

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

Навчально науковий інститут автоматики та електротехніки

Кафедра суднових електроенергетичних систем

«Допущений до захисту»

Завідувач кафедри

Обрубов А. В.


(підпис)

«05» червня 2026 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття ступеня вищої освіти «бакалавр»

на тему:

«Розрахунок параметрів електроенергетичної системи суховантажного судна проєкту RSD32M»

Виконав: студент групи 4361



(підпис)

Веретнов Д. О.

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 Веретнову Давиду Олександровичу

1. Тема роботи: «Розрахунок параметрів електроенергетичної системи суховантажного судна проєкту RSD32M»

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. Суховантажне судно проєкту RSD32M
3. Структурна схема СЕЕС
4. Дослідження роботи дизеля
5. Імітаційна модель системи регулювання частоти обертання коленвалу дизеля
6. Графіки сигналу регулювання
7. Імітаційна модель дизеля

6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання _____ 15.02.2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

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

Студент



(підпис)

Веретнов Д. О.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи



(підпис)

Обрубов А.В.

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Бакалаврська робота присвячена створенню суміщеної статистично-табличної методики розрахунку потужностей суднової електростанції і розробці моделей компонентів судових дизель-генераторів. Розроблена методика дозволяє швидко отримати результат і коригувати вхідні дані. Розроблена імітаційна модель дозволяє дослідити динаміку судового дизель-генератора і експериментально-аналітичним шляхом налаштувати параметри регуляторів дизель-генераторної установки.

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

В другому розділі зроблено перевірочний розрахунок потужностей суднової електростанції.

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

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

В п'ятому розділі наведено розгляд питань охорони праці.

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

Об'єм роботи складає 86 сторінок, 21 ілюстрація, 4 таблиці і 8 слайдів.

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

ABSTRACT

The bachelor's thesis is devoted to the development of a combined statistical-tabular method for calculating the electrical power of a ship power plant and to the development of component models of ship diesel generators. The developed method makes it possible to quickly obtain results and adjust the input data. The developed simulation model allows the study of the dynamics of a ship diesel generator and enables experimental and analytical tuning of the parameters of the diesel-generator unit controllers.

The first chapter presents an overview of the ship characteristics and its electric power system.

The second chapter contains a verification calculation the electrical power of a ship power plant.

The third chapter provides an analysis of the operation of diesel-generator unit components.

The fourth chapter describes the developed simulation models and the results of simulation experiments.

The fifth chapter provides a review occupational safety issue.

Structure and scope of the bachelor's thesis. The thesis consists of an introduction, five chapters, conclusions, a list of references, and appendices.

The total volume of the thesis is 86 pages, including 21 figures, 4 tables, and 8 slides.

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

					141.4361.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. Багатоцільове суховантажне судно дедвейтом 6328 / 3940 тонни типу проекту RSD32M.....	11
1.2. Визначення електроенергетичної установки	15
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 суховантажного судна проекту RSD32M	39
2.5. Вибір кількості й потужності генераторних агрегатів основної електростанції.....	48
Розділ 3. Аналіз роботи дизельного двигуна судового дизель-генератора ..	52
3.1. Параметри судових двигунів	52
3.2. Побудова та принцип дії судового дизеля	54
3.3. Компресійний момент дизеля.....	56
3.4. Робочий цикл дизелю	61

Розділ 4. Експериментальне дослідження системи за допомогою імітаційного моделювання	65
4.1. Система управління дизелем	65
4.2. Імітаційна модель дизеля і регулятора частоти обертів.....	71
Розділ 5. Охорона праці	78
Висновки.....	83
Список використаних джерел.....	84

					141.4361.ПЗ.Зміст	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Список умовних позначень та скорочень

АРЩ – аварійний розподільчий щит

ГЕУ – головна енергетична установка

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

ГРЩ – головний розподільчий щит

ДВЗ – двигун внутрішнього згоряння

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

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

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

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

СЕЕС – суднова електроенергетична система

СЕС – суднова електростанція

					141.4361.БР.ПЗ.Список скорочень	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 с 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. 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 RSD32M. Складення електронної таблиці розрахунків потужностей СЕЕС і розробка корисних моделей основних елементів дизель-генератора.

Задачі, які вирішувались в роботі:

- Огляд характеристик судна проєкту RSD32M і його електроенергетичної системи;
- Розрахунки потужностей генераторів суднової електростанції;

					141.4361.БР. ПЗ. Вступ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

- Аналіз роботи суднового дизеля в складі дизель-генераторної установки;
- Синтез імітаційної моделі суднового дизеля;
- 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 судових 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 судової 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 судової електростанції, синтез імітаційної моделі суднового дизеля, експерименти з налаштувань регуляторів частоти обертів коленвалу дизеля, розгляд питань охорони праці.

					141.4361.БР.ПЗ.Р1			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Огляд характеристик судна і його електроенергетичної установки	Літ.	Аркуш	Аркушів
Студент	Веретнов Д. О.							
Керівник	Обрубов А. В.							
Консультант						НУК		
Зав. каф.	Обрубов А. В.							

Розділ 1. Огляд характеристик судна і його електроенергетичної установки

1.1. Багатоцільове суховантажне судно дедвейтом 6328 / 3940 тони типу проекту RSD32M

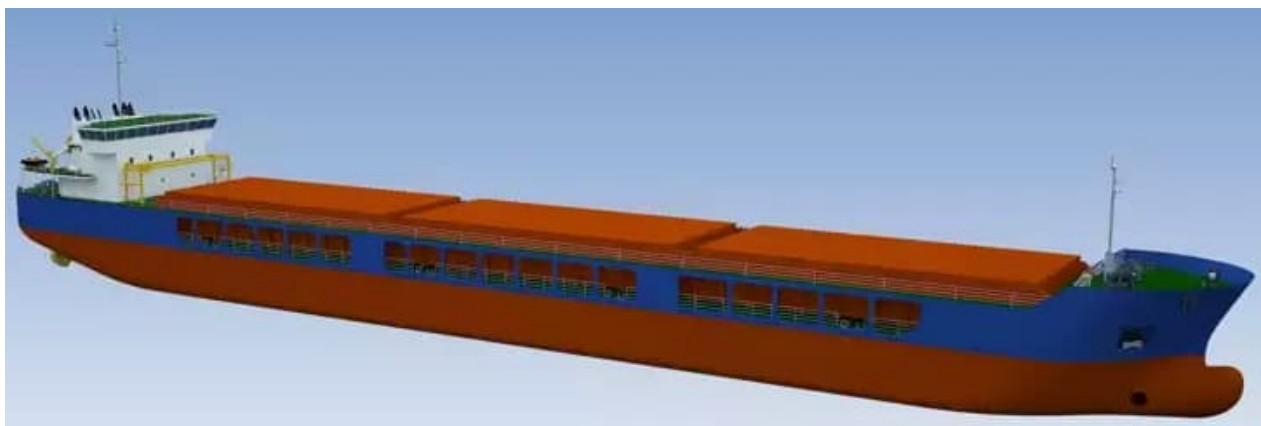
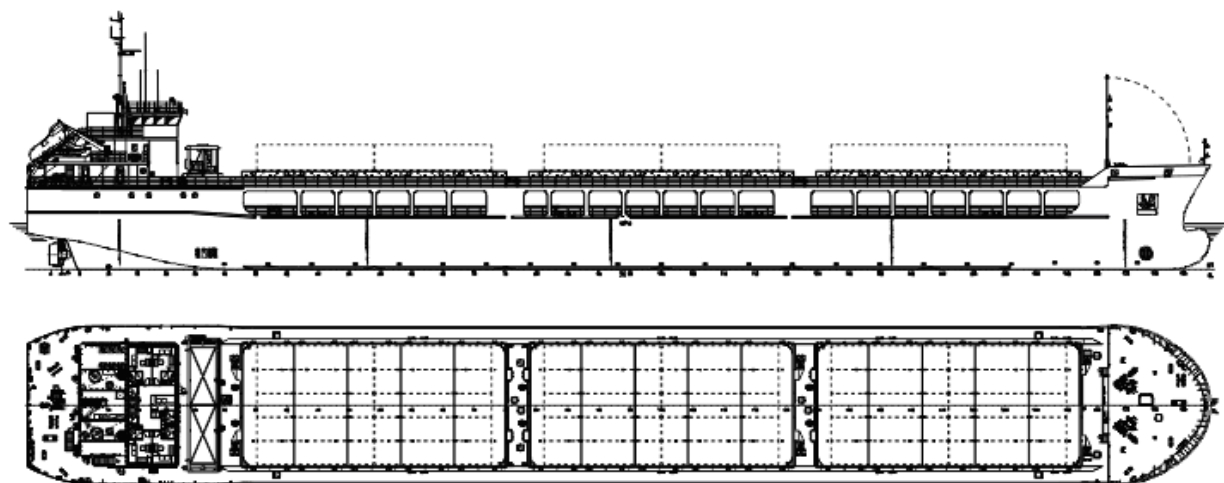


Рис. 1.1. Ілюстрації-ескізи зовнішнього виду судна проекту RSD32M [2]

Призначення судна – морське й змішане (ріка-море) перевезення генеральних і навалочних вантажів (у тому числі зерна), пакетованих пиломатеріалів, круглого лісу, металобрухту, металу у зв'язуваннях і рулонах, великогабаритних, довгомірних і великовагових вантажів, вугілля, небезпечних вантажів класів 1, 2, 3, 4, 5, 6.1, 8, 9 відповідно до МК МПОГ і вантажів категорії "В" із МК МПНГ [2].

12 грудня 2018 року було урочисто спущене на воду головне багатоцільове суховантажне судно дедвейтом 6220 тон проекту RSD32M "Навіс-1" (будівельний номер 3201) [3].

					141.4361.БР.ПЗ.Р1	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11



Рис.1.2. Фото судна проекту RSD32M, автор Сергій Морозов

Проект RSD32M розроблений Морським Інженерним Бюро м. Одеса [4].
Замовник – ПАО "Державна лізингова транспортна компанія",
лізингоотримувач – компанія "Навіс-1". Усього замовлено вісім
багатоцільових суховантажних судів проекту RSD32M. Суду проекту
RSD32M [5] відповідно до прийнятої в Бюро класифікації ставляться до класу
"Азовський п'ятитисячник", тобто в якості основного цільового завдання
можуть перевозити "класичні" партії зерна в 5000 тон із портів Азовського й
Каспійського морів при характерній у цих районах осіданню 4,20 м.

По своїй філософії, суду проекту RSD32M покликано замінити застарілі
морально й фізично "Сормовские" і "Волго-Балти", які активно працюють
саме в цьому сегменті перевезень. Для довідок за даними на 2017 рік:

- з 152 "Волго-Балтов" проектів 2-95 і 2-95A/R будівлі ЧССР
(будувалися в 1967-1984 роках) списано 35,5% – 54 (17% – 9 судів загублені в
катастрофах, утилізоване – 45 судів). В експлуатації 91 судно середнім віком
40,5 років, у відстїю 7 судів середнім віком 45,7 року. Середній вік утилізації
– 40 років.

Якщо ж виділити першу серію з 73 "Волго-Балтов" проекту 2-95
(будувалися в 1967-1974 роках), то з них списано 60% – 44 судна (16% – 7
судів загублені в катастрофах, утилізовано в ХХІ столітті 51% – 37 судів, до
2000 року – 1 судно). В експлуатації 27 судів середнім віком 46, 4 роки.

					141.4361.БР.ПЗ.Р1	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 1.1. Основні характеристики судна проєкту RSD32M

#	Параметр	Величина
1.	Головні розміри	
	Довжина максимальна, м	123.17
	Довжина між перпендикулярами, м	116.72
	Ширина габаритна, м	16.75
	Ширина розрахункова, м	16.50
	Висота борту, м	5.50
	LxВxН, м	123.17 x 16.75 x 5.50 = 11 347
2.	Осад по ватерлінії (ЛГВЛ) у морі, м	4.745
3.	Осад в ріці, м	3.60
4.	Дедвейт у морі при осадці по ЛГВЛ, т	6328
5.	Дедвейт у морі при осадці T=4.20м, т	5157
6.	Дедвейт у ріці при осадці T=3.60м, т	3940
7.	Автономність (у морі / у ріці), діб	20/15
8.	Кількість вантажних трюмів	3
9.	Обсяг вантажних трюмів, м³	8804
10.	Контейнеромісткість (трюму / палуби), TEU	240 (180 / 60)
11.	Обсяг баластових танків, м³	2451
12	Специфікаційний питомий вантажний об'єм (УПО), м³/т:	
	при осадці по ЛГВЛ (у морі)	1.49
	при осадці T=4.20м (у морі)	1.81
	при осадці T=3.60м (у річці)	2.06
13	Клас Українського Морського Регістру Судноплавства	KM★ Ice1 R2 AUT1-ICS BWM(T) CONT (deck, cargo holds Nos.1,2,3) DG (bulk, pack)
14	Потужність ГД, кВт	2 x 1100
15	Гвинто-кермовий комплекс	2 гвинторульові колонки (ВРК)
16	Носовий пристрій, що підрулює, кВт	120
17	Допоміжні генератори:	
	Дизель-генератори, кВт	3 x 160
	Аварійний дизель-генератор, кВт	1 x 80
18	Екіпаж / місць, чіл.	11/14
19	Швидкість (при осадці по ЛГВЛ і 85% від максимальної тривалої потужності (МДМ)), вузли	10.0

- з 121 "Сормовских" проєкту 1557 (будувалися в 1967-1986 роках) списано 39,7% – 48 (17% – 8 судів загублені в катастрофах, утилізоване – 40 судів). В експлуатації 63 судна середнім віком 39 років. Середній вік утилізації – 38, 4 роки. У відстїю перебуває 10 судів середнім віком 43,5 року – вони найімовірніше також будуть здані на металобрухт.

Судна проєкту RSD32M можуть використовуватися для транспортування генеральних і навалочних вантажів (у тому числі зерна), пакетованих пиломатеріалів, круглого лісу, металобрухту, металу у зв'язуваннях і рулонах, великогабаритних, довгомірних і великовагових вантажів, вугілля, небезпечних вантажів класів 1, 2, 3, 4, 5, 6.1, 8, 9 відповідно до МК МПОГ і вантажів категорії "В" із МК МПНГ на внутрішніх водних шляхах європейської частини Євразії, в Азовському морі, а також у Каспійському, Чорному, Середземному, Балтійськом, Білому, Північному морях, включаючи рейси навколо Європи й в Ірландське море взимку. Маючи меншу в порівнянні із судами "Волго-Дон макс" класу розрахункову довжину, судна проєкту RSD32M дешевше в будівлі й більш економічні в експлуатації. Проєкт розроблений на клас КМ★ Ice1 R2 AUT1-ICS CONT (deck, cargo holds Nos.1,2,3) DG (bulk, rack) Міжнародної спілки класифікаційних товариств й задовольняє всім вимогам Міжнародних Конвенцій, що діють на момент закладки судна. При характеристичній для ВДСК осаді 3,60 м у ріці дедвейт становить близько 3833 тон, при характеристичній для Азовських і Каспійських портів осіданню 4,20 м у море – близько 5157 тон, найбільший дедвейт у море при осаді 4,745 м – близько 6221 тон. Довжина найбільша становить 123,17 м, ширина габаритна – 16,75 м, висота борту – 5,50 м. Місткість вантажних трюмів 8804 куб. м, кількість трюмів – 3. Усі три трюми виконані ящикової форми, гладкостінні, зручні для проведення вантажних робіт і розміщення вантажу без штивки. Пропульсивна установка складається із двох повноповоротних гвинто-кермових колонок, що поєднують властивості рушіїв і засобів керування в єдиному комплексі, що дозволяє суттєво поліпшити маневрені якості судна. У якості головних двигунів

					141.4361.БР.ПЗ.Р1	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

використовуються два середньооборотних дизеля потужністю 1180 кВт кожний. Запаси палива розміщаються в диптанках у районі носового перебирання МО. Швидкість експлуатаційна становить 10,0 вузлів. Автономність плавання в море становить 20 доби. Екіпаж – 11 людей, місць – 14. Передбачена каюта для лоцмана. Розрахунковий термін служби корпусу судна 24 роки. Друге дно розраховане на інтенсивність розподіленого навантаження 10,0 т/кв. м, а також на роботу грейфером. Головне судно проєкту RSD32M "Навіс-1" (будівельний номер 3201) було закладено 22.05.18. Спущено на воду 12.12.18. Здано 29.05.19. Друге судно "Навіс-2" (будівельний номер 3202) було закладено 26.06.18. Спущено на воду 28.02.19. Здано 29.05.19. Третє судно "Навіс-3" (будівельний номер 3203) було закладено 22.08.18. Спущено на воду 02.04.19. Здано 03.07.19. Четверте судно "Навіс-4" (будівельний номер 3204) було закладено 21.09.18. Спущено на воду 15.05.19. Здано 30.07.19. П'яте судно "Навіс-5" (будівельний номер 3205) було закладено 27.11.18. Спущено на воду 27.06.19. Здано 29.08.19. Шосте судно "Навіс-6" (будівельний номер 3206) було закладено 27.12.18. Спущено на воду 30.07.19. Здано 30.09.19. Сьоме судно "Навіс-7" (будівельний номер 3207) було закладено 15.02.19. Спущено на воду 30.08.19. Здано 05.11.19. Восьме судно "Анатолій Миколаїв" (будівельний номер 3208) було закладено 28.03.19. Спущено на воду 01.10.19. Здано 15.11.19.

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.

					141.4361..ПЗ.Р1	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

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 6, 12, 24, 110 і 220 в, так і змінного струму напругою 6, 12, 24, 127, 220 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 220 В або 110/127 В, а для низьковольтного освітлення – 6, 12 і 24 В. На танкерах і нафтоналивних судах напруга мережі висвітлення не повинне перевищувати 110 В у при постійному струмі й 127 В – при змінному.

					141.4361.ПЗ.Р1	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

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 380/220 В, 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 каркасі щита визначається числом електрогенераторів і кількістю судових споживачів струму.

Згідно із Правилами Регістру [6, 7, 8] на морських судах допускається установка розподільних щитів тільки закритого типу. Такі щити відрізняються тим, що на їхній лицьовій стороні на панелях розміщують тільки

					141.4361.ПЗ.Р1	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

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 «Навіс-1» має автономну магістрально-фідерну СЕЕС на рис.1.3 з трьома основними дизель-генераторними агрегатами.

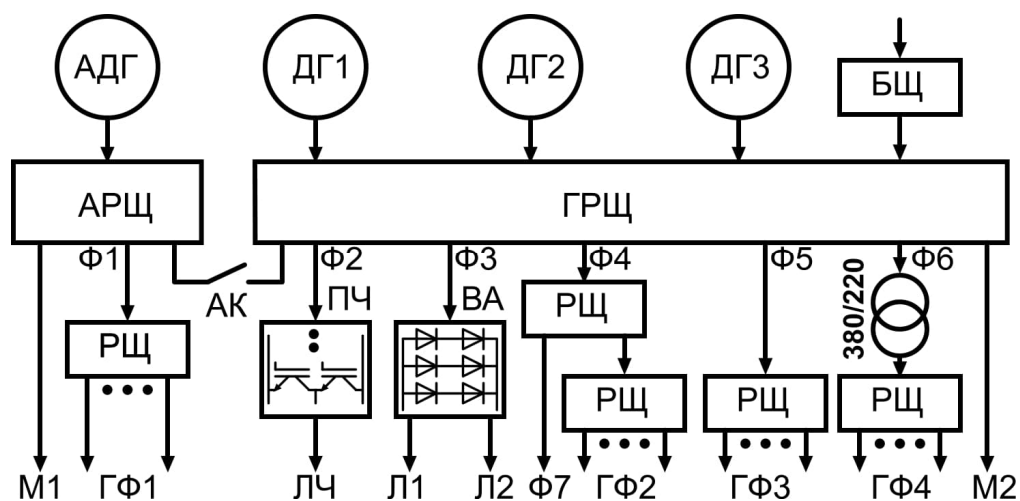


Рис.1.3. Функціональна схема СЕЕС суховантажного судна:

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, Л1 і Л2 – лінії випрямленої напруги, ГФ1-ГФ4 – групи фідерів живлення

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

					141.4361.БР.ПЗ.Р1	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

розподільчі щити РЩ, які розташовані в різних місцях на судні. До локальних РЩ підключаються кінцеві споживачі електроенергії через групи фідерів ГФ2-ГФ4. Розгалужені споживачі (наприклад, освітлення) а також нестационарні споживачі (наприклад, електроінструмент) можуть підключатися до живлення через магістралі М2, які пролягають через всі робочі простори судна.

Для заряду акумуляторних батарей та живлення інших споживачів постійного струму 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 проєкті 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 СЕЕС суховантажного 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 I II і III ГРЩ через автоматичні вимикачі АВГ1, АВГ2, АВГ3, які захищають дизель-генератори від перевантажень.

					141.4361.БР.ПЗ.Р1	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

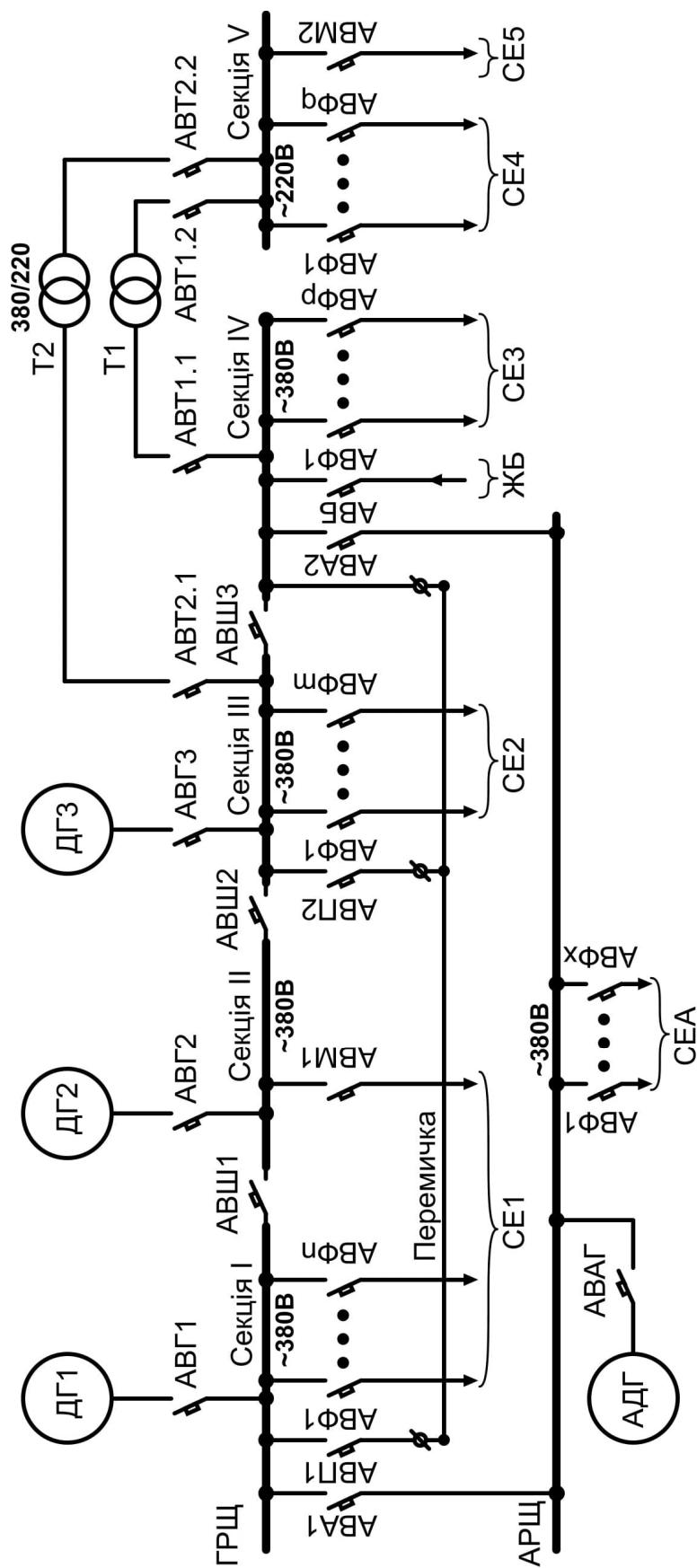


Рис.1.4. Структурна однолінійна схема СЕЕС суховантажного судна:

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-АВФд, 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, АРЩ – аварійний розподільчий щит, АДГ – аварійний дизель-генераторний агрегат, АВАГ – автоматичний вимикач аварійного генератора, СЕА – споживачі електроенергії в аварійному режимі

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,

					141.4361.БР.ПЗ.Р1	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

АВФ1-АВФq, АВФ1-АВФх і автоматичні вимикачі магістралей АВМ1 і АВМ2. Також в суднових ГРЩ використовується автоматика управління дизелями, регулювання напруги генераторів, автоматична синхронізація, управління резервним та аварійним живленням, підключенням та відключенням окремих груп споживачів електроенергії.

Таким чином, на кожній генераторній секції ГРЩ змінного струму (секції I II і III), є апаратура і автоматика, яка призначена для керування роботою синхронного генератора й контролю над ним. В склад цієї апаратури обов'язково входять наступні прилади й апарати, що установлюються 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

					141.4361.ПЗ.Р1	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

інерційність спрацьовування – порядку 10-100нс. Напруга спрацьовування обмежуючих 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 К1.1-К3.2, які працюють за принципом «виключного АБО». Пари контактів К1.1 і К1.2, К2.1 і К2.2, К3.1 і К3.2 ніколи не вмикаються разом. Тільки окремо, підключаючи в довільних сполученнях навантаження Н1, Н2, Н3 до збірних шин Ш1 або до Ш2.

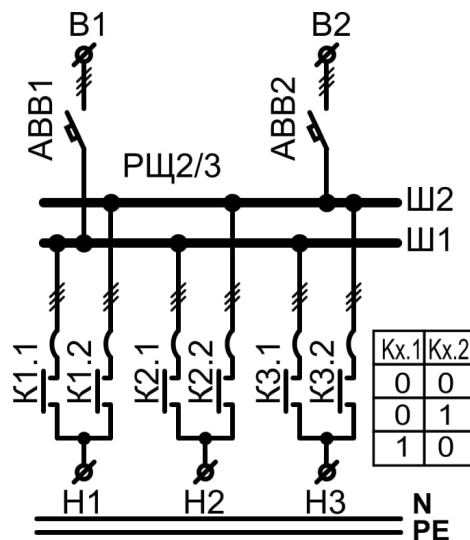


Рис.1.5. Схема локального розподільчого щита РЩ з двома входами і трьома навантаженнями: В1 і В2 – клемники входів живлення, АBB1 і АBB2 автоматичні вимикачі входів, Ш1 і Ш2 – збірні силові шини, К1.1 і К1.2, К2.1 і К2.2., К3.1 і К3.2 – контактори з тепловими реле, Н1-Н3 – клемники підключення навантажень, 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° 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 урахувати скрутність суднових приміщень, що утрудняє проведення оглядів і ремонтів електроустаткування.

Перераховані несприятливі умови утрудняють нормальну роботу судового 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 судові 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

					141.4361.БР.ПЗ.Р1	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

майстерень, часто має обмежену кількість кваліфікованого обслуговуючого персоналу.

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,

					141.4361.ПЗ.Р1	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

навігаційне встаткування, рятувальні й протипожежні засоби, механізми, що забезпечують роботу головної силової установки, брашпиль і інші пристрої.

Кабельні траси прокладають у таких місцях, де вони не будуть зазнати впливу механічних зусиль, високих температур, олій, 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.

					141.4361.ПЗ.Р1	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

					141.4361.БР.ПЗ.Р2						
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							
Студент		Веретнов Д. О.				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 перевірконого 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 перевірконого розрахунку з фактичними параметрами СЕЕС не гарантується, оскільки режими описуються приблизно.

					141.4361.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*. Нижче 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_{nom} 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 $\eta_{\text{nom}} = P_{\text{nom}} / P_{\text{load}}$. Але зараз споживана потужність (потужність навантаження P_{load} СЕЕС) є не завданою.

					141.4361.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: $P_{load} = P_{nom} / \eta_{nom}$.

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.

					141.4361.БР.ПЗ.Р2	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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

					141.4361.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 з довідника, $F_3 = 0,32$ – фактор впливу коефіцієнта завантаженості на коефіцієнт потужності двигуна. Нижче на рис.2.2 наведено графік залежності коефіцієнту потужності двигуна від завантаженості для $\cos(\varphi)_{\text{ном}} = 0,92$.

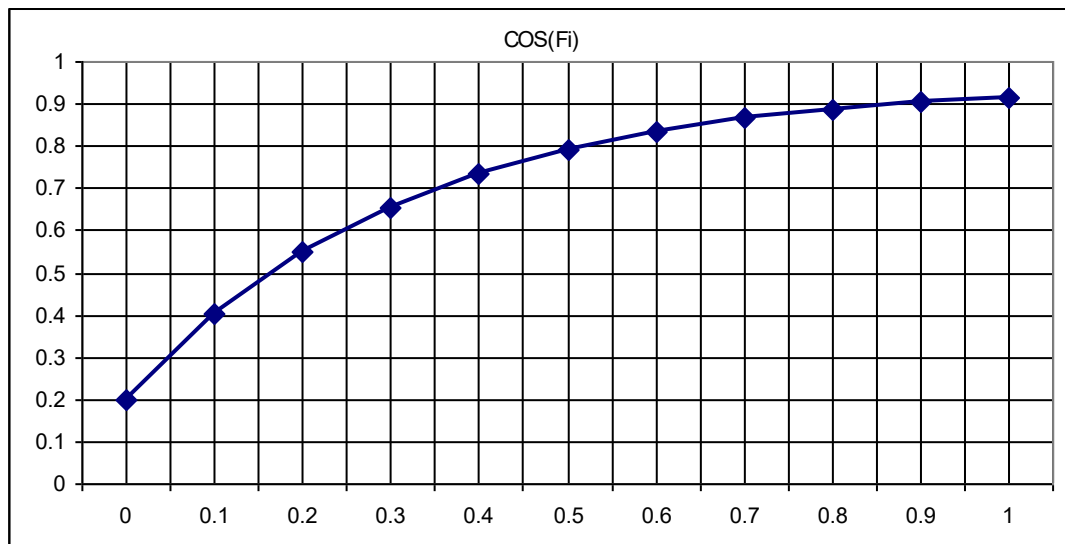


Рис. 2.1. Приблизна залежність коефіцієнту потужності асинхронних двигунів $\cos(\varphi)$ від коефіцієнту завантаженості $K_3 = 0 \dots 1$ на основі статистичних даних

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

Стовпець 13 (19, 25, 31, 37). Розраховується реактивна потужність Q групи однойменних споживачів в даному режимі роботи судна:

$$Q = P \cdot \operatorname{tg}(\varphi) = P \sqrt{1 - \cos^2(\varphi)} / \cos(\varphi).$$

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

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

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

Залежність ККД від завантаженості:

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

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

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

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

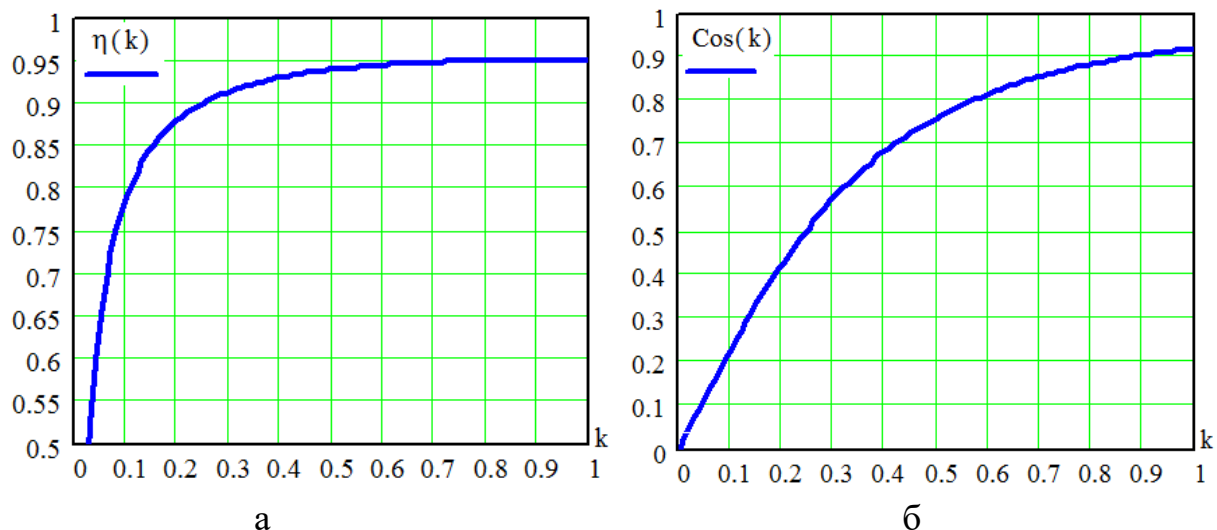


Рис.2.2. Залежності від коефіцієнту завантаженості двигуна $K_z = 0 \dots 1$:
а – ККД, б – коефіцієнт потужності

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

Уточнений ККД (2.3) вноситься в стовпчики 12, 18, 24, 30, 36 для активної потужності групи однойменних споживачів у вигляді множника

$\hat{P} = P \cdot \eta(K_3) / \eta(P_{\text{ном}})$. 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 $S_{\text{summ}} = \sqrt{P_s^2 + Q_s^2}$. (2.6)

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

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

					141.4361.БР.ПЗ.Р2	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.3. Короткі характеристики режимів роботи судна

Режим стоянки в причалі або на якорі. Для транспортних суден цей режим може підрозділятися на два режими:

- 1) стоянка без вантажних операцій (або без пасажирів);
- 2) стоянка з вантажними операціями (або з пасажирами).

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.

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 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.

					141.4361.БР.ПЗ.Р2	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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.

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.

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

					141.4361.БР.ПЗ.Р2	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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. 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.

2.4. Результати розрахунків потужностей електростанції суховантажного судна проєкту RSD32M

Далі наведено розрахунок деяких показників потужності електростанції судна "Навіс-1" статистичним методом з використанням програми *MathCAD* по формулам методики [15].

Вхідні дані:

Повна водотоннажність D, тис. тон =<11: D := 6.3

Сумарна потужність головних двигунів, N, МВт =<9: N := 2.2

Об'єм вантажних трюмів, CW, тис. м3: CW := 8.8

=====

					141.4361.БР.ПЗ.Р2	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Потужність освітлення для D=5-11 тис тон

$$PL := 10$$

СТОЯНКА З ВАНТАЖНИМИ ОПЕРАЦІЯМИ:

Потужність освітлення вантажних приміщень:

- розжарювання $PLWa4 := 2.25 \cdot CW^{0.8}$ $PLWa4 = 12.816$

- світлодіодне $PLWb4 := 0.5 \cdot CW^{0.8}$ $PLWb4 = 2.848$

Додаткова "тропічна" потужність для кондиціювання

$$Ptr := 18 \cdot D^{0.5} \quad Ptr = 45.18$$

Додаткова потужність електричного обігріву приміщень

$$Pth := 0.5 \cdot Ptr \quad Pth = 22.59$$

ХОДОВИЙ режим: Загальна потужність

$$P1 := 46 \cdot N + 1.7 \cdot D + PL + Ptr \quad P1 = 167.09$$

СТОЯНКА: Загальна потужність

$$P3 := 0.9 \cdot D + 4.2 \cdot D^{0.5} + PL + Ptr \quad P3 = 71.392$$

Потужність підйомних механізмів - лебідок А або кранів В:

- кількість механізмів: $Nwa := 1$ $Nwb := 1$

- вантажопідйомність, тон: $Gwa := 2.5$ $Gwb := 27$

- швидкість підйому, м/хв: $Vwa := 10$ $Vwb := 5$

=====

$$PWA := \left(0.53 + \frac{1.05}{Nwa} \right) \cdot 0.15 \cdot Nwa \cdot Gwa \cdot Vwa \quad PWA = 5.925$$

$$PWB := \left(0.53 + \frac{1.05}{Nwb} \right) \cdot 0.15 \cdot Nwb \cdot Gwb \cdot Vwb \quad PWB = 31.995$$

Встановлена потужність вентиляторів машинного відділення

$$PVM := 25 \cdot N^{0.6} \quad PVM = 40.123$$

					141.4361.ПЗ.Р2	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Встановлена потужність вентиляторів вантажного відділення

$$PVW := 3.6 \cdot CW^{1.4} \quad PVW = 75.61$$

МАНЕВРОВИЙ режим: Потужність вентиляторів машинного відділення

$$PVM2 := 5 \cdot N \quad PVM2 = 11$$

СТОЯНКА: Потужність вентиляторів машинного відділення

$$PV3 := 0.25 \cdot PVM \quad PV3 = 10.031$$

ХОДОВИЙ, МАНЕВРОВИЙ, СТОЯНКА режим:

Потужність вентиляторів вантажного відділення

$$PVW123 := 0.3 \cdot PVW \quad PVW123 = 22.683$$

СТОЯНКА З ВАНТАЖНИМИ ОПЕРАЦІЯМИ:

потужність вентиляторів вантажного відділення

$$PVW4 := PVW \quad PVW4 = 75.61$$

(o) - опціонально

(o) Потужність підрулюючих пристроїв

$$Prule := 43 \cdot D^{0.7} \quad Prule = 155.958$$

(o) СТОЯНКА З ВАНТАЖНИМИ ОПЕРАЦІЯМИ:

потужність багастних насосів (наливні судна)

$$PBN3 := 61 \cdot 0.65 \cdot D^{0.4} \quad PBN3 = 82.79$$

(o) Потужність збудження генераторів і двигунів ГЕУ

$$Pfieldg := 50 (0.95 \cdot N)^{0.6} \quad Pfieldg = 77.814$$

(o) Потужність регулювання шагу гребних винтів

$$Pvrs := 8.5 \cdot N^{0.4} \quad Pvrs = 11.652$$

(o) Потужність насосів охолодження:

- машинним маслом : $P_{oil} := 6.3 \cdot N$ $P_{oil} = 13.86$

- забортною водою: $P_w := 4.6 \cdot N$ $P_w = 10.12$

- прісною водою: $P_{pw} := 7.8 \cdot N^{0.6}$ $P_{pw} = 12.518$

Таблиця 2.2. Результати розрахунку потужностей СЕЕС судна «Навіс-1»
табличним методом

Жовті поля - вхідні дані для заповнення			Номинальні дані приймачів				
№ i	Найменування приймачів електроенергії (при додаванні або скороченні строк таблиці треба відповідно коригувати строки допоміжних стовпців під таблицею)	Кількі сть, 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	5.2	0.77324	так	6.72	13.45
2	Брашпіль	2	23	0.896046	так	25.67	51.34
3	Шпіль	2	10	0.821646	так	12.17	24.34
4	Лебідка-шлюпочна	2	3.5	0.752028	так	4.65	9.31
5	Лебідка-трапова	2	1.2	0.719221	так	1.67	3.34
6	Лебідка-вантажна	4	6	0.78242	так	7.67	30.67
7	Головний двигун: насос-охолоджувач	2	13	0.844912	так	15.39	30.77
8	Головний двигун: насос-паливний	2	1	0.716123	так	1.40	2.79
9	Головний двигун: насос-масляний	2	1	0.716123	так	1.40	2.79
10	Допоміжні двигуни: насос-охолоджувач	1	3	0.745317	так	4.03	4.03
11	Допоміжні двигуни: насос-паливний	1	0.35	0.705766	так	0.50	0.50
12	Допоміжні двигуни: насос-масляний	1	0.35	0.705766	так	0.50	0.50
13	Сепаратор палива	2	2	0.731207	так	2.74	5.47
14	Сепаратор масла	2	1	0.716123	так	1.40	2.79
15	Валообертальний пристрій	2	12	0.837668	так	14.33	28.65
16	Котел: насос-живлення	1	5	0.770867	так	6.49	6.49
17	Котел: насос-циркуляційний	1	5	0.770867	так	6.49	6.49
18	Котел: насос-конденсатний	1	3	0.745317	так	4.03	4.03
19	Насос-пожарний головний	2	27	0.908675	так	29.71	59.43
20	Насос-пожарний допоміжний	2	22	0.892327	так	24.65	49.31
21	Насос-баластний	2	30	0.916166	так	32.75	65.49
22	Насос-осушувальний	2	45	0.937553	так	48.00	95.99
23	Насос-санітарний	1	12	0.837668	так	14.33	14.33
24	Насос-прісної води	2	12	0.837668	так	14.33	28.65
25	Компресор-головний	1	42	0.934797	так	44.93	44.93
26	Компресор-підкачуючий	1	17	0.86951	так	19.55	19.55
27	Вентилятор загальносудновий (вантажного приміщення)	2	5	0.770867	так	6.49	12.97
28	Вентилятор машинного відділення	2	22	0.892327	так	24.65	49.31
29	Вентилятор котельного відділення	2	5	0.770867	так	6.49	12.97
30	Кондиціонер	2	28	0.91134	так	30.72	61.45
31	Освітлення люменесц./світлодіодне	1	15	1		15.00	15.00
32	Радіонавігаційне обладнання	2	12	1		12.00	24.00
33	Прилади управління судном	1	7	1		7.00	7.00
34	Сигнальні вогні	1	5	1		5.00	5.00
35	Прожектор навігаційний	5	0.5	1		0.50	2.50
36	Камбуз: пічки	3	6	1		6.00	18.00
37	Камбуз: кип'ятильник	2	12	1		12.00	24.00
38	Камбуз: електропривід	5	1	0.716123	так	1.40	6.98
39	Рефрижератор	2	8	0.803338	так	9.96	19.92
40	Обігрів приміщень	1	22	1		22.00	22.00
41	Майстерня:Токарний верстат	1	3.5	0.752028	так	4.65	4.65
42	Майстерня:Наждачний верстат	1	1.7	0.726787	так	2.34	2.34
43	Зарядний агрегат	1	18	1		18.00	18.00
44	Гідрофор	3	10	0.821646	так	12.17	36.51
45	Інше моторне обладнання	1	75	0.948316	так	79.0876021	79.0876021
46							
47	ПІДСУМКОВІ ПОКАЗНИКИ →	83	617.3			687.760835	1027.11

Продовження таблиці 2.2.

Жовті поля - вхідні дані для заповнення		1 - Ходовий режим					
№ i	Найменування приймачів електроенергії (при додаванні або скороченні строк таблиці треба відповідно коригувати строки допоміжних стовпців під таблицею)	Коефіцієнт одночасності Ko	Коефіцієнт завантаженості Kз	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	0.75	0.72	5.04	4.89	7.03
2	Брашпіль	0	0.7	0.20	0.00	0.00	0.00
3	Шпіль	0	0.7	0.20	0.00	0.00	0.00
4	Лебідка-шлюпочна	0	0.7	0.20	0.00	0.00	0.00
5	Лебідка-трапова	0	0.7	0.20	0.00	0.00	0.00
6	Лебідка-вантажна	0	0.5	0.20	0.00	0.00	0.00
7	Головний двигун: насос-охолоджувач	1	0.75	0.88	23.08	12.58	26.29
8	Головний двигун: насос-паливний	1	0.8	0.89	2.23	1.15	2.51
9	Головний двигун: насос-масляний	1	0.8	0.89	2.23	1.15	2.51
10	Допоміжні двигуни: насос-охолоджувач	1	0.78	0.88	3.14	1.66	3.55
11	Допоміжні двигуни: насос-паливний	1	0.75	0.88	0.37	0.20	0.42
12	Допоміжні двигуни: насос-масляний	1	0.8	0.89	0.40	0.20	0.45
13	Сепаратор палива	1	0.85	0.90	4.65	2.29	5.18
14	Сепаратор масла	1	0.85	0.90	2.37	1.17	2.65
15	Валообертальний пристрій	0	0.8	0.20	0.00	0.00	0.00
16	Котел: насос-живлення	1	0.7	0.87	4.54	2.62	5.24
17	Котел: насос-циркуляційний	1	0.7	0.87	4.54	2.62	5.24
18	Котел: насос-конденсатний	1	0.8	0.89	3.22	1.66	3.62
19	Насос-пожарний головний	0	0.7	0.20	0.00	0.00	0.00
20	Насос-пожарний допоміжний	0	0.8	0.20	0.00	0.00	0.00
21	Насос-баластний	0.5	0.75	0.72	24.56	23.83	34.22
22	Насос-осушувальний	0	0.8	0.20	0.00	0.00	0.00
23	Насос-санітарний	0	0.85	0.20	0.00	0.00	0.00
24	Насос-прісної води	0.5	0.65	0.68	9.31	10.09	13.73
25	Компресор-головний	1	0.8	0.89	35.94	18.57	40.46
26	Компресор-підкачуючий	1	0.7	0.87	13.69	7.91	15.81
27	Вентилятор загальносудновий (вантажного приміщення)	1	0.75	0.88	9.73	5.30	11.08
28	Вентилятор машинного відділення	1	0.85	0.90	41.91	20.61	46.71
29	Вентилятор котельного відділення	1	0.8	0.89	10.38	5.36	11.68
30	Кондиціонер	0.5	0.7	0.70	21.51	22.02	30.78
31	Освітлення люменесц./світлодіодне	1	0.65	1.00	9.75	0.00	9.75
32	Радіонавігаційне обладнання	0.5	0.85	1.00	10.20	0.00	10.20
33	Прилади управління судном	1	0.75	1.00	5.25	0.00	5.25
34	Сигнальні вогні	1	0.7	1.00	3.50	0.00	3.50
35	Прожектор навігаційний	0.6	0.8	1.00	1.20	0.00	1.20
36	Камбуз: пічки	0.33	0.5	1.00	2.97	0.00	2.97
37	Камбуз: кип'ятильник	0.5	0.5	1.00	6.00	0.00	6.00
38	Камбуз: електропривід	0.4	0.8	0.67	2.23	2.45	3.31
39	Рефрижератор	0.5	0.85	0.75	8.46	7.44	11.27
40	Обігрів приміщень	1	0.55	1.00	12.10	0.00	12.10
41	Майстерня:Токарний верстат	1	0.5	0.79	2.33	1.79	2.94
42	Майстерня:Наждачний верстат	1	0.35	0.70	0.82	0.84	1.17
43	Зарядний агрегат	1	0.7	1.00	12.60	0.00	12.60
44	Гідрофор	0.33	0.8	0.62	9.64	12.16	15.51
45	Інше моторне обладнання	1	0.5	0.79	39.54	30.40	49.88
46							
47	ПІДСУМКОВІ ПОКАЗНИКИ →	0.4870102	0.71500787	0.83838497	349.449	200.970269	416.812

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

141.4361.БР.ПЗ.Р2

Арк.

43

Продовження таблиці 2.2.

Жовті поля - вхідні дані для заповнення		2 - Маневровий режим					
№ i	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	15	16	17	18	19	20
1	Рульовий пристрій	1	0.9	0.90	12.10	5.69	13.38
2	Брашпіль	1	0.7	0.87	35.94	20.76	41.50
3	Шпіль	1	0.7	0.87	17.04	9.85	19.68
4	Лебідка-шлюпочна	0	0.7	0.20	0.00	0.00	0.00
5	Лебідка-трапова	0	0.7	0.20	0.00	0.00	0.00
6	Лебідка-вантажна	0	0.5	0.20	0.00	0.00	0.00
7	Головний двигун: насос-охолоджувач	1	0.75	0.88	23.08	12.58	26.29
8	Головний двигун: насос-паливний	1	0.8	0.89	2.23	1.15	2.51
9	Головний двигун: насос-масляний	1	0.8	0.89	2.23	1.15	2.51
10	Допоміжні двигуни: насос-охолоджувач	1	0.78	0.88	3.14	1.66	3.55
11	Допоміжні двигуни: насос-паливний	1	0.75	0.88	0.37	0.20	0.42
12	Допоміжні двигуни: насос-масляний	1	0.8	0.89	0.40	0.20	0.45
13	Сепаратор палива	1	0.85	0.90	4.65	2.29	5.18
14	Сепаратор масла	1	0.85	0.90	2.37	1.17	2.65
15	Валообертальний пристрій	0	0.8	0.20	0.00	0.00	0.00
16	Котел: насос-живлення	1	0.7	0.87	4.54	2.62	5.24
17	Котел: насос-циркуляційний	1	0.7	0.87	4.54	2.62	5.24
18	Котел: насос-конденсатний	1	0.8	0.89	3.22	1.66	3.62
19	Насос-пожарний головний	0	0.7	0.20	0.00	0.00	0.00
20	Насос-пожарний допоміжний	0	0.8	0.20	0.00	0.00	0.00
21	Насос-баластний	1	0.75	0.88	49.12	26.77	55.94
22	Насос-осушувальний	0	0.8	0.20	0.00	0.00	0.00
23	Насос-санітарний	0	0.85	0.20	0.00	0.00	0.00
24	Насос-прісної води	0.5	0.65	0.68	9.31	10.09	13.73
25	Компресор-головний	1	0.8	0.89	35.94	18.57	40.46
26	Компресор-підкачуючий	1	0.7	0.87	13.69	7.91	15.81
27	Вентилятор загальносудновий (вантажного приміщення)	0.5	0.75	0.72	4.86	4.72	6.78
28	Вентилятор машинного відділення	1	0.85	0.90	41.91	20.61	46.71
29	Вентилятор котельного відділення	1	0.8	0.89	10.38	5.36	11.68
30	Кондиціонер	0.5	0.7	0.70	21.51	22.02	30.78
31	Освітлення люменесц./світлодіодне	1	0.65	1.00	9.75	0.00	9.75
32	Радіонавігаційне обладнання	0.5	0.85	1.00	10.20	0.00	10.20
33	Прилади управління судном	1	0.75	1.00	5.25	0.00	5.25
34	Сигнальні вогні	1	0.7	1.00	3.50	0.00	3.50
35	Прожектор навігаційний	1	0.8	1.00	2.00	0.00	2.00
36	Камбуз: пічки	0	0.5	1.00	0.00	0.00	0.00
37	Камбуз: кип'ятильник	0	0.5	1.00	0.00	0.00	0.00
38	Камбуз: електропривід	1	0.8	0.89	5.59	2.89	6.29
39	Рефрижератор	1	0.85	0.90	16.93	8.33	18.87
40	Обігрів приміщень	1	0.55	1.00	12.10	0.00	12.10
41	Майстерня:Токарний верстат	1	0.5	0.79	2.33	1.79	2.94
42	Майстерня:Наждачний верстат	1	0.35	0.70	0.82	0.84	1.17
43	Зарядний агрегат	1	0.7	1.00	12.60	0.00	12.60
44	Гідрофор	1	0.8	0.89	29.21	15.09	32.88
45	Інше моторне обладнання	0	0.5	0.20	0.00	0.00	0.00
46							
47	ПІДСУМКОВІ ПОКАЗНИКИ →	0.5369029	0.7169721	0.87534175	412.852	208.598523	471.646

Продовження таблиці 2.2.

Жовті поля - вхідні дані для заповнення		3 - Стоянка без вантажних операцій					
№ /	Найменування приймачів електроенергії (при додаванні або скороченні строк таблиці треба відповідно коригувати строки допоміжних стовпців під таблицею)	Коефіцієнт одночасно сті Ko	Коефіцієнт завантаже ності Kз	Коефіцієнт потужності cos(φ)	Споживана потужність: активна P	Споживана потужність: реактивна Q	Повна потужність S
1	2	21	22	23	24	25	26
1	Рульовий пристрій	0	0.75	0.20	0.00	0.00	0.00
2	Брашпіль	1	0.7	0.87	35.94	20.76	41.50
3	Шпіль	1	0.7	0.87	17.04	9.85	19.68
4	Лебідка-шлюпочна	0	0.7	0.20	0.00	0.00	0.00
5	Лебідка-трапова	1	0.7	0.87	2.34	1.35	2.70
6	Лебідка-вантажна	0	0.5	0.20	0.00	0.00	0.00
7	Головний двигун: насос-охолоджувач	0	0.75	0.20	0.00	0.00	0.00
8	Головний двигун: насос-паливний	0	0.8	0.20	0.00	0.00	0.00
9	Головний двигун: насос-масляний	0	0.8	0.20	0.00	0.00	0.00
10	Допоміжні двигуни: насос-охолоджувач	0	0.78	0.20	0.00	0.00	0.00
11	Допоміжні двигуни: насос-паливний	0	0.75	0.20	0.00	0.00	0.00
12	Допоміжні двигуни: насос-масляний	0	0.8	0.20	0.00	0.00	0.00
13	Сепаратор палива	0	0.85	0.20	0.00	0.00	0.00
14	Сепаратор масла	0	0.85	0.20	0.00	0.00	0.00
15	Валообертальний пристрій	1	0.8	0.89	22.92	11.84	25.80
16	Котел: насос-живлення	1	0.7	0.87	4.54	2.62	5.24
17	Котел: насос-циркуляційний	1	0.7	0.87	4.54	2.62	5.24
18	Котел: насос-конденсатний	1	0.8	0.89	3.22	1.66	3.62
19	Насос-пожарний головний	0	0.7	0.20	0.00	0.00	0.00
20	Насос-пожарний допоміжний	0	0.8	0.20	0.00	0.00	0.00
21	Насос-баластний	0	0.75	0.20	0.00	0.00	0.00
22	Насос-осушувальний	0	0.8	0.20	0.00	0.00	0.00
23	Насос-санітарний	0.5	0.85	0.75	6.09	5.35	8.10
24	Насос-прісної води	0.5	0.65	0.68	9.31	10.09	13.73
25	Компресор-головний	1	0.8	0.89	35.94	18.57	40.46
26	Компресор-підкачуючий	1	0.7	0.87	13.69	7.91	15.81
27	Вентилятор загальносудновий (вантажного приміщення)	0.5	0.75	0.72	4.86	4.72	6.78
28	Вентилятор машинного відділення	0.5	0.2	0.40	4.93	11.25	12.29
29	Вентилятор котельного відділення	0.5	0.8	0.74	5.19	4.79	7.06
30	Кондиціонер	1	0.7	0.87	43.01	24.85	49.68
31	Освітлення люменесц./світлодіодне	1	0.65	1.00	9.75	0.00	9.75
32	Радіонавігаційне обладнання	0.5	0.85	1.00	10.20	0.00	10.20
33	Прилади управління судном	1	0.75	1.00	5.25	0.00	5.25
34	Сигнальні вогні	1	0.5	1.00	2.50	0.00	2.50
35	Прожектор навігаційний	0.2	0.5	1.00	0.25	0.00	0.25
36	Камбуз: пічки	1	0.5	1.00	9.00	0.00	9.00
37	Камбуз: кип'ятильник	1	0.5	1.00	12.00	0.00	12.00
38	Камбуз: електропривід	0.8	0.8	0.85	4.47	2.79	5.27
39	Рефрижератор	1	0.85	0.90	16.93	8.33	18.87
40	Обігрів приміщень	0.5	0.55	1.00	6.05	0.00	6.05
41	Майстерня:Токарний верстат	1	0.5	0.79	2.33	1.79	2.94
42	Майстерня:Наждачний верстат	1	0.35	0.70	0.82	0.84	1.17
43	Зарядний агрегат	1	0.7	1.00	12.60	0.00	12.60
44	Гідрофор	1	0.8	0.89	29.21	15.09	32.88
45	Інше моторне обладнання	1	0.5	0.79	39.54	30.40	49.88
46							
47	ПІДСУМКОВІ ПОКАЗНИКИ →	0.5533048	0.6820989	0.8582874	374.457	197.469495	436.283

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

141.4361.БР.ПЗ.Р2

Арк.

45

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 одночасно сті Ko	Коефіцієнт завантажен ості Kз	Коефіцієнт потужності cos(φ)	Споживана потужність: активна P	Споживана потужність: реактивна Q	Повна потужність S
1	2	27	28	29	30	31	32
1	Рульовий пристрій	0	0.75	0.20	0.00	0.00	0.00
2	Брашпіль	1	0.7	0.87	35.94	20.76	41.50
3	Шпіль	1	0.7	0.87	17.04	9.85	19.68
4	Лебідка-шлюпочна	0	0.7	0.20	0.00	0.00	0.00
5	Лебідка-трапова	1	0.7	0.87	2.34	1.35	2.70
6	Лебідка-вантажна	1	0.5	0.79	15.34	11.79	19.35
7	Головний двигун: насос-охолоджувач	0	0.75	0.20	0.00	0.00	0.00
8	Головний двигун: насос-паливний	0	0.8	0.20	0.00	0.00	0.00
9	Головний двигун: насос-масляний	0	0.8	0.20	0.00	0.00	0.00
10	Допоміжні двигуни: насос-охолоджувач	0	0.78	0.20	0.00	0.00	0.00
11	Допоміжні двигуни: насос-паливний	0	0.75	0.20	0.00	0.00	0.00
12	Допоміжні двигуни: насос-масляний	0	0.8	0.20	0.00	0.00	0.00
13	Сепаратор палива	0	0.85	0.20	0.00	0.00	0.00
14	Сепаратор масла	0	0.85	0.20	0.00	0.00	0.00
15	Валообертальний пристрій	0	0.8	0.20	0.00	0.00	0.00
16	Котел: насос-живлення	1	0.5	0.79	3.24	2.49	4.09
17	Котел: насос-циркуляційний	1	0.5	0.79	3.24	2.49	4.09
18	Котел: насос-конденсатний	1	0.8	0.89	3.22	1.66	3.62
19	Насос-пожарний головний	0	0.7	0.20	0.00	0.00	0.00
20	Насос-пожарний допоміжний	1	0.8	0.89	39.45	20.38	44.40
21	Насос-баластний	0	0.75	0.20	0.00	0.00	0.00
22	Насос-осушувальний	0	0.8	0.20	0.00	0.00	0.00
23	Насос-санітарний	1	0.85	0.90	12.18	5.99	13.57
24	Насос-прісної води	0.5	0.5	0.61	7.16	9.39	11.81
25	Компресор-головний	1	0.8	0.89	35.94	18.57	40.46
26	Компресор-підкачуючий	1	0.7	0.87	13.69	7.91	15.81
27	Вентилятор загальносудновий (вантажного приміщення)	1	0.7	0.87	9.08	5.25	10.49
28	Вентилятор машинного відділення	1	0.2	0.55	9.86	15.03	17.98
29	Вентилятор котельного відділення	0.5	0.5	0.61	3.24	4.25	5.35
30	Кондиціонер	0.5	0.7	0.70	21.51	22.02	30.78
31	Освітлення люменесц./світлодіодне	1	0.65	1.00	9.75	0.00	9.75
32	Радіонавігаційне обладнання	0.5	0.85	1.00	10.20	0.00	10.20
33	Прилади управління судном	1	0.75	1.00	5.25	0.00	5.25
34	Сигнальні вогні	1	0.7	1.00	3.50	0.00	3.50
35	Прожектор навігаційний	0.4	0.85	1.00	0.85	0.00	0.85
36	Камбуз: пічки	0.33	0.5	1.00	2.97	0.00	2.97
37	Камбуз: кип'ятильник	0.5	0.5	1.00	6.00	0.00	6.00
38	Камбуз: електропривід	0.2	0.8	0.50	1.12	1.96	2.26
39	Рефрижератор	1	0.85	0.90	16.93	8.33	18.87
40	Обігрів приміщень	0.5	0.55	1.00	6.05	0.00	6.05
41	Майстерня:Токарний верстат	0	0.5	0.20	0.00	0.00	0.00
42	Майстерня:Наждачний верстат	0	0.35	0.20	0.00	0.00	0.00
43	Зарядний агрегат	1	0.7	1.00	12.60	0.00	12.60
44	Гідрофор	0.66	0.8	0.81	19.28	14.16	23.92
45	Інше моторне обладнання	1	0.5	0.79	39.54	30.40	49.88
46							
47	ПІДСУМКОВІ ПОКАЗНИКИ →	0.5647501	0.67279363	0.837232	366.5012	214.025936	437.754

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

141.4361.БР.ПЗ.Р2

Арк.

46

Продовження таблиці 2.2.

Жовті поля - вхідні дані для заповнення		5 - Аварійний режим					
№ і	Найменування приймачів електроенергії (при додаванні або скороченні строк таблиці треба відповідно коригувати строки допоміжних стовпців під таблицею)	Коефіцієнт одночасно сті К _о	Коефіцієнт завантаже ності К _з	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	1	0.75	0.88	10.09	5.50	11.49
2	Брашпіль	1	0.7	0.87	35.94	20.76	41.50
3	Шпіль	1	0.7	0.87	17.04	9.85	19.68
4	Лебідка-шлюпочна	1	0.7	0.87	6.52	3.76	7.53
5	Лебідка-трапова	1	0.7	0.87	2.34	1.35	2.70
6	Лебідка-вантажна	1	0.5	0.79	15.34	11.79	19.35
7	Головний двигун: насос-охолоджувач	1	0.75	0.88	23.08	12.58	26.29
8	Головний двигун: насос-паливний	1	0.8	0.89	2.23	1.15	2.51
9	Головний двигун: насос-масляний	1	0.8	0.89	2.23	1.15	2.51
10	Допоміжні двигуни: насос-охолоджувач	1	0.78	0.88	3.14	1.66	3.55
11	Допоміжні двигуни: насос-паливний	1	0.75	0.88	0.37	0.20	0.42
12	Допоміжні двигуни: насос-масляний	1	0.8	0.89	0.40	0.20	0.45
13	Сепаратор палива	1	0.85	0.90	4.65	2.29	5.18
14	Сепаратор масла	1	0.85	0.90	2.37	1.17	2.65
15	Валообертальний пристрій	0	0.8	0.20	0.00	0.00	0.00
16	Котел: насос-живлення	0	0.7	0.20	0.00	0.00	0.00
17	Котел: насос-циркуляційний	0	0.7	0.20	0.00	0.00	0.00
18	Котел: насос-конденсатний	0	0.8	0.20	0.00	0.00	0.00
19	Насос-пожарний головний	1	0.7	0.87	41.60	24.04	48.04
20	Насос-пожарний допоміжний	1	0.8	0.89	39.45	20.38	44.40
21	Насос-баластний	1	0.75	0.88	49.12	26.77	55.94
22	Насос-осушувальний	1	0.8	0.89	76.80	39.68	86.44
23	Насос-санітарний	1	0.85	0.90	12.18	5.99	13.57
24	Насос-прісної води	1	0.65	0.85	18.62	11.46	21.87
25	Компресор-головний	1	0.8	0.89	35.94	18.57	40.46
26	Компресор-підкачуючий	1	0.7	0.87	13.69	7.91	15.81
27	Вентилятор загальносудновий (вантажного приміщення)	0	0.75	0.20	0.00	0.00	0.00
28	Вентилятор машинного відділення	0.5	0.85	0.75	20.96	18.41	27.89
29	Вентилятор котельного відділення	0	0.8	0.20	0.00	0.00	0.00
30	Кондиціонер	0	0.7	0.20	0.00	0.00	0.00
31	Освітлення люменесц./світлодіодне	1	0.65	1.00	9.75	0.00	9.75
32	Радіонавігаційне обладнання	0.5	0.85	1.00	10.20	0.00	10.20
33	Прилади управління судном	1	0.75	1.00	5.25	0.00	5.25
34	Сигнальні вогні	1	0.7	1.00	3.50	0.00	3.50
35	Прожектор навігаційний	0.6	0.8	1.00	1.20	0.00	1.20
36	Камбуз: пічки	0	0.5	1.00	0.00	0.00	0.00
37	Камбуз: кип'ятильник	0	0.5	1.00	0.00	0.00	0.00
38	Камбуз: електропривід	0	0.8	0.20	0.00	0.00	0.00
39	Рефрижератор	0	0.85	0.20	0.00	0.00	0.00
40	Обігрів приміщень	0	0.55	1.00	0.00	0.00	0.00
41	Майстерня:Токарний верстат	1	0.5	0.79	2.33	1.79	2.94
42	Майстерня:Наждачний верстат	1	0.35	0.70	0.82	0.84	1.17
43	Зарядний агрегат	1	0.7	1.00	12.60	0.00	12.60
44	Гідрофор	0.33	0.8	0.62	9.64	12.16	15.51
45	Інше моторне обладнання	1	0.5	0.79	39.54	30.40	49.88
46							
47	ПІДСУМКОВІ ПОКАЗНИКИ →	0.7214914	0.7150079	0.86390924	528.905	291.810853	612.223

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 судових 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.

					141.4361.БР.ПЗ.Р2	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3. При виборі потужності генераторів слід передбачити можливість нерівномірного розподілу навантажень між паралельно працюючими генераторами й запас на збільшення кількості й потужності споживачів у процесі експлуатації судна. Тому сформулюємо наступні умови вибору потужності генератора СЕЕС:

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

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

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

					141.4361.ПЗ.Р2	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

кожного агрегату, уніфікувати потреби в запасних частинах і підвищити статичну й динамічну стійкість паралельної роботи генераторів.

Таким чином, в результаті перевірного розрахунку потужностей споживачів електроенергії судна «Навіс-1» 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	349,5	201	417	0,84	153
Маневровий:	413	208,6	471,7	0,88	181
Стоянка:	374,5	197,5	436,3	0,86	164
Стоянка з вантажними операціями:	366,5	214	437,8	0,84	161
Аварійний:	528,9	291,8	612,2	0,86	232

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

- кількість генераторів $N_g = 3$,
- максимальний коефіцієнт використання $k_{вик} = 0,8$,
- коефіцієнт падіння напруги $k_{nn} = 0,05$.

Отримані величини потрібних потужностей генераторів в таблиці 2.3. відповідають наявним потужностям генераторів СЕЕС на судні «Навіс-1» (три генератори по 160КВт) 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.

					141.4361.БР.ПЗ.РЗ							
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата								
Студент		Веретнов Д. О.				Аналіз роботи дизельного двигуна суднового дизель- генератора			Літ.		Аркуш	Аркушів
Керівник		Обрубов А. В.										
Консультант									НУК			
Зав. каф.		Обрубов А. В.										

Розділ 3. Аналіз роботи дизельного двигуна суднового дизель-генератора

3.1. Параметри судових двигунів

Судновий двигун [16] входить до складу суднової енергетичної установки. В СЕЕС з дизель-генераторами дизель є невід'ємною частиною системи і об'єктом управління. Тому для створення і настройки систем управління СЕЕС потрібно розглянути характеристики і принцип роботи суднового дизеля як об'єкта управління, щоб створити динамічну модель.

Суднові двигуни розрізняють на головні, що забезпечують рух судна і допоміжні суднові двигуни для привода електрогенераторів, насосів, вентиляторів і т.п.. У якості суднового двигуна використовують двигуни внутрішнього згоряння (ДВЗ), парові турбіни, і газові турбіни. Основними характеристиками судових двигунів є: великий ресурс, можливість реверсування, помірна трудомісткість технічного обслуговування, проведеного в судових умовах, використання палива в основному важких сортів, відсутність твердих обмежень по масі й розмірам двигуна.

Найчастіше на судах використовуються ДВЗ – суднові дизелі, що мають найбільшу економічність із усіх типів судових двигунів. На всіх судах застосовуються мало-, середньо- і високооборотні дизелі з наддуванням. Малооборотні суднові двигуни внутрішнього згоряння використовуються як головні двигуни судів різних типів; їхня агрегатна потужність становить 2,2-35Мвт, число циліндрів 5-12, питома ефективна витрата палива 210-215 г/(квт×ч), частота обертання 103-225 (або $100 < n < 350$ [17]) об/хв. Средньооборотні суднові двигуни внутрішнього згоряння використовуються переважно в якості головних двигунів судів середнього розміру; їхня потужність досягає 13,2 Мвт, число циліндрів 6-20, ефективна витрата палива 205-210 г/(квт×ч), частота обертання 300-500 (або $350 < n < 750$ [17]) об/хв. Високооборотні суднові двигуни внутрішнього згоряння застосовуються в основному як головні двигуни на малих судах, а також у якості допоміжних двигунів на судах усіх типів; їхня агрегатна потужність до 2 Мвт, число

					141.4361.БР.ПЗ.РЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

циліндрів 12-16, питома ефективна витрата палива 215-230 г/(кВт×ч), частота обертання понад 500 (або $n > 750$ [17]) об/хв.

Парові турбіни по ступеню поширеності трохи уступають двс; використовуються в якості головних двигунів на великих танкерах, контейнеровозах, газовозах і інших судах, а також на судах з ядерною енергетичною установкою (див. Атомний криголам "Ленін"). Застосовуються також як допоміжні двигуни. Потужність паротурбінних установок досягає 80 МВт, питома ефективна витрата палива 260-300 г/(кВт×ч), частота обертання турбіни 3000-4000 об/хв.

Газові турбіни в складі суднових двигунів застосовуються в основному в якості головних двигунів на військових кораблях, транспортних судах на підводних крилах і на судах на повітряній подушці. Прикладом газових турбін є судновий газотурбінний двигун. Експлуатація суднових дизелів – підготовка дизельної установки до дії, пуск дизеля, обслуговування дизеля під час роботи, вивід з дії (зупинка) дизеля відповідно до інструкції заводу-виготовлювача й Правилами технічної експлуатації.

Чотиритактні дизелі застосовують на судах або в складі дизель-генераторних установок, або в якості головного двигуна в багатовальних енергетичних установках (по одному дизелю на один рушій) і, відповідно, в установках з багатьма двигунами для одного рушія. Застосування середньооборотних дизелів як головного двигуна дає наступні переваги:

- збільшення надійності (при виході з ладу одного двигуна інші продовжують працювати);
- зменшення габаритів і власної маси деталей (наприклад, клапанів, поршнів, кривошипних механізмів, підшипників і т.д.);
- зменшення питомої маси, яка залежно від потужності становить від 14 до 35 кг/кВт (для потужностей близько 2200 кВт).

Средньооборотні 4-тактні дизелі використовуються також у дизель-електричних енергетичних установках у якості головного двигуна.

					141.4361.БР.ПЗ.РЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

3.2. Побудова та принцип дії суднового дизеля

Конструкція чотиритактного дизеля [17] й загальне компонування його основних вузлів і деталей показані на рис.3.1. До складу нерухливих деталей, що утворюють остів двигуна, входять фундаментна рама 1, станина (картер) 2, блок циліндрів 3 і кришки циліндрів 4. Порожнина, утворена станиною 2 і фундаментною рамою 1, називається картерним простором, а сама станина, приєднана болтами до фундаментної рами, утворює картер.

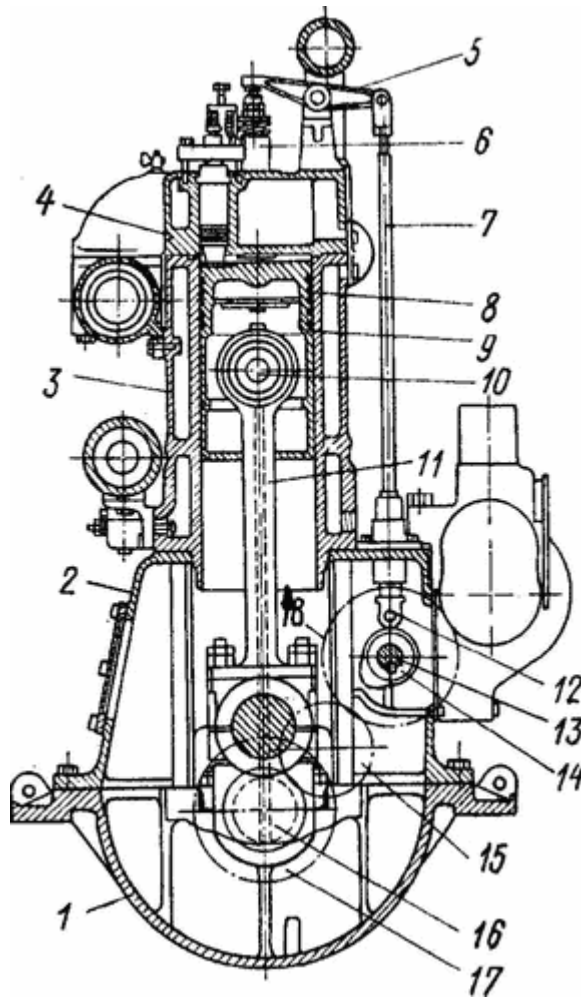


Рис. 3.1. Ілюстрація побудови суднового двигуна внутрішнього згоряння [17]

До складу рухливих деталей, що утворюють кривошипно-шатунний механізм, входять поршень 9, поршневі кільця 8, поршковий палець 10, шатун 11, колінчатий вал 16 (поршкові штоки в крейцкопфних двигунів), маховик і інші деталі. Механізм газорозподілу складається із впускних і випускних клапанів 6 із пружинами, деталей привода клапанів (штанг штовхачів) 7,

роликів 12 штовхачів, розподільного вала 13 з веденою шестірнею 18, кулачкових шайб 14 і шестірень 15 і 17 привода розподільного вала клапанних важелів 5.

Принцип дії 4-тактного ДВЗ показаний на малюнку нижче [18].

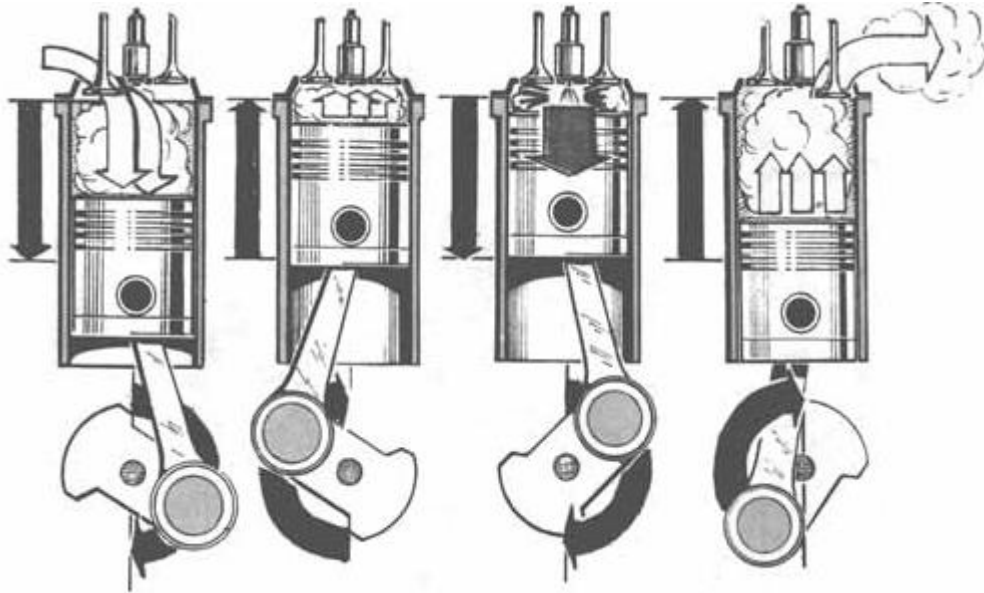


Рис. 3.2. Ілюстрація принципу роботи 4-тактного дизельного двигуна [18]

В 4-тактному двигуні робочий цикл здійснюється за 2 повороту колінчатого вала, тобто за 4 ходи поршня. Механічна робота відбувається тільки за час 1-го такту, 3 інших служать для підготовки.

При 1-м такті поршень рухається в напрямку колінчатого вала. Під впливом виникаючого при цьому розрідження повітря через відкритий всмоктувальний клапан спрямовується в циліндр. У дизелі без наддування тиск усмоктуваного повітря рівний атмосферному (точніше дещо менший за атмосферний), у дизелі з наддуванням до циліндра підводить уже попередньо стиснене повітря.

Під час 2-го такту при закритих всмоктувальних клапанах, через які попередньо набране повітря перед поршнем, зазнає стиску, за рахунок чого підвищуються температура й тиск. Насос підкачки палива, привод якого погоджений з рухом відповідного поршня, підвищує тиск палива.

При досягненні тиску 19,62-39,24 МПа паливо через форсунку впорскується в циліндр, у якому в дизелів без наддування тиск стисненого повітря становить 2,94-3,43 МПа й температура 550-600°C, а в дизелів з наддуванням відповідно 3,92-4,91 МПа й 600-700°C. Паливо впорскується незадовго до того моменту, коли поршень досягне верхнього крайнього положення. Впорскнутий й ретельно розпилений состав палива в стисненому повітрі нагрівається, випаровується й разом з повітрям утворює гарячу самозаймисту суміш.

3-й такт є робочим. Під час процесу згоряння палива утворюються гарячі гази, які викликають збільшення тиску над поршнем у дизелях без наддування від 4,41 до 5,4 Мпа, а в дизелях з наддуванням – від 5,89 до 7,85 Мпа. Під тиском сили, що виникає за рахунок тиску газів, поршень рухається вниз, гази розширюються й роблять при цьому механічну роботу.

Під час 4-го такту відкривається випускний клапан і гази, що відпрацювали, виходять назовні.

3.3. Компресійний момент дизеля

Таким чином, поршень дизельного двигуна взаємодіє з пружними газами в циліндрі, внаслідок чого утворюється знакозмінний коливальний або імпульсний крутний момент на валу дизеля. Це є суттєвою особливістю ДВЗ в порівнянні з багатьма електродвигунами, в яких крутний момент на валу є монотонним і більш рівномірним.

4-тактні суднові ДВЗ виготовляються як багатоциліндрові двигуни. Вони влаштовані так, що робочі такти рівномірно розподіляються по окремих циліндрах. Але для побудови моделі можна розглянути кінематику одного циліндру дизеля і потім застосувати принцип накладення. Кількість циліндрів в судових ДВЗ зазвичай є парною, тому одноциліндрова модель може бути перетворено в двоциліндрову з подальшим накладенням тактів.

На рис.3.3 показані діаграми для визначення закономірностей моделі.

					141.4361.БР.ПЗ.РЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

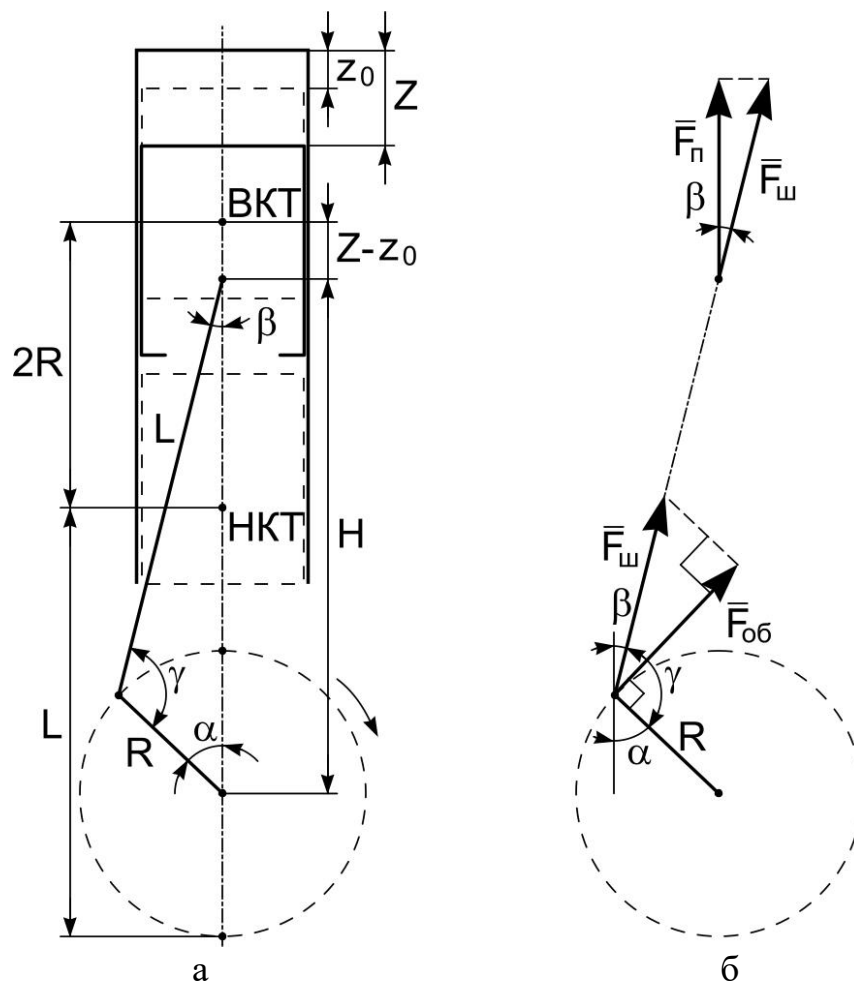


Рис.3.3. Геометрія кривошипно-шатунного механізму дизеля:
НКТ, ВКТ – нижня і верхня крайні точки поршня

Припустимо, що циліндр на рис.3.3 розташовано вертикально. Залежність компресійного моменту дизельного двигуна від кута повороту коленвала можна отримати розглянувши геометричні залежності сил в кривошипно-шатунному механізмі на рис.3.3,а. Сила поршню $\bar{F}_n$ визначається тиском газів P в циліндрі, який приблизно описується рівнянням Пуассона для ідеального газу, відомим також як рівняння адіабати [19]

$$PV^{K_a} = \text{const}, \quad (3.1)$$

де показник адіабати $K_a = 1 + r/C_V$, тут $r = 8,31446261815324 \text{ Дж/(моль*К)}$ – універсальна газова постійна, C_V – теплоємність газу при постійному об'ємі, для одноатомного ідеального газу $K_a = 5/3$. Сила поршню виражається так $F_n = PS$, де S – площа поперечного перетину циліндру. Прийmemo позитивний

напрям рухаючих сил системи кривошипу таким, як показано на діаграмі рис.3.3,б. Цій розклад сил відповідає ситуації, коли так би мовити причиною руху є оберտальна сила $\overline{F_{об}}$ на коленвалі. Але якщо поміняти напрям сил, то причиною руху буде сила поршню $\overline{F_n}$. Тобто напрям системи сил кривошипу не впливає на співвідношення між величинами сил поршню $\overline{F_n}$, шатуна $\overline{F_{ш}}$ і обертаючої сили $\overline{F_{об}}$. Знайдемо вираз величини сили поршню з (3.1) з врахуванням виразу робочого об'єму $V = ZS$ циліндру

$$PV^{K_a} = P(SZ(\alpha))^{K_a} = const; F_n Z(\alpha)^{K_a} = const / S^{K_a - 1} = P_0;$$

$$F_n(\alpha) = P_0 Z(\alpha)^{-K_a}, \quad (3.2)$$

де $Z(\alpha)$ – координата поршня рис.3.3,б, P_0 – атмосферний або початковий тиск газу в циліндрі, коли поршень в нижній крайній точці НКТ і впускний клапан відкрито.

Хід поршню дорівнює $2R$. Згідно з діаграмами на рис.3.3 довжина шатуна повинна бути не меншою за хід поршня $L \geq 2R$. Таким чином мінімальна координата поршню у верхній крайній точці ВКТ є z_0 , а максимальна координата поршню у НКТ дорівнює $z_{\max} = z_0 + 2R$.

Ступінь стискання [20] визначається відношенням максимального і мінімального робочих об'ємів $\varepsilon = V_{\max} / V_{\min}$. Прийmemo для моделі такий приблизний вираз $\varepsilon = (z_0 + 2R) / z_0$. (3.3)

Координата поршня в залежності від кута коленвалу

$$Z(\alpha) = L + R - H(\alpha) + z_0, \quad (3.4)$$

Залежність відстані між центром обертання коленвалу і центром кріплення поршню до шатуна від кута повороту коленвалу описується рівнянням

$$H(\alpha) = L^2 + R^2 + 2LR \cos(\alpha + \beta), \quad (3.5)$$

де кут шатуна виражається через кут коленвалу $\beta(\alpha) = \arcsin((R/L)\sin(\alpha))$, R – радіус коленвалу, L – довжина шатуна.

					141.4361.БР.ПЗ.РЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

Зв'язки між силами описуються тригонометричними співвідношеннями згідно векторним діаграмам сил на рис.3.3,6

$$F_{ш} = F_n / \cos(\beta); F_{об} = F_{ш} \sin(\gamma), \quad (3.6)$$

Де кут між коленвалом та шатуном можна виразити як $\gamma = \pi - (\alpha + \beta)$.

Крутний момент на коленвалі дорівнює

$$M = RF_{об} = RF_{ш} \cos(\gamma - \pi/2) = RF_{ш} \sin(\gamma). \quad (3.7)$$

Підставивши (3.6) в (3.7) отримаємо зв'язок між крутним моментом коленвала і силою поршня в залежності від кута коленвала

$$M(\alpha) = RF_n(\alpha) \sin(\alpha + \beta) / \cos(\beta), \text{ де } \beta(\alpha) = \arcsin(R \sin(\alpha) / L). \quad (3.8)$$

Нижче наведено розрахунки залежностей сили поршня та моменту коленвала по формулам (3.2)-(3.8) в програми MathCAD. Розрахунок виконано у відносних одиницях, оскільки важливі не стільки значення величин, скільки характер залежностей. Коефіцієнт стискання (3.3) тут для моделювання прийнято рівним 10, але в реальних дизелях він може бути в межах 15-16.

Расчет геометрии и момента кривошипно-шатунного механизма 2-х тактного цикл.

Дано: R, L, Alpha - радиус колена, длина шатуна и угол поворота колена относительно вертикали
Также Sp - площадь поршня, P0 - начальное давление в цилиндре при выдвинутом поршне
Z0 - минимальная координата поршня в верхней точке

R := 1	L := 3	Z0 := 0.2	Sp := 1.0	P0 := 1	Коеффициент сжатия
Показатель адиабаты	Ka := $\frac{5}{3}$			Kp := $\frac{2 \cdot R}{Z0}$	Kp = 10

$$\alpha := 0,01 \cdot \pi \cdot \pi \cdot \pi \cdot 4$$

$$\text{Угол шатуна относительно вертикали } \beta(\alpha) := \arcsin\left(\frac{R}{L} \cdot \sin(\alpha)\right)$$

$$\text{Расстояние от центра коленвала до конца шатуна } H(\alpha) := \sqrt{L^2 + R^2 + 2 \cdot L \cdot R \cdot \cos(\alpha + \beta(\alpha))}$$

$$\text{Координата поршня относительно верхней точки } Z(\alpha) := L + R - H(\alpha) + Z0$$

$$\text{Сила поршня } F_p(\alpha) := \frac{P0 \cdot Sp}{Z(\alpha)^{Ka}}$$

$$\text{Момент коленвала } M(\alpha) := R \cdot \frac{F_p(\alpha)}{\cos(\beta(\alpha))} \cdot \sin(\alpha + \beta(\alpha))$$

$$\text{Функция приближения момента } MA(\alpha) := \frac{\cos(0.5\alpha)}{\sin(0.5\alpha) + \frac{4}{Kp \cdot Ka} \cdot \sin(\sin(0.5\alpha))}$$

					141.4361.БР.ПЗ.РЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

На рис.3.4 наведено розраховані залежності сили поршня і моменту коленвалу від кута повороту коленвалу для пасивного циклу, тобто без запалювання. Також розраховано апроксимуючу залежність моменту

$$M_a(\alpha) = \frac{\cos(\alpha/2)}{\sin(\alpha/2) + (4/K_a \varepsilon) \text{sign}(\sin(\alpha/2))}, \quad (3.9)$$

яка простіше реалізується в імітаційній моделі і буде використовуватись в динамічній моделі одноциліндрового дизельного двигуна.

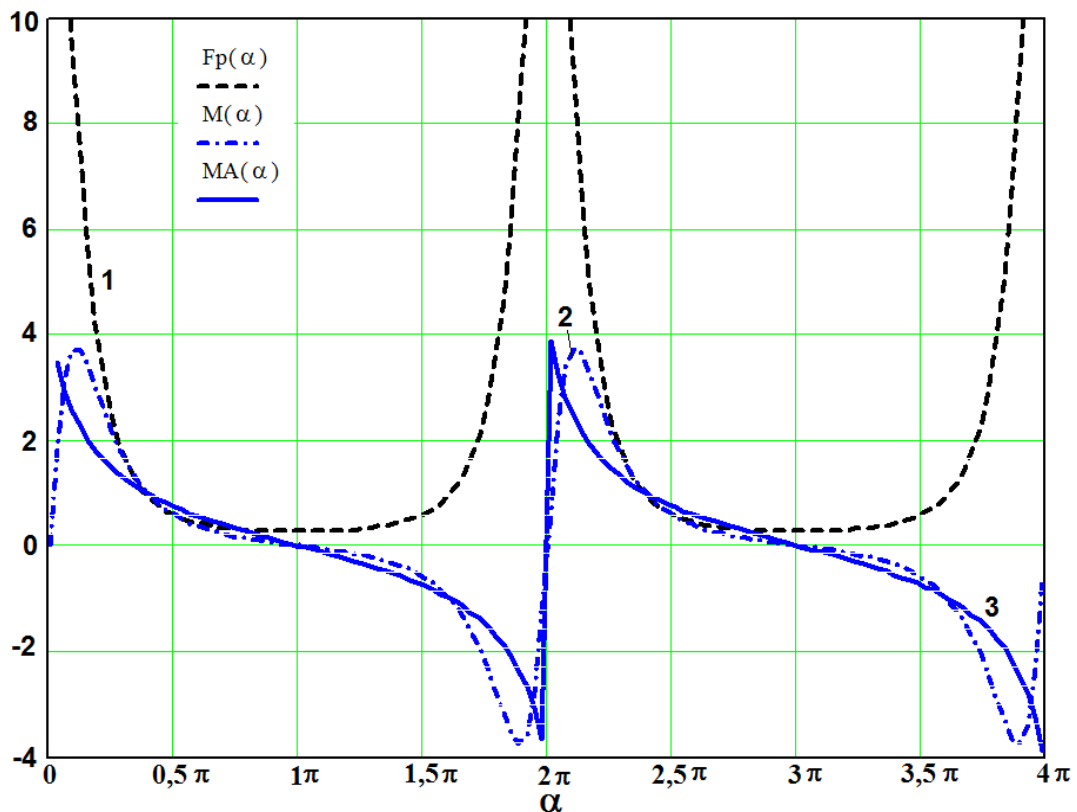


Рис.3.4. Залежності сили поршня F_n , моменту коленвалу $M(\alpha)$, та апроксимуючої функції від кута повороту коленвалу $M_a(\alpha)$, розраховані по формулам (3.2) – (3.8)

Із діаграми на рис.3.4 видно, що розрахована залежність моменту коленвалу $M(\alpha)$ і апроксимуюча залежність $M_a(\alpha)$ мають дещо різні форми кривих. Але в даному випадку точність повторення форми не дуже важлива, оскільки постійні часу механічної системи дизелю з пружним газом в циліндрі суттєво більші за період обертання коленвалу (у всякому разі в робочих режимах дизеля), тому в такій динамічній системі вирішальне значення має не форма імпульсу збуджуючої сили, а інтегральна характеристика імпульсу.

3.4. Робочий цикл дизелю

Для визначення залежності моменту колена валу на протязі робочого циклу моделі розглянемо ідеалізований цикл роботи дизеля [21] на рис.3.5,а. Почнемо з верхньої точки ВКТ, коли в точці *a* відкривається впускний клапан і поршень починає рух вниз. Тиск в циліндрі при цьому буде трохи менший за атмосферний тиск $P_{атм}$.

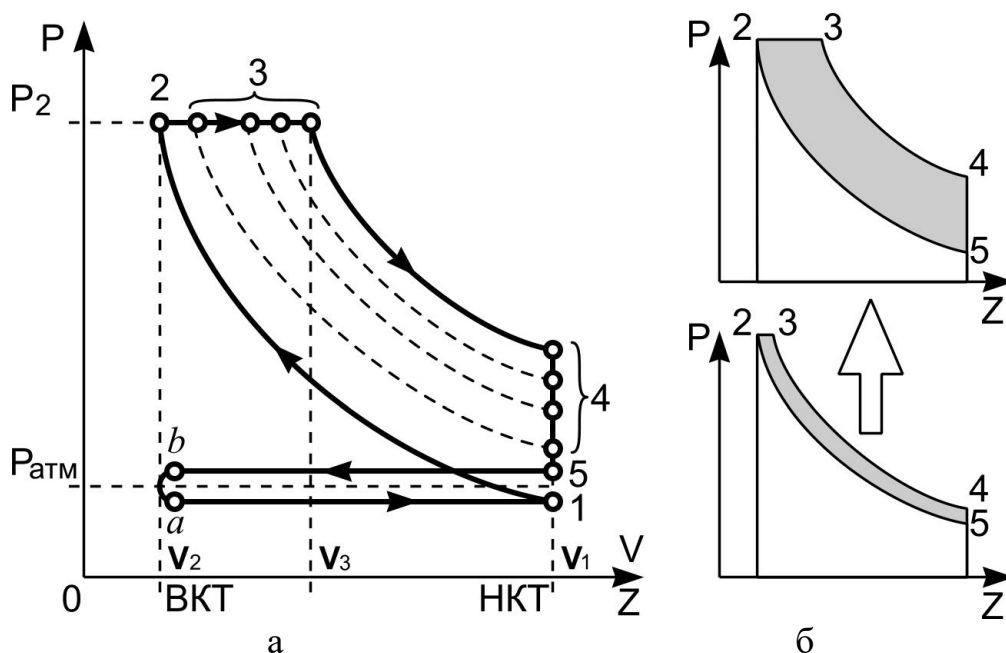


Рис. 3.5. Діаграма робочого циклу 4-тактного дизелю

Такт 1. В ході процесу *a-1* в циліндр засмоктується атмосферне повітря поки поршень доходить до НКТ. Біля точки 1 впускний клапан закривається.

Такт 2. В процесі 1-2 поршень рухається вгору при закритих клапанах і відбувається адіабатне стиснення повітря від тиску $P_0 = P_{атм}$ до тиску P_2 . Ступінь стиснення в дизелях досягає значень $\varepsilon = 15-16$, а ступінь компресії відповідно $P_2 / P_0 = 22-28$. Коли поршень доходить до ВКТ починається впорскнення палива (керосин, солярове масло) в робочий об'єм циліндру через форсунку високого тиску. Впорскування відбувається з деяким випередженням моменту досягнення поршнем ВКТ.

Такт 3. За рахунок високої температури паливо займається і поршень під тиском газів рухається донизу. Робочий об'єм зростає від V_2 до V_3 і продовжується впорскнення палива. В ідеалі на протязі впорскнення і руху

поршня додолу в процесі 2-3 паливо згоряє при однаковому тиску P_2 (Цього можна досягти впорскуючи паливо і компенсуючи малі зменшення тиску при розширенні). Після закінчення впорскнення палива в точці 3 подальше розширення газів відбувається по адіабаті 3-4. В точці 4 (біля НКТ) відкривається випускний клапан циліндра і гази виходять в атмосферу. Тиск в циліндрі знижується по ізохорі 4-5 до атмосферного тиску, точніше залишається трохи більшим за атмосферний. На цьому такті створюється максимальний крутний момент на коленвалі при куті обертання приблизно 25° або 0,436 рад, як можна бачити на рис.3.4.

Такт 4. Поршень рухається вгору і газ із циліндру через випускний клапан виштовхується в атмосферу по лінії 5-б. При досягненні ВКТ тиск в циліндрі вирівнюється з атмосферним. Таким чином робочий цикл замикається в початковому стані.

Розглянемо далі як відбувається регулювання потужності. Припустимо, що довжина процесу впорскнення палива може регулюватися. При цьому буде змінюватися довжина відрізка 2-3. Тоді при різних довжинах впорскування і згоряння при постійному тиску точка 3 буде займати різні положення на горизонталі. Адіабата 3-4 теж буде зміщуватись, як показано пунктирними лініями на рис.3.5. Точка 4 початку випуску газів буде займати різні положення на вертикальній лінії. Траєкторія робочої точки 2-3-4-5 на третьому робочому такті таким чином при регулюванні впорскнення буде різною і буде різною робота, яка виконується газом над поршнем дизелю при розширенні. Ця робота дорівнює площині фігури обмеженою траєкторією 3-4-5, віссю абсцис і вертикальними лініями на рівнях НКТ і ВКТ. При стисненні повітря виконується робота поршня над газом, яка визначається площею фігури між траєкторією 5-1-2, віссю абсцис і вертикалями НКТ та ВКТ. Різниця цих робіт є різницею між площинами цих фігур, яка виділена тонуванням на рис.3.5,б для двох випадків, що відповідають різним довжинам впорскування палива. При регулюванні впорскування зміна потужності

					141.4361.БР.ПЗ.РЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

дизелю відбувається відповідно до зміни площі тонованого сектору 2-3-4-5 на рис.3.5,б.

Термічний ККД дизелю визначається відомою формулою [21]

$$\eta_T = 1 - \frac{1}{K_a} \cdot \frac{\rho^{K_a} - 1}{\rho - 1} \cdot \varepsilon^{1-K_a} \quad (3.10)$$

де $K_a = 5/3$. – показник адіабати ідеального газу, $\rho = V_3/V_2$ – коефіцієнт ізобарного розширення газів в процесі згоряння палива в циліндрі, $\varepsilon = 10-16$ – ступінь стискування повітря в циліндрі. Формула (3.10) показує, що термічний ККД цикла дизеля буде більшим при зростанні ступеню стискування ε і при зменшенні коефіцієнту ρ ізобарного розширення газів в циліндрі.

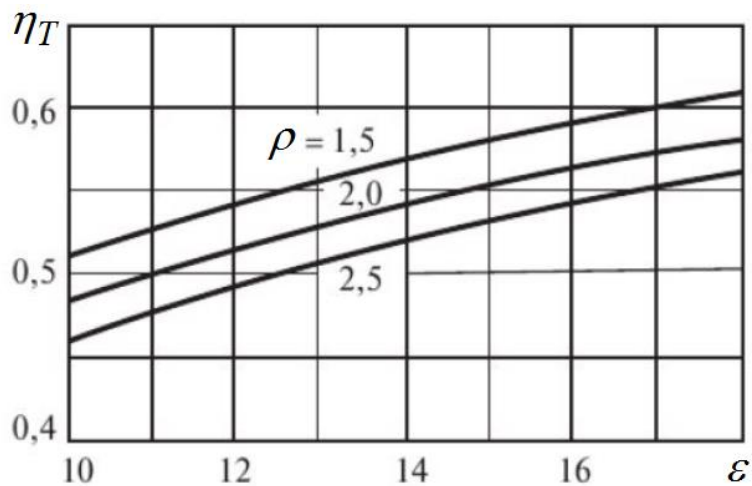


Рис.3.6. Залежності термічного ККД дизелю від ступеню стискування повітря в циліндрі при різних коефіцієнтах ізобарного розширення газів

З діаграми на рис.3.5,а стає зрозуміло, що максимальне регулювання впорскування можливо в діапазоні зміни довжини відрізка 2-3 і цей діапазон можна виразити як $\rho = 1 \dots \varepsilon$. Але практично весь можливий діапазон регулювання не використовується. Згідно графіків на рис.3.6 для збереження прийнятних значень ККД можна обмежити діапазон регулювання довжини впорскування палива значенням $\rho = 2,5$.

					141.4361.БР.ПЗ.Р4			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Студент		Веретнов Д. О.			Експериментальне дослідження системи за допомогою імітаційного моделювання			
Керівник		Обрубов А. В.						
Консультант								
Зав. каф.		Обрубов А. В.						
					Літ.	Аркуш	Аркушів	
					НУК			

Розділ 4. Експериментальне дослідження системи за допомогою імітаційного моделювання

4.1. Система управління дизелем

Система управління судновим дизелем виконує ряд функцій, які можна розділити на наступні групи:

- Моніторинг параметрів роботи: частоти обертання коленвалу, температур, подачі масел, палива, повітря, вібрації, та ін..
- Регулювання подачі палива і повітря, часових параметрів впорскування для обмеження динаміки і максимальної частоти обертів.
- Автоматичний пуск та зупинення роботи дизеля.

В даній роботі розглянемо регуляторні функції системи. А саме обмеження максимальних обертів та регулювання-стабілізацію номінальних обертів коленвалу при зміні моменту навантаження. На рис.4.1. представлено імітаційну модель системи управління дизелем, яка виконана в пакеті *Matlab 6.5-Simulink* [Matlab Help System].

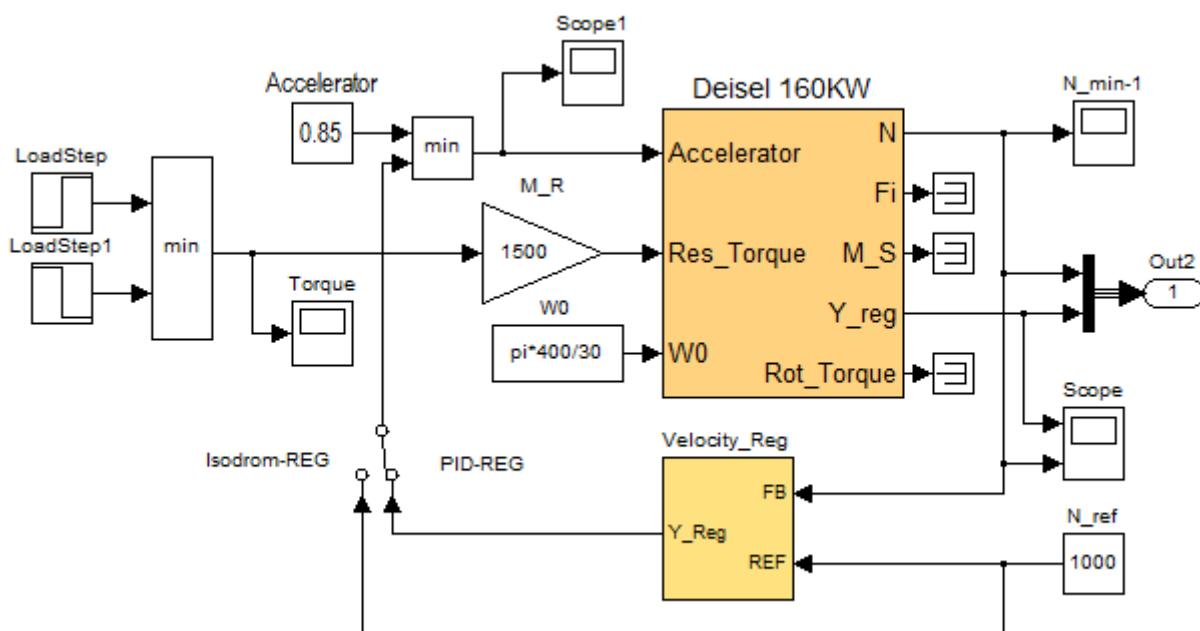


Рис.4.1. Модель системи управління 4-тактним дизелем:

Diesel – дизель, Velocity_Reg – регулятор обертів, LoadStep – ступінчастий сигнал навантаження, Accelerator – сигнал регулювання впорскування, W0 – початкова частота обертання, N_ref – задані оберти, N – вихідні оберти, Rot_Torque і Res_Torque – крутний і навантажувальний моменти на коленвалі

Модель системи на рис.4.1 складається з наступних елементів:

- модель дизеля Diesel потужністю 160КВт з вбудованим ізодромним регулятором-обмежувачем обертів;
- модель ПД-регулятора Velocity_Reg;
- елементи завдання навантажувального моменту (ступінчасті сигнали LoadStep, блок min, масштабна ланка $M_R=1500$);
- блок завдання максимальної довжини впорскування Accelerator=0,85;
- блок завдання номінальних обертів коленвалу $N_{ref}=1000$;
- блок завдання початкових обертів від стартеру $W_0 = 400 \cdot \pi / 30$.

Модель 4-тактного дизеля Diesel має наступні входи:

- Accelerator – відносна довжина впорскування 0-1 (кут $0-\pi$);
- Res_Torque – момент навантаження на коленвалі, н*м;
- W_0 – початкова швидкість обертання коленвалу, рад/с,
і виходи:
- N – частота обертів коленвалу, об/хв;
- F_i – кут коленвалу, рад;
- M_S – момент сумарний на коленвалі, н*м;
- Y_reg – сигнал регулювання впорскування 0-1 відповідає довжині впорскування відносно довжини 3-го такту 0-100% (кут впорскування $0-\pi$);
- Rot_Torque – крутний момент на коленвалі, н*м.

Модель ПД-регулятора обертів Velocity_Reg має входи FВ датчику швидкості і REF для завдання номінальних обертів дизеля, об/хв. Виходом регулятора Y_reg є сигнал регулювання довжини впорскування.

Модель системи на рис.4.1 може працювати в двох режимах, які вибираються перемикачем в позиціях Isodrom-REG або PID-REG відповідно працює ізодромний обмежувач обертів (ПД-регулятор відключено) або ПД-регулятор обертів. Модель дозволяє налаштувати параметри чутливості іподромного регулятора і коефіцієнти ПД регулятора для отримання прийнятних пускових та перехідних характеристик дизеля.

					141.4361.БР.ПЗ.Р4	Арк.
						66
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розглянемо результати налаштувань регуляторів і експериментів моделювання. Модельні експерименти проводилися з наступними налаштуваннями моделі системи:

- Початкова швидкість дизеля при пуску $W_0 = \pi N_0 / 30$ для $N_0 = 400$ об/хв склала приблизно 42 рад/с.
- Момент навантажування Res_Torque задавався таким чином. Спочатку момент був нульовий, потім з 20с роботи різко ставав близький до номінального (1500н*м це 98% від номінального), потім на 50с роботи знову ставав нульовий. Ступінчаста функція моменту навантаження створює досить жорсткий режим експлуатації дизеля, який практично не виникає в роботі дизель-генератора (момент насправді наростає дрібнішими ступенями на протязі декількох секунд) , але демонструє ефективність стабілізації частоти обертів двома способами. Формула визначення моменту: $M = 30 P_{\text{мех}} / (\pi N)$, де $P_{\text{мех}} = 160000$ Вт – завдана механічна потужність дизеля, $N = 1000$ об/хв – номінальна частота обертів, $M = 1528,7$ н*м – момент на коленвалу дизеля.
- Обмеження швидкості дизеля завдано $N_{\text{max}} = 1200$ об/хв. Ізодромний регулятор працює з використанням відцентрового датчику швидкості, положення якого порівнюється з уставкою швидкості і різниця впливає на регулятор довжини впорскування палива через форсунки. Закон регулювання можна описати формулою $\gamma = k_{is} (N_{\text{max}} - N)$, де $\gamma = 0 \dots \gamma_{\text{max}}$ – відносна довжина або кут впорскування, $\gamma_{\text{max}} = 0,85$ (кут $0,85 \pi$) – максимальна довжина впорскування відносно довжини третього такту роботи дизеля. Коефіцієнт чутливості ізодромного регулятора підібрано по якості перехідних процесів $k_{is} = 0,0125$.

Графіки частоти обертів коленвалу і сигналу регулювання довжини (кута) впорскування палива на рис.4.2 з ізодромним регулятором демонструють процес розгону дизеля і вихід на максимальні оберти з виникненням навантаження на коленвалу у вигляді моменту 1500 н*м.

					141.4361.БР.ПЗ.Р4	Арк. 67
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

При ступінчастому наростанні моменту навантаження до номінального середня частота обертів знизилася приблизно на 3,2%. Перерегулювання частоти обертів при виході на холостий режим склало не більше 1%, що є доволі хорошим результатом.

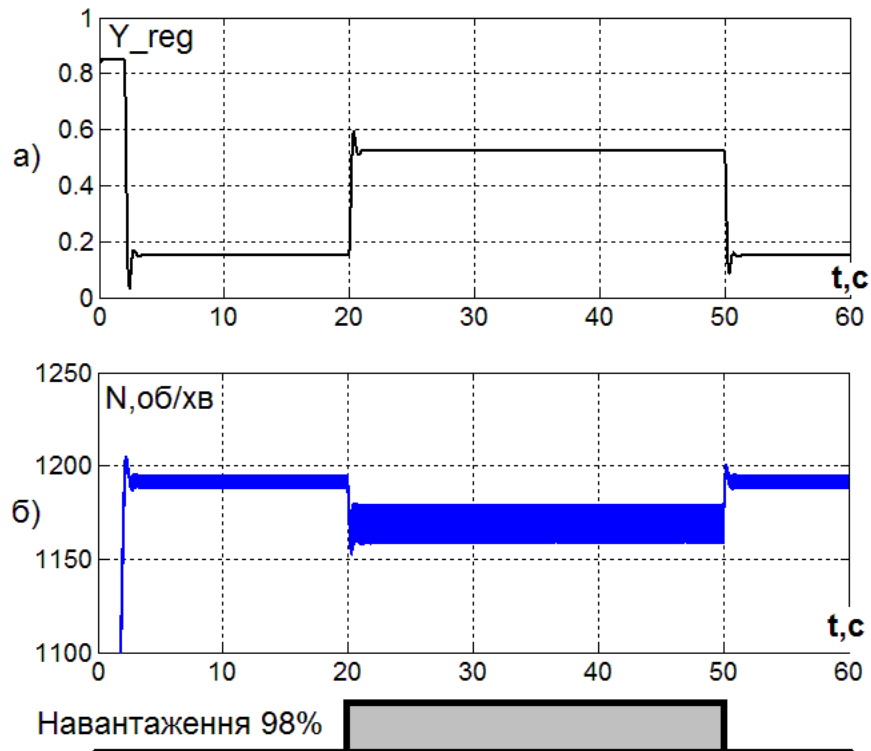


Рис.4.2. Графіки сигналу регулювання довжини впорскування Y_{reg} (а) і швидкості обертання коленвала дизеля N (б) при ступінчатій зміні моменту навантаження Res_Torque з ізодромним регулятором

Графіки частоти обертів коленвала і сигналу регулювання довжини впорскування палива на рис.4.3 з ПД-регулятором-стабілізатором частоти обертів демонструють процес розгону дизеля і вихід на номінальні оберти з виникненням навантаження на коленвалу у вигляді моменту 1500 н*м .

Настройки ПД-регулятора частоти обертів 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 $K_p=0.25$,
- коефіцієнт інтегральної складової $K_{in}=0.25$,
- коефіцієнт диференційної складової $K_d=0.125$.

Епюри на рис.4.3 демонструють перерегулювання частоти обертів при виході на холостий режим порядку 1% і повернення середньої частоти обертів до номінального значення приблизно за 5с після виникнення відхилення в результаті зміни моменту навантаження в межах 0-1500-0 н*м.

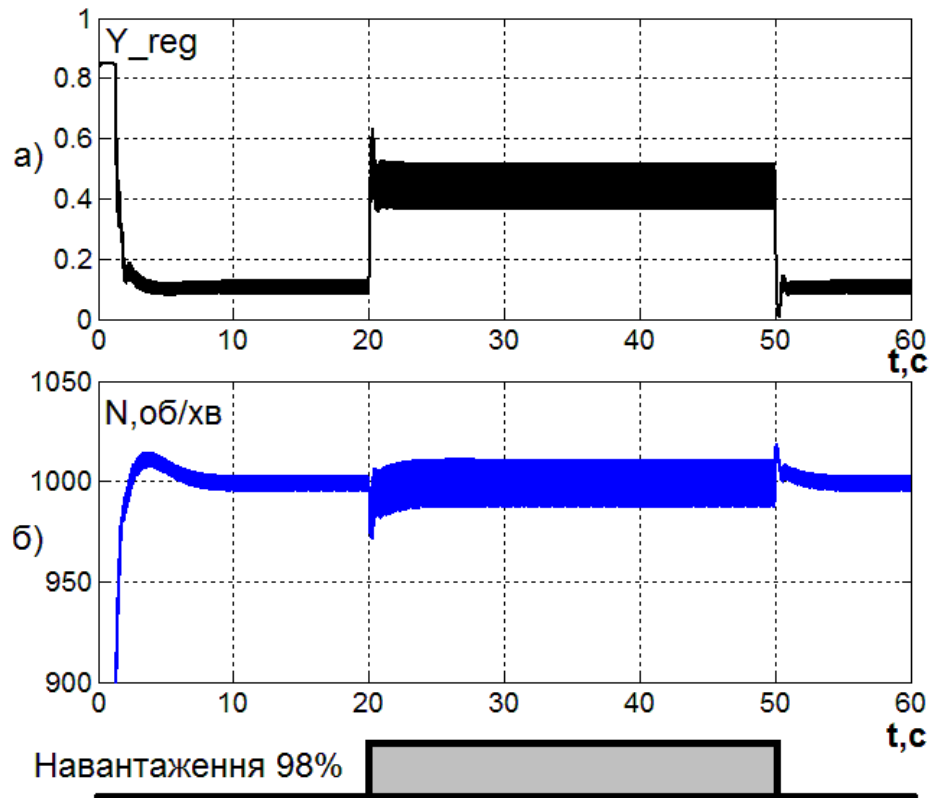


Рис.4.3. Графіки сигналу регулювання довжини впорскування Y_{reg} (а) і швидкості обертання коленвала дизеля N (б) при ступінчатій зміні моменту навантаження Res_Torque з ПІД-регулятором частоти обертів

Середня довжина впорскування встановилася на рівні 0,5 (кут $0,5\pi$), що близько до кутового значення $0,43\pi$, яке відповідає максимальному крутному моменту. Подальше збільшення кута впорскування до $0,85\pi$ ще додасть потужності дизеля біля 20-30%, але знизить його енергоефективність. Тому кут впорскування при номінальному навантаженні обрано правильно.

Графіки частоти обертів коленвала і сигналу регулювання довжини (кута) впорскування палива на рис.4.4 з ізодромним регулятором демонструють процес розгону дизеля і вихід на максимальні оберти з виникненням перевантаження на коленвалу у вигляді моменту 3000 н*м.

При виникненні перевантаження 185% від номінального моменту навантаження на коленвалі крутний момент дизеля при максимальному куті впорскування $0,85\pi$ опинився меншим за момент навантаження 3000 Н*м , в результаті чого частота обертів стала знижуватись.

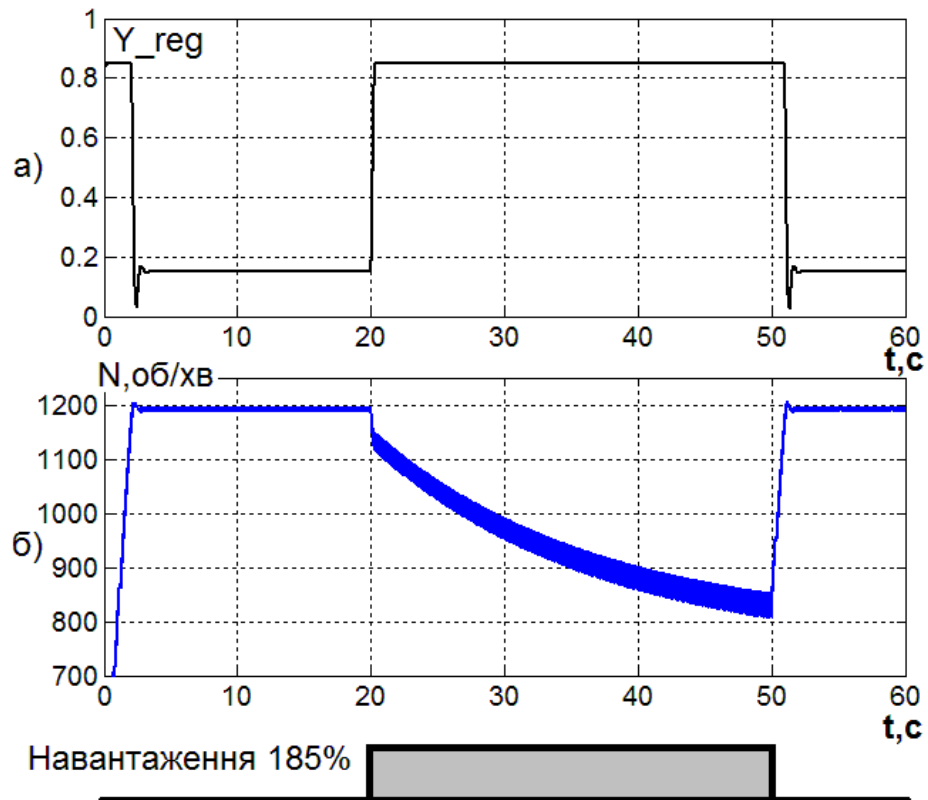


Рис.4.4. Графіки сигналу регулювання довжини впорскування Y_{reg} (а) і швидкості обертання коленвала дизеля N (б) при ступінчатій зміні моменту навантаження Res_Torque більше за номінальний з ізодромним регулятором

На практиці перевантаження дизелю призводить до підвищення температури випускних газів і температури поршневої групи, що в свою чергу загрожує додатковими напруженнями і неприпустимими деформаціями конструкції, коксуванню мастила і прогорянню поршня. Якщо в систему управління дизелем ввести пристрій визначення перевантаження всього дизеля і окремих його циліндрів, то він буде зменшувати максимально допустимі кути впорскування по циліндрах при підвищенні температур циліндру та випускних газів. Це дозволить обмежити перевантаження і зберегти дизель від виходу зі строю. В якості розвитку моделі дизеля з можна рекомендувати створення моделі запобіжника перевантажень.

4.2. Імітаційна модель дизеля і регулятора частоти обертів

При створенні імітаційної моделі дизеля враховувалася залежність крутного моменту від кута α повороту коленвалу всередині кожного такту при різних кутах впорскування палива. Один такт займає напівоберт коленвалу (кут $\alpha = \pi$) і відповідає повному переміщенню поршня по циліндру в одному напрямку знизу-вверх або зверху-вниз. Діаграма крутного моменту з боку одного циліндру дизеля на рис.4.5 побудована на основі діаграми циклу дизеля на рис.3.5, де характерні точки мають таке-ж саме позначення.

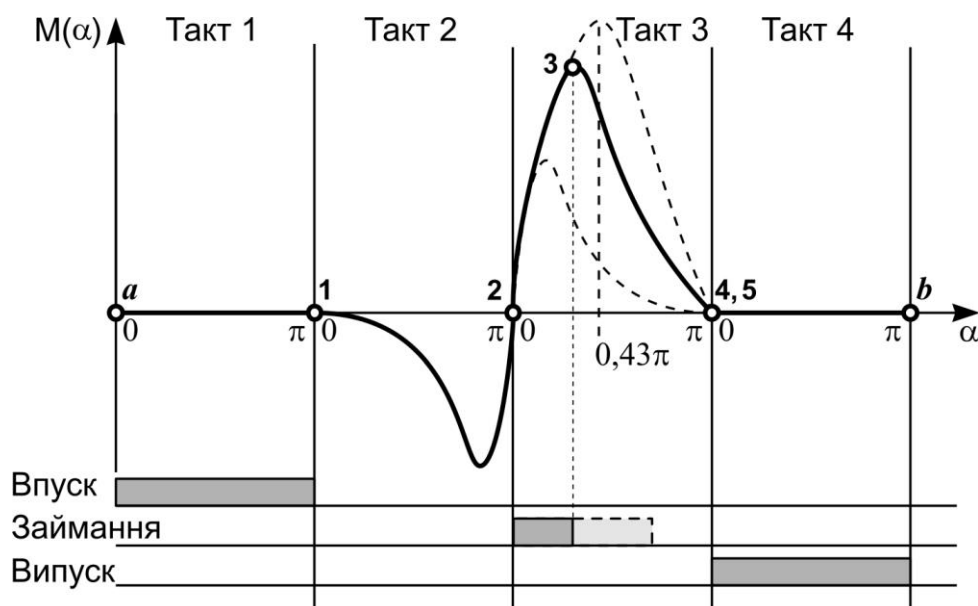


Рис.4.3. Епюри роботи 4-тактного дизеля

Із діаграми на рис.4.5 видно, що зі зміною довжини впорскування змінюється величина імпульсу крутного моменту і таким чином змінюється механічна потужність дизелю. Функція моменту при відсутності палива біде мати симетричний вигляд – негативний імпульс в другому такті при стисканні повітря, і позитивний імпульс в третьому такті при розширенні повітря в циліндрі. В ідеалі обидва ці імпульси моментів будуть рівновеликими і результуюча робота поршня за цикл (два оберти коленвалу) буде нульовою. Практично при стисканні і розширенні буде мати місце теплообмін повітря і циліндра, також буде розсіювання енергії в тертя. Тому робота поршня буде від’ємною і якщо розкрутити дизель без палива, то він поступово зупиниться. Назвемо функцію моменту без подачі палива **компресійним моментом**.

					141.4361.БР.ПЗ.Р4	Арк.
						71
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

При подачі палива виникає ділянка розширення газів при сталому тиску за рахунок поступового впорскування і згоряння палива в циліндрі в третьому такті. Це призводить до збільшення імпульсу позитивного моменту в порівнянні з імпульсом негативного моменту в другому такті. Робота поршня стає позитивною і дизель після запуску буде прагнути до розкручування до меж, які обумовлені динамікою подачі палива, впорскування і його згоряння в циліндрі, а також зростаючими силами механічного опору руху деталей дизеля. Назвемо складову імпульсу моменту в третьому такті, обумовлену згорянням палива в циліндрі, **моментом запалювання**.

Оскільки імпульси моменту на коленвалі діють на інерційну механічну систему обертальних мас дизель-генератора, до яких прикладені окрім крутного моменту і динамічний момент, моменти тертя та механічного навантаження, можна характеризувати інерційність обертальних мас дизель-генератора механічною інерційною постійною часу $T_j = J_{\Sigma} \omega_{\text{ном}}^2 / P_{\text{ном}}$, де $\omega_{\text{ном}} = \pi N_{\text{ном}} / 30$. Для $N_{\text{ном}} = 1000$ об/хв маємо $\omega_{\text{ном}} = 104,67$ р/с. Тоді для $J_{\Sigma} = 80$ кг*м², $P_{\text{ном}} = 160000$ Вт механічна інерційна постійна часу дорівнює $T_j = 5,5$ с. Довжина такту при номінальних оборотах $\tau_{\pi} = 30 / N_{\text{ном}} = 15$ мс. Це на два порядки менше за механічну постійну часу системи, тому можна зробити припущення, що форма імпульсу моменту не впливає на результуючий приріст кутової швидкості, а впливає головним чином інтеграл імпульсу у відповідності до другого закону Ньютона для обертальних мас: $J(\partial \omega / \partial t) = M(t)$, $J\omega(t) = \int M(t)dt + \omega_0$. Це припущення дозволяє замінити в моделі теоретичні функції компресійного моменту і моменту запалювання приблизними еквівалентними функціями на основі синуса та косинуса, які простіше реалізуються в імітаційній моделі. Така заміна принципово не вплине на істинність результатів моделювання, оскільки $T_j \gg \tau_{\pi}$ і середня швидкість обертання коленвалу буде визначатися інтегральними характеристиками крутного моменту.

					141.4361.БР.ПЗ.Р4	Арк.
						72
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розглянемо модель 4-тактного дизеля на рис.4.4, в основу якої покладено наступні рівняння:

- баланс динамічного і статичних моментів $M_d(t) = J_\Sigma \cdot \partial\omega(t)/\partial t$;
- сумарний статичний момент дизеля $M_d(t) = M_{rot}(t) - M_{res}(t) - K_f \omega(t)$;
- сумарний момент інерції $J_\Sigma = J_d + J_g = 80 \text{ кг*м}^2$;
- передатна функція кутової швидкості дизеля по відношенню до

$$\text{моменту } H_m(s) = \frac{\omega(s)}{M_{rot}(s) - M_{res}(s)} = \frac{1/K_f}{(J_\Sigma / K_f)s + 1} = \frac{1/K_f}{\tau_m s + 1};$$

- коефіцієнт тертя дизеля $K_f = P_f / \omega_{\text{ном}}^2$ для прийнятої потужності втрат на тертя $P_f = 3200 \text{ Вт}$ маємо $K_f \approx 0,32$ і постійну вільного обертання $\tau_m = J_\Sigma / K_f$, $\tau_m = 250 \text{ с}$.

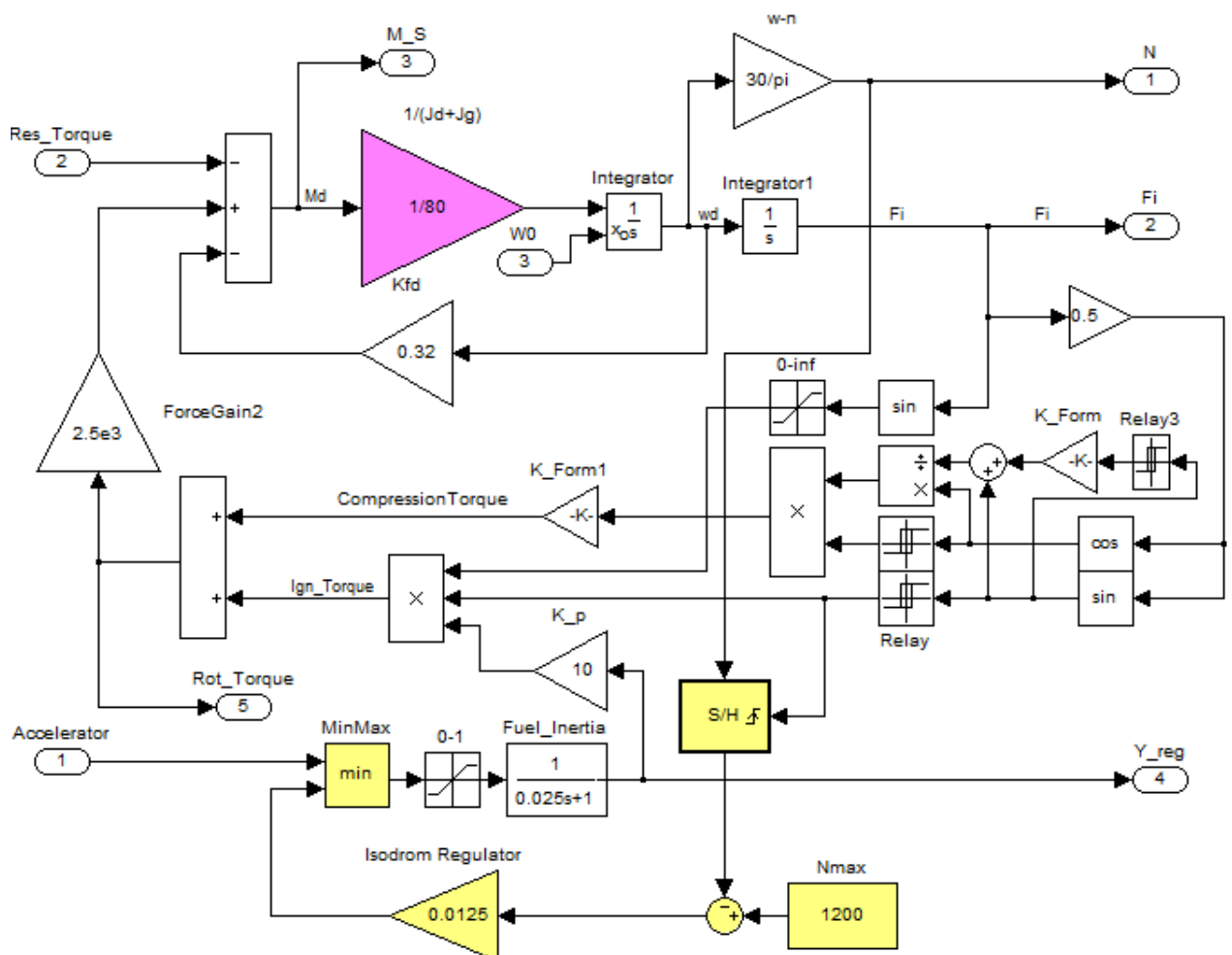


Рис.4.4. Імітаційна модель 4-тактного дизеля (одного циліндру)

Модель дизеля на рис.4.4 складається з наступних елементів:

- суматор моментів (зліва), до якого підключено вхід Res_Torque;
- коефіцієнт $1/(J_d + J_g)$ зворотний до моментів інерції дизеля і генератора;
- інтегратор моментів Integrator;
- інтегратор кутової швидкості Integrator1;
- коефіцієнт приведення кутової швидкості до частоти обертів $30/\pi$;
- коефіцієнт тертя $K_{fd}=0,32$;
- коефіцієнт масштабування крутного моменту $ForceGain2=2500$;
- суматор компресійного моменту CompressionTotque і моменту запалювання Ign_Torque;
- елементи створення компресійного моменту CompressionTotque згідно з виразом (3.9) (справа: коефіцієнт K_{Form1} , множник, множник-дільник, суматор, коефіцієнт K_{Form} , реле з гістерезисом Relay3, два реле з гістерезисом Relay, тригонометричні функції $\cos$ і $\sin$);
- множник для модуляції імпульсу моменту запалювання, на виході якого створюється момент Ign_Torque;
- елементи ізодромного регулятора (виділено жовтим): MinMax коефіцієнт чутливості ізодромного регулятора IsodromRegulator=0,0125, суматор, який виділяє різницю між заданою частотою обертів $N_{max}=1200$ об/хв і виміряною частотою обертів за допомогою пристрою вибірки і збереження S/H, обмежувач 0-1, інерційна ланка Fuel_Inertia з постійною часу 0,025с, що моделює інерційність подачі палива, коефіцієнт стиснення повітря в циліндрі $K_p=10$.

Коефіцієнт стиснення повітря в дизелях може доходити до 22, але для моделювання було обрано мінімальне значення, яке ближче до значень цього коефіцієнту 10-16 в судових дизелях.

Ізодромний регулятор – це резервний обмежувач швидкості дизеля, незалежний від системи регулювання номінальної частоти обертів, який

					141.4361.БР.ПЗ.Р4	Арк.
						74
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

запобігає розносу дизеля на холостому ході при порушеннях в основній системі авторегулювання дизель-генератора.

Ідеалізована функція моделювання компресійного моменту у відносних одиницях на рис.4.5,а має вигляд симетричних імпульсів моменту в 2 і 3 тактах роботи дизеля.

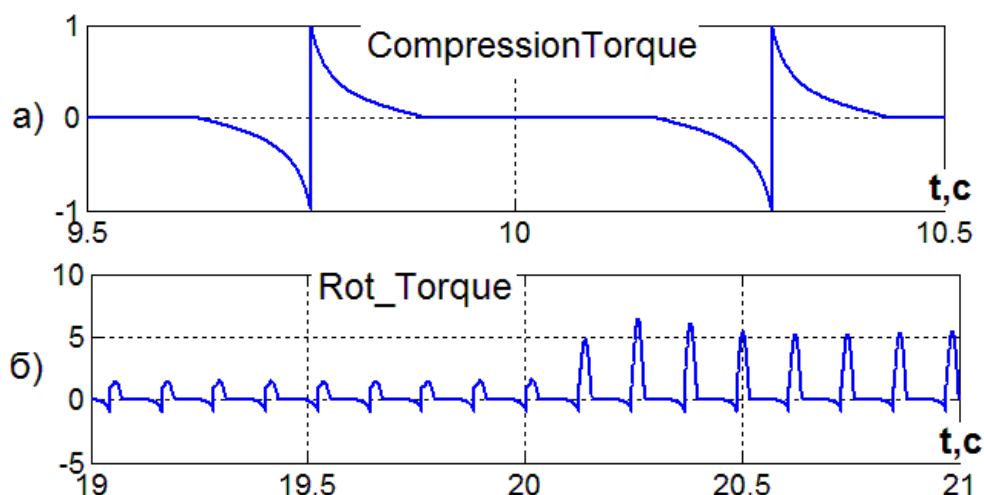


Рис.4.5. Функції моментів дизеля в різних масштабах часу:
а – компресійний момент, б – крутний момент, що є сумою компресійного моменту і моменту запалювання

При навантаженні дизелю функція моменту набуває вид синусоїдальних позитивних імпульсів моменту в третьому такті, які розкручують коленвал. Амплітуда імпульсів крутного моменту залежить від кута запалювання, який регулюється в залежності від швидкості обертання коленвала дизеля.

Схема моделі ПІД-регулятора частоти обертання складається з наступних елементів:

- трьох коефіцієнтів $K_p=0,025$, $K_{in}=0,025$, $K_d=0,0125$ відповідно пропорційної, інтегральної і диференційної складових регулювання;
- обмежувача пропорційного сигналу в межах $-1 \dots 1$;
- інерційної ланки пропорційного каналу Transfer Fcn2 з постійною часу $0,25\text{с}$, що моделює запізнення системи управління;
- інтегратора з обмеженим виходом в діапазоні $0 \dots 1$;
- передатної функції реального диференціатора з частотою зрізу $\omega=1\text{p/c}$;
- суматорів складових регулювання.

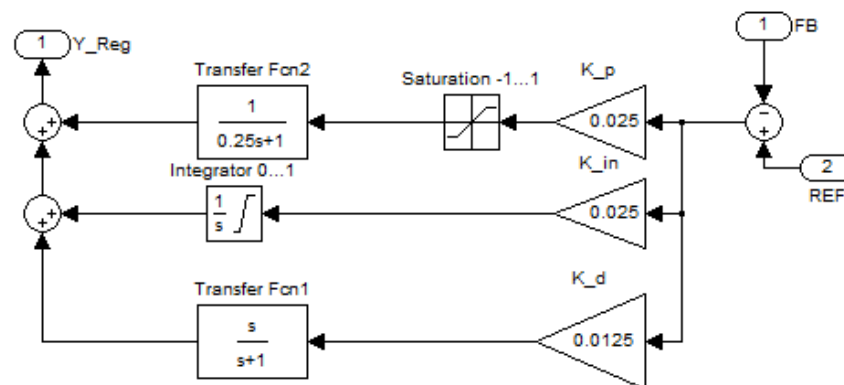


Рис.4.6. Модель ПД-регулятора частоти обертання Velocity_Reg

Далі на рис.4.7 і рис.4.8 показані епюри при розгоні дизеля, отримані в ході експериментів з настройки ПД-регулятора частоти обертання коленвалу.

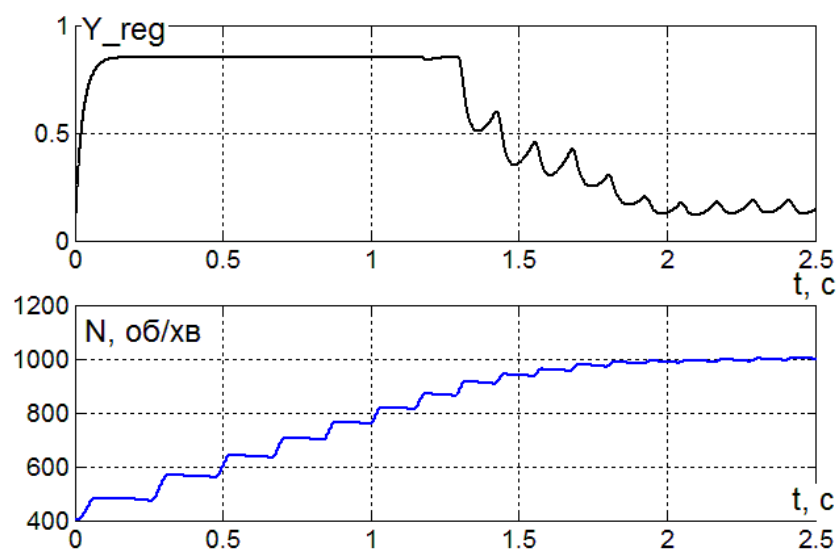


Рис.4.7. Епюри розгону дизеля: зверху – сигнал регулятора, знизу – частота обертів коленвалу дизеля

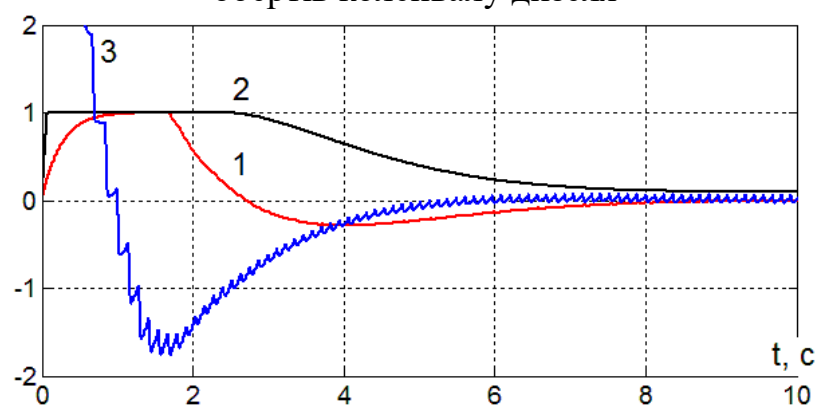


Рис.4.8. Сигнали складових регулювання ПД-регулятора частоти обертання: 1 – інтегральна, 2 – пропорційна, 3 – диференційна

Отримані експериментальні дані відповідають реальним показникам процесів розгону і стабілізації обертів роторів суднових дизель-генераторів.

					141.4361.БР.ПЗ.Р5			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Охорона праці			
Студент		Веретнов Д. О.						
Керівник		Обрубов А. В.						
Консультант								
Зав. каф.		Обрубов А. В.						
					НУК			

Розділ 5. Охорона праці

Людина та її здоров'я — найбільша цінність Української держави. Держава докладає великих зусиль, створюючи умови безпечної життєдіяльності людини як в навколишньому середовищі, так і в середовищі праці.

Охорона праці – це система збереження здоров'я, життя і працездатності людини у процесі праці за допомогою законодавчих актів, соціально-економічних, організаційних, технічних, гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів і засобів, що забезпечують безпеку [22].

Виходячи з цього визначення й враховуючи сформовану практику розуміння змісту охорони праці, звичайно виділяють три основні складові частини: правову, санітарно-гігієнічну і технічну.

Правова частина включає в себе законодавчі акти і соціально-економічні заходи, що розглядаються в трудовому законодавстві і системі управління охороною праці. Соціально-гігієнічна – організаційні, гігієнічні й лікувально-профілактичні заходи і засоби, що складають головний зміст понять гігієни праці і виробничої санітарії. Технічна – організаційні і технічні заходи і засоби, що входять до поняття техніки безпеки й протипожежного захисту.

Охорона праці пов'язана з різними галузями науки, такими, як медицина, токсикологія, фізіологія, біологія, біохімія, хімія, механіка, електротехніка, фізика, психологія, епідеміологія, правознавство, а в останні десятиріччя з'явилась нова наука — ергономіка, що вивчає методи взаємодії техніки і людей.

14 жовтня 1992 р. Україна прийняла Закон “Про охорону праці”. Закон визначає основні положення конституційного права громадян на охорону життя і здоров'я в процесі трудової діяльності, регулює відносини між роботодавцем і працівником з питань безпеки, гігієни праці, а також встановлює єдиний порядок організації охорони праці в Україні. Крім Закону України «Про охорону праці» правове регулювання охорони праці знайшло відображення в нормах глави XI «Охорона праці» (ст. ст. 153-173), глави XII «Праця жінок» (ст. ст. 174-186), глави XIII «Праця молоді» (ст. ст. 187-200) КЗпП.

					141.4361.БР.ПЗ.Р5	Арк.
						78
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

З охороною праці тісно пов'язана також низка правових норм, що відносяться до інших галузей права України. Це норми цивільного права, що встановлюють майнову відповідальність при ушкодженні здоров'я або смерті громадянина; норми адміністративного права, що визначають адміністративну відповідальність і порядок притягнення до неї громадян органами охорони праці; норми кримінального права, що встановлюють відповідальність при вчиненні злочинів у галузі охорони праці і техніки безпеки.

Основні законодавчі акти з охорони праці:

- Кодекс законів про працю;
- Закон «Про загальнообов'язкове державне соціальне страхування від нещасного випадку на виробництві та професійного захворювання, які спричинили втрату працездатності»;
- Закон «Про охорону праці»;
- Закон «Про пожежну безпеку»;
- Закон «Про охорону здоров'я»;
- Закон «Про охорону навколишнього природного середовища»;
- Закон «Про колективні договори і угоди»;
- Закон «Про використання ядерної енергії та радіаційну безпеку»;
- Закон «Про поводження з радіоактивними відходами»;
- Закон «Про дорожній рух».

За роки, що минули з часу прийняття Закону “Про охорону праці”, зроблені такі заходи для реалізації принципів, що в ньому описані:

- створено Національну раду з питань безпечної життєдіяльності населення при Кабінеті Міністрів України. Вона розробляє та здійснює заходи щодо створення цілісної системи державного управління охороною життя людей на виробництві, організовує контроль за виконанням відповідних законодавчих актів і рішень Уряду України, координує діяльність центральних і місцевих органів виконавчої влади з цих проблем;

- створено Державний комітет по нагляду за охороною праці, якому передано від профспілок державний нагляд за дотриманням законодавства про

					141.4361.БР.ПЗ.Р5	Арк.
						79
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

охорону життя і здоров'я працівників в усьому народному господарстві, доручено комплексне управління охороною праці на державному рівні.

Фінансування програм здійснюється із спеціально створених відповідних фондів охорони праці. Такі фонди були запроваджені Законом “Про охорону праці”. Зазначені фонди певною мірою стали економічною основою для поліпшення стану безпеки і гігієни праці.

Отже, правове регулювання охорони праці охоплює розробку і прийняття загальних норм охорони праці, правил техніки безпеки і виробничої санітарії; проведення профілактичних заходів, спрямованих на створення сприятливих умов праці, що попереджують виробничий травматизм та професійні захворювання; створення сприятливих умов праці і забезпечення її охорони на діючих підприємствах в процесі виконання працівниками своїх трудових обов'язків; систематичне поліпшення і оздоровлення умов праці безпосередньо з участю самих трудових колективів; розробку додаткових заходів щодо охорони праці окремих категорій трудящих — жінок, неповнолітніх, осіб зі зниженою працездатністю тощо.

На підприємствах де кількість працівників більше 50 створюється служба по охороні праці. В інших випадках функції служби виконує одна людина.

Все різноманіття законодавчих актів, заходів і засобів, що входять до поняття охорони праці [23], направлене на створення таких умов праці, при яких виключено вплив на працюючих небезпечних та шкідливих виробничих факторів.

Шкідливими факторами прийнято називати такі чинники життєвого середовища, які призводять до погіршення самопочуття, зниження працездатності, захворювання і навіть до смерті як наслідку захворювання.

Небезпечними факторами називають такі чинники життєвого середовища, які призводять до травм, опіків, обморожень, інших пошкоджень організму або окремих його органів і навіть до раптової смерті. У залежності від рівня і тривалості впливу шкідливий виробничий фактор може стати небезпечним.

До визначальних ознак небезпечних і шкідливих факторів відносяться: можливість безпосередньої негативної дії на організм людини; утруднення

					141.4361.БР.ПЗ.Р5	Арк.
						80
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

нормального функціонування органів людини; можливість порушення нормального стану елементів виробничого процесу, в результаті якого можуть виникнути аварії, вибухи, пожежі, травми. Матеріальними носіями шкідливих і небезпечних факторів є об'єкти, що формують трудовий процес і які входять в нього, а також загальножиттєві фактори: фактори оточуючого середовища; предмети праці; засоби праці (машини, верстати, інструменти, споруди, приміщення, земля, шляхи, канали і т. п.); продукти праці; технологія, операції; дії; природно-кліматичне середовище (гроза, повінь, атмосферні опади, сонячна активність, фізичні параметри атмосфери і т. п.); флора, фауна, люди.

Класифікація небезпечних і шкідливих факторів:

- за походженням вони бувають природні, техногенні, антропогенні, екологічні, змішані;
- за часом дії негативних наслідків поділяються на імпульсні і кумулятивні;
- за локалізацією пов'язані з літосферою, атмосферою, гідросферою, космосом;
- за наслідками: втома, захворювання, травми, аварії, пожежі, смертельні випадки;
- за збитками можуть бути соціальними, технічними, екологічними тощо;
- за сферою прояву: побутові, спортивні, дорожньо-транспортні, виробничі, військові тощо;
- за структурою бувають прості і похідні, які породжуються взаємодією простих;
- за впливом на людину діляться на три групи: активні, пасивно-активні, пасивні.

До активних належать фактори, які можуть вплинути на людину завдяки своїй енергії. Вони діляться на такі підгрупи:

1) механічні фактори, що характеризуються кінетичною і потенціальною енергією і механічним впливом на людину. До них належать: кінетична енергія рухомих елементів; потенціальна енергія; шум; вібрація; прискорення; гравітаційне тяжіння; невагомість; статичне напруження; дим, туман, пилюка в повітрі; аномальний барометричний тиск та ін.;

2) термічні фактори, що характеризуються тепловою енергією і аномальною температурою. До них належать: температура нагрітих і охолоджених предметів і поверхонь, температура відкритого вогню і пожежі, температура хімічних реакцій

					141.4361.БР.ПЗ.Р5	Арк.
						81
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

і інших джерел. До цієї групи належать також аномальні мікрокліматичні параметри, такі як вологість, температура і рухомість повітря, що призводять до порушення терморегуляції організму;

3) електричні фактори: електричний струм, статичний електричний заряд, електричне поле, аномальна іонізація повітря;

4) електромагнітні фактори: радіохвилі, видиме світло, ультрафіолетові та інфрачервоні промені, іонізуючі випромінювання, магнітні поля;

5) хімічні фактори: їдкі, отруйні, вогне- і вибухонебезпечні речовини, а також порушення природного газового стану повітря, наявність шкідливих домішок у повітрі;

6) біологічні фактори: небезпечні властивості мікро- і макроорганізмів, продукти життєдіяльності людей і інших біологічних об'єктів;

7) психофізіологічні: стрес, втома, незручна поза та інші.

Висновки

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

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

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

					141.4361.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 RSD32M на базі *MS-Excel* по запропонованій суміщеній статистичній і табличній методиці, яка дозволяє швидко коригувати результати розрахунків СЕЕС.

2. Запропоновано імітаційну модель судового дизеля, яка враховує компресійний момент коленвалу та імпульсний характер роботи дизеля і може використовуватись для дослідження динаміки судових дизель-генераторів.

3. З використанням моделі дизеля знайдено оптимальні настройки чутливості ізодромного регулятора і коефіцієнтів ПД-регулятора частоти обертання коленвалу дизелю, що є доказом правильності побудованої моделі.

					141.4361.БР.ПЗ.Висновки	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		83

Список використаних джерел

1. Яковлев Г. С. Судовые электроэнергетические системы : учеб. для судостроит. техникумов. 5-е изд., перераб. и доп. Ленинград : Судостроение, 1987. 267 с.
2. Сухогрузные суда RSD32M [Электронный ресурс] / Морское инженерное бюро. URL: <http://meb.com.ua/dry/RSD32M.html> (дата звернення: 24.05.2024).
3. Новости Морского инженерного бюро [Электронный ресурс]. URL: <http://meb.com.ua/news/news.html?1386> (дата звернення: 24.05.2024).
4. Новости Морского инженерного бюро [Электронный ресурс]. URL: <http://meb.com.ua/news/news.html?1555> (дата звернення: 24.05.2024).
5. Правила и руководства [Электронный ресурс] URL: <https://lk.rs-class.org/regbook/rules?RequestMapping=regbook> (дата звернення: 24.05.2024).
6. Правила класифікації та побудови морських суден. Частина XI. Електричне обладнання [Електронний ресурс] / Регістр судноплавства України. Київ, 2024. URL: <https://shipregister.ua/> (дата звернення: 24.05.2024).
7. Правила классификации и постройки судов внутреннего плавания. Бюллетень изменений и дополнений № 2 [Электронный ресурс]. URL: https://www.studmed.ru/pravila-registra-ukrainy-pravila-klassifikacii-i-postroyki-sudov-vnutrennego-plavaniya-byulletn-izmeneniy-i-dopolneniy-2_0dc79f2aff4.html (дата звернення: 24.05.2024).
8. Баранов А. П. Автоматическое управление судовыми электроэнергетическими установками. Москва : Транспорт, 1981. 255 с.

					141.4361.БР.ПЗ.Список джерел	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		84

9. Миронов В. В. Конспект лекцій з дисципліни «Електрообладнання суден та його експлуатація» за спеціальністю 7.100302 «Експлуатація суднових енергетичних установок». Херсон, 1995.
10. Условия работы и требования, предъявляемые к судовым электроэнергетическим системам и электростанциям [Электронный ресурс]. URL: <http://sea-technics.ru/usloviya-raboty-i-trebovaniya-predyavlyaemye-k-sudovym-elektroenergeticheskim-sistemam-i-elektrostantsiyam> (дата звернення: 24.05.2024).
11. Розрахунок СЕЕС_Навіс.xls [Електронний ресурс].
12. IEC 60034-1. Rotating electrical machines — Rating and performance. Geneva : International Electrotechnical Commission.
13. **IEC 60034-1:2022**. Rotating electrical machines. Part 1: Rating and performance. Geneva : International Electrotechnical Commission, 2022.
14. **DNV**. Rules for Classification: Ships. Part 4. Machinery and systems. Oslo : DNV, 2023.
15. **IEC 60092-201:2019**. Electrical installations in ships. Part 201: System design — General. Geneva : International Electrotechnical Commission, 2019.
16. International Convention for the Safety of Life at Sea (SOLAS). Chapter II-1, Regulations 40–45. Electrical installations. London : International Maritime Organization.
17. Судовой двигатель [Электронный ресурс] / Корабел.ру. URL: https://www.korabel.ru/putevoditel/sudovoi_dvigatel.html (дата звернення: 24.05.2024).
18. Двигатели внутреннего сгорания [Электронный ресурс]. URL: <http://www.stroitelstvo-new.ru/sudostroenie/slesar/dvigateli-vnutrennego-sgoraniya.shtml> (дата звернення: 24.05.2024).
19. Судовые двигатели внутреннего сгорания (СДВС) [Электронный ресурс] / Neftegaz.ru. URL: <https://neftegaz.ru/tech-library/sudovoe->

					141.4361.БР.ПЗ.Список джерел	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		85

oborudovanie/141897-sudovye-dvigateli-vnutrennego-sgoraniya-sdvs/

(дата звернення: 24.05.2024).

20. Адиабатический процесс // Википедия : свободная энциклопедия

[Электронный ресурс]. URL:

https://ru.wikipedia.org/wiki/Адиабатический_процесс (дата

звернення: 24.05.2024).

21. Степень сжатия // Википедия : свободная энциклопедия

[Электронный ресурс]. URL:

https://ru.wikipedia.org/wiki/Степень_сжатия (дата звернення:

24.05.2024).

22. Макаров М. С. Техническая термодинамика. Лекция № 21. Циклы

ДВС [Электронный ресурс]. Файл: 000066.pdf.

23. Про охорону праці : Закон України [Електронний ресурс] / ДНАОП.

URL: <https://dnaop.com/html/3428/doc-zakon-ukrajini-pro-ohoronu-praci>

(дата звернення: 24.05.2024).

24. Нормативно-правова база України [Електронний ресурс] / ДНАОП.

URL: https://dnaop.com/html/32294_3.html (дата звернення:

24.05.2024).

					141.4361.БР.ПЗ.Список джерел	Арк.
						86
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Гарант освітньої програми

д. т. н., проф.

Волянська Я. Б. _____
(підпис)

«15» грудня 2026 р.

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

Студенту Веретнову Давиду Олександровичу

1. Тема роботи: «Розрахунок параметрів електроенергетичної системи суховантажного судна проєкту RSD32M»

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

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

2. Термін подання роботи: до 15.06.2026 р.

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

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

1. Огляд характеристик судна та його електростанції
2. Перевірочний розрахунок потужностей суднової електростанції
3. Аналіз роботи компонентів дизель-генератора
4. Моделювання елементів суднових дизель генераторів
5. Охорона праці

5. Перелік презентаційних матеріалів:

1. Ціль і задачі роботи
2. Суховантажне судно проєкту RSD32M
3. Структурна схема СЕЕС
4. Дослідження роботи дизеля
5. Імітаційна модель системи регулювання частоти обертання коленвалу дизеля
6. Графіки сигналу регулювання
7. Імітаційна модель дизеля