

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 » 06 2026 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття першого освітнього рівня вищої освіти «бакалавр»

на тему:

**«Розробка автоматизованого регулятора частоти електростанції
балкера «ABM Justice»»**

Виконав: студент групи 4367ст3



Сааков В.В.

(підпис)

Керівник роботи: к.т.н., доц. кафедри



Пальчиков О.О.

(підпис)

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 першого освітнього рівня вищої освіти «бакалавр»

Студенту Саакову Вадиму Валерійовичу

- Тема роботи: «Розробка автоматизованого регулятора частоти електростанції балкера «ABM Justice»»
Керівник роботи к.т.н., доцент кафедри Пальчиков Олег Олегович
Затверджені наказом ректора № 1286-уч. від «22» квітня 2026 року
- Термін подання роботи: до 28.05.2026 р.
- Вихідні дані по роботі: Розробити автоматичний регулятор частоти для електростанції балкера «ABM Justice»
- Перелік питань, що належать до розробки (найменування розділів):
 - Опис і основні характеристики балкера «ABM Justice».
 - Розрахунок потужності суднової електростанції.
 - Розробка автоматичного регулятора частоти дизель-генераторного агрегата.
 - Охорона праці.
- Перелік презентаційних матеріалів:
 - Загальний вид і основні характеристики балкера «ABM Justice».
 - Функціональна схема дизель-генераторної установки.
 - Принципова схема генерування та розподілу електроенергії балкера «ABM Justice».
 - Зовнішня характеристика дизеля.
 - Модель для налагодження регулятора частоти.
 - Розрахунок перехідного процесу зміни частоти.

6. Консультанти розділів ВКР

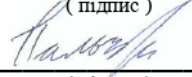
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
-	-	-	-
-	-	-	-
-	-	-	-
-	-	-	-

7. Дата видачі завдання 24.02.2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Опис і основні характеристики балкера «ABM Justice».	10.04.2026 р.	Вик.
2.	Розрахунок потужності суднової електроенергії.	24.04.2026 р.	Вик.
3.	Розробка автоматичного регулятора частоти дизель-генераторного агрегата.	14.05.2026 р.	Вик.
4.	Охорона праці	21.05.2026 р.	Вик.

Студент  Сааков В.В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник ВКРБ  Пальчиков О.О.
(підпис) (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Дипломна робота присвячена розробці автоматизованого регулятора частоти для електроенергетичної системи з дизельним джерелом механічної потужності на прикладі балкера «ABM Justice». Проаналізовано алгоритми роботи дизель-генераторного агрегату. Виконано розрахунок необхідної потужності суднової електростанції методами кореляційних залежностей і постійних навантажень. Обрано необхідну кількість дизель-генераторних агрегатів в нормальних і аварійних режимах. Вибрано основні суднові кабелі за нагрівом і провалом напруги. Налаштовано регулятор частоти дизель-генератора. Розглянуті питання охорони праці.

Кваліфікаційна робота складається з 79 сторінок і включає 19 рисунків, 8 таблиць, графічна частина складає 6 сторінок. Під час виконання роботи використано наступне програмне забезпечення MS Excel, AutoCad, Matlab.

ABSTRACT

The thesis is devoted to the development of an automated electric power system with a diesel source of mechanical power on the example of a bulker «ABM Justice» type vessel. The algorithms of work of the diesel generator unit have been analyzed. The required power of the ship's power plant has been calculated using the methods of correlation dependencies and constant loads. The required number of diesel generator in normal and emergency modes has been selected. Main ship cables have been selected with heat and voltage check. Frequency regulator of diesel generator has been fitted. The issues of labor protection have been considered.

Qualifying work consists of 79 pages and includes 19 drawings, 8 tables, the graphic part consists of 6 pages. During the execution of the work MS Excel, AutoCad, Matlab have been used.

					141.4367ст3.ДР.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		4

ЗМІСТ

ВСТУП	6
.....	
РОЗДІЛ 1. ОПИС І ОСНОВНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ БАЛКЕРА «ABM JUSTICE»	8
.....	
1.1. Характеристика балкера «ABM Justice»	9
.....	
1.2. Особливості суднових дизель-генераторних агрегатів	1
.....	1
1.3. Системи керування дизель-генератором	1
.....	3
РОЗДІЛ 2. РОЗРАХУНОК ПОТУЖНОСТІ СУДНОВОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ	2
.....	1
2.1. Визначення потужності суднової електростанції методом кореляційних залежностей.....	2
2.2. Складання таблиці суднових електроспоживачів	2
.....	4
2.3. Визначення потужності суднової електростанції методом постійних навантажень	3
.....	0
2.4. Вибір кількості генераторів і схеми електропостачання	3
.....	6
2.5. Вибір основних кабелів	4
.....	1
РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЯТОРА ЧАСТОТИ ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРНОГО АГРЕГАТА	5
.....	3
3.1. Визначення параметрів експлуатаційних режимів дизель-	

генераторного	агрегата	5
.....		4
3.2. Розробка моделі динаміки дизель-генераторного агрегата		5
.....		8
3.3. Налагодження регулятора частоти дизель-генераторного агрегата..		5
		9
РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ		6
.....		2
4.1. Загальні положення		6
		3
4.2. Аналіз небезпечних та шкідливих факторів, впливаючих на електромеханіка при експлуатації дизель-генераторних агрегатів		6
.....		5
4.3. Розрахунок освітлення в кабінеті капітана		6
.....		8
4.4. Заходи з техніки безпеки при експлуатації дизель-генераторних агрегатів.....		6
..		9
ВИСНОВКИ		7
.....		6
ЛІТЕРАТУРА		7

Сучасні морські судна характеризуються високим ступенем електрифікації. Одна з основних тенденцій розвитку суднової електроенергетики – постійне зростання потужностей суднових електростанцій і встановленого електроустаткування. Поряд зі зростанням потужностей електростанцій ускладнилася їх структура, а також структура електричних мереж, підвищилися вимоги до надійності їх роботи, що призвело до широкого застосування систем захисту, контролю, регулювання та управління, виконаних з застосуванням засобів напівпровідникової і мікропроцесорної техніки.

					141.4367ст3.ДР.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

Проектування суднових електромереж має ґрунтуватися на принципах модульності і забезпечувати надійне постачання електроенергії споживачу. Під час експлуатації повинен бути забезпечений швидкий і надійний захист всіх елементів суднових електроенергетичних систем від ненормальних режимів роботи (від короткого замикання або перевантаження). Захист мереж від таких режимів здійснюється автоматичними вимикачами (автоматами) або запобіжниками. Встановлене на судах електрообладнання працює в особливих умовах, які повинні бути враховані при монтажі обладнання на судні. Ці умови змушують пред'являти до виготовлення суднового електрообладнання особливі вимоги, що відрізняються від вимог до однотипних промислових зразків. Суднове електрообладнання повинно бути виконано з корозійностійких і міцних матеріалів для підвищення надійності його роботи, мати знижені центри тяжкості, а також відповідати іншим спеціальним вимогам.

РОЗДІЛ 1

ОПИС І ОСНОВНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ НАВАЛОЧНИКА ТИПУ «»

1.1. Характеристика балкера «ABM Justice»

Навалочник або балкер – спеціалізоване вантажне судно річного або морського базування, що застосовується для перевезення вантажів насипом або навалом в трюмі (тобто без тари), таких як зерно, вугілля, цемент і інших насипних вантажів. Часто оснащується подвійним дном і бортами для підвищення безпеки плавання. Електроенергетична система навалочників розглядається на прикладі балкера «ABM Justice». Цей балкер побудований у Японії суднобудівельною компанією NAIKAI SHIPBUILDING SETODA FACTORY – ONOMICHI (рис. 1.1). Рік побудови судна – 1998. Призначення

					141.4367ст3.ДР.ПЗ	Арк.
						9
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

судна для перевезення вантажів насипом. Власником балкера є грецька компанія NEWPORT SHIPMANAGEMENT.

Судно побудовано на клас Англійського Ллойд і має необмежений район плавання [18]. Відрізняється великою вантажопідйомністю і невеликою швидкістю ходу. Це однопалубне судно з полубаком і машинним відділенням у кормі. Трюм балкера має нахилені стінки (нижня і верхня частини) для саморозподілення насипного вантажу. Судно має розвантажувальне обладнання – крани, за допомогою яких здійснюється завантаження і розвантаження без використання берегових пристроїв. Непотоплюваність судна забезпечена при затопленні одного любого відсіку. Забезпечений водонепроникними перегородками, що мають змішану систему набору. Автономність плавання за запасами палива 50 діб. Судно являється універсальним і перевозить різноманітні навалочні вантажі.

Основні характеристики судна представлені у табл. 1.1.

Вантажні приміщення на балкері представлені трюмами з вантажними люками для перевезення насипної продукції, які мають ємність 36,255 м³ та 34,920 м³. Тип двигуна Hitachi. Модель двигуна 5s50mc з потужністю двигуна 8900 кВт.

					141.4367ст3.ДР.ПЗ	Арк.
						10
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рис. 1.1. Загальний вид балкера «ABM Justice» і завантаження зерна в трюм балкера з елеваторним краном

					141.4367ст3.ДР.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

Таблиця 1.1.

Основні характеристики балкера «ABM Justice»

Найменування параметру	Значення
Довжина, м:	
найбільша	169,0
між перпендикулярами	162,0
Ширина найбільша, м	27,0
Висота борту до верхньої палуби, м	13,8
Дедвейт, т	27786
Вантажопідйомність, т	18095
Швидкість, вуз:	
в повному навантаженні	14,8
в баласті	16,5
Екіпаж, ч	62

1.2. Особливості суднових дизель-генераторних агрегатів

Суднові генераторні агрегати складаються з привідних (первичних) двигунів і генераторів електричного струму. В якості первичних зазвичай використовуються двигуни, однотипні з головними. Генеральний агрегат, що складається з дизеля і генератора, називається дизель-генератором і поставляється на судно комплектно [2, 7].

В якості первичних двигунів на судах використовуються серельно- і високооборотні (переважно чотирьохтактні) дизелі з частотою обертання $n = 750 \dots 1500$ об/хв агрегатної потужності від 3 до 1000 кВт і більше, з прямою передачею потужності на генератор. В порівнянні з аналогічними по потужності двухтактними, чотирьохтактні дизелі відрізняються декілька більшим ресусом (при рівній напруженості), кращою економічністю, а також повною врівноваженістю. Для приводу потужних генераторів ($N > 300 \dots 500$ кВт) використовуються двигуни з газотурбінним наддувом, однак такі двигель-генератори відрізняються збільшеною тривалістю перехідних процесів через більшу інерційність турбокомпресора. Для приводу аварійних генераторів потужністю до 100 кВт застосовують високооборотні чотирьохтактні дизелі з повітряним або радіаторним охолодженням, що суттєво спрощує їх

					141.4367ст3.ДР.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

компоновку. В дизельних установках, до яких пред'являються жорсткі вимоги за масою і габаритами обладнання, можуть застосовуватися дизель-генератори малої і середньої потужності і частотою обертання дизеля 1500 об/хв. і вище. Однак невеликі терміни служби і підвищена шумність обмежують область їх застосування на громадянських судах [19].

Первинним двигунам дизель-генераторних установок повинні належать наступні особливості: постійна готовність до швидкого запуску і можливість швидкого прийому навантаження; мала ступінь нерівномірності обертання – не більш 1/100...1/150 для дизель-генераторів постійного струму і 1/150...1/200 для дизель-генераторів змінного струму (при їх паралельному включенні 1/250...1/300); наявність дво- або все режимного регулятора, що забезпечує стійку роздільну і паралельну роботу дизель-генератора; максимальна автономність систем і агрегатів, обслуговуючих двигун; наявність дистанційного автоматичного керування пуском і режимами роботи установки з центрального пульта керування або з головного розподільчого щита.

Особливо жорсткі керування пред'являються до первинних двигунів при паралельній роботі декількох дизель-генераторів змінного струму. В цьому випадку регулятори частоти обертання дизелів повинні забезпечувати розподілення активного навантаження між паралельно працюючими дизель-генераторами пропорційно їх потужності з точністю $\pm 10\%$ від номінальної при будь-якому сумарному навантаженні. Регулятори повинні автоматично підтримувати постійність частоти обертання при скиданні і накиданні навантаження з допустимими миттєвими змінами в межах 10 % і постійність сталої частоти обертання в межах 2,5 %. Час перехідного режиму повинен бути мінімальним, причому не більше 15 с. Питомі витрати палива в судових дизель-генераторах зазвичай не перевищують 0,201...0,26 кг/(кВт·ч).

					141.4367ст3.ДР.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

Суднові генератори електричного струму виконуються з самовентиляцією або з примусовим (замкненим) охолодженням, на підшипниках кочення або ковзання, ізоляція передбачається по класу F або H (гранично допустимий нагрів відповідно 130 або 180 °C). Генератори постійного струму випускаються серії П, ПД, ПГ, ГПМ і 2ПГК зі змішаним збудженням.

Генератори з'єднуються з дизелем еластичною або напівжорсткою муфтою і, як правило, монтуються на загальній з ним рамі. Більшість генераторів допускають перевантаження на 10 % за термін 1 год., на 25 % – за термін 10 хв (при $\cos\varphi = 0,7$) і на 50 % – за термін 2 мин (при $\cos\varphi = 0,6$).

Аварійна електростанція (аварійний дизель-генератор) обов'язково передбачається на судах місткістю більш к 5 тис. рег. т. Аварійний дизель-генератор повинен бути повністю автономним з запасом палива не менш ніж на 6 ч роботи (на пасажирських судах – на 36 ч); його потужність повинна забезпечувати живлення аварійного освітлення, радіообладнання, рульової машини, пожежного насосу, сигнальних вогнів і навігаційних приладів. Для малих і середніх по тоннажу суден потужність таких дизель-генераторів не перевищує 10...100 кВт, а для великих пасажирських суден може досягати до 300 кВт і більше. При використанні генератора в якості аварійного джерела електроенергії на додаток до нього передбачається акумуляторна батарея з ємністю, достатньою для живлення названих вище споживачів протягом 30 хв. На пасажирських судах обов'язкове встановлення акумуляторних батарей аварійного освітлення (час живлення не менше 30 хв.) [7].

1.3. Системи керування дизель-генератором

Системи дистанційного автоматичного керування приводним двигуном генератора можуть виконувати наступні функції: підготовку до пуску, пуск, зміна частоти обертання вала, підтримка нормальної роботи, контроль, захист і

					141.4367ст3.ДР.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

зупинка двигуна [4]. Використання систем дистанційного автоматичного керування дозволяє підвищити чіткість і стабільність керування головного агрегату, виключити ненормальні режими роботи двигунів і постійне носіння вахти в машинному відділені, розміщувати агрегати в короткочасно відвідуваних приміщеннях і нежилых приміщеннях судна .

За призначенням і об'єму автоматизації суднові дизель-генератори можуть бути розділені на дві групи. До першої групи відносять дизель-генератори, що забезпечують електропостачання споживачів судна в нормальних експлуатаційних режимах. До другої групи відносять автономні дизель генератори, які забезпечують електропостачання особливо відповідальних споживачів судна у випадку виходу зі строю основної електростанції.

Алгоритми функціонування системи дизельного автоматичного керування розглядається на прикладі її використання для керування дизель-генератора змінного струму типу 6Д50А і його допоміжними електрифіційними механізмами (рис. 1.4). На рис. 1.4 позначені: штрихпунктирні лінії – система прісної води; штрихові лінії – система повітря середнього тиску. 1, 2 – відповідно виносний і основний пульт системи дистанційно-автоматичного керування; 3, 10, 32 – з'єднувальні ящики; 4 – головний розподільчий щит; 5 – розподільчий бак; 6, 19 – водо-водні холодильники; 7 – насос для прокачування прісної води системи охолодження наддувочного повітря; 8 – охолоджувач наддувочного повітря; 9, 15 ,20 – магнітні пускачі; 11, 25 – датчики; 12, 24 – клапани підігрівача; 13 – масло збірний бак; 14 – насос для прокачування дизеля маслом; 16 – охолоджувач масла; 17 – балон стисненого повітря; 18 – насос заборотної води; 21 – насос для прокачування прісної води при підігріві; 22 – клапан циркуляції прісної води; 23 – розширювальний бак; 26 – електромагнітні клапани; 27 – відцентрове реле

					141.4367ст3.ДР.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

частоти обертання; 28 – робочий стоп-пристрій; 29 – кінцеві вимикачі положення паливної рейки; 30 – регулятор частоти обертання вала дизеля (з вбудованим серводвигуном); 31 – електромагніт повітряної заслонки; 33 – звуковий сигналізатор; 34 – АВГ. Процес керування дизельним приводом генератора закладається в своєчасному вводиті в дію і відключення допоміжних електрифіційних механізмів двигуна і його систем у відповідності з заданими алгоритмами (програмами), а також контроль за їх станом.

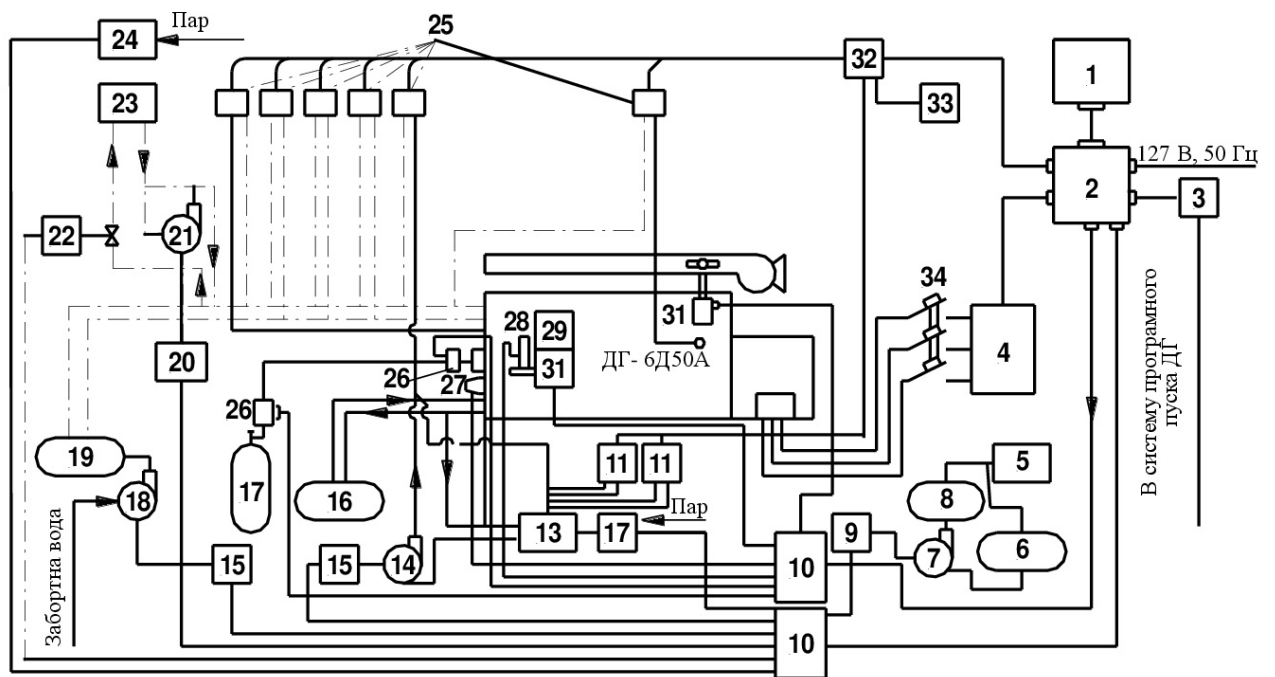


Рис. 1.4. Функціональна схема дизель-генераторної установки

Розглядається алгоритм підтримки дизель-генератора в прогрітому стані, пуску, зупинки і захисту. В схемі підтримки дизель-генератора в прогрітому стані (рис. 1.5) позначені: 1 – сигнал мінімального значення температури масла (води); 2 – прокачування системи масла і води; 3 – дозвіл на включення підігрівальних пристроїв за імпульсом від реле тиску в системах прокачування масла і води; 4 – прогрівання двигуна за допомогою підігрівальних пристроїв; 5 – включення системи прогріву за імпульсами максимальної температури

масла і води. Граф-схема алгоритму підтримки дизель-генератора в прогрітому стані представлена на рис. 1.6.

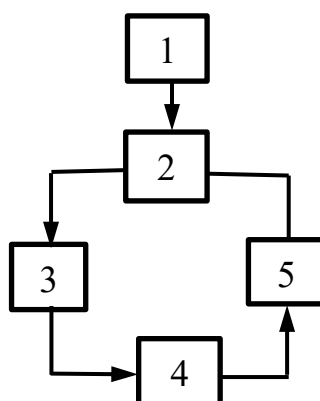


Рис. 1.5. Структурна схема процесу підтримки дизель-генератора в прогрітому стані

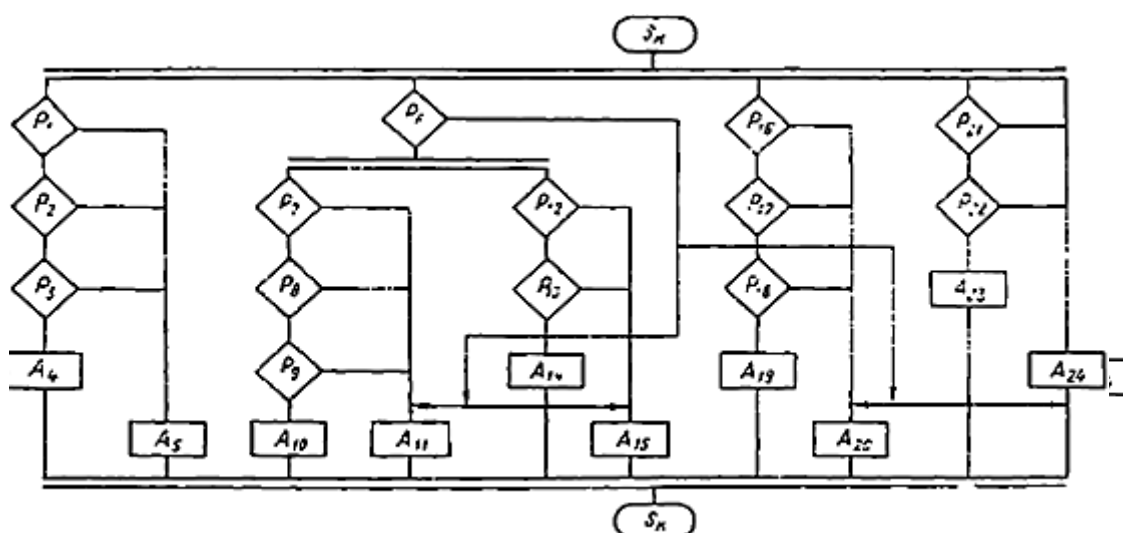


Рис. 1.6. Граф-схема алгоритму підтримки дизель-генератора в прогрітому стані

На схемі пуску дизель-генератора і приймання їм навантаження (рис. 1.7) позначені 1 – сигнал на пуск двигуна; 2 – передпускове прокачування масляної системи; 3 – дозвіл пуску по сигналу реле тиску масла; 4 – розкручування двигуна; 5 – прогрівання двигуна при попередньому затягуванні пружини регулятора частоти обертання; 6 – дозвіл на збільшення частоти обертання двигуна по сигналу датчиків температури масла і води; 7 – вихід двигуна на номінальну частоту обертання; 8 – контроль подовженості передпускового прокачування масла; 9 – контроль подовженості подачі пускового повітря; 10 –

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

141.4367ст3.ДР.ПЗ

Арк.

17

відключення пускової системи по сигналу реле частоти обертання; 11 – підготовка захисту по контрольованим параметрам; 12 – блокування схем і зупинка двигуна; 13 – дозвіл на включення АВГ по сигналу датчика частоти обертання двигуна; 14 – прийом навантаження дизель-генератора; 15 – дозвіл на включення пристрою синхронізації по сигналу датчика частоти обертання двигуна; 16 – введення в паралельну роботу.

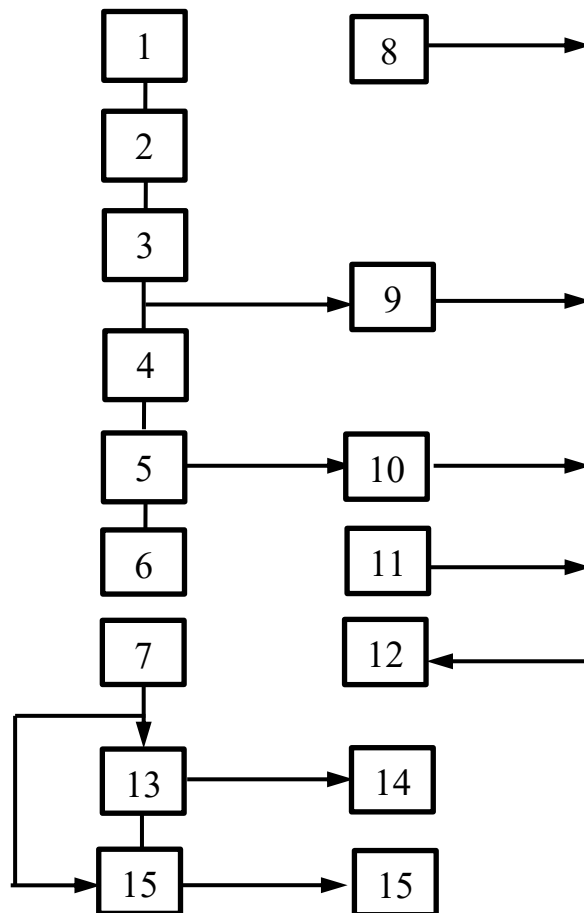


Рис. 1.7. Структурна схема процесу пуску дизель-генератора

Основним критерієм алгоритму пуску дизель-генератору є час його готовності до приймання загрузки $t_r = t_2 + t_4 + t_1 + t_3 + t_5$, де t_1 – час прокачування масла; t_2 – час запуску; t_3 – час прогріву; t_4 – час виходу на номінальну частоту обертання; t_5 – час видачі сигналу на приймання навантаження. Граф-схема алгоритму автоматичного пуску дизеля і введення його під навантаження представлена на рис. 1.8.

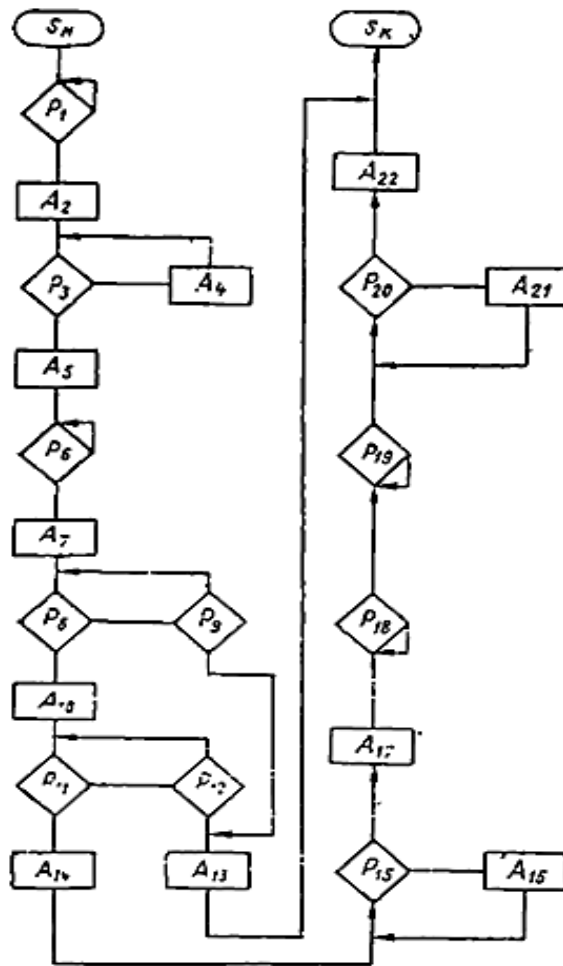
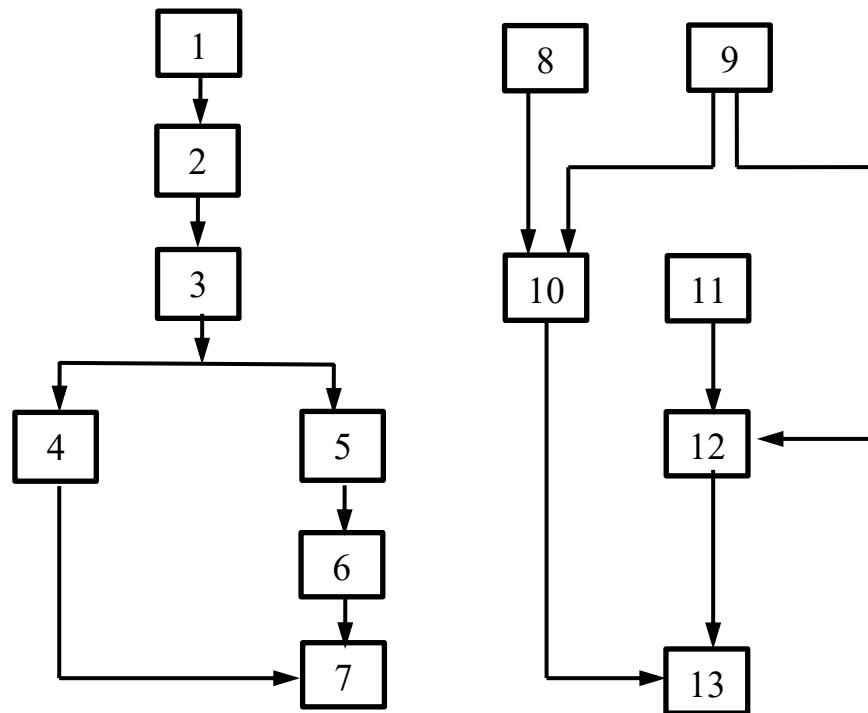


Рис.1. 8. Граф-схема алгоритму автоматичного пуску дизеля і введення його під навантаження

На структурних схемах нормальної і аварійної зупинок дизель-генератора (рис. 1.9) позначені: 1 – сигнал на зупинку двигуна; 2 – виключення навантаження і зменшення частоти обертання до рівня, що відповідає попередньому затягуванні пружини регулятора частоти обертання; 3 – сигнал на зупинку за імпульсом температур води і масла; 4, 10 – припинення подачі палива двигуна; 5, 11 – контроль подовженості зупинки; 6, 12 – перекриття всмоктуючого тракту; 7, 13 – зупинка двигуна; 8 – сигнал на зупинку двигуна (падіння тиску води, перегрів води і масла, аварія в ланцюзі генератора); 9 – сигнал – на зупинку двигуна (рознос, падіння тиску масла). Граф-схеми алгоритмів захисту і автоматичної зупинки дизель-генератора наведені на рис. 1.10 і 1.11 відповідно.



а

б

Рис. 1.9. Структурні схеми процесів нормальної (а) і аварійної (б) зупинок дизель-генератора

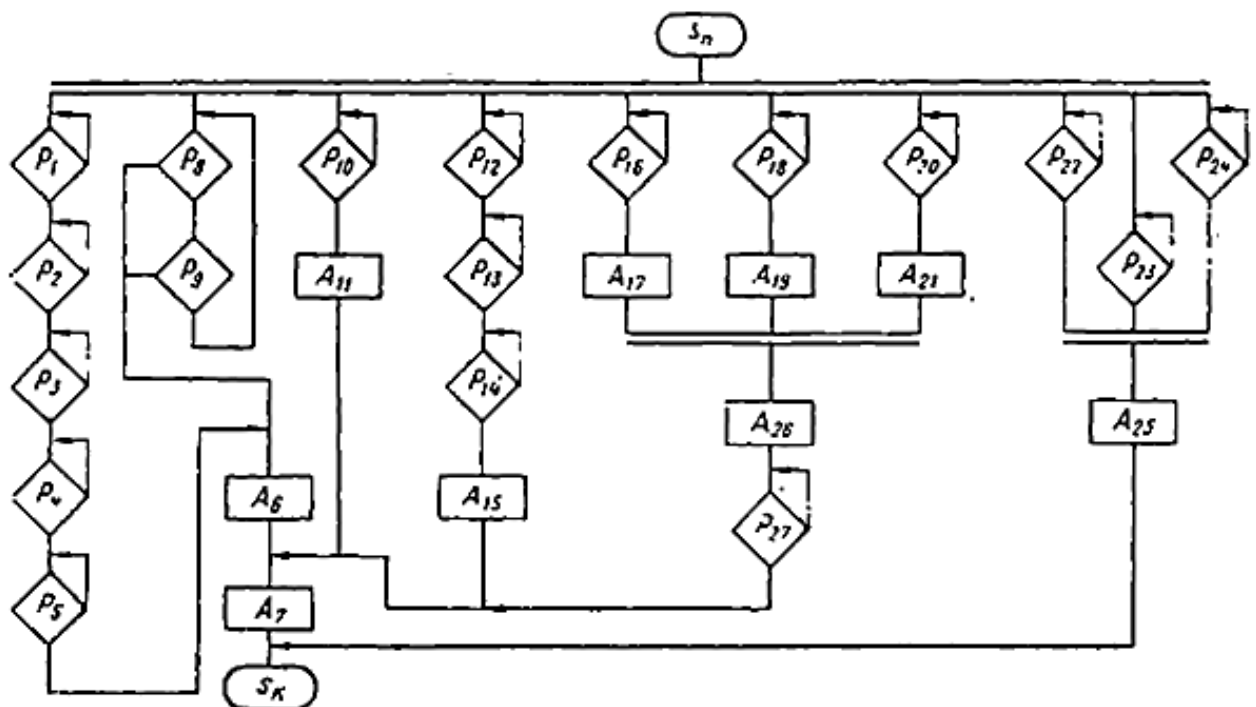


Рис. 1.10. Граф-схема алгоритму захисту дизель-генератора

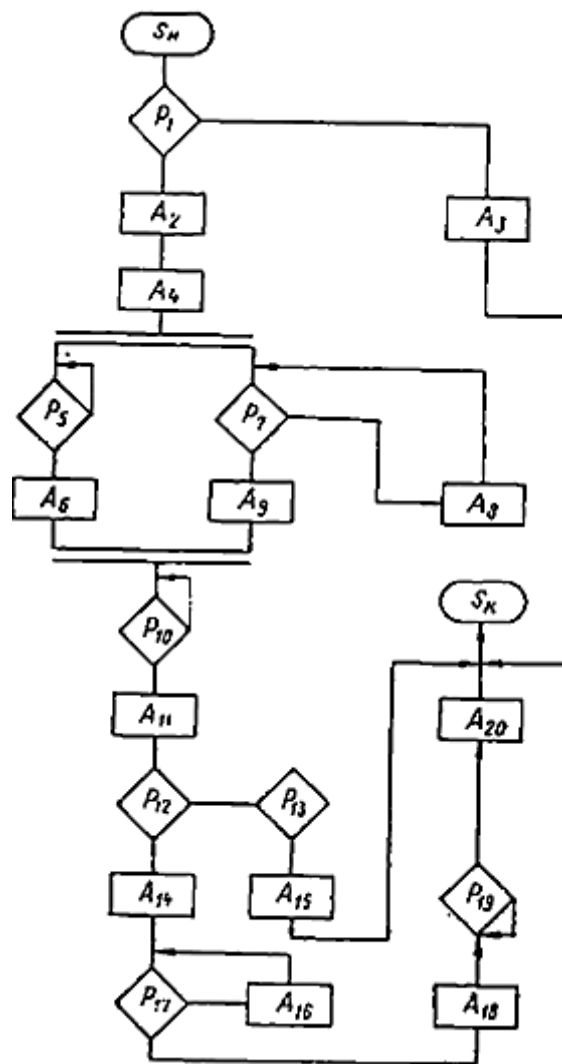
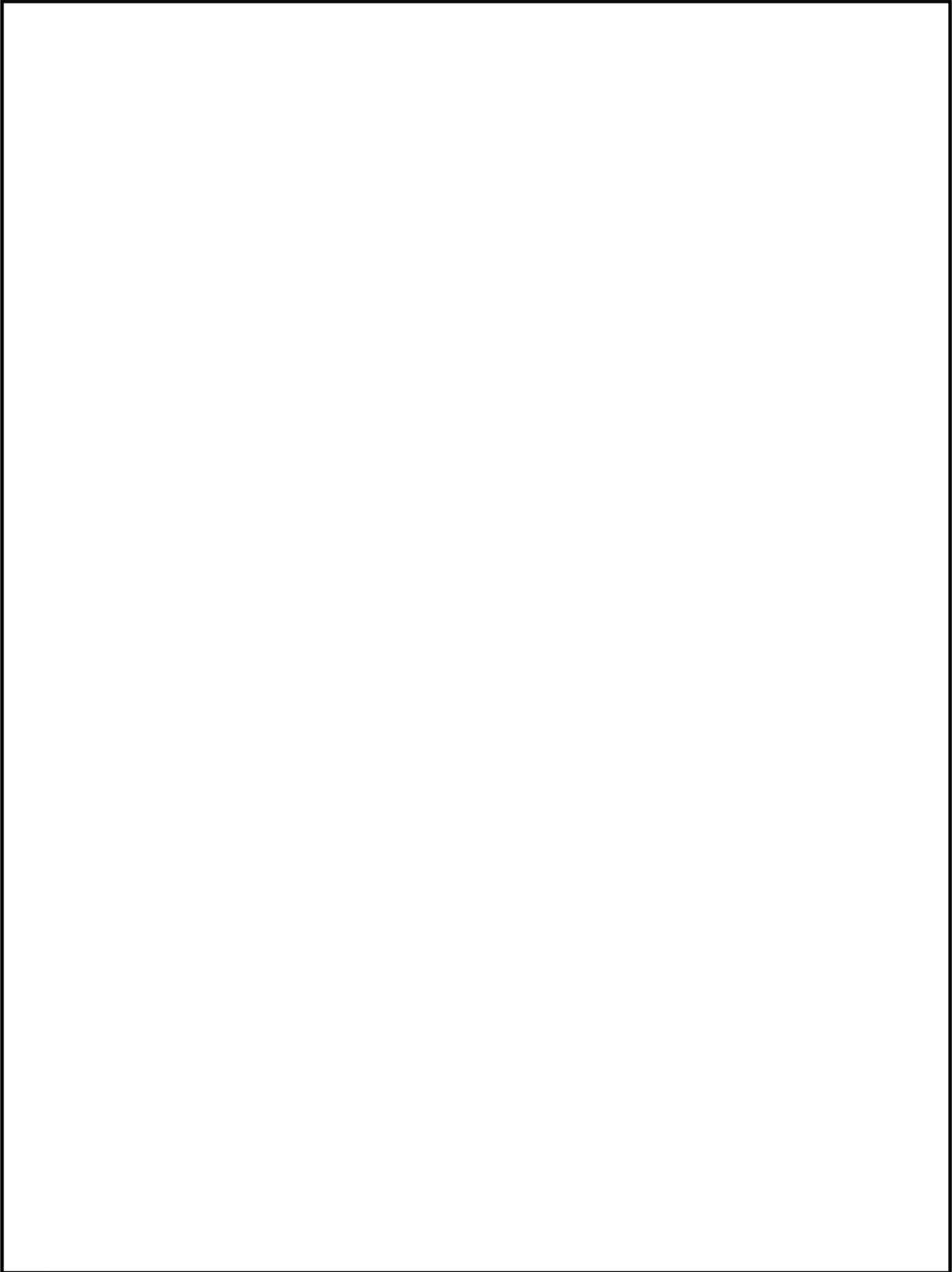


Рис. 1.11. Граф-схема алгоритму автоматичної зупинки дизель-генератора



					141.4367ст3.ДР.ПЗ.Р2							
Зм.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата								
Розробив		Сааков В.В.			РОЗДІЛ 2. РОЗРАХУНОК ПОТУЖНОСТІ СУДНОВОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ				Лист.	Арк.	Аркциф	
Перевірив		Пальчиков О.О.									21	32
									НУК			
Н. Контр.												
Затверд.		Обрубов А.В.										

2.1. Визначення потужності суднової електростанції методом кореляційних залежностей

Одним з методів розрахунку потужності споживання електроенергії на судні є метод кореляційних залежностей [3, 14]. Аналітичний метод визначення потужності суднової електростанції базується на залежностях, отриманих в ході обробки статистичних даних по суднам різноманітних типів і призначень. Вони мають безсумнівні переваги, що складаються в більшій ступені оперативності обчислення встановленої потужності електростанції і використанні в якості бази відношення для реальних об'єктів.

Метод не вільний від недоліків, головними з яких слід рахувати: обмеженість застосування класами суден, для яких є близький прототип; потужність електростанції представляється постійною величиною, яка не змінюється в часі, що не дозволяє визначати діапазон зміни навантаження, значення максимумів і мінімумів і напруцювання в діапазонах змінювання, необхідні для оптимізації складу електростанції за коефіцієнтом завантаження.

Метод кореляційних залежностей не застосовують для вибору потужності аварійних генераторів, його не поширюють на промислові судна, судна з динамічним принципом підтримки, на водотонажних суднах, швидкість яких більше 25 вузлів, на плавучі електростанції.

Тому метод застосовується в початкових стадіях проектування суден при відсутності даних щодо електроспоживачів для попереднього визначення необхідної потужності генераторів.

Активна потужність основних генераторів морських транспортних суден з дизельними енергоустановками визначається за формулою

$$P_{\text{ген}} = P_{\text{max}} + \Sigma \Delta P,$$

де P_{max} – максимальна інтегральна активна потужність стандартних електроспоживачів суден з дизельними енергоустановками,

$$P_{\text{max}} = P_{\text{ср}} + 2\sigma;$$

					141.4367ст3.ДР.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

$P_{\text{ср}}$ – середня споживана в режимі активна потужність (математичне очікування),

$$P_{\text{ср}} = M(P);$$

σ – середньоквадратичне відхилення значення активної потужності, що споживається;

$\Sigma \Delta P$ – сума додаткових активних потужностей, визначаємих специфічними для деяких типів суден електроспоживачами, а також споживачами засобів забезпечення живучості (охолодження і вентиляції в тропічних морях, нагріву – в арктичних і помірних).

Для балкера «ABM Justice» середня активна потужність споживачів у ходовому режимі визначається

$$P_{\text{ср}} = 46 N_e = 46 \cdot 8,9 = 409,4 \text{ кВт.}$$

де N_e – номінальна потужність суднового дизелю, $N_e = 8,9 \text{ МВт.}$

При цьому значення середньоквадратичного відхилення активної потужності розраховується за формулою

$$\sigma = 1,7D = 1,7 \cdot 18,095 = 30,76 \text{ кВт,}$$

де D – водотонажність судна, $D = 18,095 \text{ тис. т.}$

Активна потужність електростанції балкера «ABM Justice» у ходовому режимі визначається з урахуванням $\Sigma \Delta P = 0$ (відсутності специфічних електроспоживачів)

$$P_{\text{ген}} = 409,4 + 2 \cdot 30,76 + 0 = 470,4 \text{ кВт.}$$

В режимі стоянки рекомендується для визначення середньої споживаної потужності при водотоннажності D більше 16 тис. т використовувати формулу

$$P_{\text{ср}} = 0,6D + 100 = 0,6 \cdot 18,095 + 100 = 110,86 \text{ кВт.}$$

Активна потужність електростанції балкера «ABM Justice» в режимі стоянки визначається з урахуванням $\Sigma \Delta P = 0$

$$P_{\text{ген}} = 110,86 + 2 \cdot 30,76 + 0 = 172,38 \text{ кВт.}$$

2.2. Складання таблиці судових електроспоживачів

Перелік споживачів електроенергії балкера «ABM Justice» наведений у

					141.4367ст3.ДР.ПЗ	Арк.
						24
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

табл. 2.1, яка складається з наступних колонок: група і тип електроспоживача, кількість встановлених споживачів $n_{уст}$, номінальна активна потужність споживача P_d і коефіцієнти: використання k_v (відношення споживаної механізмом потужності до номінальної потужності електродвигуна), корисної дії η , потужності $\cos\phi$. Потужність електромеханізмів енергетичної установки вибиралась у відповідності до потужності головного дизелю балкера «ABM Justice» методом інтерполяції, при якому за основу були взяті паспортні дані відповідних механізмів теплоходу «Варнемюнде». ККД і коефіцієнт потужності електромеханізмів, вказаних у табл. 1, вибирались за графіками залежностей рис. 9.2 і 9.3 [6] з урахуванням номінальної потужності і коефіцієнта використання споживача.

Активна потужність електроприводу зміни положення руля розраховується

$$P_p = M_p \cdot \omega = M_p \frac{2\alpha_{max}}{t_m} = 716 \cdot 10^3 \frac{2 \cdot 0,194 \cdot \pi}{28} = 31,17 \text{ кВт},$$

де M_p – обертовий момент рульової машини балкера «ABM Justice», $M_p = 716 \cdot 10^3 \text{ Н}\cdot\text{м}$;

α_{max} – максимальний кут відхилення пластини руля відносно центрального положення, $\alpha_{max} = 35^\circ = 35^\circ \cdot \pi / 180^\circ = 0,194\pi$;

t_m – максимальний час перекладу пластини руля з одного борту на інший, визначений Регістром [18], $t_m = 28 \text{ с}$.

З ряду номінальних потужностей [6] обираємо найближчий більший номінал асинхронного двигуна і визначаємо його коефіцієнт використання

$$k_v = \frac{P_p}{P_H} = \frac{31,17}{37} = 0,84.$$

Таблица 2.1

Таблица електричних навантажень

					141.4367ст3.ДР.ПЗ	Арк.
						25
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Найменування електроспоживача, групи	$n_{\text{уст}}$	Номінальні дані			
		$P_{\text{д}},$ кВт	$k_{\text{в}}$	КПД	$\cos \varphi$
1	2	3	4	5	6
Група 1. Електромеханізми енергетичної установки					
Паливноперекачуючий насос	2	4	0,87	0,82	0,84
Масляноперекачуючий насос	2	30	0,82	0,91	0,89
Насос охолодження дизеля	1	45	0,89	0,92	0,9
Сепаратор палива	1	11	0,91	0,89	0,87
Сепаратор масла	1	3	0,99	0,82	0,83
Насос прогріву дизеля	1	4	0,99	0,84	0,84
Насос прокачки дейдвуда	1	4	0,91	0,83	0,84
Насос живлення котла	2	4	0,95	0,84	0,84
Паливноподаючий насос котла	2	0,37	0,68	0,65	0,72
Компресор котла	2	4	0,95	0,84	0,84
Група 2. Загальносуднові системи і пристрої					
Рульова машина	2	37	0,84	0,92	0,89
Якірний пристрій	1	30	0,96	0,92	0,9
Лебідка швартовна	4	40	0,87	0,92	0,9
Лебідка вантажна	12	40	0,88	0,92	0,9
Опріснювач	1	1,1	0,77	0,74	0,78
Сепаратор трюмних вод	1	1,1	0,82	0,75	0,78
Насос осушувальний	1	1,1	0,8	0,74	0,78
Насос баластний	2	7,5	0,83	0,86	0,85
Насос осушувальний поршневий	1	5,5	0,83	0,84	0,84
Насос протипожежний	1	4	0,9	0,83	0,83
	1	3	0,83	0,81	0,82

Продовження таблиці 2.1

1	2	3	4	5	6
---	---	---	---	---	---

					Арк. 26
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

141.4367ст3.ДР.ПЗ

Засоби керування і радіо-електронної апаратури	-	7	-	-	-
Група 3. Засоби життєзабезпечення і побуту					
Основне освітлення		35		-	1,0
Зовнішнє освітлення		14		-	0,85
Установка кондиціонування		22		0,9	0,86
Електровентилятори приміщень	10	0,75	1,0	0,73	0,77
Електропобутові прилади і інструмент	30	0,75	1,0	0,73	0,77
Електроплити резистивні	2	5	1,0	1,0	1,0
Інше електрообладнання		45	1,0	0,8	0,8
Сумарне електричне навантаження, кВт		1090			

Аналогічним чином можна розрахувати потужність і коефіцієнт використання двигуна підйому якоря:

$$P_{\text{я}} = \frac{F \cdot v}{\eta} = \frac{153,76}{0,8} \cdot \frac{9}{60} = 28,75 \text{ кВт};$$

$$k_{\text{в}} = \frac{P_{\text{я}}}{P_{\text{н}}} = \frac{28,75}{30} = 0,96,$$

де F – тягове зусилля якоря, яке можна визначити за емпіричною формулою, при калібрі якірного ланцюга з діаметром $d = 62$ мм,

$$F = 40 \cdot d^2 = 40 \cdot 62^2 = 153,76 \text{ кН};$$

v – швидкість підйому якоря, $v = 9$ м/хв.;

η – КПД механічної передачі привода, $\eta = 0,8$.

Лебідки обираються з номінального ряду судових лебідок [10] за номінальним тяговим зусиллям. Оснастка легкої лебідка показана на рис. 2.1, спарена робота стріл («на телефон») надана на рис. 2.2. Коефіцієнт використання:

$$k_{\text{в1}} = \frac{F_{\text{л1}}}{F_{\text{н1}}} = \frac{78}{90} = 0,87;$$

$$k_{B2} = \frac{F_{Л2}}{F_{H2}} = \frac{49}{56} = 0,88,$$

де $F_{Л}$ – необхідне тягове зусилля лебідки;

F_{H} – номінальне тягове зусилля лебідки.

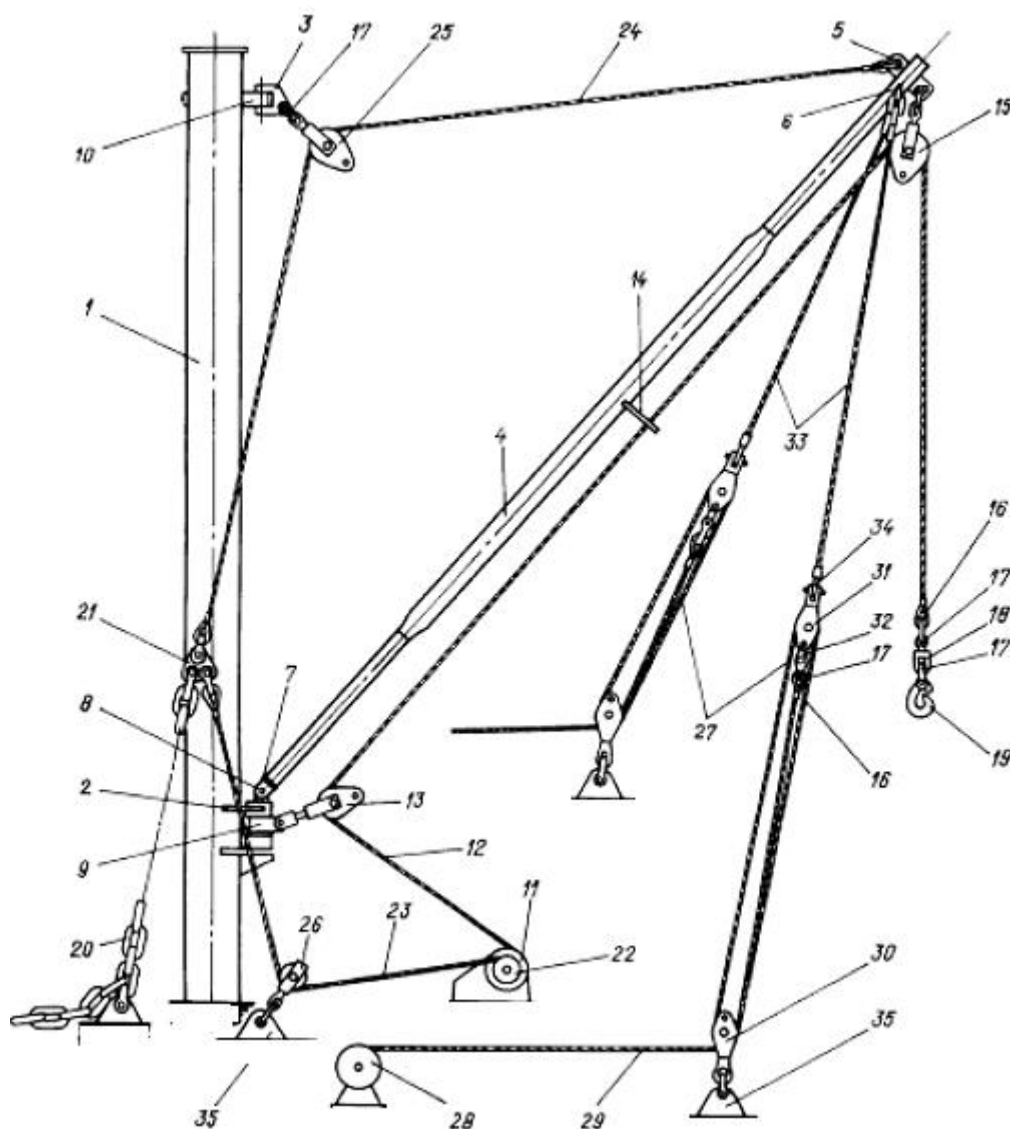


Рис. 2.1. Оснастка легкої вантажної стріли:

- 1 – грузова мачта; 2 – вертлюг шпора; 3 – вертлюг топенанта; 4 – стріла;
 5 – врізний обух; 6 – обух відтяжки; 7 – вилка шпора стріли; 8 – вісь вертлюга;
 9 – обойма; 10 – обух топенанта; 11 – вантажна лебідка; 12 – вантажний шкентель;
 13 – направляючий блок вантажного шкентеля; 14 – направляюча вантажного шкентеля;
 15 – вантажний блок; 16 – коуш; 17 – скоба; 18 – вертлюг; 19 – вантажний блок;
 20 – ланцюговий стопор топенанта; 21 – трикутна планка; 22 – турачка лебідки;
 23 – лопар топенанта; 24 – топенант; 25 – направляючий блок топенанта; 26 – каніфас блок;
 27 – таль відтяжки; 28 – лебідка відтяжки; 29 – ходовий кінець троса талей відтяжки;
 30 – нижній блок відтяжки; 31 – верхній блок відтяжки; 32 – вушко; 33 – мантиль відтяжки;
 34 – коуш; 35 – обух з круглою провусиною.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

141.4367ст3.ДР.ПЗ

Арк.

28

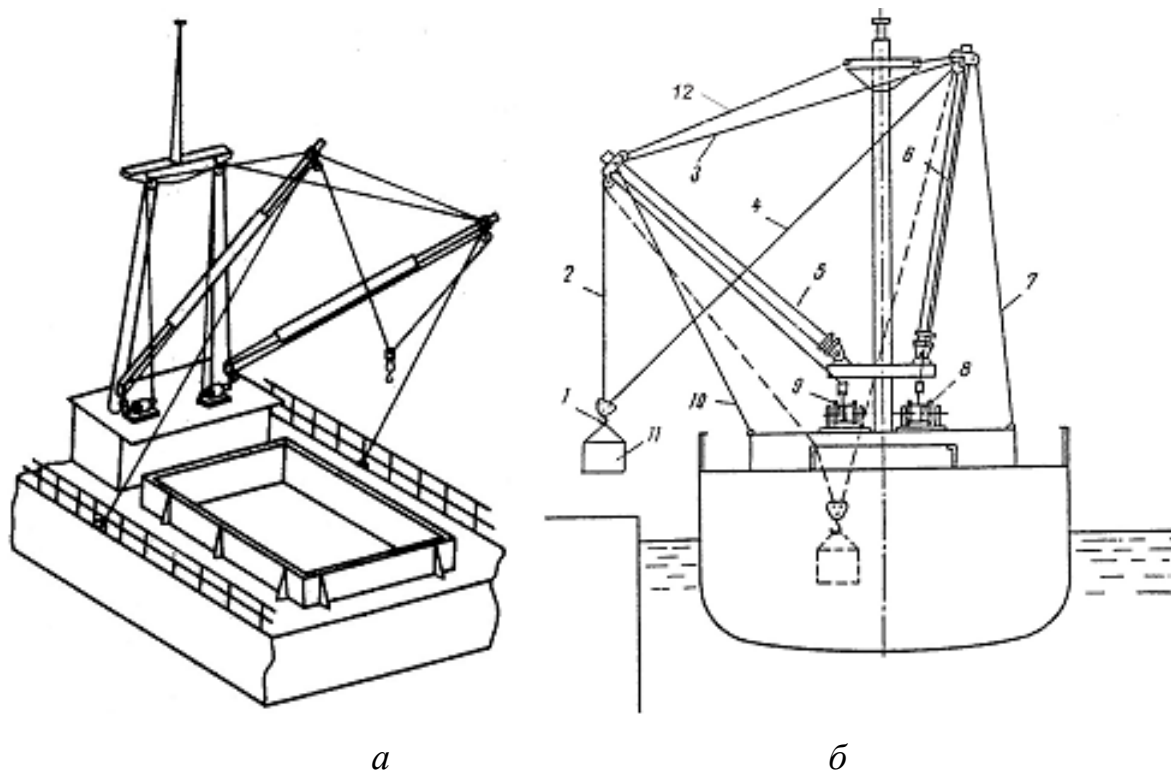


Рис. 2.2. Спарена робота стріл («на телефон»):
 1 – гак; 2, 4 – шкентелі; 3 – топрік; 5, 6 – стріли; 7, 10 – відтяжки;
 8, 9 – вантажні лебідки; 11 – вантаж, 12 – топенант.

Споживана активна потужність електронасосів осушувальної, баластної і пожежної систем розраховуються за відомими витратами і напорами:

$$P_{\text{нас1}} = \frac{Q_1 \cdot H_1 \cdot g}{\eta \cdot 3600} = \frac{350 \cdot 3,5 \cdot 9,8}{0,54 \cdot 3600} = 6,19 \text{ кВт};$$

$$P_{\text{нас2}} = \frac{Q_2 \cdot H_2 \cdot g}{\eta \cdot 3600} = \frac{120 \cdot 7,5 \cdot 9,8}{0,54 \cdot 3600} = 4,55 \text{ кВт};$$

$$P_{\text{нас3}} = \frac{Q_{31} \cdot H_3 \cdot g}{\eta \cdot 3600} = \frac{50 \cdot 3,5 \cdot 9,8}{0,54 \cdot 3600} = 0,88 \text{ кВт};$$

$$P_{\text{нас4}} = \frac{Q_4 \cdot H_4 \cdot g}{\eta \cdot 3600} = \frac{90 \cdot 8,0 \cdot 9,8}{0,54 \cdot 3600} = 3,6 \text{ кВт};$$

$$P_{\text{нас5}} = \frac{Q_5 \cdot H_5 \cdot g}{\eta \cdot 3600} = \frac{55 \cdot 9,0 \cdot 9,8}{0,54 \cdot 3600} = 2,5 \text{ кВт},$$

де η – ККД механічної частини насосу, $\eta = 0,54$;

g – прискорення вільного падіння, $g = 9,8 \text{ м/с}^2$;

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

141.4367ст3.ДР.ПЗ

Арк.

29

Q – подача, $Q_1 = 350 \text{ м}^3/\text{ч}$; $Q_2 = 120 \text{ м}^3/\text{ч}$; $Q_3 = 50 \text{ м}^3/\text{ч}$; $Q_4 = 90 \text{ м}^3/\text{ч}$; $Q_5 = 55 \text{ м}^3/\text{ч}$;

H – напор, $H_1 = 3,5 \text{ м}$; $H_2 = 7,5 \text{ м}$; $H_3 = 3,5 \text{ м}$; $H_4 = 8,0 \text{ м}$; $H_5 = 9,0 \text{ м}$.

Коефіцієнт використання електронасосів осушувальної, баластної і пожежної систем визначаються:

$$k_{B1} = \frac{P_{\text{нас1}}}{P_{H1}} = \frac{6,19}{7,5} = 0,83;$$

$$k_{B2} = \frac{P_{\text{нас2}}}{P_{H2}} = \frac{4,55}{5,5} = 0,83;$$

$$k_{B3} = \frac{P_{\text{нас3}}}{P_{H3}} = \frac{0,88}{1,1} = 0,8;$$

$$k_{B4} = \frac{P_{\text{нас4}}}{P_{H4}} = \frac{3,6}{4,0} = 0,9;$$

$$k_{B5} = \frac{P_{\text{нас5}}}{P_{H5}} = \frac{2,5}{3,0} = 0,83,$$

де $P_{H1}, P_{H2}, P_{H3}, P_{H4}, P_{H5}$ – номінальні потужності електродвигунів насосів, $P_{H1} = 7,5 \text{ кВт}$; $P_{H2} = 5,5 \text{ кВт}$; $P_{H3} = 1,1 \text{ кВт}$; $P_{H4} = 4,0 \text{ кВт}$; $P_{H5} = 3,0 \text{ кВт}$.

Для перевірки активної потужності основного освітлення можна використати кореляційну формулу (для ламп розжарювання)

$$P_{\text{осв}} = 1,3 (8 + 0,56B) = 1,3 (8 + 0,56 \cdot 27,104) = 30,13 \text{ кВт}.$$

де B – повна водотонажність судна, $B = 27,104 \text{ тис. т}$.

Так як розраховане значення менше, ніж вказане в табл. 2.1, у подальших розрахунках використовується табличне значення.

За даними табл. 2.1 розраховується сумарна активна потужність встановленого електрообладнання судна

$$P_{\Sigma} = 2 \cdot 4 + 2 \cdot 30 + 45 + 11 + 3 + 4 + 4 + 2 \cdot 4 + 2 \cdot 0,37 + 2 \cdot 4 + 2 \cdot 37 + 30 + \\ + 4 \cdot 40 + 12 \cdot 40 + 1,1 + 1,1 + 1,1 + 2 \cdot 7,5 + 5,5 + 4 + 3 + 7 + 35 +$$

					141.4367ст3.ДР.ПЗ	Арк.
						30
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$+ 14 + 22 + 10 \cdot 0,75 + 30 \cdot 0,75 + 2 \cdot 5 + 45 = 1090 \text{ кВт.}$$

2.3. Визначення потужності суднової електростанції методом постійних навантажень

За даними [5, 12] для морських суховантажних теплоходів можна виділити два основних режима роботи суднової електростанції: стоянка без вантажних операцій і ходовий режим. Потужності споживані при маневрах і стоянці з вантажними операціями приблизно рівні потужності споживаної в ходовому режимі. Внаслідок того, що режим стоянки без вантажних операцій характеризується найменшим споживанням електричної потужності, його виключають з розгляду. Так як режим маневрування є короткочасним, тобто не більше 1 % часу роботи судна, тому він не може впливати на визначення потужності суднової електростанції. Споживання електроенергії балкера «ABM Justice» в ходовому режимі зведені до табл. 2.2.

Таблиця 2.2

Таблиця електричних навантажень при ходовому режимі судна

Найменування електроспоживача, групи	n_p	Номинальні дані					Активна і повна потужності	
		P_d , кВт	k_B	k_z	η	$\cos \varphi$	P , кВт	S , кВА
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Група 1. Електромеханізми енергетичної установки								
Паливноперекачуючий насос	1	4	0,87	1,0	0,82	0,84	4,24	5,05
Масляноперекачуючий насос	1	30	0,82	1,0	0,91	0,89	27,03	30,37
Насос охолодження дизеля	1	45	0,89	1,0	0,92	0,9	43,53	48,37
Сепаратор палива	1	11	0,91	0,6	0,86	0,85	6,98	8,22
Сепаратор масла	1	3	0,99	0,6	0,78	0,81	2,29	2,82
Насос прокачки дейдвуда	1	4	0,91	0,5	0,79	0,81	2,30	2,84
Насос живлення котла	2	4	0,95	0,8	0,83	0,83	7,32	8,82

Паливноподаючий насос котла	2	0,37	0,68	1,0	0,65	0,72	0,78	1,08
-----------------------------	---	------	------	-----	------	------	------	------

Продовження таблиці 2.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Компресор котла	2	4	0,95	0,8	0,83	0,83	7,32	8,82
Група 2. Загальносуднові системи і пристрої								
Рульова машина	1	37	0,84	0,4	0,88	0,87	14,13	16,24
Опріснювач	1	1,1	0,77	0,8	0,73	0,76	0,93	1,22
Сепаратор трюмних вод	1	1,1	0,82	0,8	0,74	0,77	0,98	1,28
Засоби керування і радіоелектронної апаратури	-	7,0	-	0,2	-	-	1,4	1,4
Група 3. Засоби життєзабезпечення і побуту								
Основне освітлення	-	35	-	0,6	-	1,0	21,0	21,0
Зовнішнє освітлення		14		0,6	-	0,85	8,4	9,88
Установка кондиціонування	-	22	-	0,5	0,88	0,84	12,5	14,88
Електроventильатори приміщень	10	0,75	1,0	0,5	0,7	0,75	5,36	7,14
Електропобутові прилади і інструмент	10	0,75	1,0	1,0	0,73	0,77	10,27	13,34
Електроплити резистивні	2	5	1,0	0,8	1,0	1,0	8,0	8,0
Інше електрообладнання	-	45	1,0	0,8	0,79	0,79	45,47	57,68
Всього							197,45	229,52

Наприклад, для розрахунку активної потужності паливноперекачуючого насоса використовується формула

$$P = \frac{n_p P_d k_v k_z}{\eta} = \frac{1 \cdot 4 \cdot 0,87 \cdot 1,0}{0,82} = 4,24 \text{ кВт},$$

де n_p – кількість працюючих споживачів електроенергії;

					141.4367ст3.ДР.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

k_3 – коефіцієнт завантаження електромеханізму.

Коефіцієнт завантаження $k_3 = 1$ для механізмів, що працюють постійно, наприклад, електромеханічні системи обслуговування головного дизелю в ходовому режимі.

Повна потужність визначається

$$S = \frac{P}{\cos \varphi} = \frac{4,24}{0,84} = 5,05 \text{ кВА.}$$

ККД і коефіцієнт потужності уточнюються з урахуванням коефіцієнта завантаження. Аналогічно розраховуються споживачі електроенергії, наведені в табл. 2.2.

Сумарна активна і повна потужності працюючих електромеханізмів в ходовому режимі визначаються:

$$\begin{aligned} P_{\Sigma} &= k_p \left(\sum_{i=1}^n P_i + k_o \sum_{i=n+1}^m P_i \right) = \\ &= 1,03 [(4,24 + 27,03 + 43,53 + 6,98 + 2,29 + 2,3 + 7,32 + 0,78 + 7,32) + \\ &+ 0,7 (14,13 + 0,93 + 0,98 + 1,4 + 21,0 + 8,4 + 12,5 + 5,36 + 10,27 + 8,0 + 45,47)] = \\ &= 197,449 \text{ кВт}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{\Sigma} &= k_p \left(\sum_{i=1}^n S_i + k_o \sum_{i=n+1}^m S_i \right) = \\ &= 1,03 [(5,05 + 30,37 + 48,37 + 8,22 + 2,82 + 2,84 + 8,82 + 1,08 + 8,82) + \\ &+ 0,7 (16,24 + 1,22 + 1,28 + 1,4 + 21,0 + 9,88 + 14,88 + 7,14 + 13,34 + 8,0 + 57,68)] = \\ &= 229,517 \text{ кВА}, \end{aligned}$$

де k_p – коефіцієнт, що враховує втрати в проводах, $k_p = 1,03$;

k_o – коефіцієнт одночасності роботи споживача, для ходового режиму, $k_o = 0,7$;

n і m – кількість працюючих споживачів електроенергії.

Сумарний коефіцієнт потужності працюючих електромеханізмів в ходовому режимі визначається

$$\cos \varphi = \frac{P_{\Sigma}}{S_{\Sigma}} = \frac{197,449}{229,517} = 0,86.$$

Розрахунок споживачів електроенергії балкера «ABM Justice» при

					141.4367ст3.ДР.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

стоянці з вантажними операціями наведений у табл. 2.3.

Таблиця 2.3

Таблиця електричних навантажень при стоянці судна з вантажними операціями

Найменування електроспоживача, групи	n_p	Номінальні дані					Активна і повна потужності	
		P_d , кВт	k_B	k_3	η	$\cos \varphi$	P , кВт	S , кВА
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Група 2. Загальносуднові системи і пристрої								
Якірний пристрій	1	30	0,96	0,8	0,91	0,89	25,32	28,45
Лебідка швартовна	2	40	0,87	0,8	0,91	0,9	61,19	67,99
Лебідка вантажна	12	40	0,88	0,8	0,91	0,9	371,34	412,60
Опріснювач	1	1,1	0,77	0,8	0,73	0,76	0,93	1,22
Сепаратор трюмних вод	1	1,1	0,82	0,8	0,74	0,77	0,98	1,28
Насос осушувальний	1	1,1	0,8	0,2	0,79	0,81	0,22	0,28
Насос баластний	1	7,5	0,83	0,2	0,8	0,79	1,56	1,97
Насос осушувальний поршневий	1	5,5	0,83	0,2	0,75	0,78	1,22	1,56
Засоби керування і радіоелектронної апаратури	-	7,0	-	0,2	-	-	1,4	1,4
Група 3. Засоби життєзабезпечення і побуту								
Основне освітлення	-	35	-	0,6	-	1,0	21,0	21,0
Зовнішнє освітлення	-	14	-	0,6	-	0,85	8,4	9,88
Установка кондиціонування	-	22	-	0,5	0,88	0,84	12,5	14,88
Електровентилятори приміщень	10	0,75	1,0	0,5	0,7	0,75	5,36	7,14
Електропобутові прилади і інструмент	10	0,75	1,0	1,0	0,73	0,77	10,27	13,34
Електроплити резистивні	2	5	1,0	0,8	1,0	1,0	8,0	8,0
Інше	-	45	1,0	0,8	0,79	0,79	45,47	57,68

електрообладнання								
Всього							462,03	521,14

Сумарна активна і повна потужності працюючих електромеханізмів в при
стоянці з вантажними операціями визначаються:

$$P_{\Sigma} = k_p \left(\sum_{i=1}^n P_i + k_o \sum_{i=n+1}^m P_i \right) =$$

$$= 1,03 [0 + 0,78(25,32 + 61,19 + 371,34 + 0,93 + 0,98 + 0,22 + 1,56 + 1,22 +$$

$$+ 1,4 + 21,0 + 8,4 + 12,5 + 5,36 + 10,27 + 8,0 + 45,5)] = 462,027 \text{ кВт};$$

$$S_{\Sigma} = k_p \left(\sum_{i=1}^n S_i + k_o \sum_{i=n+1}^m S_i \right) =$$

$$= 1,03 [0 + 0,78(28,45 + 67,99 + 412,60 + 1,22 + 1,28 + 0,28 + 1,97 + 1,56 +$$

$$+ 1,4 + 21,0 + 9,88 + 14,88 + 7,14 + 13,34 + 8,0 + 57,68)] = 521,141 \text{ кВА},$$

де k_p – коефіцієнт, що враховує втрати в проводах, $k_p = 1,03$;

k_o – коефіцієнт одночасності роботи споживача, при стоянці з вантажними операціями, $k_o = 0,78$;

n і m – кількість працюючих споживачів електроенергії.

Сумарний коефіцієнт потужності працюючих електромеханізмів при
стоянці з вантажними операціями визначається

$$\cos \varphi = \frac{P_{\Sigma}}{S_{\Sigma}} = \frac{462,108}{521,141} = 0,887.$$

Аварійний дизель-генератор призначений постачати електроенергію в мережу аварійного освітлення, радіозв'язку, засобів навігації, гірокомпасу, аварійного приводу рульового пристрою, сигнальних вогней, пожежну і аварійну сигналізацію, на щит механізмів первинного запуску основних дизель-генераторів. Аварійний дизель-генератор запускається автоматично при зникненні напруги на клеммах головного розподільчого щита.

Розрахунок споживачів електроенергії балкера «ABM Justice» для аварійної електростанції наведений у табл. 2.4.

					141.4367ст3.ДР.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

Таблиця 2.4

Таблиця електричних навантажень аварійної електростанції судна

Найменування електроспоживача, групи	n_p	Номінальні дані					Активна і повна потужності	
		P_d , кВт	k_B	k_3	η	$\cos \varphi$	P , кВт	S , кВА
Група 2. Загальносуднові системи і пристрої								
Рульова машина	1	37	0,84	0,6	0,9	0,89	20,72	23,28
Насос осушувальний	1	1,1	0,8	0,8	0,71	0,73	0,99	1,36
Насос баластний	1	7,5	0,83	0,8	0,85	0,85	5,86	6,89
Насос осушувальний поршневий	1	5,5	0,83	0,8	0,83	0,84	4,4	5,24
Насос протипожежний	1	4	0,9	1,0	0,84	0,84	4,29	5,10
	1	3	0,83	1,0	0,84	0,84	2,96	3,53
Засоби керування і радіоелектронної апаратури	-	7,0	-	0,2	-	-	1,4	1,4
Група 3. Засоби життєзабезпечення і побуту								
Основне освітлення	-	35	-	0,6	-	1,0	21,0	21,0
Зовнішнє освітлення	-	14	-	0,6	-	0,85	8,4	9,88
Всього							72,12	80,01

Сумарна активна і повна потужності працюючих електромеханізмів для аварійної електростанції визначаються:

$$P_{\Sigma} = k_p \left(\sum_{i=1}^n P_i \right) =$$

$$= 1,03(20,72 + 0,99 + 5,86 + 4,4 + 4,29 + 2,96 + 1,4 + 21 + 8,4) = 72,121 \text{ кВт};$$

$$S_{\Sigma} = k_p \left(\sum_{i=1}^n S_i \right) =$$

$$= 1,03(23,28 + 1,36 + 6,89 + 5,24 + 5,1 + 3,53 + 1,4 + 21 + 9,88) = 80,01 \text{ кВА},$$

де k_p – коефіцієнт, що враховує втрати в проводах, $k_p = 1,03$.

					141.4367ст3.ДР.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

Сумарний коефіцієнт потужності працюючих електромеханізмів при роботі аварійної електростанції

$$\cos \varphi = \frac{P_{a\Sigma}}{S_{\Sigma}} = \frac{72,121}{80,01} = 0,901.$$

2.4. Вибір кількості генераторів і схеми електропостачання

Загальна встановлена потужність основних джерел електроенергії повинна визначатися за результатами розрахунків сумарного електричного навантаження $P_{роз}$, з урахуванням вимог забезпечення специфікаційних режимів експлуатації суден при виході з ладу (зупинці) будь-якого з основних генераторних агрегатів і при 10%-ному резерві потужності на модернізацію [21] (якщо вона в проекті не виключається)

$$\sum_{i=1}^n P_{Gi} \geq 1,1(P_{роз} + P_{Gi}),$$

де P_{Gi} – потужність одного основного генераторного агрегату;

n – число основних генераторних агрегатів.

Вибір потужності і числа генераторів здійснюють також з урахуванням наступних вимог:

- завантаження працюючих генераторів (перш за все на ходовому і інших основних режимах) повинна складати не менше 65...70 % від номінальної потужності;
- число генераторів і їх типів повинно бути мінімальним, у всіх випадках, коли це можливо, доцільно застосовувати однотипні генератори;
- на кожному режимі (за винятком аварійного) в резерві повинно бути не менше одного генератора, який здатний замінити найбільший за потужністю з працюючих;
- на режимі стоянки з вантажними операціями допускається запас потужності дизель-генератора не більше 10 %.

					141.4367ст3.ДР.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

Висока ефективність електростанції досягається також у тому випадку, коли кожний дизель-генератор включений на окрему секцію шин головного розподільчого щита. При забезпеченні ходового і стояночного режимів роботою одного дизель-генератора передбачається захист його від перевантаження, що забезпечується відключенням другорядних споживачів, щоб уникнути раптового перевантаження працюючого дизель-генератора. Таке рішення виявляється доцільним, так як в порівнянні з паралельною роботою двох дизель-генераторів забезпечується більш повна загрузка дизель-генератора і більш економна його робота. Застосування більш трьох дизель-генераторів доцільно в тому випадку, якщо потужність споживана в режимі стоянки складає не більш 30 % від потужності одного з трьох генераторів. В цьому випадку при чотирьох однотипних дизель-генераторах ходовий режим забезпечується двома дизель-генераторами, працюючими паралельно, а на стоянці створюється більше навантаження одного дизель-генератора [5].

Визначенню складу електростанції в ході проектування судна передують детальний аналіз її експлуатаційних режимів, завантаження і техніко-економічних показників. Остаточна потужність і склад суднової електростанції визначаються з урахуванням побудувальної вартості, приведених витрат і експлуатаційних витрат на паливо, ремонт, обслуговування.

У складі суднової електростанції є підсистема генерування та розподілу електроенергії, призначена для виробництва, перетворення, розподілу і передачі електроенергії приймачів. До складу підсистеми генерування та розподілу електроенергії включаються джерела струму, перетворюючі, розподільні пристрої й лінії електропередач, приймачі електроенергії.

До схем підсистем генерування та розподілу електроенергії висувають такі основні вимоги: безперебійне постачання якісною електроенергією в необхідній кількості у всіх експлуатаційних режимах роботи судна; швидке

					141.4367ст3.ДР.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

введення в дію і прийом завантаження головним агрегатом; резервування потужності генераторів у відповідних режимах; маневрене управління електропостачанням приймачів в нормальних і аварійних режимах функціонування електростанції (мінімальне число перемикачів при переході з одного режиму на інший); рівномірний розподіл завантаження між головними агрегатами; візуальний або автоматичний контроль за станом їх параметрів, роботою сигналізації; захист елементів і ділянок суднової мережі від коротких замикань, перевантажень і неприпустимого зниження напруги; типізація схемних вузлів для створення конструктивно і функціонально закінчених уніфікованих елементів, блоків і секцій на єдиній елементарній базі; застосування швидкісних (індустріальних) методів монтажу лінії передач і апаратури; мінімальні маса і розміри елементів електрообладнання.

За результатами розрахунку розділу 2 обираються три основні генератори з активною потужністю 200 кВт кожний, один резервний з активною потужністю 200 кВт і один аварійний генератор з потужністю 100 кВт. Відомості про обрані суднові дизель-генераторні агрегати наведено у табл. 2.5 [22].

На основі вибраних генераторів складаємо принципову схему генерування та розподілу електроенергії балкера «ABM Justice». Розроблена принципова схема (рис. 2.3) складається з схемних вузлів головного розподільчого щита, дизель-генераторних агрегатів, фідерів електропостачання відповідальних і маловідповідальних приймачів, а також фідеру живлення з берега. Комутація ланцюгів головного струму здійснюється автоматичними вимикачами дизель-генераторних агрегатів (ДГ1-ДГ3) ВГ1-ВГ3, вимикачем резервного дизель-генератора (РДГ) ВРГ, вимикачем аварійного дизель-генератора (АДГ) ВАГ.

					141.4367ст3.ДР.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

Таблиця 2.5

Основні характеристики суднових дизель-генераторів балкера «ABM Justice»

Дизель-генератор					Дизель				Генератор						
Марка	Потужність, кВт	Частота обертання дизеля, об/хв	Габарити, мм			Маса, кг	Ресурси до переборки / капітального ремонту, годин	Марка (тип)	Потужність, кВт	Питома витрата палива, г/(кВт·ч)	Питома витрата масла на угар, г/(кВт·ч)	Марка	Ступінь автоматизації	Частота струму, Гц	Напруга, В
			Довжина	Ширина	Висота										
Основні і резервний дизель-генератори															
ДГР 200/750	200	750	3710	1072	1825	6280	14000/ 50000	ДД208,ДД209 (6ЧН18/22)	232	233	1,04	ГСН-355 ВН 200	1,2	50	400
Аварійний дизель-генератор															
ДГР 100/750	100	750	3503	1062	1825	4888	18000/ 60000	ДД202,ДД203 (6ЧН18/22)	110	248	0,8	ГСН-3553 ВН 100	1,2	50	400

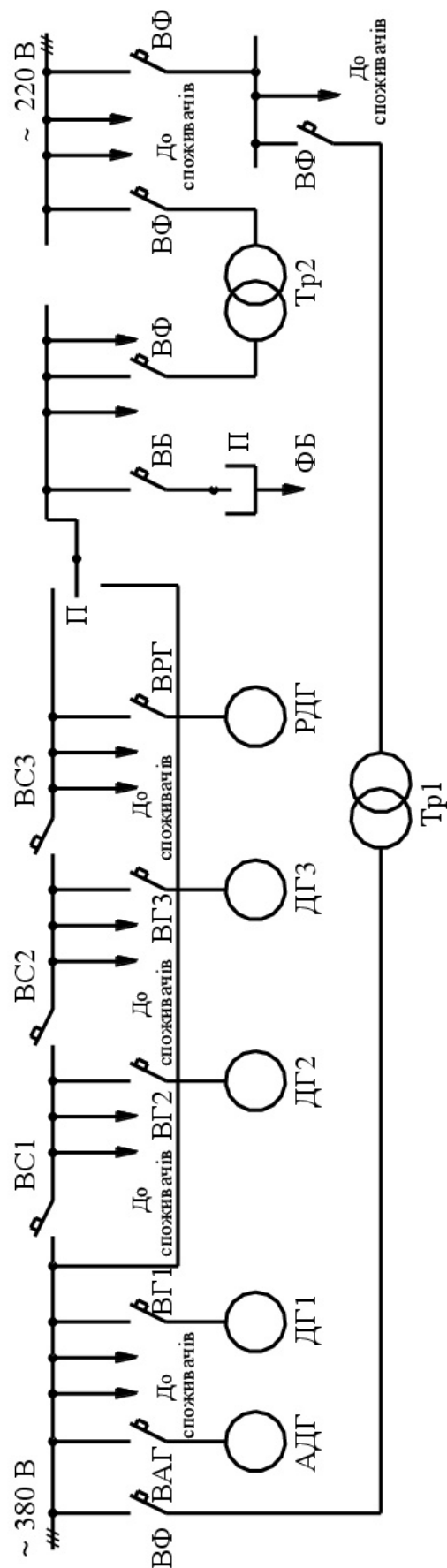


Рис. 2.3. Принципова схема підсистеми генерування та розподілу електроенергії балкера «ABM Justice»
Через вимикачі ВБ та ВФ підключаються до головного розподільчого

щита відповідно фідер живлення з берега і фідери електропостачання суднових приймачів. На схемі П позначено станцію і перемикач живлення з берега. Шини головного розподільчого щита розподілені на секції, які з'єднуються трьохполюсним секційним вимикачем ВС1-ВС3. На головному розподільчому щиті передбачені секції шин зниженої напруги, призначених для електропостачання світильників, нагрівальних і побутових приладів, які під'єднуються до головних шин за допомогою трансформаторів ТР1-ТР2.

2.5. Вибір основних кабелів

Найважливішими критеріями правильності вибору перетину кабеля є температура нагріву його жил в режимі, прийнятому для даного кабеля за розрахунковий, і величина втрат напруги в ньому [8, 21].

Розраховується повна потужність кабелю, яка подається від розподільчого вузла до споживачів. Кабель 1 балкера «АВМ Justice» живить якірний пристрій з потужністю $S = 28,45$ кВА і дві швартовні лебідки загальною потужністю $S = 67,99$ кВА. Розрахунковий струм визначається з урахуванням коефіцієнта одночасності роботи споживачів рівному $k_0 = 0,833$

$$I_{\text{розр}} = \frac{k_p \cdot k_0 \cdot S}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = \frac{1,03 \cdot 0,833 \cdot (28,45 + 67,99) \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380} = 125,717 \text{ А},$$

де k_p – коефіцієнт, що враховує втрати в проводах, $k_p = 1,03$;

k_0 – коефіцієнт одночасності роботи споживачів, приймається $k_0 = 0,833$;

$U_{\text{ном}}$ – номінальне напруження мережі судна, $U_{\text{ном}} = 380$ В.

Розраховується еквівалентний струм кабелю

$$I_{\text{екв}} = \frac{I_{\text{розр}} \cdot A}{\alpha \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4} = \frac{125,717 \cdot 1}{1,3 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,85} = 113,771 \text{ А},$$

де A – поправочний коефіцієнт, що враховує відмінність режиму навантаження кабеля від тривалого, $A = 1$;

α – усереднений коефіцієнт, зниження струму при груповій однорядній прокладці кабелів, $\alpha = 1,3$;

k_1 – поправочний коефіцієнт, що враховує збільшення активного опору

					141.4367ст3.ДР.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

струмопровідних жил внаслідок поверхневого ефекту і ефекту близькості $k_1 = 1$;

k_2 – поправочний коефіцієнт, що враховує відмінність температури струмопровідної жили від 65 °С, $k_2 = 1$;

k_3 – поправочний коефіцієнт, що враховує відмінність температури навколишнього середовища від 45 °С, $k_3 = 1$;

k_4 – поправочний коефіцієнт, що враховує погіршення умов охолодження кабелів, укладених в кожух, $k_4 = 0,85$.

Вибирається значення активного електричного опору багатодротової жили кабеля $R = 0,865$ Ом/км для перетину струмопровідної жили кабеля $S_{\text{каб}} = 25$ мм² згідно табл. 2.5.10 [10]. Визначається радіус струмопровідної жили

$$r_1 = \sqrt{\frac{S_{\text{каб}}}{\pi}} = \sqrt{\frac{25}{\pi}} = 2,821 \text{ мм.}$$

Внутрішній тепловий опір трьохжильного ($m = 3$) кабеля отримується з виразу

$$S_{\text{вн}} = \frac{\alpha_3 \cdot \sigma}{6\pi} \ln \frac{r_3^3}{1,7 \cdot r_1 \cdot d^2} = \frac{0,97 \cdot 3}{6\pi} \ln \frac{10,607^3}{1,7 \cdot 2,821 \cdot 9,027^2} = 0,172,$$

де α_3 – поправочний коефіцієнт;

σ – питомий тепловий опір, $\sigma = 3$ °С·м/Вт;

r_3 – зовнішній радіус оболонки кабеля,

$$r_3 = 2,35 \cdot 1,6 \cdot r_1 = 2,35 \cdot 1,6 \cdot 2,821 = 10,607 \text{ мм;}$$

d – діаметр струмопровідної жили з ізоляцією,

$$d = 2 \cdot 1,6 \cdot r_1 = 2 \cdot 1,6 \cdot 2,821 = 9,027 \text{ мм.}$$

При тривалому навантаженні значення гранично допустимої потужності втрат визначається за формулою

$$\Sigma P_{\text{доп}} = \frac{\theta - b_2}{\frac{a_2}{2,8(b_1 + b_{11})} + S_{\text{вн}}} = \frac{20 - 2,6}{\frac{0,098}{2,8(42,427 + 21,214)} + 0,172} = 24,09 \text{ Вт/м,}$$

де θ – допустиме перевищення температури жил кабелів, з урахуванням

					141.4367ст3.ДР.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

вибраної температури нагріву струмопровідних жил $\theta_k = 65^\circ\text{C}$ і температури нагріву повітря $\theta_n = 45^\circ\text{C}$,

$$\theta = \theta_k - \theta_n = 65 - 45 = 20^\circ\text{C};$$

a_2 і b_2 – коефіцієнти табл.2.5.9 [10], що залежать від виду поверхні кабелів (визначені досвідним шляхом), $a_2 = 0,098$ і $b_2 = 2,6$;

b_1 і b_{11} – розміри сторін прямокутника, описаного навколо поперечного перетину пучка при кількості кабелів $n = 2$ і значені зовнішнього діаметра оболонки кабеля $d_3 = 2 \cdot r_3 = 2 \cdot 10,607 = 21,214$ мм,

$$b_1 = n \cdot d_3 = 2 \cdot 21,214 = 42,427 \text{ мм};$$

$$b_{11} = d_3 = 21,214 \text{ мм}.$$

Фактична потужність втрат визначається за формулою

$$\Sigma P_{\text{факт}} = \frac{m \cdot I_{\text{екв}}^2 \cdot R \cdot 10^{-3}}{n} = \frac{3 \cdot 113,771^2 \cdot 0,865 \cdot 10^{-3}}{2} = 16,795 \text{ Вт/м}.$$

Фактичне перевищення температури струмопровідних жил кабеля визначається

$$\theta_{\text{факт}} = (\theta - 3) \frac{\Sigma P_{\text{факт}}}{\Sigma P_{\text{доп}}} + 3 = (20 - 3) \frac{16,795}{24,09} + 3 = 14,852^\circ\text{C}.$$

Оскільки фактичне перевищення температури нагріву струмопровідної жили кабеля не перевищує допустиме значення, визначений кабель вибраний вірно.

Розраховується постійна часу пучка кабелів

$$T = \left(\frac{5,43 \cdot C'_V \cdot a_2 \cdot \theta_{\text{факт}}}{\theta_{\text{факт}} - b_2} \frac{b_1 \cdot b_{11} \cdot 10^{-9}}{b_1 + b_{11}} + \frac{15,2 \cdot C'_V \cdot b_2 \cdot S_{\text{вн}} \cdot b_1 \cdot b_{11} \cdot 10^{-12}}{\theta_{\text{факт}} - b_2} \right) \cdot 10^{-3} =$$

$$= \left(\frac{5,43 \cdot 2,65 \cdot 0,098 \cdot 14,852}{14,852 - 2,6} \frac{42,427 \cdot 21,214 \cdot 10^{-9}}{42,427 + 21,21} + \frac{15,2 \cdot 2,65 \cdot 2,6 \cdot 0,172 \cdot 42,427 \cdot 21,214 \cdot 10^{-12}}{14,852 - 2,6} \right) \cdot 10^{-3} =$$

$$= 2,65 \cdot 10^{-11} \text{ хв.},$$

					141.4367ст3.ДР.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

де C'_V – питома об'ємна теплоємність пучка кабелів, $C'_V = 2,65 \cdot 10^{-6}$ Дж/°С·м³;

b_1 і b_{11} – розміри сторін прямокутника в метрах.

Для розрахунку втрат напруги в кабельній мережі визначається коефіцієнт потужності

$$\cos \varphi = \frac{\Sigma P}{\Sigma S} = \frac{25,32 + 61,19}{33,85} = 0,897,$$

де ΣP – активна потужність механізмів, що підключені до кабелю 1 балкера «ABM Justice»: якорний пристрій з потужністю $P = 25,32$ кВт і дві швартовні лебідки загальною потужністю $P = 61,19$ кВА.

Величина втрат напруги в кабелі для трьохфазного змінного струму

$$\begin{aligned} \Delta U &= \frac{\sqrt{3} \cdot I_{\text{розр}} \cdot l}{U_{\text{л}} \cdot n} (R_p \cdot \cos \varphi \cdot 10^{-3} + X \cdot \sin \varphi) \cdot 100\% = \\ &= \frac{\sqrt{3} \cdot 125,717 \cdot 50}{380 \cdot 2} (0,85 \cdot 0,897 \cdot 10^{-3} + 8,871 \cdot 10^{-5} \cdot 0,442) \cdot 100\% = 1,148 \%, \end{aligned}$$

де l – довжина кабелю, $l = 50$ м;

R_p – активний опір однієї струмопровідної жили при розрахунковій температурі жили кабелю з урахуванням значення температурного коефіцієнта $\alpha_4 = 0,004$ °С⁻¹,

$$R_p = R \frac{(1 + \alpha_4 (\theta_{\text{п}} + \theta_{\text{факт}} - 20))}{1 + \alpha_4 (\theta_{\text{к}} - 20)} = 0,865 \cdot \frac{(1 + 0,004(45 + 14,852 - 20))}{1 + 0,004(65 - 20)} = 0,85 \text{ Ом/км};$$

X – індуктивний опір, приведений до однієї струмопровідної жили з частотою мережі $f = 50$ Гц,

$$\begin{aligned} X &= 2 \cdot \pi \cdot f \cdot \left(0,46 \cdot \lg \left(\frac{1,6 \cdot 2 \cdot r_1}{r_1} \right) + 0,05 \right) \cdot 10^{-6} = \\ &= 2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot \left(0,46 \cdot \lg \left(\frac{1,6 \cdot 2 \cdot 2,821}{2,821} \right) + 0,05 \right) \cdot 10^{-6} = 8,871 \cdot 10^{-5} \text{ Ом/м}; \\ \sin \varphi &= \sqrt{1 - (\cos \varphi)^2} = \sqrt{1 - (0,897)^2} = 0,442. \end{aligned}$$

Величина фактичних втрат напруги в розрахованому кабелі не перевищує допустимого значення 10 %, тому переріз кабелю вибраний вірно.

					141.4367ст3.ДР.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

Розрахунок фідера 2 проводиться аналогічно з визначенням кабелю 1. Кабель 2 балкера «ABM Justice» живить шість вантажних лебідок з потужністю $S = 34,383$ кВА кожна. Приймається кабель змінного перетину, при чому перші дві вантажні лебідки знаходяться на відстані 25 м від головного розподільчого щита, ще дві вантажні лебідки – на відстані 65 м, останні дві вантажні лебідки – на відстані 105 м. Розрахунковий струм для двох вантажних лебідок, що знаходяться на відстані 105 м від головного розподільчого щита, визначається

$$I_{\text{розр}} = \frac{k_p \cdot k_o \cdot S}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = \frac{1,03 \cdot 1 \cdot 2 \cdot 34383}{\sqrt{3} \cdot 380} = 107,615 \text{ А.}$$

Розраховується еквівалентний струм фідера

$$I_{\text{екв}} = \frac{I_{\text{розр}} \cdot A}{\alpha \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4} = \frac{107,615 \cdot 1}{1,3 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,85} = 97,389 \text{ А.}$$

Вибирається значення активного електричного опору багатодротової жили кабеля $R = 1,35$ Ом/км для перетину струмопровідної жили кабеля $S_{\text{каб}} = 16 \text{ мм}^2$ згідно табл.2.5.10 [10]. Визначається радіус струмопровідної жили

$$r_1 = \sqrt{\frac{S_{\text{каб}}}{\pi}} = \sqrt{\frac{16}{\pi}} = 2,257 \text{ мм;}$$

Внутрішній тепловий опір трьохжильного ($m = 3$) кабеля отримується з виразу

$$S_{\text{вн}} = \frac{\alpha_3 \cdot \sigma}{6\pi} \ln \frac{r_3^3}{1,7 \cdot r_1 \cdot d^2} = \frac{0,97 \cdot 3}{6\pi} \ln \frac{4,243^3}{1,7 \cdot 2,257 \cdot 7,222^2} = 0,172,$$

r_3 – зовнішній радіус оболонки кабеля,

$$r_3 = 2,35 \cdot 1,6 \cdot r_1 = 2,35 \cdot 1,6 \cdot 2,257 = 8,485 \text{ мм;}$$

d – діаметр струмопровідної жили з ізоляцією,

$$d = 2 \cdot 1,6 \cdot r_1 = 2 \cdot 1,6 \cdot 2,257 = 7,222 \text{ мм.}$$

При тривалому навантаженні значення гранично допустимої потужності втрат визначається за формулою

					141.4367ст3.ДР.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

$$\Sigma P_{\text{доп}} = \frac{\theta - b_2}{\frac{a_2}{2,8(b_1 + b_{11})} + S_{\text{вн}}} = \frac{20 - 2,6}{\frac{0,098}{2,8(33,942 + 16,971)} + 0,172} = 20,237 \text{ Вт/м},$$

b_1 і b_{11} – розміри сторін прямокутника, описаного навколо поперечного перетину пучка при кількості кабелів $n=2$ і значенні зовнішнього діаметра оболонки кабеля $d_3 = 2 \cdot r_3 = 2 \cdot 8,485 = 16,971$ мм,

$$b_1 = n \cdot d_3 = 2 \cdot 16,971 = 33,942 \text{ мм};$$

$$b_{11} = d_3 = 16,971 \text{ мм}.$$

Фактична потужність втрат визначається за формулою

$$\Sigma P_{\text{факт}} = \frac{m \cdot I_{\text{екв}}^2 \cdot R \cdot 10^{-3}}{n} = \frac{3 \cdot 97,389^2 \cdot 1,35 \cdot 10^{-3}}{2} = 19,206 \text{ Вт/м}.$$

Фактичне перевищення температури струмопровідних жил кабеля визначається

$$\theta_{\text{факт}} = (\theta - 3) \frac{\Sigma P_{\text{факт}}}{\Sigma P_{\text{доп}}} + 3 = (20 - 3) \frac{19,206}{20,327} + 3 = 19,134^\circ\text{C}.$$

Оскільки фактичне перевищення температури нагріву струмопровідної жили кабеля не перевищує допустиме значення, визначений кабель вибраний вірно.

Розраховується постійна часу пучка кабелів

$$T = \left(\frac{5,43 \cdot C'_V \cdot a_2 \cdot \theta_{\text{факт}}}{\theta_{\text{факт}} - b_2} \cdot \frac{b_1 \cdot b_{11} \cdot 10^{-9}}{b_1 + b_{11}} + \frac{15,2 \cdot C'_V \cdot b_2 \cdot S_{\text{вн}} \cdot b_1 \cdot b_{11} \cdot 10^{-12}}{\theta_{\text{факт}} - b_2} \right) \cdot 10^{-3} =$$

$$= \left(\frac{5,43 \cdot 2,65 \cdot 0,098 \cdot 19,134}{19,134 - 2,6} \cdot \frac{33,942 \cdot 16,971 \cdot 10^{-9}}{33,942 + 16,971} + \frac{15,2 \cdot 2,65 \cdot 2,6 \cdot 0,172 \cdot 33,942 \cdot 16,971 \cdot 10^{-12}}{19,134 - 2,6} \right) \cdot 10^{-3} =$$

$$= 1,909 \cdot 10^{-11} \text{ хв}.$$

Для розрахунку втрат напруги в кабельній мережі визначається коефіцієнт потужності

$$\cos \varphi = \frac{\Sigma P}{\Sigma S} = \frac{61,89}{68,767} = 0,9,$$

де ΣP – активна потужність двох вантажних лебідок з потужністю $P = 30,945$ кВт кожна, що підключені до фідеру 2 балкера «АВМ Justice» на відстані 105

					141.4367ст3.ДР.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

м.

Величина втрат напруги в кабелі для трьохфазного змінного струму

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot I_{\text{розр}} \cdot l}{U_{\text{л}} \cdot n} (R_p \cdot \cos \varphi \cdot 10^{-3} + X \cdot \sin \varphi) \cdot 100\% =$$
$$= \frac{\sqrt{3} \cdot 107,615 \cdot 105}{380 \cdot 2} (1,346 \cdot 0,9 \cdot 10^{-3} + 8,871 \cdot 10^{-5} \cdot 0,436) \cdot 100\% = 3,219 \%,$$

де l – довжина кабеля, $l = 105$ м;

R_p – активний опір однієї струмопровідної жили при розрахунковій температурі жили кабеля з урахуванням значення температурного коефіцієнта $\alpha_4 = 0,004 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$,

$$R_p = R \frac{(1 + \alpha_4 (\theta_{\text{п}} + \theta_{\text{факт}} - 20))}{1 + \alpha_4 (\theta_{\text{к}} - 20)} = 1,35 \cdot \frac{(1 + 0,004(45 + 19,134 - 20))}{1 + 0,004(65 - 20)} = 1,346 \text{ Ом/км};$$

X – індуктивний опір, приведений до однієї струмопровідної жили з частотою мережі $f = 50$ Гц,

$$X = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot \left(0,46 \cdot \lg \left(\frac{1,6 \cdot 2 \cdot r_1}{r_1} \right) + 0,05 \right) \cdot 10^{-6} =$$
$$= 2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot \left(0,46 \cdot \lg \left(\frac{1,6 \cdot 2 \cdot 2,257}{2,257} \right) + 0,05 \right) \cdot 10^{-6} = 8,871 \cdot 10^{-5} \text{ Ом/м};$$

$$\sin \varphi = \sqrt{1 - (\cos \varphi)^2} = \sqrt{1 - (0,9)^2} = 0,436.$$

Величина фактичних втрат напруги в розрахованому кабелі не перевищує допустимого значення 10 %, тому переріз кабелю вибраний вірно.

Для чотирьох вантажних лебідок, що знаходяться на відстані 65 м від головного розподільного щита розрахунковий струм визначається з урахуванням коефіцієнта одночасності роботи споживачів рівному $k_o = 0,833$

$$I_{\text{розр}} = \frac{k_p \cdot k_o \cdot S}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = \frac{1,03 \cdot 0,833 \cdot 4 \cdot 34383}{\sqrt{3} \cdot 380} = 179,285 \text{ А.}$$

Розраховується еквівалентний струм кабелю

					141.4367ст3.ДР.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

$$I_{\text{екв}} = \frac{I_{\text{розр}} \cdot A}{\alpha \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4} = \frac{179,285 \cdot 1}{1,3 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,85} = 162,249 \text{ А.}$$

Вибирається значення активного електричного опору багатодротової жили кабеля $R = 1,35 \text{ Ом/км}$ для перетину струмопровідної жили кабеля $S_{\text{каб}} = 16 \text{ мм}^2$ згідно табл. 2.5.10 [10]. Визначається радіус струмопровідної жили

$$r_1 = \sqrt{\frac{S_{\text{каб}}}{\pi}} = \sqrt{\frac{16}{\pi}} = 2,257 \text{ мм.}$$

Внутрішній тепловий опір трьохжильного ($m = 3$) кабеля отримується з виразу

$$S_{\text{вн}} = \frac{\alpha_3 \cdot \sigma}{6\pi} \ln \frac{r_3^3}{1,7 \cdot r_1 \cdot d^2} = \frac{0,97 \cdot 3}{6\pi} \ln \frac{4,243^3}{1,7 \cdot 2,257 \cdot 7,222^2} = 0,172,$$

r_3 – зовнішній радіус оболонки кабеля,

$$r_3 = 2,35 \cdot 1,6 \cdot r_1 = 2,35 \cdot 1,6 \cdot 2,257 = 8,485 \text{ мм;}$$

d – діаметр струмопровідної жили з ізоляцією,

$$d = 2 \cdot 1,6 \cdot r_1 = 2 \cdot 1,6 \cdot 2,257 = 7,222 \text{ мм.}$$

При тривалому навантаженні значення гранично допустимої потужності втрат визначається за формулою

$$\Sigma P_{\text{доп}} = \frac{\theta - b_2}{\frac{a_2}{2,8(b_1 + b_{11})} + S_{\text{вн}}} = \frac{(65 - 45) - 2,6}{\frac{0,098}{2,8(67,883 + 16,971)} + 0,172} = 29,753 \text{ Вт/м,}$$

b_1 і b_{11} – розміри сторін прямокутника, описаного навколо поперечного перетину пучка при кількості кабелів $n = 4$ і значенні зовнішнього діаметра оболонки кабеля $d_3 = 2 \cdot r_3 = 2 \cdot 8,485 = 16,971 \text{ мм,}$

$$b_1 = n \cdot d_3 = 4 \cdot 16,971 = 67,883 \text{ мм;}$$

$$b_{11} = d_3 = 16,971 \text{ мм.}$$

Фактична потужність втрат визначається за формулою

$$\Sigma P_{\text{факт}} = \frac{m \cdot I_{\text{екв}}^2 \cdot R \cdot 10^{-3}}{n} = \frac{3 \cdot 162,249^2 \cdot 1,35 \cdot 10^{-3}}{4} = 26,654 \text{ Вт/м.}$$

Фактичне перевищення температури струмопровідних жил кабеля визначається

					141.4367ст3.ДР.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

$$\theta_{\text{факт}} = (\theta - 3) \frac{\Sigma P_{\text{факт}}}{\Sigma P_{\text{доп}}} + 3 = (20 - 3) \frac{26,654}{29,753} + 3 = 18,229 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Оскільки фактичне перевищення температури нагріву струмопровідної жили кабеля не перевищує допустиме значення, визначений кабель вибраний вірно.

Розраховується постійна часу пучка кабелів

$$T = \left(\frac{5,43 \cdot C'_V \cdot a_2 \cdot \theta_{\text{факт}}}{\theta_{\text{факт}} - b_2} \cdot \frac{b_1 \cdot b_{11} \cdot 10^{-9}}{b_1 + b_{11}} + \frac{15,2 \cdot C'_V \cdot b_2 \cdot S_{\text{вн}} \cdot b_1 \cdot b_{11} \cdot 10^{-12}}{\theta_{\text{факт}} - b_2} \right) \cdot 10^{-3} =$$

$$= \left(\frac{5,43 \cdot 2,65 \cdot 0,098 \cdot 18,229}{18,229 - 2,6} \cdot \frac{67,883 \cdot 16,971 \cdot 10^{-9}}{67,883 + 16,971} + \frac{15,2 \cdot 2,65 \cdot 2,6 \cdot 0,172 \cdot 67,883 \cdot 16,971 \cdot 10^{-12}}{18,229 - 2,6} \right) \cdot 10^{-3} =$$

$$= 2,366 \cdot 10^{-11} \text{ хв.}$$

Для розрахунку втрат напруги в кабельній мережі визначається коефіцієнт потужності

$$\cos \varphi = \frac{\Sigma P}{\Sigma S} = \frac{123,78}{137,533} = 0,9,$$

де ΣP – активна потужність чотирьох вантажних лебідок з потужністю $P = 30,945$ кВт кожна, що підключені до фідеру 2 балкера «ABM Justice» на відстані 65 м.

Величина втрат напруги в кабелі для трьохфазного змінного струму

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot I_{\text{розр}} \cdot l}{U_{\text{л}} \cdot n} (R_p \cdot \cos \varphi \cdot 10^{-3} + X \cdot \sin \varphi) \cdot 100\% =$$

$$= \frac{\sqrt{3} \cdot 179,285 \cdot 65}{380 \cdot 2} (1,342 \cdot 0,9 \cdot 10^{-3} + 8,871 \cdot 10^{-5} \cdot 0,436) \cdot 100\% = 1,655 \%,$$

де l – довжина кабеля, $l = 65$ м;

R_p – активний опір однієї струмопровідної жили при розрахунковій температурі жили кабеля з урахуванням значення температурного коефіцієнта $\alpha_4 = 0,004 \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$,

					141.4367ст3.ДР.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

$$R_p = R \frac{(1 + \alpha_4 (\theta_{\text{п}} + \theta_{\text{факт}} - 20))}{1 + \alpha_4 (\theta_{\text{к}} - 20)} = 1,35 \cdot \frac{(1 + 0,004(45 + 18,229 - 20))}{1 + 0,004(65 - 20)} = 1,342 \text{ Ом/км};$$

X – індуктивний опір, приведений до однієї струмопровідної жили з частотою мережі $f = 50$ Гц,

$$X = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot \left(0,46 \cdot \lg \left(\frac{1,6 \cdot 2 \cdot r_1}{r_1} \right) + 0,05 \right) \cdot 10^{-6} =$$

$$= 2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot \left(0,46 \cdot \lg \left(\frac{1,6 \cdot 2 \cdot 2,257}{2,257} \right) + 0,05 \right) \cdot 10^{-6} = 8,871 \cdot 10^{-5} \text{ Ом/м};$$

$$\sin \varphi = \sqrt{1 - (\cos \varphi)^2} = \sqrt{1 - (0,9)^2} = 0,436.$$

Величина фактичних втрат напруги в розрахованому кабелі не перевищує допустимого значення 10 %, тому переріз кабелю вибраний вірно.

Для шести вантажних, що знаходяться на відстані 25 м від головного розподільного щита, розрахунковий струм визначається з урахуванням коефіцієнта одночасності роботи споживачів рівному $k_o = 0,833$

$$I_{\text{розр}} = \frac{k_p \cdot k_o \cdot S}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = \frac{1,03 \cdot 0,833 \cdot (6 \cdot 34383)}{\sqrt{3} \cdot 380} = 268,929 \text{ А.}$$

Розраховується еквівалентний струм кабелю

$$I_{\text{екв}} = \frac{I_{\text{розр}} \cdot A}{\alpha \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4} = \frac{268,929 \cdot 1}{1,3 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,85} = 243,374 \text{ А.}$$

Вибирається значення активного електричного опору $R = 0,865$ Ом/км багатодротової жили кабеля, що живить дві вантажні лебідки на відстані 25 м від головного розподільного щита (кабелі, що живлять інші лебідки приймаються вище обраним перерізом) для перетину струмопровідної жили кабеля $S_{\text{каб}} = 25 \text{ мм}^2$ згідно табл.2.5.10 [10]. Визначається радіус струмопровідної жили

$$r_1 = \sqrt{\frac{S_{\text{каб}}}{\pi}} = \sqrt{\frac{25}{\pi}} = 2,821 \text{ мм.}$$

Внутрішній тепловий опір трьохжильного ($m = 3$) кабеля отримується з виразу

					141.4367ст3.ДР.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

$$S_{\text{BH}} = \frac{\alpha_3 \cdot \sigma}{6\pi} \ln \frac{r_3^3}{1,7 \cdot r_1 \cdot d^2} = \frac{0,97 \cdot 3}{6\pi} \ln \frac{8,485^3}{1,7 \cdot 2,821 \cdot 9,027^2} = 0,172,$$

r_3 – зовнішній радіус оболонки кабеля,

$$r_3 = 2,35 \cdot 1,6 \cdot r_1 = 2,35 \cdot 1,6 \cdot 2,821 = 10,607 \text{ мм};$$

d – діаметр струмопровідної жили з ізоляцією,

$$d = 2 \cdot 1,6 \cdot r_1 = 2 \cdot 1,6 \cdot 2,821 = 9,027 \text{ мм}.$$

При тривалому навантаженні значення гранично допустимої потужності втрат визначається за формулою

$$\Sigma P_{\text{доп}} = \frac{\theta - b_2}{\frac{a_2}{2,8(b_1 + b_{11})} + S_{\text{BH}}} = \frac{20 - 2,6}{\frac{0,098}{2,8(110,311 + 21,214)} + 0,172} = 39,685 \text{ Вт/м},$$

b_1 і b_{11} – розміри сторін прямокутника, описаного навколо поперечного перетину пучка при кількості кабелів $n = 6$ і значенні зовнішнього діаметра оболонки кабеля $d_3 = 2 \cdot r_3 = 2 \cdot 10,607 = 21,214 \text{ мм}$,

$$b_1 = n \cdot d_3 = 4 \cdot 16,971 + 2 \cdot 21,214 = 110,311 \text{ мм};$$

$$b_{11} = d_3 = 21,214 \text{ мм}.$$

Фактична потужність втрат визначається сумою втрат відповідно для чотирьох кабелів з перерізом струмопровідної жили кабеля $S_{\text{каб}} = 16 \text{ мм}^2$ і для двох кабелів перерізом струмопровідної жили кабеля $S_{\text{каб}} = 25 \text{ мм}^2$

$$\Sigma P_{\text{факт1}} = \frac{m \cdot I_{\text{екв}}^2 \cdot R \cdot 10^{-3}}{n} = \frac{3 \cdot 162,25^2 \cdot (1,35) \cdot 10^{-3}}{4} = 26,641 \text{ Вт/м};$$

$$\Sigma P_{\text{факт2}} = \frac{m \cdot I_{\text{екв}}^2 \cdot R \cdot 10^{-3}}{n} = \frac{3 \cdot 81,129^2 \cdot (0,865) \cdot 10^{-3}}{2} = 8,54 \text{ Вт/м};$$

$$\Sigma P_{\text{факт}} = \Sigma P_{\text{факт1}} + \Sigma P_{\text{факт2}} = 26,641 + 8,54 = 35,181 \text{ Вт/м}.$$

Фактичне перевищення температури струмопровідних жил кабеля визначається

$$\theta_{\text{факт}} = (\theta - 3) \frac{\Sigma P_{\text{факт}}}{\Sigma P_{\text{доп}}} + 3 = (20 - 3) \frac{35,181}{39,685} + 3 = 18,07 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Оскільки фактичне перевищення температури нагріву струмопровідної жили кабеля не перевищує допустиме значення, визначений кабель вибраний вірно.

					141.4367ст3.ДР.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

Розраховується постійна часу пучка кабелів

$$T = \left(\frac{5,43 \cdot C'_V \cdot a_2 \cdot \theta_{\text{факт}}}{\theta_{\text{факт}} - b_2} \cdot \frac{b_1 \cdot b_{11} \cdot 10^{-9}}{b_1 + b_{11}} + \frac{15,2 \cdot C'_V \cdot b_2 \cdot S_{\text{вн}} \cdot b_1 \cdot b_{11} \cdot 10^{-12}}{\theta_{\text{факт}} - b_2} \right) \cdot 10^{-3} =$$

$$= \left(\frac{5,43 \cdot 2,65 \cdot 0,098 \cdot 18,07}{18,07 - 2,6} \cdot \frac{110,311 \cdot 21,214 \cdot 10^{-9}}{110,311 + 21,214} + \frac{15,2 \cdot 2,65 \cdot 2,6 \cdot 0,172 \cdot 110,311 \cdot 21,214 \cdot 10^{-12}}{18,07 - 2,6} \right) \cdot 10^{-3} =$$

$$= 3,204 \cdot 10^{-11} \text{ хв.}$$

Для розрахунку втрат напруги в кабельній мережі визначається коефіцієнт потужності

$$\cos \varphi = \frac{\Sigma P}{\Sigma S} = \frac{6 \cdot 30,945}{206,3} = 0,9,$$

де ΣP – активна потужність шести вантажних лебідок з потужністю $P = 30,945$ кВт кожна, що підключені до фідеру 2 балкера «ABM Justice» на відстані 25 м.

Величина втрат напруги в кабелі для трьохфазного змінного струму

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot I_{\text{розр}} \cdot l}{U_{\text{л}} \cdot n} (R_p \cdot \cos \varphi \cdot 10^{-3} + X \cdot \sin \varphi) \cdot 100\% =$$

$$= \frac{\sqrt{3} \cdot 268,929 \cdot 25}{380 \cdot 6} (1,341 \cdot 0,9 \cdot 10^{-3} + 8,871 \cdot 10^{-5} \cdot 0,436) \cdot 100\% = 0,636 \%,$$

де l – довжина кабеля, $l = 25$ м;

R_p – активний опір однієї струмопровідної жили при розрахунковій температурі жили кабеля з урахуванням значення температурного коефіцієнта $\alpha_4 = 0,004$ °C⁻¹ з опором проводу меншого перетину $R = 1,35$ Ом/км,

$$R_p = R \frac{(1 + \alpha_4 (\theta_{\text{п}} + \theta - 20))}{1 + \alpha_4 (\theta_{\text{к}} - 20)} = 1,35 \cdot \frac{(1 + 0,004(45 + 18,07 - 20))}{1 + 0,004(65 - 20)} = 1,341 \text{ Ом/км};$$

X – індуктивний опір, приведений до однієї струмопровідної жили з частотою мережі $f = 50$ Гц,

$$X = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot \left(0,46 \cdot \lg \left(\frac{1,6 \cdot 2 \cdot r_1}{r_1} \right) + 0,05 \right) \cdot 10^{-6} =$$

$$= 2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot \left(0,46 \cdot \lg \left(\frac{1,6 \cdot 2 \cdot 2,821}{2,821} \right) + 0,05 \right) \cdot 10^{-6} = 8,871 \cdot 10^{-5} \text{ Ом/м};$$

					141.4367ст3.ДР.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

$$\sin \varphi = \sqrt{1 - (\cos \varphi)^2} = \sqrt{1 - (0,9)^2} = 0,436.$$

Величина фактичних втрат напруги в розрахованому кабелі не перевищує

Зм.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата

141.4367ст3.ДР.ПЗ.РЗ

3.1. Визначення параметрів експлуатаційних режимів дизель-генераторного агрегата

Для оцінки показників двигунів при різних режимах їх роботи застосовуються так звані характеристики двигунів, які встановлюють залежність між основними параметрами двигунів і факторами, що впливають на їх роботу. Розрізняють швидкісні і навантажувальні характеристики двигунів. Якщо за незалежну змінну прийнято число обертів вала двигуна, то залежність потужності, питомої витрати палива і інших параметрів від числа обертів вала двигуна називається швидкісною характеристикою. Якщо ж незалежною змінною буде навантаження двигуна, то залежність потужності, питомої витрати палива і інших параметрів від навантаження двигуна називається навантажувальною характеристикою.

До швидкісних характеристик відносяться: зовнішня характеристика максимальних потужностей, зовнішня характеристика експлуатаційних потужностей, зовнішня характеристика при максимальному значенні крутного моменту і гвинтова характеристика. Всі ці характеристики, крім гвинтових, є власне характеристиками двигуна, які визначають всі показники його роботи (потужність, питома витрата палива і параметри циклу), як незалежної від споживача енергії.

Зовнішньою характеристикою двигуна називається залежність потужності від числа обертів колінчастого вала його при незмінному положенні органу управління подачею палива в циліндри. Зовнішні характеристики двигунів знімаються при стендових випробуваннях, коли при всіх швидкісних режимах роботи двигуна (тобто при різних числах обертів вала) орган управління подачею палива в циліндри залишається в незмінному положенні.

					141.4367ст3.ДР.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

Якщо орган управління подачею палива знаходиться в положенні максимальної подачі палива, то заміряна залежність між потужністю і числом обертів вала двигуна буде зовнішньою характеристикою двигуна максимальних потужностей. При установці органу управління подачею палива в положення, відповідне подання палива в циліндри двигуна при номінальній потужності або при часткових навантаженнях, знята залежність потужності і числа обертів для кожного режиму навантаження буде зовнішньою характеристикою експлуатаційних потужностей – номінальною і частковою потужностей.

У морському Регістрі судноплавства «Правила классификации и постройки морских судов. Часть XI. Электрическое оборудование» визначаються допустимі відхилення параметрів живлення. Електричне обладнання повинно бути такої конструкції, щоб у всіх випадках залишалось працездатним при відхиленнях напруги живлення і частоти, вказаних в табл. 3.1.

Таблица 3.1.

Допустимі відхилення напруги і частот при роботі електрообладнання на судах

Параметри	Відхилення від номінальних значень		
	Подовжене, %	Короткочасне	
		%	Час, с
Напруга (змінний струм)	-6...-10	±20	1,5
Частота	±5	±10	5
Напруга (постійний струм)	±10	5	циклічне відхилення
		10	пульсації

Напруга генератора залежить від його навантаження, струму збудження та частоти обертання ротора. Тому для підтримки постійної напруги в першу

чергу необхідно підтримувати постійну частоту обертання валу первинного двигуна – дизеля. Генератори змінного струму, які встановлюють на судах, обладнають спеціальними регуляторами, які впливають на струм збудження і забезпечують сталість напруги при зміні в певних межах частоти обертання і навантаження генератора. Постійна частота обертання первинного двигуна підтримується за допомогою регулятора, постійна напруга генератора змінного струму – за допомогою електричного регулятора напруги. Сучасні регулятори напруги змінного струму дозволяють підтримувати напругу з необхідним ступенем точності при зміні частоти обертання в діапазоні $\pm 5\%$ в залишку і $\pm 10\%$ в динаміці.

Зовнішня характеристика дизеля описується наступним виразом

$$N(\omega) = N_{\text{дн}} \left[0,87 \frac{\omega \cdot 60}{n_{\text{ном}} \cdot 2 \cdot \pi} + 1,13 \left(\frac{\omega \cdot 60}{n_{\text{ном}} \cdot 2 \cdot \pi} \right)^2 - \left(\frac{\omega \cdot 60}{n_{\text{ном}} \cdot 2 \cdot \pi} \right)^3 \right] =$$

$$= 232 \left[0,87 \frac{\omega \cdot 60}{750 \cdot 2 \cdot \pi} + 1,13 \left(\frac{\omega \cdot 60}{750 \cdot 2 \cdot \pi} \right)^2 - \left(\frac{\omega \cdot 60}{750 \cdot 2 \cdot \pi} \right)^3 \right], \quad (3.1)$$

де $N_{\text{дн}}$ – номінальна корисна потужність дизеля, $N_{\text{дн}} = 232$ кВт;

$n_{\text{ном}}$ – номінальна частота обертання дизеля, $n_{\text{ном}} = 750$ об/хв.

На рис. 3.1 зображена зовнішня характеристика дизеля, побудована за формулою (3.1). Відносно до експлуатаційних режимів дизеля зовнішня характеристика ділиться на три зони:

- зона роботи дизеля лежать в межах $[0,4\omega_{\text{ном}} \dots 1,15\omega_{\text{ном}}]$;
- зона пуску від стороннього джерела механічної потужності (зона, в якій самостійна робота дизеля неможлива) $[0 \dots 0,4\omega_{\text{ном}}]$;
- зона максимальних обертів (дизель може піти у «рознос») $[1,15\omega_{\text{ном}} \dots 1,66\omega_{\text{ном}}]$,

де $\omega_{\text{ном}}$ – номінальна швидкість дизеля,

$$\omega_{\text{ном}} = 2\pi \cdot 750 / 60 = 78,54 \text{ с}^{-1}.$$

Потужність втрат неробочого руху дизель-генераторного агрегату приймається 4,5 % від потужності генератора.

Момент інерції дизель-генераторного агрегату

$$J_{\Sigma} = \frac{GD^2 \cdot k}{4} = \frac{350 \cdot 3}{4} = 262,5 \text{ кг} \cdot \text{м}^2,$$

де GD^2 – маховий момент генератора, $GD^2 = 350 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$;

k – коефіцієнт, що визначає маховий момент дизель-генераторного агрегата, $k = 3$.

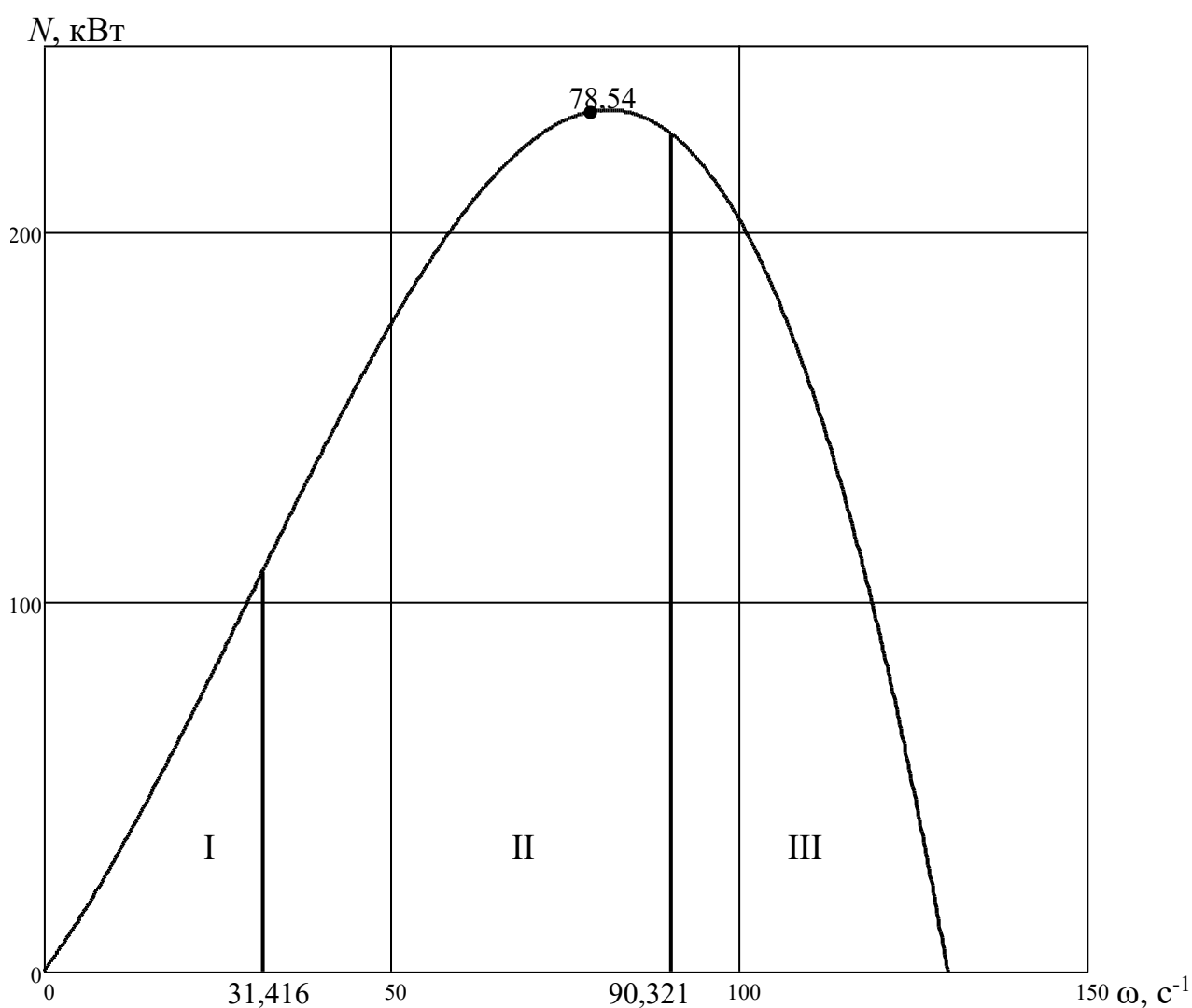


Рис. 3.1. Зовнішня характеристика дизеля:

I і III – зони нестійкої роботи; II – зона роботи дизеля.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

141.4367ст3.ДР.ПЗ

Арк.

58

3.2. Розробка моделі динаміки дизель-генераторного агрегата

Рівняння динаміки виконавчого механізму зміни відносного положення рейки паливного насосу (за допомогою електромагнітного приводу)

$$T_{\text{вм}} \frac{dN^*}{dt} + N^* = h, \quad (3.2)$$

де $T_{\text{вм}}$ – постійна часу виконавчого механізму;

N^* – потужність дизеля у відносних одиницях;

h – вхідний сигнал, що відповідає відсотку підняття рейки паливного насосу від 0 до 1.

Рівняння розгону дизель-генераторного агрегату

$$\frac{J_{\Sigma}}{N_{\text{дн}}} \frac{d\left(\frac{\omega^2}{2}\right)}{dt} = N^* - P_{\Gamma}^*, \quad (3.3)$$

де P_{Γ}^* – повна потужність генератора у відносних одиницях.

Визначається постійна часу запізнення дизеля

$$\tau = \frac{\alpha_0 + 2\alpha_{\text{м}}}{\omega_{\text{ном}}} = \frac{1}{60},$$

де α_0 – кут випередження вприскування палива до верхньої «мертвої точки», $\alpha_0 = 15^\circ \dots 25^\circ$, приймається 25° ;

$\alpha_{\text{м}}$ – кут, відповідний максимальному обертовому моменту дизеля, приймається 25° .

Визначення індуктивності, активного опору і постійної часу навантаження:

$$L = \frac{U^2 \cos \varphi \sin \varphi}{P_{\text{нс}} \cdot 2\pi f} = \frac{400^2 \cdot 0,8 \cdot 0,6}{200000 \cdot 2\pi \cdot 50} = 0,0012;$$

					141.4367ст3.ДР.ПЗ	Арк.
						59
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$R = \frac{U^2 \cos^2 \varphi}{P_{\text{нс}}} = \frac{400^2 \cdot 0,8^2}{200000} = 0,512 \text{ Ом};$$

$$T_{\text{н}} = \frac{L}{R} = \frac{0,0012}{0,512} = 0,0023.$$

3.3. Налагодження регулятора частоти дизель-генераторного агрегата

Модель дизель-генератора зі зворотнім зв'язком за частотою виконана в програмі Matlab і представлена на рис. 3.3. При моделюванні в якості регулятора частоти обрана пропорційна ланка і налаштовані її параметри

$$W_{\text{рч}}(p) = 2,5.$$

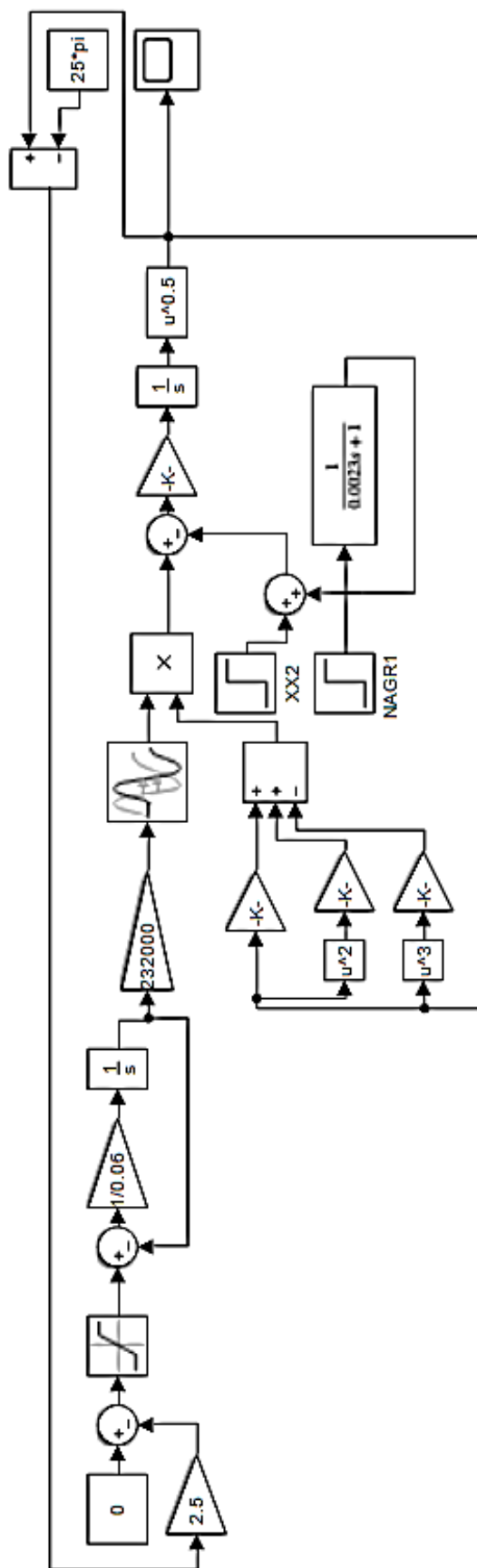
Результати моделювання приведені на рис. 3.4. За графіком перехідного процесу зміни кутової швидкості визначені показники якості перехідного процесу, які зведені в табл. 3.2.

Порівнюючи отримані показники якості системи з допустимими (табл. 3.1) ми бачимо, що вони відповідають технічному завданню.

Таблиця 3.2

Показники якості перехідного процесу

Режими роботи	Показники	Значення
Неробочий рух	Максимальне перерегулювання	-
	Максимальна похибка в усталеному режимі	0,84 %
	Час перехідного процесу	3,8 с
Накид номінального навантаження генератора	Провал кутової швидкості	-1,19 %
	Максимальна похибка в усталеному режимі	-0,48 %
	Час перехідного процесу	1,4 с



Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

141.4367ст3.ДР.ПЗ

Арк.

61

Рис. 3.3. Модель дизель-генератора зі зворотнім зв'язком за частотою

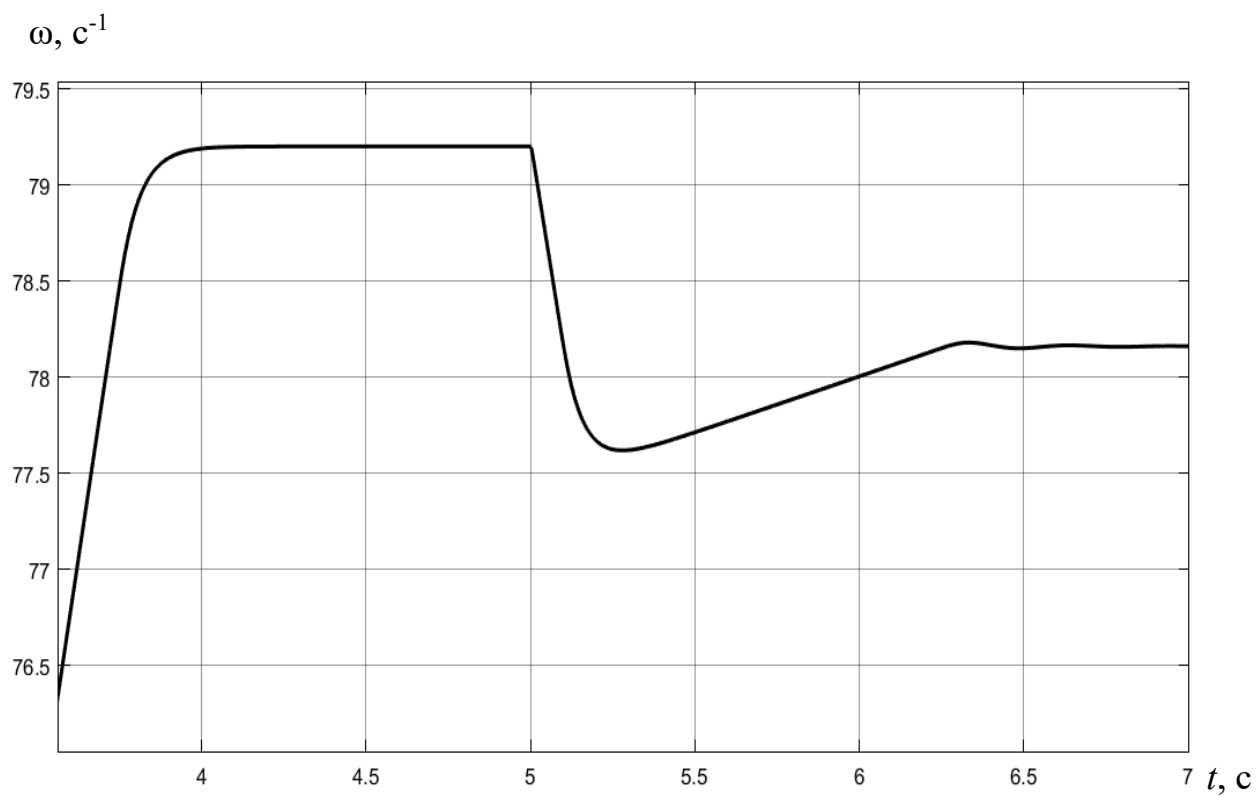


Рис. 3.4. Графік перехідного процесу зміни кутової швидкості

--

--

					141.4367ст3.ДР.ПЗ.Р4		
Зм.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата	РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ		
Розробив		Сааков В.В.					
Перевірив							
					Лист.	Арк.	Аркциф
						62	14

4.1. Загальні положення

Верховна Рада України 14 жовтня 1992 року ухвалила Закон «Про охорону праці», який має велике соціально-економічне значення, оскільки стосується життєвих інтересів майже 30 мільйонів громадян України. Охорона праці – це система правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів і засобів, спрямованих на збереження життя, здоров'я і працездатності людини у процесі праці. Головною метою охорони праці є створення на кожному робочому місці безпечних умов праці, безпечної експлуатації обладнання, зменшення або повна нейтралізація дії шкідливих і небезпечних виробничих факторів на організм людини і, як наслідок, зниження виробничого травматизму та професійних захворювань.

Конституція України до числа соціальних прав включає право кожного на охорону здоров'я, медичну допомогу та медичне страхування (ст. 49), належні, безпечні й здорові умови праці (ст. 43). Відповідно до ст.12 Міжнародного пакту про економічні, соціальні й культурні права кожна людина має право на медичну допомогу та медичний догляд у разі хвороби. Серед основних трудових прав працівників ст. 2 Кодексу законів про працю України вказує на право на здорові та безпечні умови праці. Ст. 6 Основ законодавства України про охорону здоров'я закріплює право на охорону здоров'я, що передбачає серед інших право на безпечні й здорові умови праці.

Державні, громадські або інші органи, підприємства, установи, організації, посадові особи та громадяни зобов'язані забезпечити пріоритетність охорони здоров'я у власній діяльності, не завдавати шкоди здоров'ю населення й окремих осіб (ст. 5 Основ законодавства України про охорону здоров'я).

					141.4367ст3.ДР.ПЗ	Арк.
						64
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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.

У Законі «Про охорону праці» вперше в історії України економічні заходи управління охороною праці зведені до рангу державної політики. Цим Законом у суспільстві стверджуються принципово нові взаємовідносини, що базуються на економічному механізмі управління умовами праці – формуванні у власника (роботодавця) економічної зацікавленості у здійсненні заходів щодо поліпшення умов праці [15].

Безпека експлуатації електрообладнання досягається системою організаційних і технічних засобів і заходів, що забезпечують безпеку при нормальному режимі роботи електроустановок, а також в аварійному стані.

Небезпечним називається виробничий фактор, вплив якого на працюючого в певних умовах призводить до травми або іншого раптового різкого погіршення здоров'я. Якщо ж виробничий фактор призводить до захворювання або зниження працездатності, то його вважають шкідливим (ГОСТ 12.0.002-80). Залежно від рівня і тривалості впливу шкідливий виробничий фактор може стати небезпечним.

Порушення правил електробезпеки при використанні технологічного обладнання, електроустановок та безпосереднє зіткнення з струмооведучими

частинами установок, що знаходяться під напругою, створює небезпеку ураження електричним струмом.

Проходження електричного струму через організм людини надає термічну, електролітичну та біологічну дії [1]. Термічна дія струму проявляється в опіках окремих ділянок тіла, нагріванні крові, кровоносних судин; електролітичне – в розкладанні крові; біологічне – в подразненні живих тканин організму, що може призвести до припинення діяльності органів кровообігу і дихання.

Результат дії електричного струму на організм людини залежить від величини і напруги струму, частоти, тривалості впливу, шляху струму і загального стану людини. Дослідженнями встановлено, що струм силою близько 1 мА є відчутним (пороговим). При збільшенні струму людина починає відчувати хворобливі скорочення м'язів, а при струмі 12-15 мА вже не в змозі керувати своєю м'язовою системою і не може самостійно відірватися від джерела струму. Такі струми називаються неминучими струмами. При подальшому збільшенні струму може наступити фібриляція (судорожне скорочення) серця. Струм 100 мА вважають смертельним [1,15].

4.2. Аналіз небезпечних та шкідливих факторів, впливаючих на електромеханіка при експлуатації дизель-генераторних агрегатів

Різноманіття дій електричного струму може призвести до двох видів ураження: електричних травм і електричним ударам.

Електричні травми – це місцеві пошкодження тканин організму, які бувають наступних видів:

- електричний опік (контактний) струмовий – виходить в результаті зіткнення (контакту) людини з струмоведучих частиною і є наслідком перетворення електричної енергії в теплову. Розрізняють чотири ступені опіків: I – почервоніння шкіри; II – утворення пухирів; III – омертвіння всієї товщі шкіри; IV – обвуглювання тканин організму. Тяжкість ураження

обумовлюється не стільки ступенем опіку, скільки площею обпаленої поверхні тіла. Струмові опіки виникають при напрузі не вище 1000 В і є найчастіше опіками I-II ступеня;

- дуговий (безконтактний) опік – виникає при напрузі більше 2000 В. У цьому випадку між тілом людини і струмоведучою частиною обладнання виникає електричний розряд (дуга), температура якого перевищує 3000 °С. Дугові опіки, як правило, важкі (III-IV ступеня).

Електричні знаки – це плями сірого і блідо-жовтого кольору, подряпини, забої на поверхні шкіри людини, яка зазнала дії струму. Форма знака може відповідати формі струмоведучих частин, якої торкнувся потерпілий. Лікування електричних знаків у більшості випадків завершується благополучно, уражене місце відновлює чутливість і еластичність.

Металізація шкіри являє собою проникнення у верхні шари шкіри найдрібніших частинок металу, що розплавився під дією електричної дуги або розчиненого в електролітах електролізних ванн. В ураженому місці шкіра стає шорсткою, жорсткою і набуває відповідне забарвлення (наприклад, зелену – від зіткнення з міддю). Роботи, при яких є вірогідність виникнення електричної дуги, слід виконувати в окулярах, а одяг працюючого повинна бути застебнутий на всі гудзики.

Електроофтальмія – це ураження кон'юнктиви і повік в результаті впливу потужного потоку ультрафіолетових променів при електричній дузі.

Механічні ушкодження можуть виникнути в результаті мимовільних судомних скорочень м'язів під дією електричного струму. Механічні ушкодження (розриви шкіри, кровоносних судин, переломи кісток) відносять до травм, які вимагають тривалого лікування.

Електричний удар – збудження живих тканин і внутрішніх органів людини, що супроводжується мимовільними судомними скороченнями м'язів. Електроудари бувають чотирьох ступенів: I – судорожне скорочення м'язів без втрати свідомості; II – судомні м'язів, втрата свідомості при збереженні дихання

					141.4367ст3.ДР.ПЗ	Арк.
						67
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

і роботу серця; III – втрата свідомості, зупинка серця або дихання; IV – клінічна смерть, тобто відсутність дихання і кровообігу.

Вплив струму може бути і рефлекторним (не прямим), коли відбувається поразка центральної нервової системи. Це також може порушити кровообіг і дихання. Електричний шок – різновид електроудара, коли відбувається важка нервово-рефлекторна реакція організму на сильне подразнення електричним струмом. Супроводжується глибокими розладами кровообігу, дихання, обміну речовин. Шоковий стан триває від декількох хвилин до доби. Може закінчитися летальним результатом при відсутності своєчасної лікарської допомоги.

Ступінь небезпеки при ураженні електричним струмом залежить також і від схеми включення людини в електромережу. Якщо людина замикає тілом два фазних проводи, то вона потрапляє під повне лінійну напругу мережі. При розрахунковому опорі тіла людини 1000 Ом і напрузі 380 В сила струму поразки може досягти значення 380 мА, що є небезпечним для життя людини.

Крім того, вражаюча дія струму може бути різним навіть при одному і тому ж значенні його величини. Це залежить від того, через які органи проходить струм ("петлі струму") (рис. 4.1).

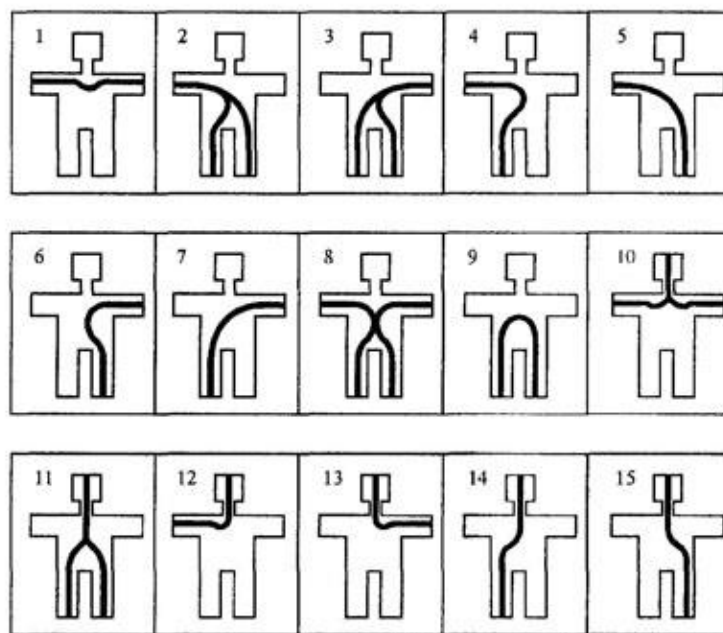


Рис. 4.1. Характерні шляхи струму в людині ("петлі струму"):

1 – рука-рука; 2 –права рука-ноги; 3 – ліва рука-ноги; 4 – права рука-права нога; 5 – права рука-ліва нога; 6 – ліва рука-ліва нога; 7 – ліва рука-права нога; 8 – обидві руки-обидві ноги; 9 – нога-нога; 10 – голова-руки; 11 – голова-ноги; 12 – голова-права рука; 13 – голова-ліва рука; 14 – голова-права нога; 15 – голова-ліва нога.

Під напругою також може виявитися корпус обладнання або машин в результаті накопичення статичної електрики. Під статичною електрикою розуміється потенційний запас електричної енергії, що утворюється на корпусі обладнання в результаті тертя або індукційного впливу сильних електричних розрядів. Статичні розряди можуть утворюватися в приміщеннях з великою кількістю пилу органічного походження, а також накопичуватися на людях при користуванні білизною і одягом з шовку, вовни і штучних волокон при русі по струмонепровідних синтетичному покриттю підлоги (лінолеум, ковролін).

Неправильне освітлення може бути причиною таких захворювань, як короткозорість, спазм, акомодация, зорове стомлення, та інших хвороб, знижує розумову і фізичну працездатність, збільшує число помилок у виробничих процесах, аварій і нещасних випадків. Коливання світлового потоку викликають так званий стробоскопічний ефект, тобто спотворення зорового сприйняття рухомих або обертових предметів (рябить в очах), враження нерухомості або обертання в іншому напрямку. При включенні поруч розташованих люмінесцентних ламп в різні фази електромережі стробоскопічний ефект значно знижується, а при включенні в мережу постійного струму повністю зникає [15, 20].

4.3. Розрахунок освітлення в машинному відділенні

Розрахунок освітлювальної установки машинного відділення судна [20]: довжина $A = 6$ м; ширина $B = 8,5$ м; висота $H = 2,1$ м; висота підвісу $h_c = 0,1$ м.

Визначення площі приміщення $S = A \cdot B = 6 \cdot 8,5 = 51 \text{ м}^2$.

					141.4367ст3.ДР.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		69

Обирання системи загального рівномірного освітлення с лампами розжарювання.

Обираєння світильника типу «СС328-II» с 2-мя лампами розжарювання типу С220-60.

Індекс приміщення $i = (A \cdot B) / [h \cdot (A + B)] = (6 \cdot 8,5) / [2,0 \cdot (6 + 8,5)] = 1,76$,
де $h = H - h_c = 2,1 - 0,1 = 2,0$ м.

Обрання коефіцієнту використання світлового потоку по нищезазначеним параметрам:

- коефіцієнт відбиття підволоки – $\rho_{\text{п}} = 70 \%$;
- коефіцієнт відбиття переборок – $\rho_{\text{пер}} = 50 \%$;
- коефіцієнт відбиття палуби – $\rho_{\text{р}} = 30 \%$;
- індекс приміщення $i = 1,8$;
- прозорий розсіювач;
- $\eta = 59 \%$.

Коефіцієнт запасу $k_z = 1,15$, що враховує експлуатаційне зниження освітленості в порівнянні з запроєктованною внаслідок забруднення підволоки та переборок, світильників і ламп.

Мінімальна освітленність $E_{\text{min}} = 75$ Лк за нормами освітленості в машинному відділенні морського судна.

Світловий потік лампи С220-60 $\Phi_{\text{л}} = 540$ Лм.

Коефіцієнт мінімальної освітленості $z = 1,15$.

Визначення необхідного числа світильників

$$N = (E_{\text{min}} \cdot S \cdot k_z \cdot z) / (n \cdot \eta \cdot \Phi_{\text{л}}) = (75 \cdot 51 \cdot 1,15 \cdot 1,15) / (2 \cdot 0,59 \cdot 540) = 7,94.$$

Приймається для установки 8 світильників «СС328-II» з 2-ма лампами розжарювання.

4.4. Заходи з техніки безпеки при експлуатації дизель-генераторних агрегатів

					141.4367ст3.ДР.ПЗ	Арк.
						70
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для захисту від ураження електричним струмом при роботі з електрообладнанням, що знаходиться під напругою, необхідно використовувати загальні та індивідуальні електрозахисні засоби. До загальних засобів захисту відносяться: захисні огороження; заземлення, занулення і відключення корпусів електрообладнання, які можуть опинитися під напругою; застосування малої безпечної напруги 12-36 В; попереджувальні плакати, вивішувані у небезпечних місцях; автоматичні повітряні вимикачі.

Огородженню підлягають всі струмоведучі неізольовані частини електричних пристроїв (дроти, шини, контакти рубильників і запобіжників).

Захисне заземлення, занулення і автоматичне відключення призначені для зниження напруги або повного відключення електроустановок, металеві корпуси яких опинилися під напругою. У суднових умовах при робочій напрузі суднових установок понад 25 В захисному заземленню підлягають всі доступні для дотику металеві частини, які зазвичай не знаходяться під напругою, але можуть опинитися під ним в результаті пошкодження ізоляції.

До таких частин відносяться: корпуси електричних машин та апаратів, трансформаторів і приладів, каркаси розподільних щитів і пристроїв, корпуси настановної арматури світильників, металеві оболонки кабелів.

У разі встановлення електрообладнання на металеві фундаменти або кронштейни, які є надійно металево пов'язаними з корпусом судна, спеціального додаткового заземлюючого пристрою не потрібно. При напругах до 25 В захисні заземлення в суднових умовах не застосовуються.

Заземлення на судах з металевим корпусом виконуються на корпус судна мідним дротом або стрічкою. Перетин основних заземлюючих проводів або стрічок повинно бути не менше 6 мм², а для окремих дрібних приладів має бути не менше 1,5 мм².

Захисні заземлення дозволяється суміщати з заземленнями, призначеними для захисту від перешкод радіоприйому і для зняття

					141.4367ст3.ДР.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		71

електростатичних зарядів. Поєднання захисних заземлень з робочими заземленнями і заземленнями грозозахисту на судах не допускається. Грозові розряди на виступаючих елементах судна можуть вразити людей, що перебувають на судні, заподіяти серйозні руйнування частин судна, викликати пожежу і заподіяти інші лиха. Тому судна обладнуються грозозахисного пристроями. На судах з металевими щоглами спеціальні грозозахисні пристрої не потрібні, так як сама щогла, металево поєднана з корпусом судна, є громовідводом.

У судовому грозозахисному пристрої блискавковловлювачами є високо розташовані металеві предмети, що приймають на себе атмосферні електричні розряди. Такими предметами на судні є, крім спеціально призначених для цих випадків штирів і «шпильок», верхні частини металевих щогл, труб і т. п. Використання в якості громовідводу радіоантен забороняється. Відвідні дроти прокладаються по можливості прямолінійно, слід уникати їх різких вигинів. Всі вживані стиски і хомутики влаштовуються латунними або мідними контактного типу та надійно зміцнюються. Пайка місць з'єднань не допускається. Щоб уникнути появи індукційних струмів при проходженні розряду по відвідним проводам блискавковідводної мережі, рекомендується всі великі металеві предмети на палубах з'єднувати з корпусом судна (заземлювати).

Для захисту від ураження електрострумом у чотирьохпроводних мережах, питомих трансформатором з глухозаземленою нейтраллю, застосовують захисне занулення. Цей вид захисту представляє собою з'єднання металевих частин установки, які не знаходяться під напругою, із заземленим в трансформаторному пункті нульовим проводом. У разі появи напруги на корпусі установки відбувається коротке замикання в мережі і згорають запобіжники, що призводить до відключення напруги від електроустановки.

					141.4367ст3.ДР.ПЗ	Арк.
						72
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Захисне відключення служить засобом захисту від електротравматизму при однофазному замиканні на корпус. Воно зазвичай застосовується у випадках, коли електробезпека не може бути забезпечена шляхом влаштування заземлення, в умовах рухомого характеру робіт. Захисне відключення здійснюється за допомогою апарату, вбудованого в розподільний або пусковий пристрій. До загальних засобів захисту також відносять попереджувальні плакати, які в залежності від призначення підрозділяються на застережливі, що забороняють і нагадують.

Індивідуальні захисні засоби поділяються на основні та додаткові. Основними захисними ізолюючими засобами в установках до 1000 В є штанги ізолюючі, кліщі ізолюючі і електровимірювальні покажчики напруги, діелектричні рукавички, слюсарно-монтажний інструмент з ізолюючими рукоятками. Ізоляція перерахованих інструментів довгостроково витримує робочу напругу електроустановок, і вони дозволяють доторкатися до струмоведучих частин, що знаходяться під напругою. Додатковими ізолюючими захисними засобами називаються засоби, які самі по собі не можуть при даній напрузі забезпечити захист від ураження струмом. Вони доповнюють основні засоби захисту, а також можуть служити для захисту від напруги дотику і крокової напруги. Додатковими захисними засобами в установках до 1000 В служать діелектричні калоші, діелектричні килимки, ізолюючі підставки.

Іскровий заряд статичної електрики, що досягає часто декількох десятків тисяч вольт, може бути причиною вибуху і пожежі. Для запобігання накопичення статичної електрики необхідно влаштовувати мокру прибирання в приміщеннях, користуватися спецодягом з природних тканин і спецвзуттям, а також забезпечувати якість вентиляції відповідно до санітарних норм [15].

Одним з ефективних засобів захисту від вібрації робочих місць, устаткування є віброізоляція, що представляє собою пружні елементи, розміщені між віброуючою машиною і підставою. Амортизатори вібрацій виготовляють зазвичай із сталевих пружин чи гумових прокладок. Пружинні амортизатори застосовують для віброізоляції насосів, електродвигунів. Віброізолююча здатність гумових амортизаторів менше, ніж пружинних, але вони характеризуються великим внутрішнім тертям, що сприяє зменшенню часу загасання вільних коливань системи.

Для зменшення вібрації кожухів, огорожень та інших деталей, виконаних із сталевих листів, застосовують вібропоглинання – нанесення на віброуючу поверхню гуми, пластиків, вібропоглинаючих мастик, які розсіюють енергію коливань. Застосуванням вібропоглинаючих покриттів досягається також значне зниження рівня виробничого шуму. В якості індивідуального захисту від вібрацій, переданих людині через ноги, рекомендується носити взуття на повстяної або товстій гумовій підшві. Для захисту рук рекомендуються віброгасячі рукавички [15].

Одним з факторів зниження виробничого травматизму є правильне освітлення робочої зони і рівномірний розподіл світлового потоку на робочих місцях, у проходах, у місцях складування. Освітлення має бути рівномірним і достатнім для виконання того чи іншого процесу і відповідати вимогам СНіП. До засобів нормалізації освітлення виробничих приміщень і робочих місць відносяться освітлювальні прилади, світлові прорізи, світлозахисні пристрої та світлофільтри.

Правильно організоване освітлення позитивно впливає на діяльність центральної нервової системи, знижує енерговитрати організму на виконання певної роботи, що сприяє підвищенню працездатності людини, продуктивності праці і якості продукції, зниженню виробничого травматизму тощо. Так,

наприклад, збільшення освітленості від 100 до 1000 люкс при напруженій зоровій роботі приводить до підвищення продуктивності праці на 10-20%, зменшення браку на 20%, зниження кількості нещасних випадків на 30%. Вважають, що 5% травм можуть спричинюватись такою професійною хворобою як робоча міопія (короткозорість).

Слід відмітити особливо важливу роль в життєдіяльності людини природного освітлення, його ультрафіолетової частини спектру. Природне освітлення стимулює біохімічні процеси в організмі, поліпшує обмін речовин, загартовує організм, йому властива протибактерицидна дія тощо. У зв'язку з цим при недостатньому природному освітленні в умовах виробництва санітарно-гігієнічні нормативи вимагають у системі штучного освітлення застосовувати джерела штучного світла з підвищеною складовою ультрафіолетового випромінювання – еритемні джерела світла.

Штучне освітлення проектується для двох систем: загальне (рівномірне або локалізоване) та комбіноване (до загального додається місцеве). При штучному освітленні нормативною величиною є абсолютне значення освітленості, яке залежить від характеристики зорової праці та системи освітлення (загальне, комбіноване). Всього визначено вісім розрядів (в залежності від розміру об'єкта розпізнавання), в свою чергу розряди (I-VIII) містять чотири підрозряди (а, б, в, г) – в залежності від контрасту між об'єктом і фоном та характеристики фону (коефіцієнта відбиття). Найбільша нормована освітленість складає 5000 лк (розряд I а), а найменша – 30 лк (розряд VIII в).

Як джерела світла при штучному освітленні використовуються лампи розжарювання та газорозрядні лампи. Основними характеристиками джерел світла є номінальна напруга, споживана потужність, світловий потік, питома світлова віддача та термін служби [15, 20].

					141.4367ст3.ДР.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		75

Для запобігання пожежі від великих перехідних опорів мідні проводи та кабелі з'єднують скручуванням жил, а потім спаюють їх оловом без застосування кислоти. Алюмінієві кабелі з'єднують гільзами.

Вибір типу електроустаткування, схеми електропроводки, використовуваних матеріалів, площі поперечного перерізу провідників, виду ізоляції залежить від ступеня вибухопожежонебезпеки навколишнього середовища, режиму роботи електроустановок та можливих перевантажень.

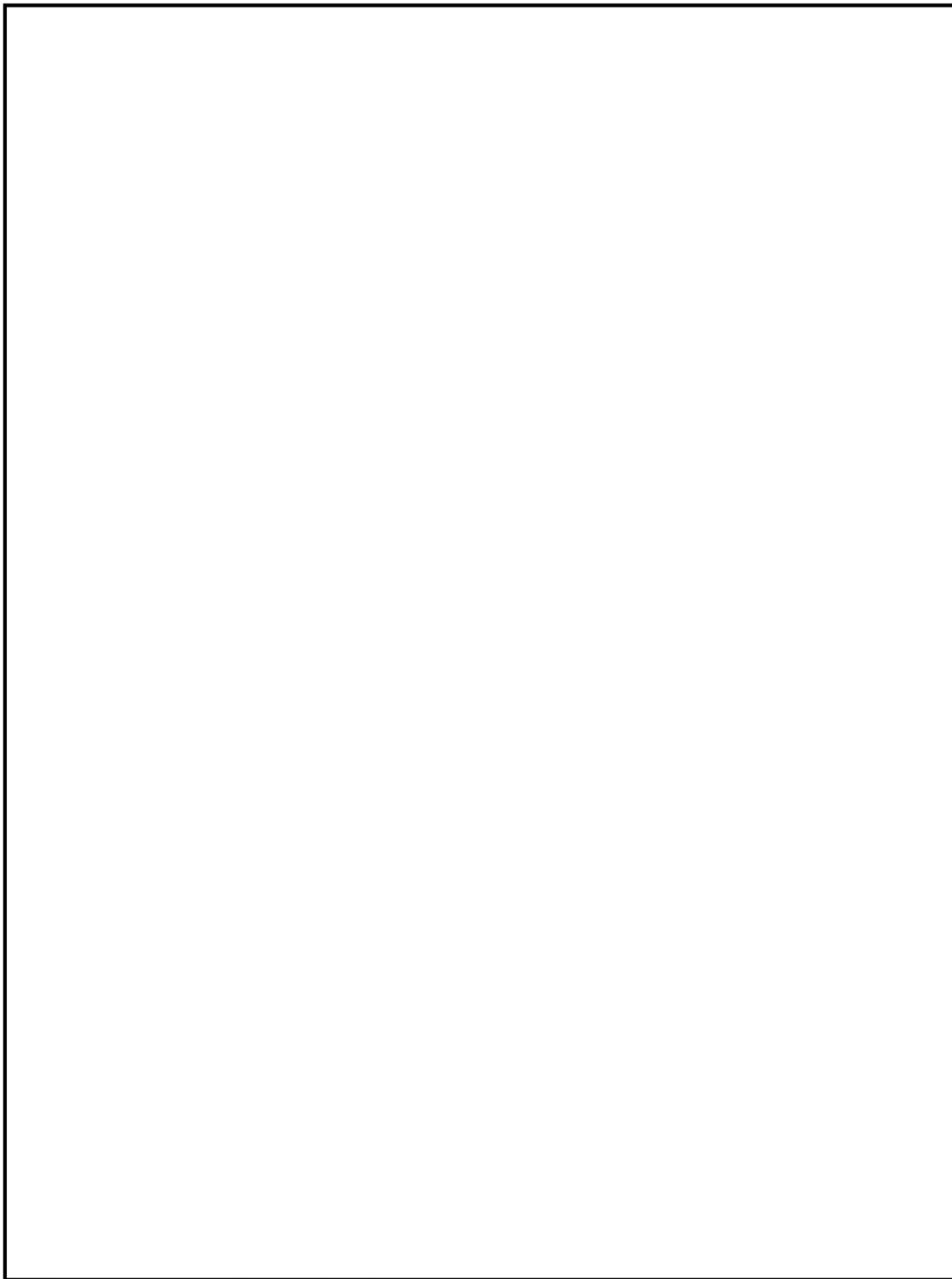
Отже підсумуючи вище зазначене можна сказати що основними причинами пожеж є:

- порушення пожежних норм і правил у технологічних процесах;
- неправильне обладнання систем опалення, вентиляції електроустаткування
- порушення правил зберігання пожежонебезпечних матеріалів;
- використання відкритого вогню факелів, паяльних ламп, куріння в заборонених місцях;
- погане знання персоналом протипожежного інструктажу.

У разі виявлення вогнища пожежі необхідно оповістити працюючих про пожежу, повідомити про нього в пожежну частину, зняти напругу з електроустаткування в зоні пожежі, відключити вентиляцію і приступити до ліквідації пожежі. Для цих цілей використовують стаціонарні і переносні вогнегасні засоби, штатні системи водяного, пінного, парового, вуглекислотного гасіння пожежі, ручні вогнегасники, пісок і т.п.). При цьому слід знати, що для гасіння пожежі в електроустановках, що знаходяться під напругою, використання води та пінних вогнегасників не допускається. Воду також можна застосовувати для гасіння легкозаймистих рідин.

Для гасіння палаючих електричних двигунів і дизелів рекомендується застосовувати порошкові вогнегасники, для гасіння пожежі в генераторах – воду [15].

					141.4367ст3.ДР.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		76



В дипломній роботі вирішена задача розробки автоматизованої дизельної електростанції балкера «ABM Justice». Узагальнюючи усе вищесказане можна висловити наступне:

1. Перевагою дизель-генераторних установок є: постійна готовність до швидкого запуску і можливість швидкого прийому навантаження; мала ступінь нерівномірності обертання – не більш $1/100 \dots 1/150$ для дизель-генераторів постійного струму і $1/150 \dots 1/200$ для дизель-генераторів змінного струму (при їх паралельному включенні $1/250 \dots 1/300$); максимальна автономність систем і агрегатів, обслуговуючих двигун.

2. Обрано три основні генератори активною потужністю 200 кВт кожний, один резервний з активною потужністю 200 кВт і один аварійний генератор з потужністю 100 кВт.

3. Відповідно до основних експлуатаційних режимів побудована модель динаміки дизель-генераторного агрегата. Визначено робочий діапазон кутової швидкості валу дизеля $[0,4\omega_{\text{ном}} \dots 1,15\omega_{\text{ном}}]$.

4. Виконано налагодження регулятора частоти дизель-генераторного агрегата. Обраний регулятор має коефіцієнт підсилення 2,5. Час перехідного процесу при розгоні від мінімальної кутової швидкості до номінальної склав 3,8 с. Час перехідного процесу при накиді номінального навантаження генератора склав 1,4 с.

5. Основні небезпечні фактори при експлуатації суднових електроенергетичних систем: замикання струму через тіло людини та недостатня і нерівномірна освітленість робочої зони, що спричинює

					141.4367ст3.ДР.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		78

виробничий травматизм.

ЛІТЕРАТУРА

1. ДСТУ 7237:2011. Система стандартів безпеки праці. Електробезпека. Загальні вимоги та номенклатура видів захисту. – К.: Держстандарт України, 2011. – 10 с.
2. Клименко Б.В. Електричні апарати. Електромеханічна апаратура комутації, керування та захисту. Загальний курс: навчальний посібник. – Харків: Вид-во «Точка», 2012. – 340 с.
3. Бржезицький В.О., Зелінський В.Ц., Лежнюк П.Д., Рубаненко О.Є. Електричні апарати: підручник. – Херсон : ОЛДІ-ПЛЮС, 2017. – 602 с.
4. Електричні апарати: навч. посіб. / В.О. Лесько, В.О. Комар, С.В. Кравчук, О.В. Сікорська. – Вінниця : ВНТУ, 2018. – 102 с.
5. Електричні апарати станцій і підстанцій: підручник / І.В. Нездвєцька, А.П. Войцицький, В.В. Мельничук. – Житомир: ЖАТФК, 2023. – 252 с.
6. Суднові автоматизовані електроенергетичні системи. Ч.1. Суднові електричні станції. – Навч.посібник / Чорний С.Г., Голіков С.П. – К.: Кондор, 2016. – 198 с.
7. Жорняк Л.Б. Електричні апарати автоматики та керування. – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2022. – 414 с.
8. Сірий О.М., Шестеренко В.Є. Розрахунки при проектуванні та реконструкції систем електропостачання промислових підприємств. Навчальний посібник. – К., ІСДО, 1993. 592 с.
9. Правила улаштування електроустановок. – К., 2010. – 736 с.
10. Буряк В.М., Дейнеко Н.А. Вибір електричних апаратів захисту в мережах до 1000 В. Навчально-методичний посібник.. – Харків, 2007. – 62 с.

					141.4367ст3.ДР.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		79

11. Буряк В.М. Дейнеко Н.А. Визначення струмів короткого замикання в електричних мережах. – Харків, 2003 р. – 88 с.
12. Попович, М.Г. Теорія автоматичного керування. Підручник [Текст] / М.Г. Попович, О.В. Ковальчук. – К.: Либідь, 2007. – 656 с.
13. Гандзюк М.П., Желібо Є.П., Халімовський М.О. Основи охорони праці: Підручник. – К.: Каравела, 2011. – 384 с.
14. Тубальцев, А.М. Виробниче освітлення та його розрахунок. Навч. посібник. – Миколаїв: УДМТУ. – 2001. – 84 с.
15. Правила класифікації та побудови морських суден. Частина 1. Класифікація. Том 1. – К.: Регістр судноплавства України, 2020. – 150 с.
16. Правила класифікації та побудови морських суден. Том 4. – К.: Регістр судноплавства України, 2020. – 360 с.
17. Українська електротехнічна продукція. АСКОУКРЕМ. Каталог. https://www.acko.ua/e-store/xml_catalog/
18. Tavrida Electric. Електророзподільна та контрольна апаратура. Каталог. <https://www.tavrida.com/tes/>
19. Diesel generator SET OLYMPIAN GEP400 (3-Phase). <https://machineryline.info/-/diesel-generators/Olympian/GEP--c1311tm4682m3280>
20. <https://www.kontakt.com.ua/>