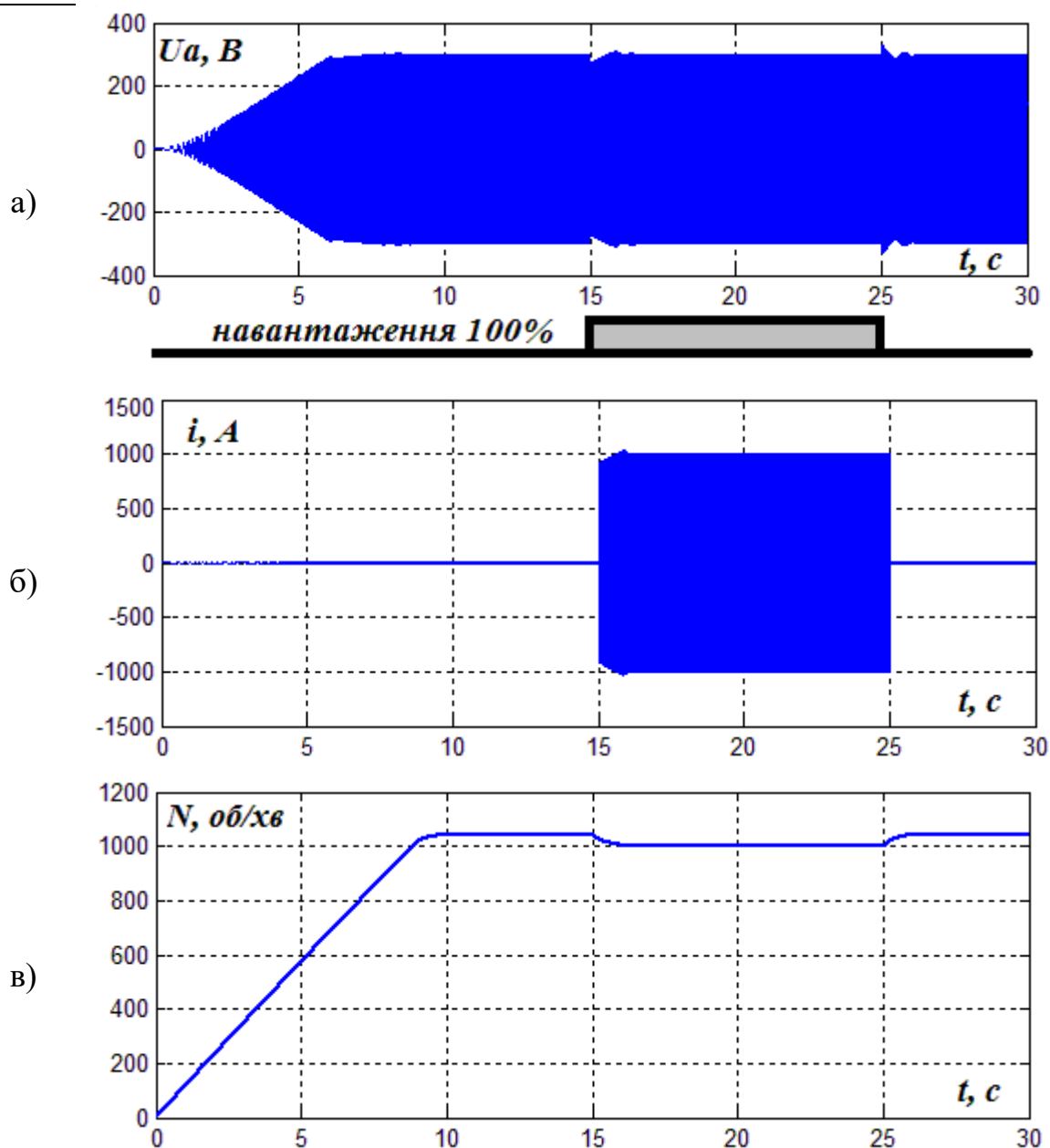


Рис.4.3. Графіки перехідних процесів при ступінчастій зміні навантаження: а) вихідна напруга генератора, б) струм навантаження генератора, в) частота обертів привідного двигуна

Графік на рис.4.4 демонструє вихідну напругу в процесі розгону генератора. Частота напруги збільшується пропорційно кутовій швидкості генератора. Напруга наростає до амплітуди 300В при частоті 50Гц.

Графіки на рис.4.5 демонструють ефективність роботи регулятора вихідної напруги генератора. Номінальне значення амплітуди 300В. При пуску і виході на номінальні оберти з виникненням струму навантаження до

727А 160КВт (це 100% навантаження) видно, що напруга синхронного генератора без ПД-регулятора змінювалася приблизно як і частота обертів привідного двигуна. З накидом навантаження зростає електромагнітний момент і знижується частота обертів. З частотою обертів пропорційно знизилася ЕРС генератора і додатково знизилася вихідна напруга на величину падіння напруги на внутрішньому опорі генератора. На холостому ході напруга збільшена приблизно на 10% від номінальної (зелена крива на рис.4.5). При наявності ПД-регулятора вихідна напруга (синя крива на рис.4.5) знаходиться в значно вужчих рамках і стабілізується точніше.

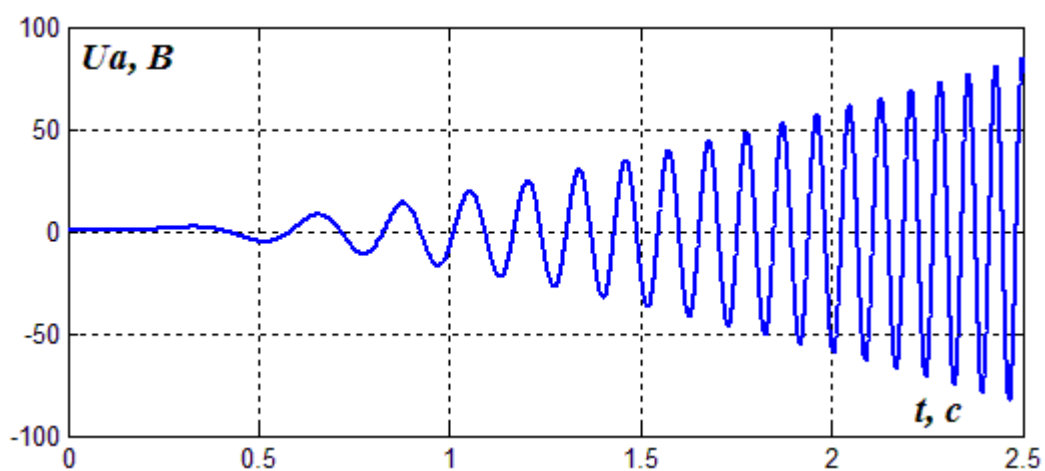


Рис.4.4. Графік напруги синхронного генератора в процесі розгону з включеним струмом збудження

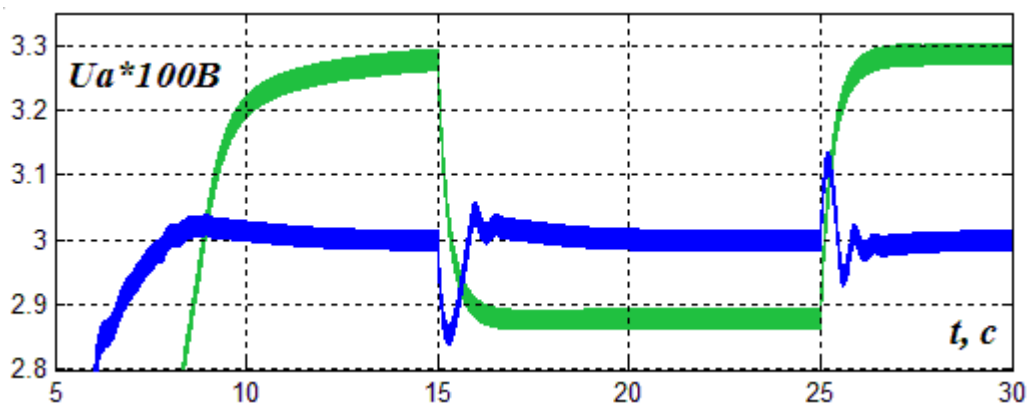


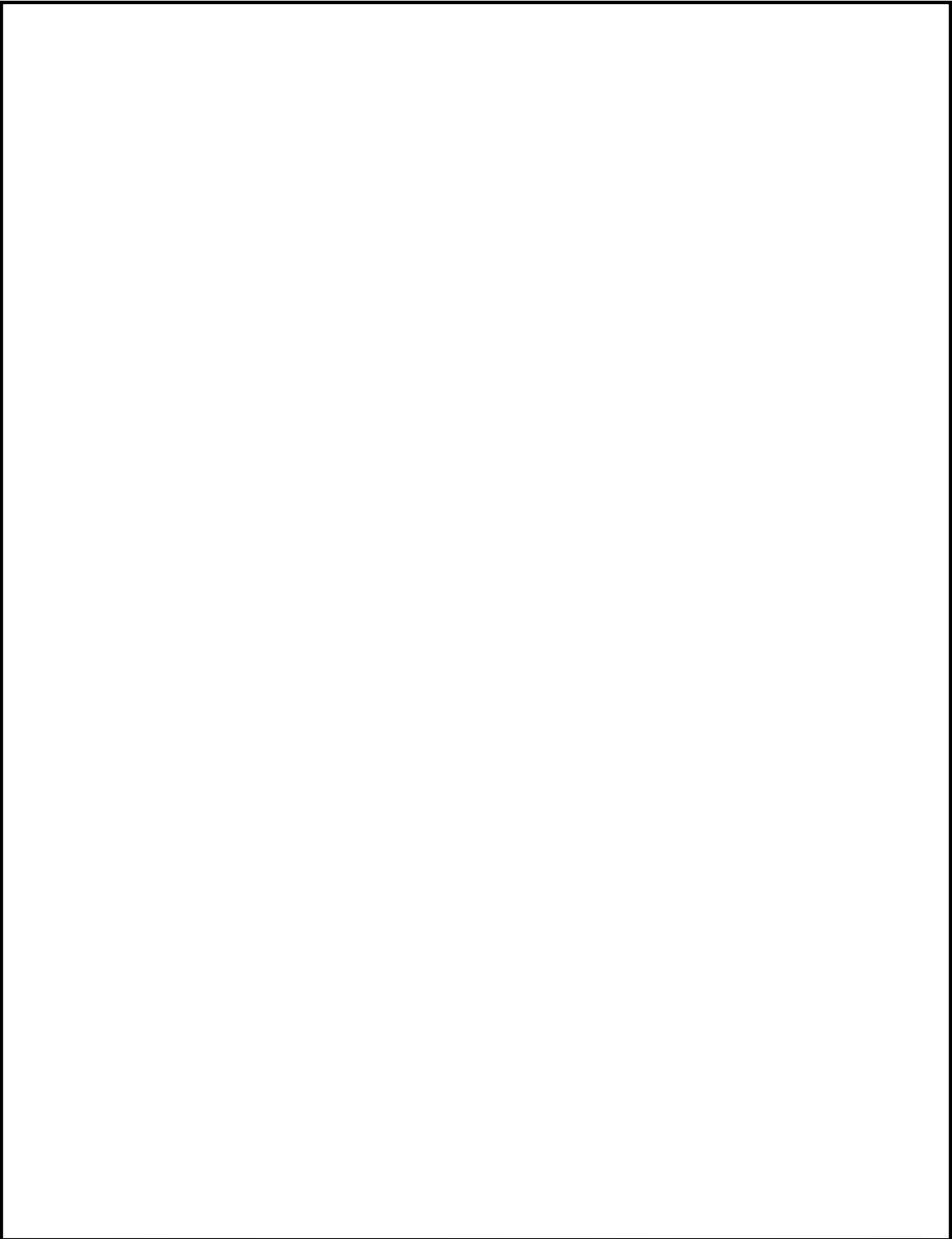
Рис.4.5. Графіки огинаючої вихідної напруги генератора при накиді і скиданні повного навантаження без регулятора (зелена крива з номінальною постійною напругою збудження генератора) і з ПД-регулятором (синя крива)

По кривих вихідної напруги на рис.4.5 видно, що без автоматичного регулювання вихідна напруга генератора знижувалася при накиді

навантаження приблизно на 13% від максимуму, а при скиданні ставала дещо вище завданої амплітуди на 10%. 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.

					141.4367cm3.БР.ПЗ.Р4	Арк.
						71
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



					141.4367cm3.БР.ПЗ.Р5			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Охорона праці	Літ.	Аркуш	Аркушів
Студент		Дьяченко В. А.						
Керівник		Обрубов А. В.						
Консультант						НУК		
Зав. каф.		Обрубов А. В.						

Розділ 5. Охорона праці

В цьому розділі розглянуто аспекти охорони праці, що стосуються питань електричної безпеки в суднових приміщеннях суховантажних суден з потенційно небезпечними середовищами. Також наведені найбільш важливі правила безпеки з точки зору проведення ремітно-налогоджувальних робіт на судах. Наряду з апаратними захисними засобами персонал суден повинен дотримуватися правил іскробезпечної експлуатації приладів, інструментів і суднового електрообладнання.

Умови виникнення заряду статичної електрики. Виникнення заряду статичної електрики (далі по тексті – **заряд**) відбувається при деформації, подрібненні (розбризуванні) речовин, відносному переміщенні двох тіл, що знаходяться в контакті, шарів рідких або сипких матеріалів, при інтенсивному перемішуванні, кристалізації, випаровуванні речовин. Можливість накопичення небезпечної кількості статичної електрики визначається як інтенсивністю виникнення, так і умовами стікання заряду. Інтенсивність виникнення заряду в технологічному обладнанні визначається фізико – хімічними властивостями речовин, які перероблюються, та матеріалів, з яких виготовлено обладнання, а також параметрами технологічного процесу. Процес стікання заряду визначається в основному електричними властивостями речовин, які перероблюються, навколишнього середовища та матеріалів, з яких виготовлене обладнання. При відсутності необхідних умов для стікання заряду відбувається його накопичення, яке може призвести до

- виникнення іскрових розрядів (питання електростатичної іскробезпеки);
- безпосереднього впливу на людину (дія електростатичних полів та іскрових розрядів);
- шкідливого впливу на технологічний процес або матеріали, які переробляються.

Умовою електростатичної іскробезпеки об'єкта по ГОСТ 12.1.018-93 є виконання співвідношення: $W < kW_{\min}$, де W – максимальна енергія розрядів, які

					141.4367cm3.БР.ПЗ.Р5	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		73

можуть виникнути усередині об'єкта, Дж; k – коефіцієнт безпеки, який вибирається з умов допустимої (безпечної) імовірності; в випадку неможливості визначення імовірності приймають рівним 0,4; $W_{\min}$ – мінімальна енергія запалювання речовин та матеріалів, Дж.

Методи експериментального визначення мінімальних енергій запалювання паро-, газо- та пилоповітряних середовищ при нормальній температурі та атмосферному тиску викладені в ГОСТ 12.1.044-89. Ступінь електризації поверхні речовин вважається безпечним, коли виміряне максимальне значення поверхневої щільності заряду, напруженості або потенціалу на будь-якій ділянці цієї поверхні не перевищує гранично допустимого значення для даної зарядженої речовини, навколишнього середовища та середовища, що може проникнути до об'єкта. При заданих тиску та температурі гранично допустимим вважається таке максимальне значення щільності заряду, напруженості поля чи потенціалу, при якому ще виконується умова електростатичної іскробезпеки.

Дія статичної електрики на людину вважається безпечною, коли іскрові розряди відсутні, а рівні напруженості електростатичного поля на робочих місцях не перевищують допустимих значень, які визначаються згідно з ГОСТ 12.1.045-84.

Заходи по захисту від статичної електрики. Для запобігання можливості виникнення небезпечних розрядів з поверхні обладнання, речовин, що перероблюються, а також з тіла людини необхідно передбачати, з урахуванням особливостей робіт і заходи, які можуть забезпечити відведення заряду:

- зниження інтенсивності генерації заряду статичної електрики;
- відведення заряду шляхом заземлення обладнання та комунікацій, а також забезпечення постійного електричного контакту з заземленням тіла людини;
- відведення заряду шляхом зменшення питомого об'ємного та поверхневого електричного опору;
- нейтралізація заряду шляхом використання різних засобів захисту від статичної електрики по ГОСТ 12.4.124-83.5.1.2.

					141.4367cm3.БР.ПЗ.Р5	Арк.
						74
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для зниження інтенсивності виникнення заряду:

- скрізь, де це технологічно можливо, горючі гази повинні очищатися від завислих рідинних та твердих частинок, рідини;
- захист від забруднення нерозчинними твердими та рідинними домішками;
- скрізь, де цього не вимагає технологія проведення робіт, повинно бути виключено розбризкування, дроблення, розпилення речовин.

У випадку використання обладнання, яке виготовлене з матеріалів з питомим об'ємним електричним опором більше $10^5 \text{ Ом} \cdot \text{м}$, необхідно керуватися вимогами розділу 5.8.

У випадку переробки та транспортування в електропровідному обладнанні (див. п.5.8.1) без розпилення та розбризкування речовин, які мають питомий об'ємний електричний опір менше $10^5 \text{ Ом} \cdot \text{м}$, використання засобів захисту від статичної електрики не потрібно.

Перевірка заземлення на судах. Справність захисних заземлень переносного електрообладнання необхідно перевіряти кожен раз перед його видачею для роботи. Усе переносне електрообладнання має бути зареєстроване в Журналі обліку переносних споживачів струму, у якому робиться відмітка про їх справність і видачу під розпис.

Не допускається встановлення будь-яких запобіжників чи вимикачів у розрив кола заземлювальних проводів чи шин.

Опір ізоляції суднової мережі, окремих ділянок мережі й електрообладнання має систематично перевірятись і підтримуватись у межах нормативних вимог. Загальний опір суднових кіл суден, що не мають у символі класу знаку автоматизації, необхідно вимірювати щитовим мегомметром з такою періодичністю:

- а) силових мереж – не рідше ніж кожні 2 години;
- б) освітлювальних мереж – не рідше 1 разу за вахту;
- в) аварійних генераторів – не рідше 1 разу за добу;
- г) головних і допоміжних генераторів, що вмикаються в міру потреби (резервних, стоянкових) – не рідше 1 разу за добу.

					141.4367cm3.БР.ПЗ.Р5	Арк.
						75
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вимірювання опору ізоляції електрообладнання повинні проводитись переносними мегомметрами за знятої напруги не рідше одного разу на місяць з занесенням результатів у Журнал технічного стану.

Вимірювання опору ізоляції необхідно проводити також у таких випадках:

- а) у разі підготовки електрообладнання до роботи після виведення з дії;
- б) у разі введення електрообладнання в дію після ремонту або тривалої перерви в роботі (понад 1 місяць);
- в) перед наданням для використання пересувного або переносного електрообладнання і ручного електроінструменту.

Контроль суднових приладів. Усі електровимірювальні прилади суднової електроенергетичної системи мають бути перевірені й опломбовані контрольними організаціями. Щитові та переносні електровимірювальні прилади постійного та змінного струму повинні проходити перевірку один раз на два роки відповідно до строків, передбачених правилами технічної експлуатації суднового електрообладнання.

Не допускається залишати неізольованими кінці проводів після зняття з місця електричних машин чи електричної апаратури для ремонту. Під час ремонту механізму з електроприводом його електродвигун має бути знеструмлений і на пусковому пристрої вивішений попереджувальний плакат "Не вмикати! Працюють люди!" з обов'язковим записом у вахтовому журналі про факт відключення механізму для ремонту.

Під час робіт з електрообладнанням у сирих приміщеннях (відносна вологість понад 75%), на металевих палубах, у приміщеннях з малим об'ємом та інших місцях, небезпечних щодо ураження струмом, повинні застосовуватись електрозахисні засоби.

Приміщення й палуби на суднах за рівнем небезпеки ураження електричним струмом визначаються двома категоріями:

- приміщення й палуби з підвищеною небезпекою;
- особливо небезпечні приміщення й відкриті палуби.

					141.4367cm3.БР.ПЗ.Р5	Арк.
						76
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

До приміщень і палуб з підвищеною небезпекою належать: спеціальні електричні приміщення, приміщення аварійних дизель-генераторів, закриті стернові і штурманські приміщення, приміщення корабельних автоматичних телефонних станцій; комори: шкіперські, запасних частин, майстерень, ліхтарні, мулярські, а також тамбури і коридори, що безпосередньо ведуть до цих приміщень; медичні, житлові, загальні і службові приміщення, а також з'єднані з ними коридори, вестибюлі, трапи і тамбури.

До особливо небезпечних приміщень і палуб належать:

- приміщення і місця, де електрообладнання має працювати під водою;
- відкриті палуби, які може заливати вода; рефрижераторні трюми, склади і комори;
- машинні і котельні приміщення;
- приміщення холодильних машин;
- агрегатні приміщення для палубних механізмів і підрулювальних пристроїв;
- насосні відділення;
- акумуляторні приміщення; морозильні відділення;
- румпельне відділення;
- шахти гідроакустичної апаратури;
- лазні, душові, пральні, приміщення для миття посуду;
- умивальні, туалети, сушильні, камбузи і комори для провізії.

Виконання робіт судновим електротехнічним персоналом.

Роботи з електроустаткуванням напругою понад 42 В допускається проводити особі електротехнічного персоналу під наглядом іншої особи, що забезпечує безпеку. Виконання будь-яких електроремонтних робіт (навіть заміна електроламп) має здійснюватись судновим електротехнічним персоналом.

Роботи в суднових електроустановках поділяються на такі, що виконуються:

- зі зняттям напруги;
- без зняття напруги на струмовідних частинах;

					141.4367cm3.БР.ПЗ.Р5	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		77

- без зняття напруги на відстані від струмовідних деталей, що перебувають під напругою.

Під час виконання робіт без зняття напруги має бути виключено випадкове наближення працівників і використовуваного ними інструменту до струмовідних частин. Чищення і ремонт суднового електрообладнання необхідно проводити зі зняттям напруги.

В аварійних ситуаціях допускається виконання цих робіт зі зняттям напруги тільки на тих ділянках, на яких виконуються роботи. Аварійні роботи під напругою проводяться не менше ніж двома особами електротехнічного персоналу під спостереженням та за вказівкою електромеханіка чи особи, що виконує його обов'язки, яка може входити до складу виконавців робіт. За неможливості зняття напруги, як виняток, може бути допущено ведення аварійних робіт під напругою не вище 380 В з дотриманням заходів безпеки і тільки з дозволу старшого (головного) механіка судна.

До закінчення робіт не допускається знімати і переставляти тимчасові огороження.

Перед виконанням робіт зі зняттям напруги на робочому місці необхідно:

- виконати необхідні відключення і вжити заходів для запобігання подачі напруги до місця роботи в разі помилкового включення комутаційної апаратури;
- на приводах ручного і на ключах дистанційного керування комутаційною апаратурою вивісити попереджувальні плакати;
- перевірити відсутність напруги на струмовідних частинах, які повинні бути заземлені (уключені заземлювальні ножі або, за їх відсутності, встановлено переносне заземлення);
- установити огороження робочих місць і струмовідних частин, що залишилися під напругою;
- розрядити конденсатори, що входять до схеми обладнання, яке ремонтується.

					141.4367cm3.БР.ПЗ.Р5	Арк.
						78
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Перед виконанням робіт з частковим зняттям напруги струмовідні частини, що залишаються під напругою і до яких може випадково доторкнутись працівник, мають бути огорожені тимчасовою огорожею з ізолювальних матеріалів.

На тимчасовій огорожі необхідно вивісити попереджувальні плакати „**Стій! небезпечно для життя!**” (для установок напругою до 1000 В) і „**Стій! Висока напруга!**” (для установок напругою 1000 В і вище).

Установлення огорожі слід проводити в діелектричних рукавичках, стоячи на ізолювальній підставці.

Робота на струмовідних частинах електрообладнання, розміщеного в сирих, пожежонебезпечних та вибухонебезпечних приміщеннях допускається тільки після зняття напруги на цих частинах. Не допускається торкатися, обтирати та чистити неізольовані струмовідні частини електрообладнання, що перебувають під напругою, без відповідних засобів захисту. Огляд електрообладнання, пускових і розподільних пристроїв, пультів керування тощо допускається виконувати тільки електротехнічному персоналу. Заміна перегорілих запобіжників має проводитися після зняття напруги. Виняток складають пробкові й трубчасті запобіжники на силу струму до 15 А, при цьому необхідно користуватися діелектричними рукавичками, ізолювальними кліщами та захисними окулярами. Заміну перегорілих запобіжників допускається проводити тільки після виявлення та усунення причини перегорання.

У разі самовільного вимикання споживача електроенергії, що має вимикач закритого виконання чи вимикач з дистанційним приводом, допускається повторне одноразове ввімкнення його без перевірки. На держаках рубильників, приводів вимикачів та роз'єднувачів, а також на пускових кнопках апаратури, якими може бути подана напруга на обладнання, яке ремонтують, особою, що вимикає напругу, вивішуються плакати "**Не вмикати! Працюють люди!**".

Під час аварійних робіт на невідключених струмовідних частинах необхідно:

а) працювати в діелектричних калошах або стоячи на діелектричному килимку і в захисних окулярах;

					141.4367cm3.БР.ПЗ.Р5	Арк.
						79
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- б) користуватись діелектричними рукавичками;
- в) обгородити сусідні струмовідні частини, що перебувають під напругою, а також заземлені конструкції діелектричними матеріалами;
- г) працювати в комбінезоні зі спущеними і застебнутими біля кистей рук рукавами і в головному уборі.

Не допускається під час робіт під напругою користуватись ножівками, напилками, металевими метрами та іншими металевими інструментами. Електророботи на щоглах мають виконуватись після зняття напруги і зняття запобіжників на щитках. Біля основи щогли або на містку має бути спостережник за працівниками на щоглі. Для унеможливлення зворотного трансформування напруги через трансформатори (силові, освітлювальні), пов'язані з вимкненням обладнання, мають бути вимкнені трансформатори з боку як первинної, так і вторинної напруги.

Виконання ремонтних робіт несудновим електротехнічним персоналом

Особи несуднового складу, направлені на судно для огляду та ремонту електрообладнання, допускаються до виконання робіт тільки з дозволу головного (старшого) механіка судна чи особи, що його замінює, у супроводі та під наглядом електромеханіка чи особи, що його замінює.

До робіт з ремонту суднового електрообладнання допускаються працівники судноремонтних підприємств, які мають відповідну кваліфікацію та з ними проведено інструктаж щодо знання додержання правил охорони праці.

Перед тим, як допустити бригаду сторонніх працівників (далі – **бригада**) до роботи з ремонту суднового електроустаткування під напругою або за частково знятої напруги, мають бути:

- а) проведені технічні заходи, що забезпечують безпеку виконання робіт (вимкнення живлення, вивішування плакатів, установка огорожень тощо);
- б) підготовлене робоче місце;
- в) у разі виконання вогнебезпечних робіт перевірена наявність дозволу пожежної охорони;

					141.4367cm3.БР.ПЗ.Р5	Арк.
						80
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

г) вказані місця розташування протипожежного інвентарю і виставлений пожежний вахтовий зі складу суднового екіпажу;

г) вказані розташовані поблизу частини устаткування, що перебувають під напругою;

д) проведений інструктаж про особливості будови електроустаткування, що ремонтується.

У Машинному електротехнічному журналі під час запису про допуск бригади до роботи треба перелічити: вимикачі, роз'єднувачі, рубильники та інші пристрої, вимкнені на час проведення даної роботи (у тому числі й ті, що в момент підготовки місця роботи вже перебувають у вимкненому стані), установлені огороження й вивішені попереджувальні плакати.

Умикання електрообладнання здійснює електромеханік судна після одержання усного повідомлення від керівника ремонтної бригади про завершення робіт. Електромеханік у присутності керівника ремонтної бригади ретельно оглядає і приймає відремонтоване електрообладнання, виконує перевірку опору ізоляції, справність заземлень, знімає тимчасові плакати і огорожі, установлює на місце постійні огорожі, робить запис у Машинному електротехнічному журналі про закінчення робіт, після чого вмикає електрообладнання.

З моменту допуску бригади до робіт нагляд за безпекою й запобіганням неправильним діям ремонтного персоналу покладається на керівника заводської бригади (майстра, бригадира), який повинен весь час перебувати на місці виконання робіт.

Обслуговування установок напругою понад 1000 В. За наявності напруги, а також збудження на генераторах напругою 1000 В і вище перебування людей у розподільному пристрої установки не допускається.

Усі струмовідні частини суднового електрообладнання, що перебувають під напругою, мають бути огорожені для запобігання випадкового торканні до них обслуговувального персоналу. На огороженнях повинні бути застережні знаки та написи. Усі металеві частини, що можуть потрапити під високу напругу, мають

					141.4367cm3.БР.ПЗ.Р5	Арк.
						81
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

бути надійно заземлені. Справність захисного заземлення повинна регулярно перевірятись, помічені несправності мають бути усунені.

Двері, що ведуть до розподільних щитів та до приміщень, де встановлені трансформатори, комутаційна та захисна апаратура, мають бути завжди замкнуті. Ключі від них мають зберігатись у вахтового електромеханіка. Двері розподільних пристроїв повинні мати електроблокування, що допускає відчиняти їх тільки після зняття напруги. Блокування має бути завжди справним. Не допускається виводити з дії блокування дверей, щитів та пультів управління гребної установки.

Поблизу розподільних пристроїв високої напруги мають бути розміщені чіткі принципові електричні схеми.

Не допускається проходити за розподільний щит для огляду й ремонту за наявності напруги.

Під час обслуговування електрообладнання нагляд за станом колекторів (кілець), щіток, щіткотримачів та інших внутрішніх струмовідних частин електричних машин під час їх роботи слід вести через оглядові віконця.

					141.4367cm3.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 судна проєкту PV24 на базі *MS-Excel* по суміщеній статистичній і табличній методиці, яка дозволяє швидко коригувати результати розрахунків СЕЕС.

2. Розроблено імітаційну модель суднового синхронного генератора з врахуванням фази струму навантаження, яка враховує залежність напруги від частоти обертів, кількості полюсів, напруги збудження і струму навантаження генератора і може використовуватись для дослідження динаміки суднових дизель-генераторів.

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

					141.4367ст3.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 судових 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. Состоялся спуск на воду головного грузопассажирского судна проекта PV24 [Електронний ресурс]: [Веб-сайт]. – Морское инженерное бюро 2021. – Режим доступа: <http://meb.com.ua/news/news.html?1984> (дата звернення 12.09.2021) – Назва з екрана.

5. ПРОЕКТ PV24. Грузопассажирское судно ледового плавания пассажировместимостью 36 человек для Камчатки [Електронний ресурс]: [Веб-сайт]. – Морское инженерное бюро 2021. – Режим доступа: <http://meb.com.ua/pas/PV24.html> (дата звернення 12.03.2021) – 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.

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

					141.4367ст3.БР.ПЗ.Список джерел	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		85

8. Правила регистра України. Правила класифікації і постройки судов внутрішнього плавання. Бюлетень змін і доповнень №2. Режим доступу 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 суднових енергетичних установок», Херсон, 1995.

11. <http://sea-technics.ru/usloviya-raboty-i-trebovaniya-predyavlyaemye-k-sudovym-elektroenergeticheskim-sistemam-i-elektrostantsiyam>

12. Файл *Розрахунок СЕЕС_Анатолій Чернеєв.xls*

13. КАТАЛОГ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ АИР. Системи якості. Надійне промислове обладнання. АИР Україна. 01.05.2026. URL: https://xn--80a9y.com.ua/katalog_elektrodivigatelei_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.

15. Європейський комітет з розробки стандартів у сфері внутрішнього судноплавства (КЄССВ). Європейський стандарт що встановлює технічні вимоги до суден внутрішнього плавання (ЄС-ТВВС). Видання 2023/1

16. Закон України "Про охорону праці" (3428) [Електронний ресурс]: [Веб-сайт]. – ДНАОП законодавча база 2021 – Режим доступу: <https://dnaop.com/html/3428/doc-zakon-ukrajini-pro-ohoronu-praci> (дата звернення 25.10.2025) – Назва з екрану.

					141.4367с3.БР.ПЗ.Список джерел	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		86

17.НПАОП 28.0-1.32-13. Правила охорони праці під час фарбувальних робіт (32294) [Електронний ресурс]: [Веб-сайт]. – ДНАОП законодавча база 2021 – Режим доступу: https://dnaop.com/html/32294_3.html (дата звернення 25.02.2026) – Назва з екрана

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

19.Vanaja, B. Modelling and Simulation of Induction Motor for Electric Vehicle Applications. Int. J. Sci. Arch. Technol. Environ. 2026, <https://doi.org/10.63680/ijstate0426152.119>.

					141.4367стЗ.БР.ПЗ.Список джерел	Арк.
						87
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 Дьяченко Владиславу Андрійовичу

1. Тема роботи: «Розрахунок параметрів електроенергетичної системи вантажно-пасажирського судна проєкту PV24»

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. Аналіз роботи компонентів дизель-генератора
4. Моделювання елементів суднових дизель генераторів
5. Охорона праці

5. Перелік презентаційних матеріалів:

1. Ціль і задачі роботи
2. Вантажопасажирське судно проєкту PV24
3. Структурна схема СЕЕС
4. Система фазового компаундування
5. Модель синхронного генератора
6. Модель системи регулювання напруги
7. Графіки процесів при накиді і скиданні повного навантаження
8. Висновки по роботі