

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 електроенергетичної системи лісовоза типу «Судак»»

Виконав: студент групи 4367ст3

_____ Сєднєв Д.А.
(підпис)

Керівник роботи: к.т.н., доц. кафедри

_____ Пальчиков О.О.
(підпис)

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 Седнєву Даніїлу Анатолійовичу

- Тема роботи: «Розробка електроенергетичної системи лісовоза типу «Судак»»
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 електроенергетичну систему для лісовоза «Судак»
- Перелік питань, що належать до розробки (найменування розділів):
 - Аналіз суднових дизельних електростанцій на прикладі лісовоза типу «Судак».
 - Розрахунок системи генерування і розподілення електроенергії.
 - Розрахунок зміни напруги і частоти на шинах електростанції при пусках і самозапущах асинхронних двигунів.
 - Охорона праці.
- Перелік презентаційних матеріалів:
 - Загальний вид і основні характеристики лісовоза «Судак».
 - Потужність силової електростанції лісовоза «Судак».
 - Принципова схема генерування та розподілу електроенергії лісовоза «Судак».
 - Теоретичні основи розрахунку зміни напруги синхронного генератора.
 - Моделі визначення зміни напруги і частоти при пуску асинхронних двигунів.
 - Графіки зміни напруги і частоти при сумісній роботі двигунів і генераторів.

6. Консультанти розділів ВКР

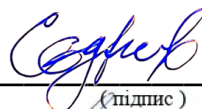
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
-	-	-	-
-	-	-	-
-	-	-	-
-	-	-	-

7. Дата видачі завдання 24.02.2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Аналіз суднових дизельних електростанцій на прикладі лісовоза типу «Судак».	10.04.2026 р.	Вик.
2.	Розрахунок системи генерування і розподілення електроенергії.	24.04.2026 р.	Вик.
3.	Розрахунок зміни напруги і частоти на шинах електростанції при пусках і самозапусках асинхронних двигунів.	14.05.2026 р.	Вик.
4.	Охорона праці.	21.05.2026 р.	Вик.

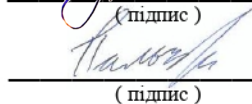
Студент


(підпис)

Сєднєв Д.А.

(прізвище та ініціали)

Керівник ВКРБ


(підпис)

Пальчиков О.О.

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Дипломна робота присвячена розробці електроенергетичної системи лісовоза типу «Судак». 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. Розраховано зміну напруги і частоти суднової електростанції при прямому пуску потужних асинхронних двигунів. Розглянуті питання охорони праці.

Кваліфікаційна робота складається з 80 сторінок і включає 21 рисунок, 9 таблиць, графічна частина складає 5 сторінок. Під час виконання роботи використано наступне програмне забезпечення MS Excel, AutoCad, Mathcad.

Ключові слова: дизельгенераторний агрегат; суднової електростанції; електроенергетичної системи лісовоза

ABSTRACT

The thesis is devoted to the design of the electric power system of the «Sudak» type timber truck. The algorithms of work of the diesel generator set 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 sets in normal and emergency modes has been selected. Main ship cables for heating and voltage failure have been selected. The changes of voltage and frequency of the ship power plant at the direct start of powerful asynchronous motors have been calculated. The issues of labor protection have been considered.

The qualification work consists of 80 pages and includes 21 drawings, 9 tables, the graphic part consists 5 pages. During the execution of the work MS Excel, AutoCad, Mathcad have been used.

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

ЗМІСТ

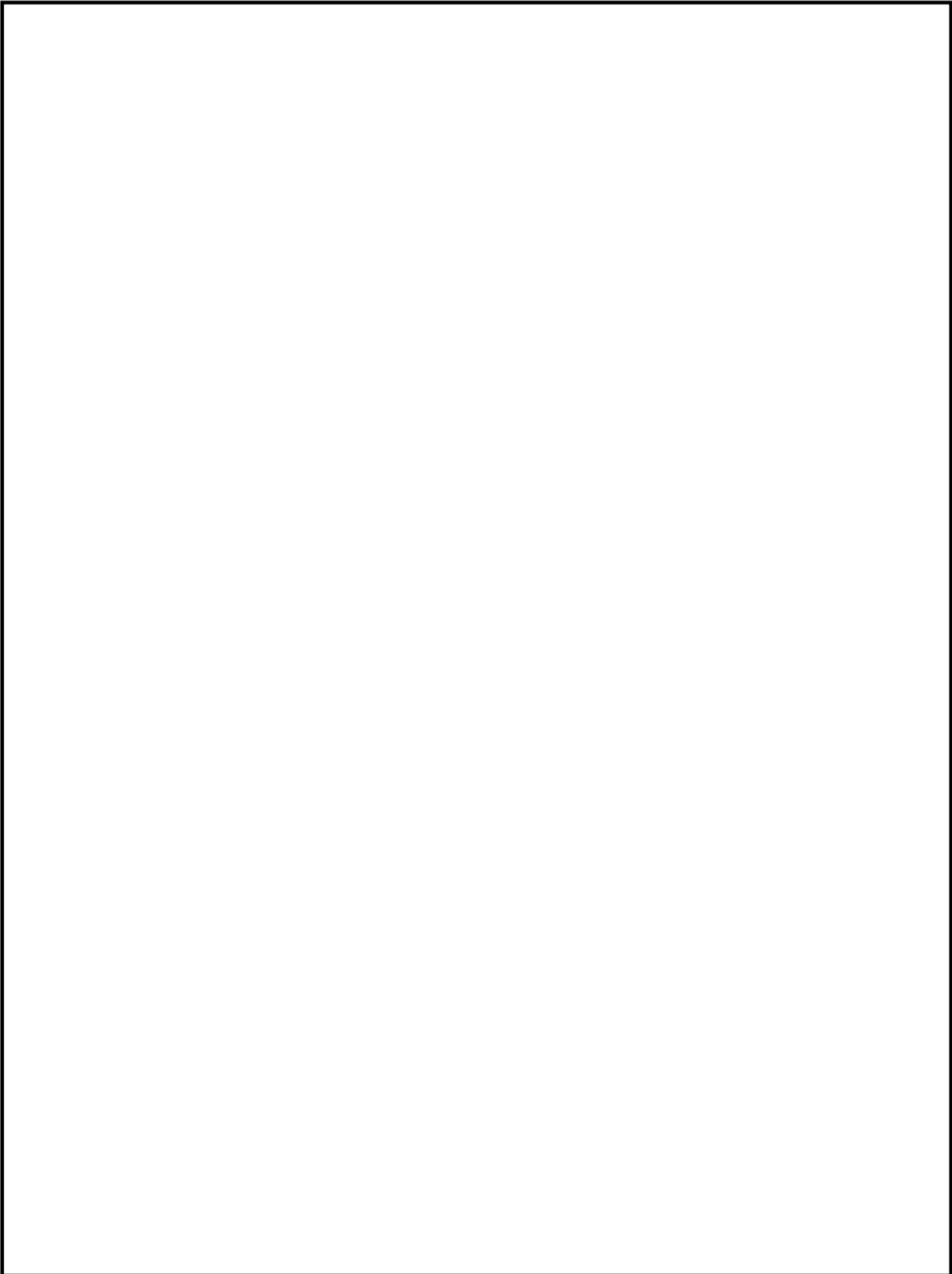
ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СУДНОВИХ ДИЗЕЛЬНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ НА ПРИКЛАДІ ЛІСОВОЗА ТИПУ «СУДАК»	8
1.1. Характеристика лісовоза «Судак»	9
1.2. Особливості суднових дизель-генераторних агрегатів	12
1.3. Системи керування дизель-генератором	15
РОЗДІЛ 2. РОЗРАХУНОК СИСТЕМИ ГЕНЕРУВАННЯ І РОЗПОДІЛЕННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ	23
2.1. Визначення потужності суднової електростанції методом кореляційних залежностей.....	24
2.2. Складання таблиці суднових електроспоживачів	25
2.3. Визначення потужності суднової електростанції методом постійних навантажень	30
2.4. Вибір кількості генераторів і схеми електропостачання	37
2.5. Вибір основних кабелів	42
РОЗДІЛ 3. РОЗРАХУНОК ЗМІНИ НАПРУГИ І ЧАСТОТИ НА ШИНАХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ ПРИ ПУСКАХ І САМОЗАПУСКАХ АСИНХРОННИХ ДВИГУНІВ	49
3.1. Розрахунок активних і індуктивних опорів при сумісній роботі двигунів і генераторів з різними навантаженнями	50
3.2. Розрахунок показників дизеля у режимі накиду навантаження.....	59
3.3. Математичне моделювання перехідних процесів зміни напруги і частоти обертання дизеля при пуску асинхронних двигунів	60
РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ	66
4.1 Загальні положення	67
4.2. Техніка безпеки при ремонті суднового електрообладнання	68
4.3. Система пожежогасіння для захисту працюючих на судні	71
4.4. Визначення загальних запасів палива, масла і води.....	74
ВИСНОВКИ	77
ЛІТЕРАТУРА	79

					141.4367ст3.ДР.ПЗ.Вс		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ВСТУП		
Розробив		Сєднєв Д.А.					
Перевірив		Пальчиков О.О.					
Н. Контр.							
Затверд.		Обрубов А.В.			НУК		
						Лист.	Арк.
							Аркцишів
							6
							2

Експлуатація судна залежить від справності електрообладнання і необхідної для їх роботи кількості електроенергії, що забезпечує суднова електростанція. Впровадження новітніх методів розрахунку потужності судових електростанцій дозволить оптимізувати корисний об'єм судна. Оптимальне налаштування регуляторів частоти і напруги дозволить підвищити якість електроенергії на судні, попередити надзвичайні ситуації і зменшити час перехідних процесів, а також налагодити необхідний розподіл активної і реактивної генерованих потужностей. Проектування судових електромереж має ґрунтуватися на принципах модульності і забезпечувати надійне постачання електроенергії споживачу.

Під час експлуатації повинен бути забезпечений швидкий і надійний захист всіх елементів судових 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 судового 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.

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



					141.4367ст3.ДР.ПЗ.Р1			
Зм.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата				
Розробив	Сєднєв Д.А.				РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СУДНОВИХ ДИЗЕЛЬНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ НА ПРИКЛАДІ ЛІСОВОЗА ТИПУ «СУДАК»		Лист.	Арк.
Перевірюв	Пальчиков О.О.							Аркцшів
Н. Контр.							8	15
Затверд.	Обрубов А.В.						НУК	

1.1. Характеристика лісовоза «Судак»

Лісовоз – суховантажне судно для перевезення лісових вантажів, у тому числі круглого лісу та пиломатеріалів розсипом, в пакетах і блок-пакетах. Можливе використання лісовозів і для перевезення масових вантажів (зерно, вугілля). Головна відмінність лісовоза від інших вантажних судів полягає в тому, що 1/3 вантажу перевозиться на верхній відкритій палубі (караван). Це зумовлює забезпечення підвищеної міцності верхньої палуби, звільнення її від захаращувальних конструкцій і оснащення лісовоза спеціальними пристроями для кріплення каравану: дерев'яними або металевими стензелями, встановленими вздовж судна по бортах; поперечними найтовми. Ретельно покладений і надійно закріплений караван розглядається як суцільна суднова надбудова, яка забезпечує додатковий захист вантажних люків, східних тамбурів, вентиляційних отворів і кінцевих перегородок надбудови, збільшує об'єм, що входить в влду, при крені судна і підвищує остійність на великих кутах крену. Тому лісовози можуть мати менший надводний борт, ніж інші вантажні судна. З огляду на це лісовозам крім основної вантажної марки, відповідної перевезенню вантажів в трюмах, призначається лісова вантажна марка, осадка по яку на 5...6 см більше осадки за основною вантажною маркою, що відповідає різниці в дедвейте 7...10%.

Лісовоз побудований на суднобудувальному заводі у м. Констанца (Şantierul Naval Constanța), Румунія, (рис. 1.1). Рік побудови судна – 1970. Призначення судна для перевозки лісних, генеральних вантажів і легкозапалювальних (типу джута, бавовни). Судно побудовано на клас Англійського Ллойду з підкріпленням на льодовий клас і має необмежений район плавання [18]. Невеликого тону (вантажопідйомність від 500 до 10000 т). Це однопалубне повнонабірне судно з баком і машинним відділенням у кормі, з нахиленим льодокольным носом і крейсерською кормою. Лісовоз має підвищену міцність палуби, люкових кришок і фальшборту. Для забезпечення остійності лісовози навіть при повному завантаженні приймають баласт.

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

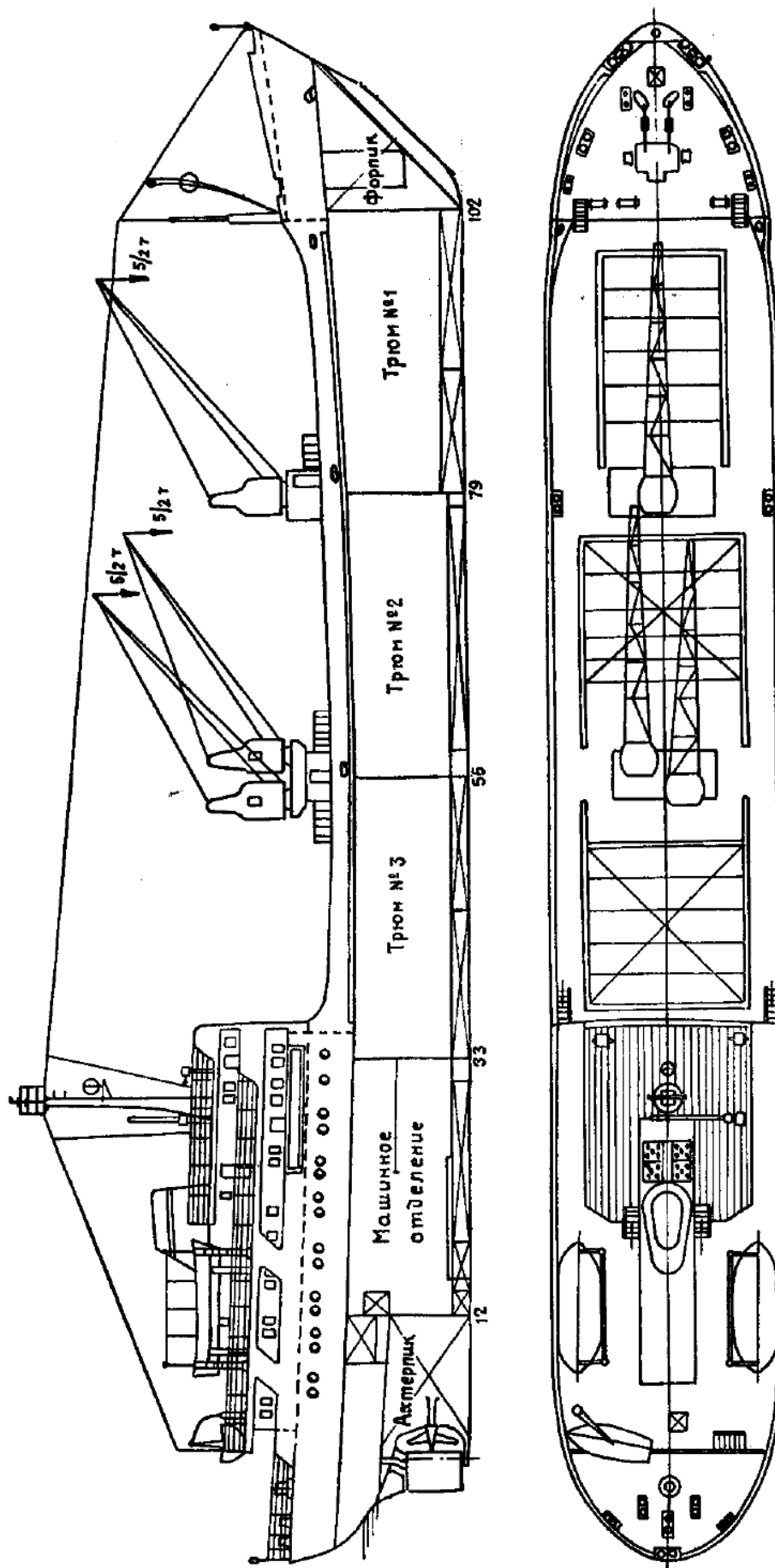


Рис. 1.1. Загальний вид лісовозу «Судак»

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

141.4367ст3.ДР.ПЗ

Арк.

10

Судно має електричні крани для завантаження і розвантаження продукції без допомоги використання берегового обладнання у порту. Непотоплюваність судна забезпечується при однорідному завантаженні і осадка має не перевищувати 4 м. Є 5 водонепроникних перегородок, що мають змішану систему набору. Автономність плавання за запасами палива 50 діб.

Основні характеристики судна наведені у табл. 1.1.

Таблиця 1.1

Основні характеристики лісовоза «Судак»

Найменування параметру	Значення
Довжина, м:	
найбільша	80,18
між перпендикулярами	71,20
Ширина найбільша, м	11,94
Висота борту до верхньої палуби, м	5,68
Осадка, м:	
порожнем	1,67
в навантаженні	4,90
Водотонажність судна, т:	
порожньому	1200
найбільша	3057
Дедвейт, т	1857
Місткість судна, рег. т	
валова	1531
чиста	637
Вантажопідйомність, т	1550
Швидкість, вуз:	
в повному навантаженні	12,2
в баласті	12,3
Дальність плавання, миль	4000
Екіпаж, ч	24

Вантажні приміщення на лісовозі представлені трьома трюмами з вантажними люками для перевезення насипної продукції, які мають відповідно розміри: перший трюм – 767 м³, другий трюм – 927 м³, третій трюм – 918 м³. Тип люкових закривачів «Сингле Пул» системи «Мак-Грегор». Суднові запаси дизельного палива 29,05 т, важкого палива 135,35 т, мастила

7,1 т, прісної води 38 т, питної води 21,6 т. Баласт на судні рідкий, представлений у подвійному днищі 5 танками місткістю: перший – 41,2 м³, другий – 17 м³, третій – 29 м³, четвертий – 26,9 м³ і п'ятий (може також приймати паливо) – 33,1 м³.

Судно обладнано пристосуваннями для проведення вантажно-розвантажувальних робіт: крани електричні КЕ-26 ТД 3 шт. вантажопідйомністю 49 кН (5 т), виліт стріли за борт 4,5...14 м, швидкість підйому гака 26 м/хв. На судні передбачені пристрої для запобігання забруднення моря: сепаратор трюмних вод типу Е-00СUX з продуктивністю 2,5 м³/ч.

Головним двигуном енергетичної установки судна є дизель марки «Південнотурбіна-Зульцер» 6TAD-36 (6ДРН 36/60) заводу «Південнотурбіна», м Карловак, Югославія, потужністю 1104 кВт (1500 к.с.), частота обертання вала 285 об/хв. Питомі витрати палива 238 г/кВт·ч. Тип передачі на гребний вал – прямий, керування дизеля здійснюється дистанційно з рульової рубки і центрального пульта в машинному відділенні. Валопровід має діаметр 488 мм і довжину 5,74 м. Валопровід має діаметр 250 мм і довжину 7,559 м. Матеріал дейдвудного підшипника – бакаут, тип дейдвудних ущільень – сальникова набивка. Рушієм судна є цільнолитий гребний гвинт фіксованого кроку (рис. 1.2), виготовлений з сталі, діаметр 2,5 м і крок 1,365 м, число лопатей – 4, частота обертання 285 об/хв, маса 1820 кг. Гребний гвинт має маточину, що представляє собою втулку, насаджену на конус шийки гребного валу, і лопаті (від 3 до 6), радіально розташованих на ступиці. Допоміжний комбінований вогнетрубний котел має вапородуктивність 0,7 т/ч на рідкому паливі і 0,4 т/ч на відпрацьованих газах, при тиску 0,5 МПа (5,0 кг/см²) з автоматичним регулюванням живлення і горіння.

1.2. Особливості судових дизель-генераторних агрегатів

Суднові генераторні агрегати складаються з привідних (первичних) двигунів і генераторів електричного струму. В якості первичних зазвичай

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

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 суднах використовуються серелньо- 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 ресуосом (при рівній напруженості), кращою економічністю, а також повноюрівноваженістю.

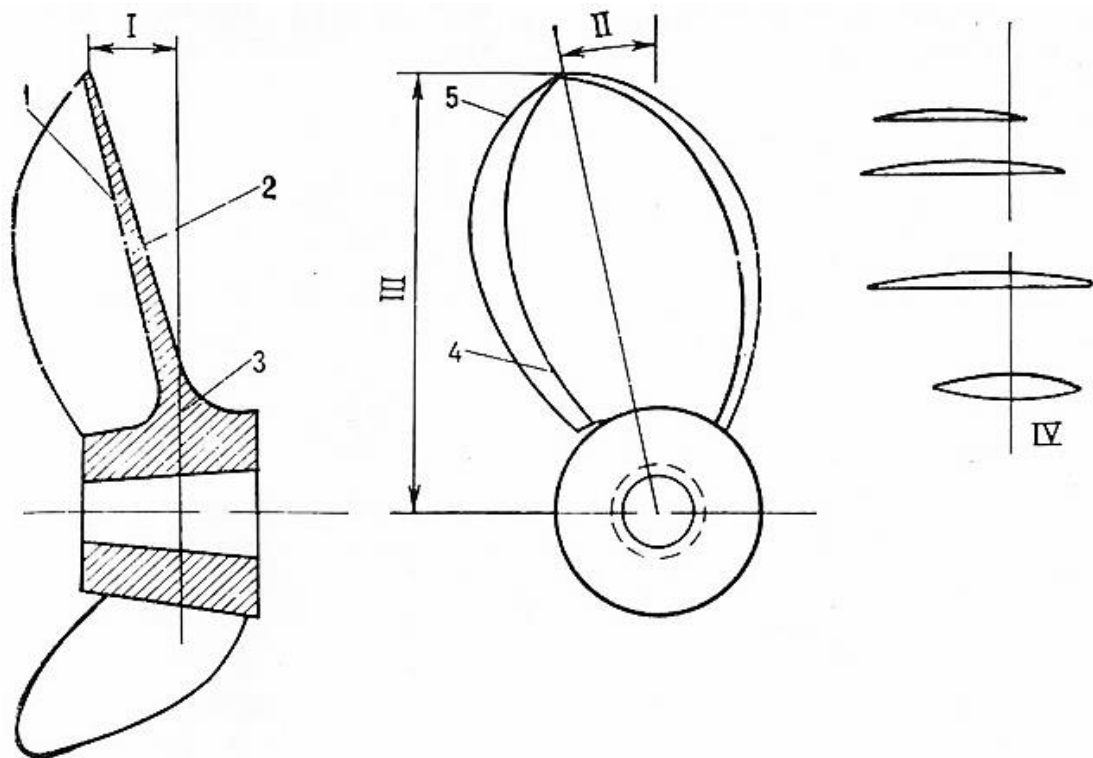


Рис. 1.2. Цільнолитий гребний гвинт фіксованого кроку:

- 1 – лицьова сторона лопаті; 2 – зворотна сторона лопаті; 3 – ступиця гвинта;
 4 – контур лопаті; 5 – розгорнутий контур лопаті; I – відкидка лопаті;
 II – відкидка лопаті в площі обертання; III – радіус; IV – переріз лопаті.

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 високообертові чотирьохтактні дизелі з повітряним або радіаторним охолодженням, що суттєво спрощує їх 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 $1/100 \dots 1/150$ для дизель-генераторів постійного струму і $1/150 \dots 1/200$ для дизель-генераторів змінного струму (при їх паралельному включенні $1/250 \dots 1/300$); 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 $0,201 \dots 0,26$ кг/(кВт·ч).

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

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 мин (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

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

і 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. 1.3). На рис. 3 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 частоти обертання; 28 – робочий стоп-пристрій; 29 – кінцеві вимикачі положення паливної рейки; 30 – регулятор частоти обертання вала

					141.4367ст3.ДР.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

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.

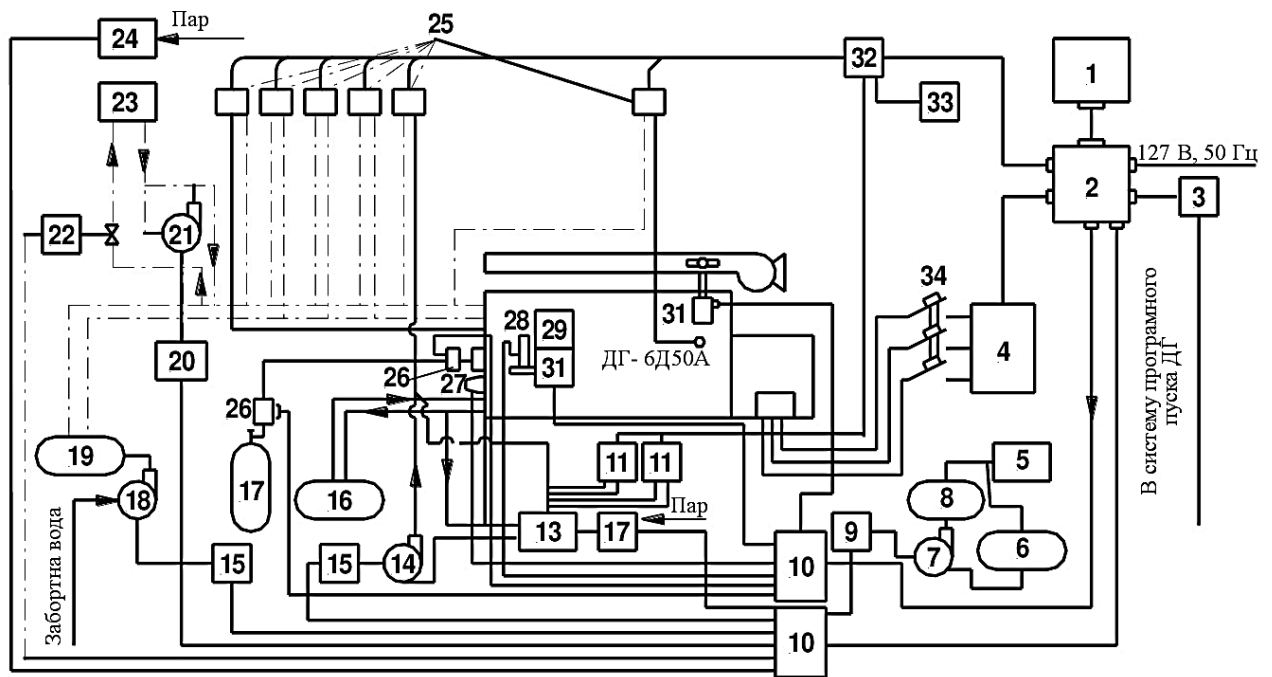


Рис. 1.3. Функціональна схема дизель-генераторної установки

Розглядається алгоритм підтримки дизель-генератора в прогрітому стані, пуску, зупинки і захисту. В схемі підтримки дизель-генератора в прогрітому стані (рис. 1.4) позначені : 1 – сингал 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. 1.5.

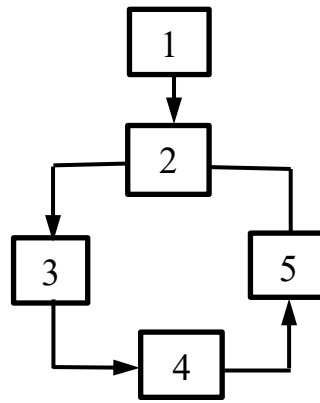


Рис. 1.4. Структурна схема процесу підтримки дизель-генератора в прогрітому стані

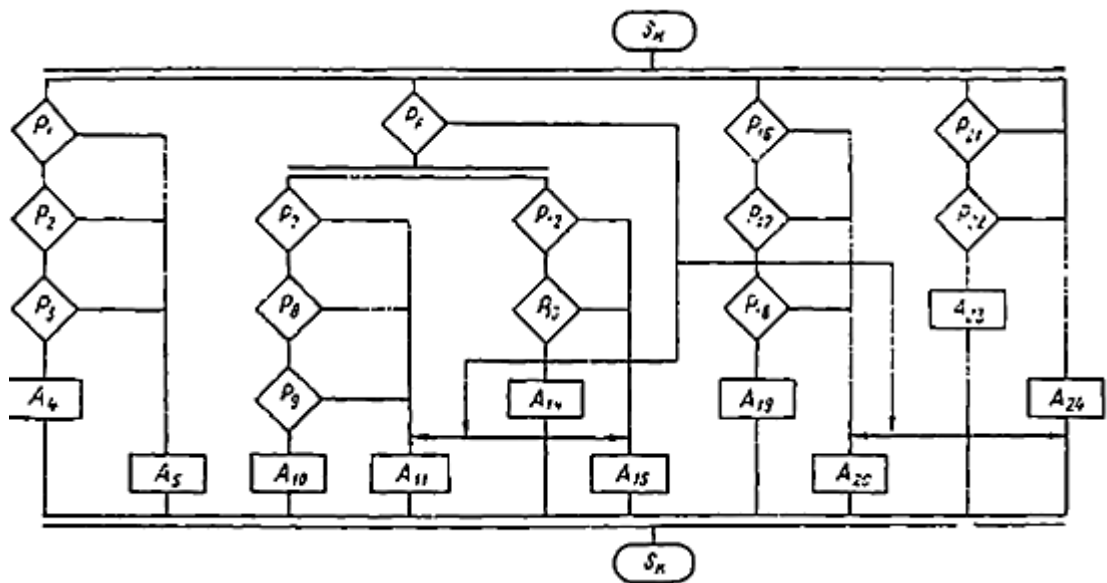


Рис. 1.5. Граф-схема алгоритму підтримки дизель-генератора в прогрітому стані

На схемі пуску дизель-генератора і приймання їм навантаження (рис. 1.6) 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 зтягуванні 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

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

пускового повітря; 10 – 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.

Основним критерієм алгоритму пуску дизель-генератору є час його готовності до приймання загрузки $t_r = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5$, 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. 1.7.

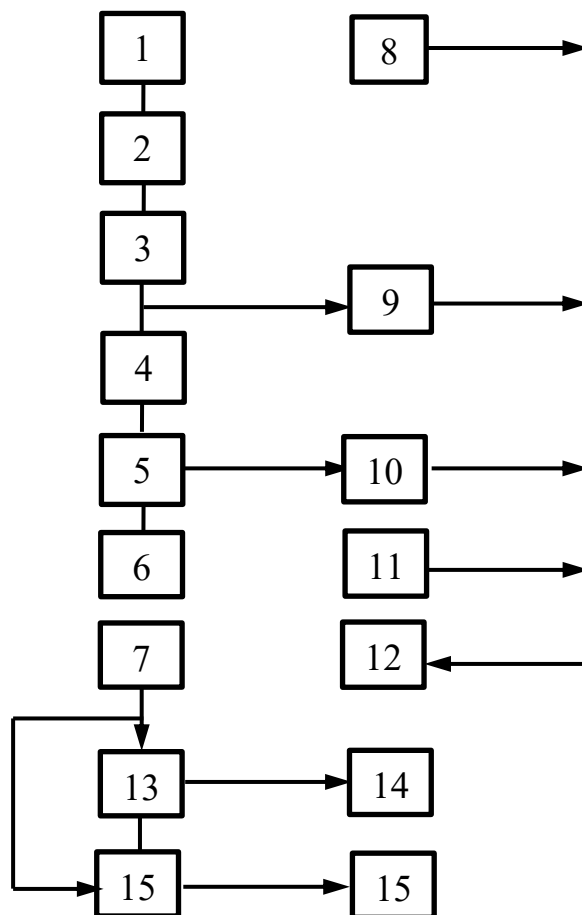


Рис. 1.6. Структурна схема процесу пуску дизель-генератора

На структурних схемах нормальної і аварійної зупинок дизель-генератора (рис. 1.8) 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 остановки дизель-генератора наведені на рис. 1.9 і 1.10 відповідно.

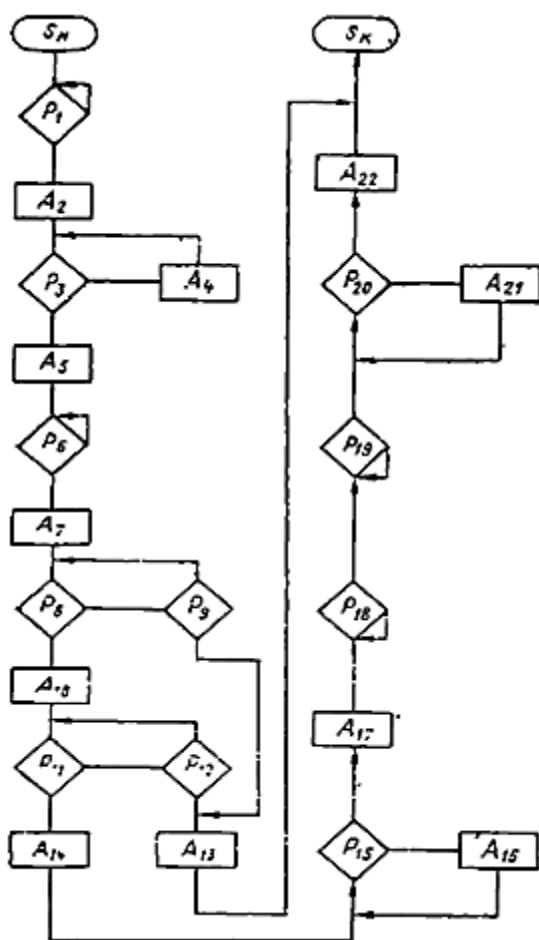


Рис. 1.7. Граф-схема алгоритму автоматичного пуску дизеля і введення його під навантаження

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

141.4367ст3.ДР.ПЗ

Арк.

20

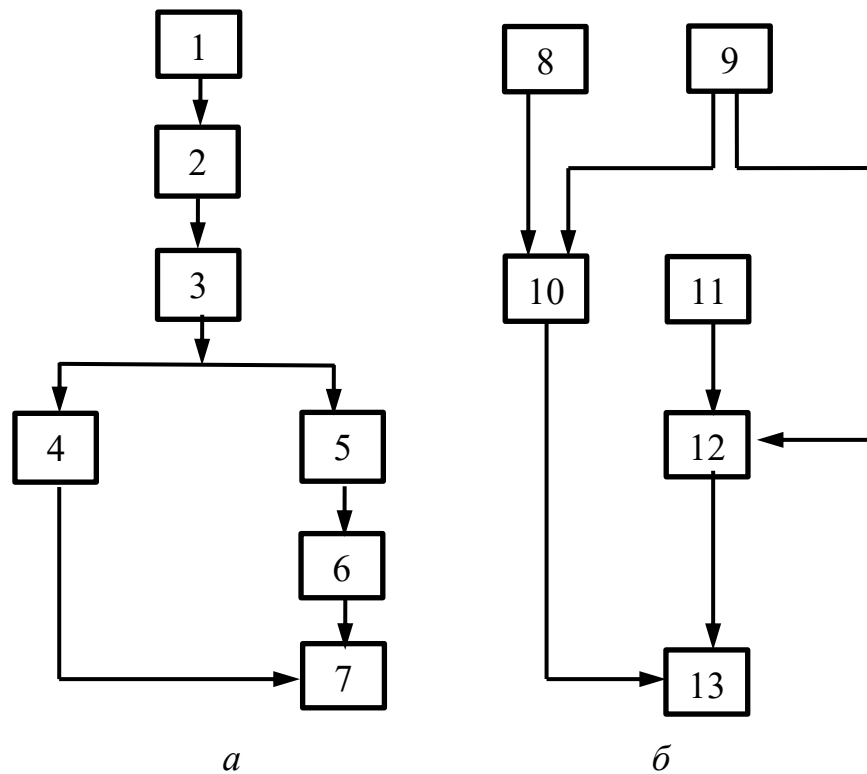


Рис. 1.8. Структурні схеми процесів нормальної (а) і аварійної (б) остановок дизель-генератора

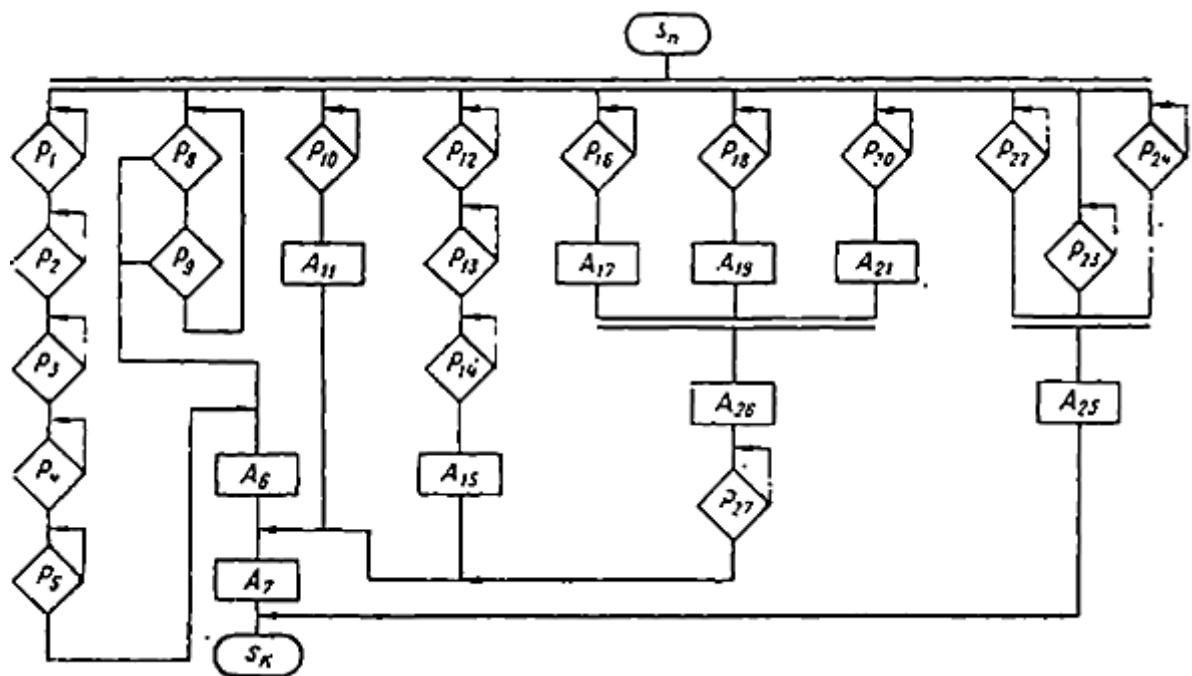


Рис. 1.9. Граф-схема алгоритму захисту дизель-генератора

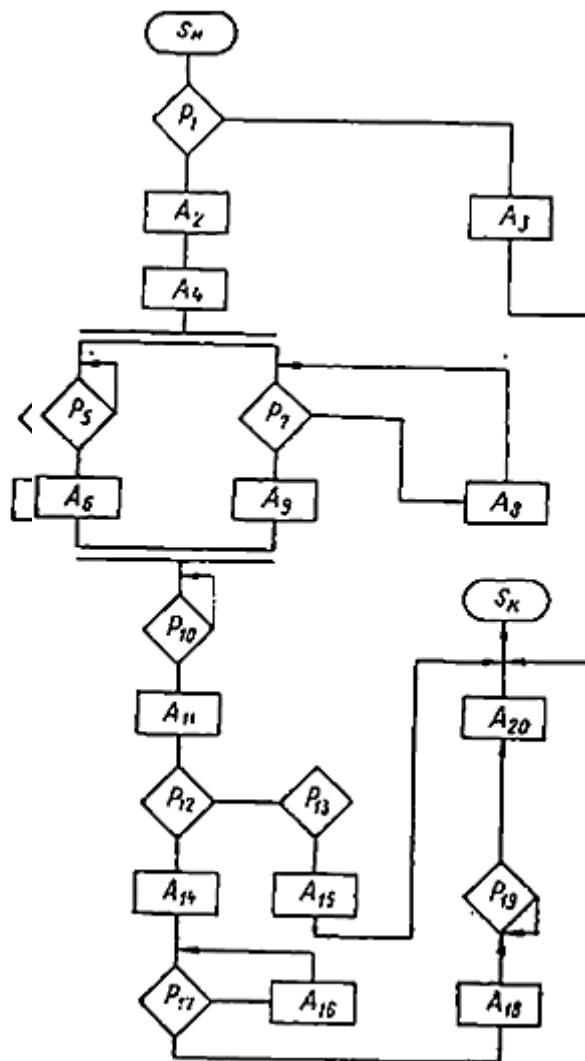
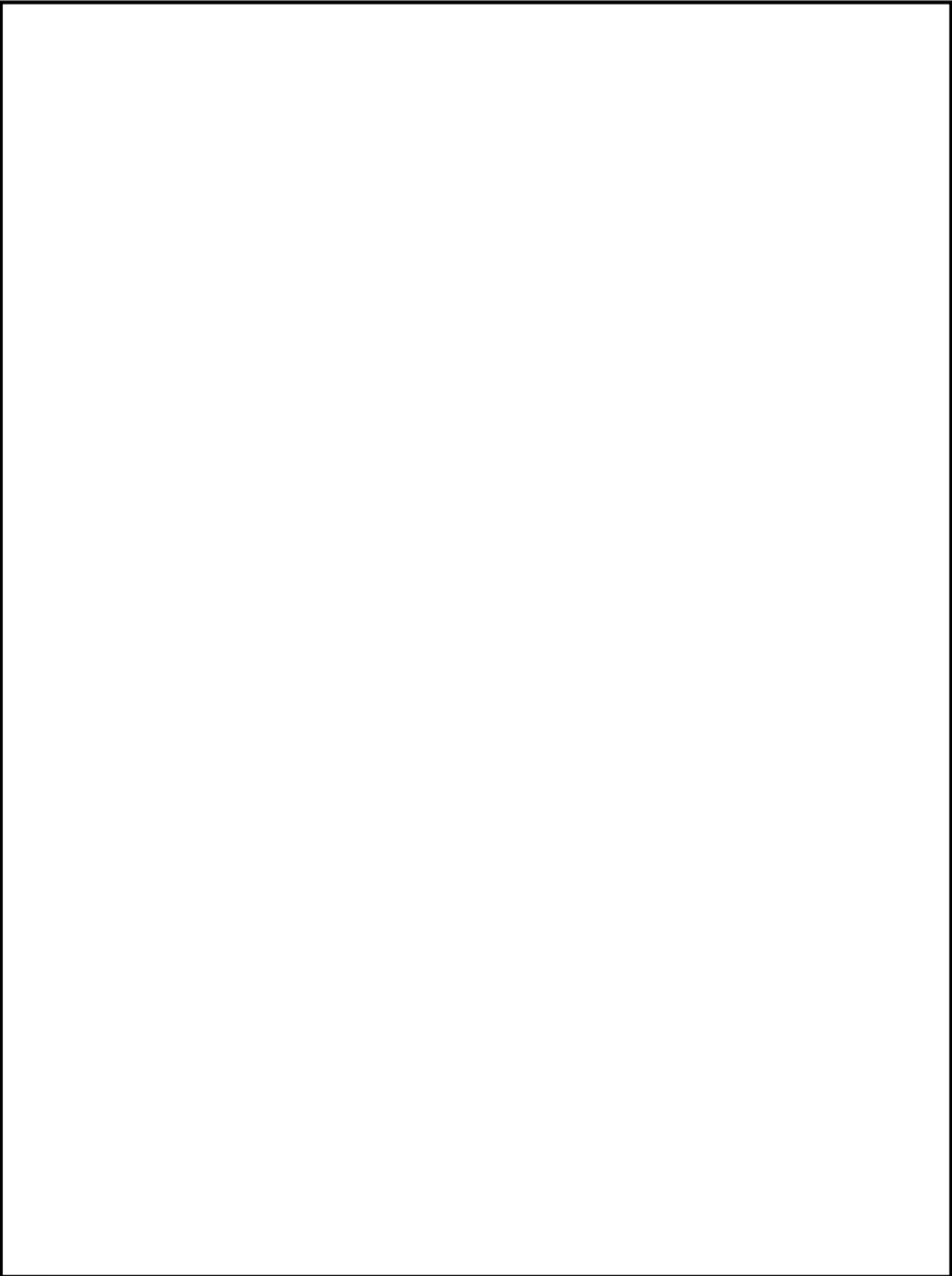


Рис. 1.10. Граф-схема алгоритму автоматичної остановки дизель-генератора



					141.4367ст3.ДР.ПЗ.Р2							
Зм.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата								
Розробив		Сєднєв Д.А.			РОЗДІЛ 2. РОЗРАХУНОК СИСТЕМИ ГЕНЕРУВАННЯ І РОЗПО- ДІЛЕННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ			Лист.	Арк.	Аркцив		
Перевірів		Пальчиков О.О.								23	26	
								НУК				
Н. Контр.												
Затверд.		Обрубов А.В.										

2.1. Складання таблиці суднових електроспоживачів

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.

Потужність основних генераторів з дизельними енергоустановками для лісовозу «Судак» визначається за формулою

$$P_{\text{ген}} = 0,204N_{\text{уст}} \text{ або } P_{\text{ген}} = 0,055B;$$

$$P_{\text{ген}} = 0,204 \cdot 1104 = 225,216 \text{ кВт або } P_{\text{ген}} = 0,055 \cdot 3057 = 168,135 \text{ кВт},$$

де $N_{\text{уст}}$ – встановлена потужність головного судового дизеля, для лісовоза «Судак» $N_{\text{уст}} = 1104 \text{ кВт}$;

B – повна водотонажність судна, $B = 3057 \text{ т}$.

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

2.2. Складання таблиці суднових електроспоживачів

Перелік споживачів електроенергії судна «Судак» наведений у 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 лісовозу «Судак» 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.

Потужність електроприводу зміни положення руля розраховується

$$P_p = M_p \cdot \omega = M_p \frac{2\alpha_{max}}{t_m} = 62 \cdot 10^3 \frac{2 \cdot 0,194 \cdot \pi}{28} = 2,7 \text{ кВт},$$

де M_p – обертовий момент рульової машини лісовозу «Судак», $M_p = 62 \cdot 10^3 \text{ Н}\cdot\text{м}$;

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

$$k_v = \frac{P_p}{P_H} = \frac{2,7}{3} = 0,9.$$

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

Таблиця 2.1

Таблиця електричних навантажень

Найменування електроспоживача, групи	$n_{уст}$	Номінальні дані			
		$P_{д},$ кВт	$k_{в}$	КПД	$\cos \varphi$
1	2	3	4	5	6
Група 1. Електромеханізми енергетичної установки					
Паливноперекачуючий насос	2	0,55	0,95	0,72	0,76
Масляноперекачуючий насос	2	4	0,93	0,83	0,84
Насос охолодження дизеля	2	5,5	0,99	0,86	0,85
Сепаратор палива	1	2,2	0,94	0,8	0,82
Сепаратор масла	1	1,1	0,91	0,75	0,78
Насос прогріву дизеля	1	1,1	0,99	0,75	0,78
Насос прокачки дейдвуда	1	1,1	0,91	0,75	0,78
Насос живлення котла	1	4	0,95	0,84	0,84
Паливноподаючий насос котла	1	0,37	0,68	0,65	0,72
Компресор котла	1	4	0,95	0,84	0,84
Група 2. Загальносуднові системи і пристрої					
Шлюпочна лебідка	2	2,2	0,99	0,8	0,82
Рульова машина	2	3	0,9	0,82	0,83
Електропривід брашпилью	1	15	0,92	0,89	0,88
Лебідка швартовна	1	18,5	0,55	0,88	0,87
Вантажні крани	3	22	0,96	0,9	0,89
	3	22	0,97	0,9	0,89
	3	1,5	0,99	0,78	0,8
Опріснювач	1	1,1	0,77	0,74	0,77
Сепаратор трюмних вод	1	1,1	0,82	0,75	0,78
Насос осушувальний	1	1,1	0,86	0,75	0,79
Насос баластний	1	1,1	0,83	0,75	0,78
Насос протипожежний	2	3	0,85	0,81	0,82

Продовження табл. 2. 1

1	2	3	4	5	6
Засоби керування і радіо-електронної апаратури	-	5,1	-	-	-
Група 3. Засоби життєзабезпечення і побуту					
Основне освітлення	-	25	-	-	1,0
Зовнішнє освітлення	-	14	-	-	0,85
Установка кондиціонування	-	11	-	0,85	0,8
Електроventильатори приміщень	7	0,55	1,0	0,78	0,82
Електропобутові прилади і інструмент	20	0,75	1,0	0,73	0,77
Електроплити резистивні	1	5	1,0	1,0	1,0
Інше електрообладнання	-	25	1	0,8	0,8
Сумарне електричне навантаження, кВт		328,72			

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

$$P_{\text{я}} = \frac{F \cdot v}{\eta} = \frac{73,96}{0,8} \cdot \frac{9}{60} = 13,87 \text{ кВт};$$

$$k_{\text{в}} = \frac{P_{\text{я}}}{P_{\text{н}}} = \frac{13,87}{15} = 0,92,$$

де F – тягове зусилля якоря, яке можна визначити за емпіричною формулою, при калібрі якорного ланцюга з діаметром $d = 43$ мм,

$$F = 40 \cdot d^2 = 40 \cdot 43^2 = 73,96 \text{ кН};$$

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. Коефіцієнт використання лебідки

					141.4367ст3.ДР.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

$$k_B = \frac{F_{\text{л}}}{F_{\text{н}}} = \frac{20}{36} = 0,55,$$

де $F_{\text{л}}$ – необхідне тягове зусилля лебідки;

$F_{\text{н}}$ – номінальне тягове зусилля лебідки.

Схема суднового крана з нерухомою колоною представлена на рис. 2.1.

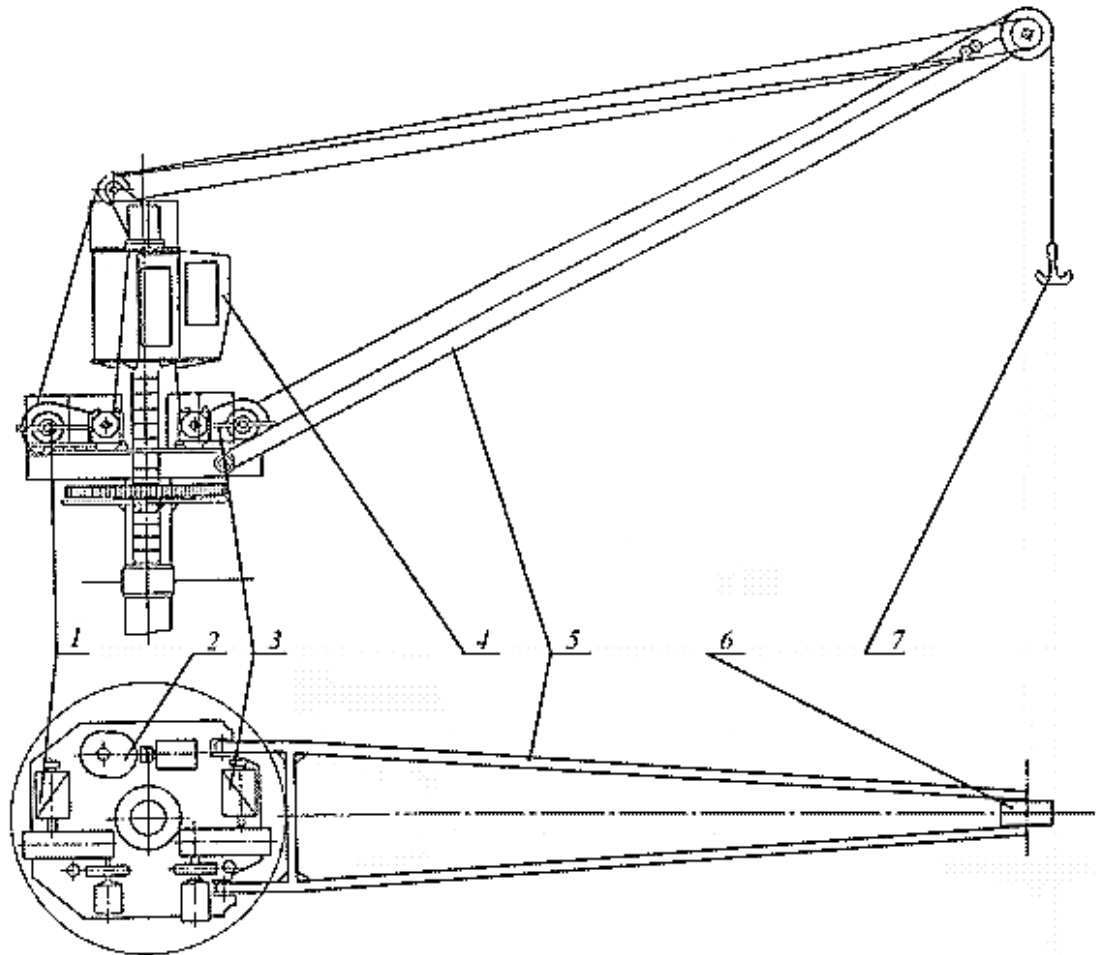


Рис. 2.1. Схема суднового крана з нерухомою колоною:

1 – механізм зміни вильоту; 2 – механізм повороту; 3 – механізм підйому;
4 – кабіна; 5 – стріла; 6 – кінцеві блоки; 7 – крюкова підвіска.

Розраховується потужність і коефіцієнт використання двигуна механізму підйому крана:

$$P_k = F \cdot v = 49 \cdot \frac{26}{60} = 21,2 \text{ кВт};$$

$$k_B = \frac{P_K}{P_H} = \frac{21,2}{22} = 0,96,$$

де F – тягове зусилля підйому гака крану, $F = 49$ кН;

v – швидкість підйому гака, $v = 26$ м/хв.

Потужність і коефіцієнт використання двигуна механізму зміни вильоту стріли крана:

$$P_{\text{стр}} = \frac{F_{\text{втр}} \cdot v}{\eta_{\text{мех}}} = \frac{63,7 \cdot 18,2}{60 \cdot 0,9} = 21,4 \text{ кВт};$$

$$k_B = \frac{P_{\text{стр}}}{P_H} = \frac{21,4}{22} = 0,97,$$

де $F_{\text{стр}}$ – тягове зусилля стріли з силою підняття вантажу $F_{\text{ван}}$,

$$F_{\text{стр}} = 1,3 \cdot F_{\text{ван}} = 1,3 \cdot 9,8 \cdot 5 = 63,7 \text{ кН};$$

v – швидкість підйому стріли, $v = 18,2$ м/хв.;

$\eta_{\text{мех}}$ – КПД механізму підйому стріли, $\eta_{\text{мех}} = 0,9$.

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

$$P_{\text{нас1}} = \frac{Q_1 \cdot H_1 \cdot g}{\eta \cdot 3600} = \frac{63 \cdot 3,0 \cdot 9,8}{0,54 \cdot 3600} = 0,95 \text{ кВт};$$

$$P_{\text{нас2}} = \frac{Q_2 \cdot H_2 \cdot g}{\eta \cdot 3600} = \frac{60 \cdot 3,0 \cdot 9,8}{0,54 \cdot 3600} = 0,91 \text{ кВт};$$

$$P_{\text{нас3}} = \frac{Q_3 \cdot H_3 \cdot g}{\eta \cdot 3600} = \frac{63 \cdot 8,0 \cdot 9,8}{0,54 \cdot 3600} = 2,55 \text{ кВт},$$

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

g – прискорення вільного падіння, $g = 9,8$ м/с²;

Q – подача, $Q_1 = 63$ м³/ч; $Q_2 = 60$ м³/ч; $Q_3 = 63$ м³/ч;

H – напор, $H_1 = 3,0$ м; $H_2 = 3,0$ м; $H_3 = 8,0$ м.

Коефіцієнт використання електронасосів осушувальної, баластної і пожежної систем визначаються:

					141.4367ст3.ДР.ПЗ	Арк.
						29
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$k_{в1} = \frac{P_{нас1}}{P_{н1}} = \frac{0,95}{1,1} = 0,86;$$

$$k_{в2} = \frac{P_{нас2}}{P_{н2}} = \frac{0,91}{1,1} = 0,83;$$

$$k_{в3} = \frac{P_{нас3}}{P_{н3}} = \frac{2,55}{3,0} = 0,85,$$

де $P_{н1}$, $P_{н2}$, $P_{н3}$ – номінальні потужності електродвигунів насосів, $P_{н1} = 1,1$ кВт; $P_{н2} = 1,1$ кВт; $P_{н4} = 3,0$ кВт.

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

$$P_{осв} = 1,3 (8 + 0,56B) = 1,3 (8 + 0,56 \cdot 3,057) = 12,63 \text{ кВт},$$

де B – повна водотонажність судна, $B = 3,057$ 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

$$\begin{aligned} P_{\Sigma} = & 2 \cdot 0,55 + 2 \cdot 4 + 2 \cdot 5,5 + 2,2 + 1,1 + 1,1 + 1,1 + 4 + 0,37 + 4 + 2 \cdot 2,2 + \\ & + 2 \cdot 3 + 15 + 18,5 + 3 \cdot 22 + 3 \cdot 22 + 3 \cdot 1,5 + 1,1 + 1,1 + 1,1 + 1,1 + 2 \cdot 3 + 5,1 + \\ & + 25 + 14 + 11 + 7 \cdot 0,55 + 20 \cdot 0,75 + 5 + 25 = 328,72 \text{ кВт}. \end{aligned}$$

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

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

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 судна «Судак» в ходовому режимі зведені до табл. 2.2.

Наприклад, для розрахунку активної потужності паливноперекачуючого насоса використовується формула

$$P = \frac{n_p P_d k_b k_z}{\eta} = \frac{1 \cdot 0,55 \cdot 0,95 \cdot 1,0}{0,72} = 0,73 \text{ кВт},$$

де n_p – кількість працюючих споживачів електроенергії;

k_z – коефіцієнт завантаження електромеханізму.

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

Повна потужність визначається

$$S = \frac{P}{\cos \varphi} = \frac{0,73}{0,76} = 0,96 \text{ кВА}.$$

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:

$$\begin{aligned} P_{\Sigma} &= k_p \left(\sum_{i=1}^n P_i + k_o \sum_{i=n+1}^m P_i \right) = \\ &= 1,03[(0,73 + 4,0 + 12,66 + 1,61 + 0,85 + 0,72 + 3,62 + 0,39 + 3,62) + \\ &+ 0,7(1,44 + 0,93 + 0,98 + 1,02 + 15,0 + 8,4 + 6,47 + 2,83 + 5,14 + 8,0 + 25,32)] = \\ &= 81,917 \text{ кВт}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{\Sigma} &= k_p \left(\sum_{i=1}^n S_i + k_o \sum_{i=n+1}^m S_i \right) = \\ &= 1,03[(0,96 + 4,76 + 14,9 + 2,01 + 1,11 + 0,95 + 4,31 + 0,54 + 4,31) + \\ &+ 0,7(1,85 + 1,22 + 1,28 + 1,02 + 15,0 + 9,88 + 8,09 + 3,88 + 6,67 + 8,0 + 32,05)] = \\ &= 97,124 \text{ кВА}, \end{aligned}$$

					141.4367ст3.ДР.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

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.

Таблиця 2.2

Таблиця електричних навантажень при ходовому режимі судна

Найменування електроспоживача, групи	n_p	Номинальні дані					Активна і повна потужності	
		$P_{д},$ кВт	k_b	k_z	η	$\cos \varphi$	$P, \text{ кВт}$	$S, \text{ кВА}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Група 1. Електромеханізми енергетичної установки								
Паливноперекачуючий насос	1	0,55	0,95	1,0	0,72	0,76	0,73	0,96
Масляноперекачуючий насос	1	4	0,83	1,0	0,83	0,84	4,0	4,76
Насос охолодження дизеля	2	5,5	0,99	1,0	0,86	0,85	12,66	14,90
Сепаратор палива	1	2,2	0,94	0,6	0,77	0,8	1,61	2,01
Сепаратор масла	1	1,1	0,91	0,6	0,71	0,76	0,85	1,11
Насос прокачки дейдвуда	1	1,1	0,91	0,5	0,7	0,75	0,72	0,95
Насос живлення котла	1	4	0,95	0,8	0,84	0,84	3,62	4,31
Паливноподаючий насос котла	1	0,37	0,68	1,0	0,65	0,72	0,39	0,54
Компресор котла	1	4	0,95	0,8	0,84	0,84	3,62	4,31
Група 2. Загальносуднові системи і пристрої								
Рульова машина	1	3	0,9	0,4	0,75	0,78	1,44	1,85
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

Продовження табл. 2.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Засоби керування і радіоелектронної апаратури	-	5,1	-	0,2	-	-	1,02	1,02
Група 3. Засоби життєзабезпечення і побуту								
Основне освітлення	-	25	-	0,6	-	1,0	15,0	15,0
Зовнішнє освітлення	-	14	-	0,6	-	0,85	8,4	9,88
Установка кондиціонування	-	11	-	0,5	0,85	0,8	6,47	8,09
Електроприводи приміщень	7	0,55	1,0	0,5	0,68	0,73	2,83	3,88
Електропобутові прилади і інструмент	5	0,75	1,0	1,0	0,73	0,77	5,14	6,67
Електроплити резистивні	1	5	1,0	0,8	1,0	1,0	8,0	8,0
Інше електрообладнання	-	25	1	0,8	0,79	0,79	25,32	32,05
Всього							81,92	97,12

Сумарний коефіцієнт потужності працюючих електромеханізмів в ходовому режимі визначається

$$\cos \varphi = \frac{P_{\Sigma}}{S_{\Sigma}} = \frac{81,917}{97,124} = 0,843.$$

Розрахунок споживачів електроенергії судна «Судак» при стоянці з вантажними операціями наведений у табл. 2.3.

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

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

$$= 1,03 [0 + 0,78(12,4 + 9,36 + 3 \cdot 18,77 + 3 \cdot 18,97 + 3 \cdot 1,54 + 0,93 + 0,98 + 0,6 +$$

$$+ 1,02 + 15,0 + 8,4 + 6,47 + 2,83 + 5,14 + 8,0 + 25,32)] = 172,161 \text{ кВт};$$

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

$$= 1,03 [0 + 0,78 (14,26 + 10,88 + 3 \cdot 21,09 + 3 \cdot 21,31 + 3 \cdot 1,95 + 1,22 + 1,28 + 0,84 + 1,02 + 15,0 + 9,88 + 8,09 + 3,88 + 6,67 + 8,0 + 32,05)] = 197,733 \text{ кВА},$$

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.

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								
Електропривід брашпилью	1	15	0,92	0,8	0,89	0,87	12,40	14,26
Лебідка швартовна	1	18,5	0,55	0,8	0,87	0,86	9,36	10,88
Вантажні крани	3	22	0,96	0,8	0,9	0,89	56,31	63,27
	3	22	0,97	0,8	0,9	0,89	56,91	63,93
	3	1,5	0,99	0,8	0,77	0,79	4,62	5,85
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	0,86	0,2	0,64	0,70	0,30	0,42
Насос баластний	1	1,1	0,83	0,2	0,64	0,70	0,30	0,42
Засоби керування і радіоелектронної апаратури	-	5,1	-	0,2	-	-	1,02	1,02
Група 3. Засоби життєзабезпечення і побуту								
Основне освітлення	-	25	-	0,6	-	1,0	15,0	15,0

Продовження табл. 2.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Зовнішнє освітлення	-	14	-	0,6	-	0,85	8,4	9,88
Установка кондиціонування	-	11	-	0,5	0,85	0,8	6,47	8,09
Електроventильатори приміщень	7	0,55	1,0	0,5	0,68	0,73	2,83	3,88
Електропобутові прилади і інструмент	5	0,75	1,0	1,0	0,73	0,77	5,14	6,67
Електроплити резистивні	1	5	1,0	0,8	1,0	1,0	8,0	8,0
Інше електрообладнання	-	25	1	0,8	0,79	0,79	25,32	32,05
Всього							172,16	197,73

Сумарний коефіцієнт потужності працюючих електромеханізмів при стоянці з вантажними операціями визначається

$$\cos \varphi = \frac{P_{\Sigma}}{S_{\Sigma}} = \frac{172,161}{197,733} = 0,871.$$

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.

Засобами безпечної експлуатації судна є системи радіозв'язку і навігації. На судні «Судак» обладнання радіозв'язку представлено головним передатчиком – «Мста-М» і приймачем – «Волна-К», експлуатаційним приймачами – «Волна-К», аварійним передатчиком – АСП-4 і приймачем – ПАС-3М. На судні є радіотелефонна станція «Акація», диспетчерська – «Корабль-3», шлюпочні переносні радіостанції «Плот», радіотелеграфний автоаларм АПМ-3, автопередатчик сигналів тривоги АПСТБ-1, радіотрансляція «»Берізка». Навігаційне обладнання представлено магнітним компасом ГУ-127, ГУ-75, гідрокурсопоказником «Курс-4», радіопеленгатором

СРП-5, радіолокатором «Донець-2», а також радіонавігаційними індикаторами: ближньої дії – «Пірс-1Д», ехолотом НЕЛ-5, лагом – МГЛ -2, ЛЗМ.

Розрахунок споживачів електроенергії судна «Судак» для аварійної електростанції наведений у табл. 2.4.

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_z	η	$\cos \varphi$	P , кВт	S , кВА
Група 2. Загальносуднові системи і пристрої								
Шлюпочна лебідка	2	2,2	0,99	0,6	0,77	0,80	3,39	4,24
Рульова машина	1	18,5	0,92	0,6	0,88	0,87	11,61	13,34
Насос осушувальний	1	1,1	0,86	0,8	0,71	0,76	1,07	1,4
Насос баластний	1	1,1	0,83	0,8	0,64	0,70	1,03	1,47
Насос протипожежний	2	3	1,0	1,0	0,84	0,84	7,14	8,5
Засоби керування і радіоелектронної апаратури	-	5,1	-	0,2	-	-	1,02	1,02
Група 3. Засоби життєзабезпечення і побуту								
Основне освітлення	-	25	-	0,6	-	1,0	15,0	15,0
Зовнішнє освітлення	-	14	-	0,6	-	0,85	8,4	9,88
Всього							50,12	56,50

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

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

$$= 1,03(3,39 + 11,61 + 1,07 + 1,03 + 7,14 + 1,02 + 15,0 + 8,4) = 50,12 \text{ кВт};$$

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

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

$$= 1,03(4,24 + 13,34 + 1,4 + 1,47 + 8,5 + 1,02 + 15,0 + 9,88) = 56,50 \text{ кВА},$$

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

Сумарний коефіцієнт потужності працюючих електромеханізмів при роботі аварійної електростанції

$$\cos \varphi = \frac{P_{\Sigma}}{S_{\Sigma}} = \frac{50,12}{56,50} = 0,887.$$

2.4. Вибір кількості генераторів і схеми електропостачання

Загальна встановлена потужність основних джерел електроенергії повинна визначатися за результатами розрахунків сумарного електричного навантаження $P_{\text{роз}}$, 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 проєкті не виключається)

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

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 введення в дію і прийом завантаження головним агрегатом; резервування потужності генераторів у відповідних режимах; маневрене управління електропостачанням приймачів в нормальних і аварійних режимах

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

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 два основні генератори з активною потужністю 100 кВт кожен, один резервний з активною потужністю 100 кВт і один аварійний генератор з потужністю 50 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 лісовозу «Судак». Розроблена принципова схема (рис. 2.2) 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 і ДГ2) ВГ1 і ВГ2, вимикачем резервного дизель-генератора (РДГ) ВРГ, вимикачем аварійного дизель-генератора (АДГ) ВАГ. Через вимикачі ВБ та ВФ підключаються до головного розподільчого щита відповідно фідер живлення з берега і фідери електропостачання судових приймачів. На схемі П позначено станцію і перемикач живлення з берега. Шини головного розподільчого щита розподілені на секції, які з'єднуються трьохполюсними секційними вимикачами ВС1 і ВС2. 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 і ТР2.

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

Таблиця 2.5

Основні характеристики суднових дизель-генераторів судна «Судак»

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															
ДТРА 100/750	100	750	3503	1062	1825	4888	14000/50000	ДД202, ДД203 (6ЧН18/22)	110	248	0,8	ГСН-3553 ВН 100	1,2	50	400
Аварійний дизель-генератор															
ДТР 50/750	50	750	1821	800	1240	970	18000/60000	Д50Л (6Ч18/22)	55	204	0,8	МТВДГ-50ВСт	1,2	50	400

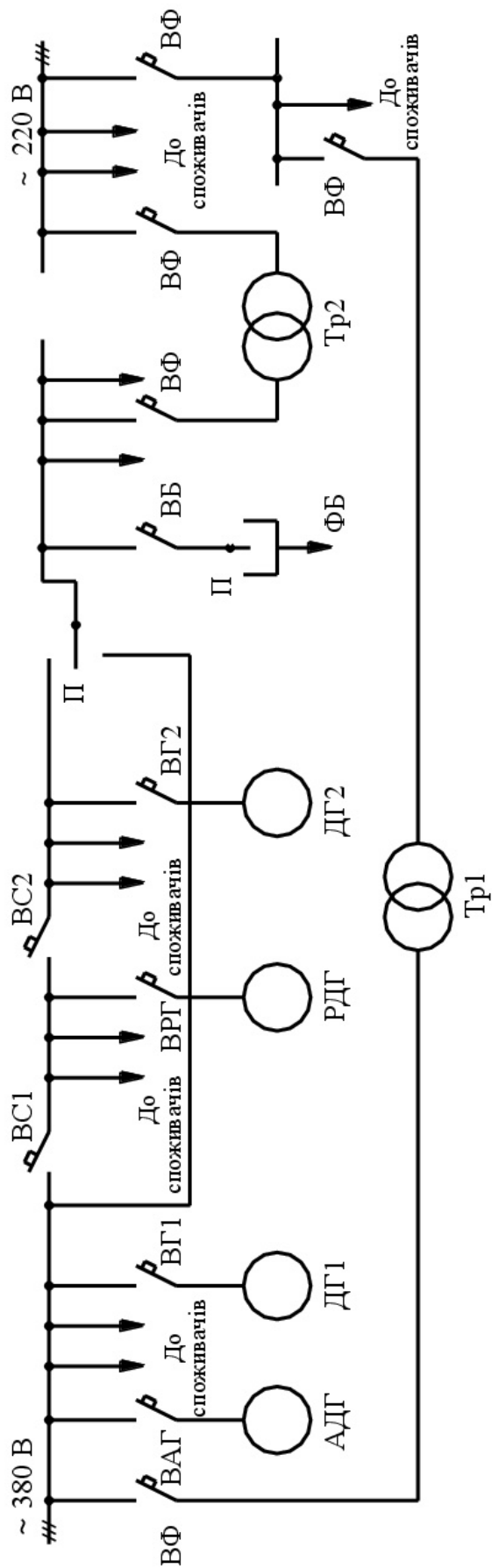


Рис. 2.2. Принципова схема підсистеми генерування та розподілу електроенергії лісовозу «Судак»

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

141.4367ст3.ДР.ПЗ

Арк.

41

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 лісовозу «Судак» живить паливноперекачуючий насос з потужністю $S = 0,96$ кВА, масляноперекачуючий насос з потужністю $S = 4,76$ кВА, два насоси охолодження дизеля з загальною потужністю $S = 14,90$ кВА, сепаратор палива $S = 2,01$ кВА, сепаратор масла $S = 1,11$ кВА, насос прокачки дейдвуда $S = 0,95$ кВА, насос живлення котла $S = 4,31$ кВА, паливноподаючий насос котла $S = 0,54$ кВА, компресор котла $S = 4,31$ кВА.

Розрахунковий струм визначається

$$I_{\text{розр}} = \frac{k_p \cdot k_o \cdot \Sigma S}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = \frac{1,03 \cdot 1 \cdot (0,96 + 4,76 + 14,90 + 2,01 + 1,11 + 0,95 + 4,31 + 0,54 + 4,31) \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380} = 52,973 \text{ А},$$

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

k_o – коефіцієнт одночасності роботи споживачів, приймається $k_o = 1$;

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

Розраховується еквівалентний струм кабелю

$$I_{\text{екв}} = \frac{I_{\text{розр}} \cdot A}{\alpha \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4} = \frac{52,973 \cdot 1}{1,3 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,85} = 47,939 \text{ А},$$

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

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

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 $R = 3,6$ Ом/км для перетину струмопровідної жили кабеля $S_{\text{каб}} = 6$ мм² згідно табл.2.5.10 [10] Визначається радіус струмопровідної жили

$$r_1 = \sqrt{\frac{S_{\text{каб}}}{\pi}} = \sqrt{\frac{6}{\pi}} = 1,382 \text{ мм.}$$

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

$$S_{\text{вн}} = \frac{\alpha_3 \cdot \sigma}{6\pi} \ln \frac{r_3^3}{1,7 \cdot r_1 \cdot d^2} = \frac{0,97 \cdot 3}{6\pi} \ln \frac{10,607^3}{1,7 \cdot 1,382 \cdot 4,422^2} = 0,172,$$

де α_3 – поправочний коефіцієнт;

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

r_3 – зовнішній радіус оболонки кабеля,

$$r_3 = 2,35 \cdot 1,6 \cdot r_1 = 2,35 \cdot 1,6 \cdot 1,382 = 5,196 \text{ мм;}$$

d – діаметр струмопровідної жили з ізоляцією,

$$d = 2 \cdot 1,6 \cdot r_1 = 2 \cdot 1,6 \cdot 1,382821 = 4,422 \text{ мм.}$$

При тривалому навантаженні значення гранично допустимої потужності втрат визначається за формулою

$$\Sigma P_{\text{доп}} = \frac{\theta - b_2}{\frac{a_2}{2,8(b_1 + b_{11})} + S_{\text{вн}}} = \frac{20 - 2,6}{\frac{0,098}{2,8(20,785 + 10,392)} + 0,172} = 13,437 \text{ Вт/м,}$$

де θ – допустиме перевищення температури жил кабелів, з урахуванням вибраної температури нагріву струмопровідних жил $\theta_k = 65$ °С і температури нагріву повітря $\theta_{\text{п}} = 45$ °С,

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

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

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 $d_3 = 2 \cdot r_3 = 2 \cdot 5,196 = 10,392$ мм,

$$b_1 = n \cdot d_3 = 2 \cdot 10,392 = 20,785 \text{ мм};$$

$$b_{11} = d_3 = 10,392 \text{ мм}.$$

Фактична потужність втрат визначається за формулою

$$\Sigma P_{\text{факт}} = \frac{m \cdot I_{\text{екв}}^2 \cdot R \cdot 10^{-3}}{n} = \frac{3 \cdot 47,939^2 \cdot 3,6 \cdot 10^{-3}}{2} = 12,41 \text{ Вт/м}.$$

Фактичне перевищення температури струмопровідних жил кабеля визначається

$$\theta_{\text{факт}} = (\theta - 3) \frac{\Sigma P_{\text{факт}}}{\Sigma P_{\text{доп}}} + 3 = (20 - 3) \frac{12,41}{13,437} + 3 = 18,701 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

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

Розраховується постійна часу пучка кабелів

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

$$= \left(\frac{5,43 \cdot 2,65 \cdot 0,098 \cdot 18,701}{18,701 - 2,6} \cdot \frac{20,785 \cdot 10,392 \cdot 10^{-9}}{20,785 + 10,392} + \frac{15,2 \cdot 2,65 \cdot 2,6 \cdot 0,172 \cdot 20,785 \cdot 10,392 \cdot 10^{-12}}{18,701 - 2,6} \right) \cdot 10^{-3} =$$

$$= 1,159 \cdot 10^{-11} \text{ хв.},$$

де C'_V – питома об'ємна теплоємність пучка кабелів, $C'_V = 2,65 \cdot 10^{-6} \text{ Дж/ }^{\circ}\text{C} \cdot \text{м}^3$;

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

Для розрахунку втрат напруги в кабельній мережі визначається коефіцієнт потужності

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

$$\cos \varphi = \frac{\Sigma P}{\Sigma S} = \frac{0,73 + 4 + 12,66 + 1,61 + 0,85 + 0,72 + 3,62 + 0,39 + 3,62}{33,85} = 0,833,$$

де ΣP – активна потужність механізмів, що підключені до фідеру 1 лісовозу «Судак»: паливноперекачуючий насос з потужністю $P = 0,73$ кВт, масляноперекачуючий насос з потужністю $P = 4$ кВт, два насоси охолодження дизеля з загальною потужністю $P = 12,66$ кВт, сепаратор палива $P = 1,61$ кВт, сепаратор масла $P = 0,85$ кВт, насос прокачки дейдвуда $P = 0,72$ кВт, насос живлення котла $P = 3,62$ кВт, паливноподаючий насос котла $P = 0,39$ кВт, компресор котла $P = 3,62$ кВт.

Величина втрат напруги в кабелі для трьохфазного змінного струму

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

$$= \frac{\sqrt{3} \cdot 52,973 \cdot 10}{380 \cdot 2} (3,584 \cdot 0,833 \cdot 10^{-3} + 8,871 \cdot 10^{-5} \cdot 0,553) \cdot 100\% = 0,366 \%,$$

де l – довжина кабеля, $l = 10$ м;

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

$$R_p = R \frac{(1 + \alpha_4 (\theta_{\text{п}} + \theta_{\text{факт}} - 20))}{1 + \alpha_4 (\theta_{\text{к}} - 20)} = 3,6 \cdot \frac{(1 + 0,004(45 + 18,701 - 20))}{1 + 0,004(65 - 20)} = 3,584 \text{ Ом/км};$$

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

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

$$= 2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot \left(0,46 \cdot \lg \left(\frac{1,6 \cdot 2 \cdot 1,382}{1,382} \right) + 0,05 \right) \cdot 10^{-6} = 8,871 \cdot 10^{-5} \text{ Ом/м};$$

$$\sin \varphi = \sqrt{1 - (\cos \varphi)^2} = \sqrt{1 - (0,833)^2} = 0,553.$$

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 кабелю 2 проводиться аналогічно з визначенням кабелю 1. Кабель 2 лісовозу «Судак» живить один вантажний кран з трьома двигунами потужностями $S = 21,09$ кВА, $S = 21,31$ кВА і $S = 1,95$ кВА відповідно. Розрахунковий струм визначається з урахуванням коефіцієнта одночасності роботи споживачів рівному $k_o = 0,833$

$$I_{\text{розр}} = \frac{k_p \cdot k_o \cdot S}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = \frac{1,03 \cdot 0,833 \cdot (21,09 + 21,31 + 1,95) \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380} = 57,814 \text{ А.}$$

Розраховується еквівалентний струм кабелю

$$I_{\text{екв}} = \frac{I_{\text{розр}} \cdot A}{\alpha \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4} = \frac{57,814 \cdot 1}{1,3 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,85} = 52,32 \text{ А.}$$

Вибирається значення активного електричного опору багатодротової жили кабеля $R = 5,4$ Ом/км для перетину струмопровідної жили кабеля $S_{\text{каб}} = 4 \text{ мм}^2$ згідно табл.2.5.10 [10]. Визначається радіус струмопровідної жили

$$r_1 = \sqrt{\frac{S_{\text{каб}}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4}{\pi}} = 1,784 \text{ мм.}$$

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

$$S_{\text{вн}} = \frac{\alpha_3 \cdot \sigma}{6\pi} \ln \frac{r_3^3}{1,7 \cdot r_1 \cdot d^2} = \frac{0,97 \cdot 3}{6\pi} \ln \frac{6,708^3}{1,7 \cdot 1,784 \cdot 5,709^2} = 0,172,$$

r_3 – зовнішній радіус оболонки кабеля,

$$r_3 = 2,35 \cdot 1,6 \cdot r_1 = 2,35 \cdot 1,6 \cdot 1,784 = 6,708 \text{ мм;}$$

d – діаметр струмопровідної жили з ізоляцією,

$$d = 2 \cdot 1,6 \cdot r_1 = 2 \cdot 1,6 \cdot 1,784 = 5,709 \text{ мм.}$$

При тривалому навантаженні значення гранично допустимої потужності втрат визначається за формулою

$$\Sigma P_{\text{доп}} = \frac{\theta - b_2}{\frac{a_2}{2,8(b_1 + b_{11})} + S_{\text{вн}}} = \frac{20 - 2,6}{\frac{0,098}{2,8(26,833 + 13,417)} + 0,172} = 16,7 \text{ Вт/м,}$$

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

b_1 і b_{11} – розміри сторін прямокутника, описаного навколо поперечного перетину пучка при кількості кабелів $n = 2$ і значенні зовнішнього діаметра оболонки кабелю $d_3 = 2 \cdot r_3 = 2 \cdot 6,708 = 13,417$ мм,

$$b_1 = n \cdot d_3 = 2 \cdot 13,417 = 26,833 \text{ мм};$$

$$b_{11} = d_3 = 13,417 \text{ мм}.$$

Фактична потужність втрат визначається за формулою

$$\Sigma P_{\text{факт}} = \frac{m \cdot I_{\text{екв}}^2 \cdot R \cdot 10^{-3}}{n} = \frac{3 \cdot 52,32^2 \cdot 5,4 \cdot 10^{-3}}{2} = 8,869 \text{ Вт/м}.$$

Фактичне перевищення температури струмопровідних жил кабелю визначається

$$\theta_{\text{факт}} = (\theta - 3) \frac{\Sigma P_{\text{факт}}}{\Sigma P_{\text{доп}}} + 3 = (20 - 3) \frac{8,869}{16,7} + 3 = 12,028^\circ\text{C}.$$

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

Розраховується постійна часу пучка кабелів

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

$$= \left(\frac{5,43 \cdot 2,65 \cdot 0,098 \cdot 12,028}{12,028 - 2,6} \cdot \frac{26,833 \cdot 13,417 \cdot 10^{-9}}{26,833 + 13,417} + \frac{15,2 \cdot 2,65 \cdot 2,6 \cdot 0,172 \cdot 26,833 \cdot 13,417 \cdot 10^{-12}}{12,028 - 2,6} \right) \cdot 10^{-3} =$$

$$= 1,678 \cdot 10^{-11} \text{ хв}.$$

Для розрахунку втрат напруги в кабельній мережі визначається коефіцієнт потужності

$$\cos \varphi = \frac{\Sigma P}{\Sigma S} = \frac{18,77 + 18,97 + 1,54}{44,35} = 0,886,$$

де ΣP – активна потужність механізмів, що підключені до фідеру 2 теплоходу «Сосновець»: три вантажні крани з потужностями $P = 18,77$ кВт, $P = 18,97$ кВт і $P = 1,54$ кВт відповідно.

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

Величина втрат напруги в кабелі для трьохфазного змінного струму

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

$$= \frac{\sqrt{3} \cdot 57,814 \cdot 60}{380 \cdot 2} (2,102 \cdot 0,833 \cdot 10^{-3} + 8,871 \cdot 10^{-5} \cdot 0,464) \cdot 100\% = 1,504 \%,$$

де l – довжина кабеля, $l = 60$ м;

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

$$R_p = R \frac{(1 + \alpha_4 (\theta_{\text{п}} + \theta_{\text{факт}} - 20))}{1 + \alpha_4 (\theta_{\text{к}} - 20)} = 2,16 \cdot \frac{(1 + 0,004(45 + 12,028 - 20))}{1 + 0,004(65 - 20)} = 2,102 \text{ Ом/км};$$

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

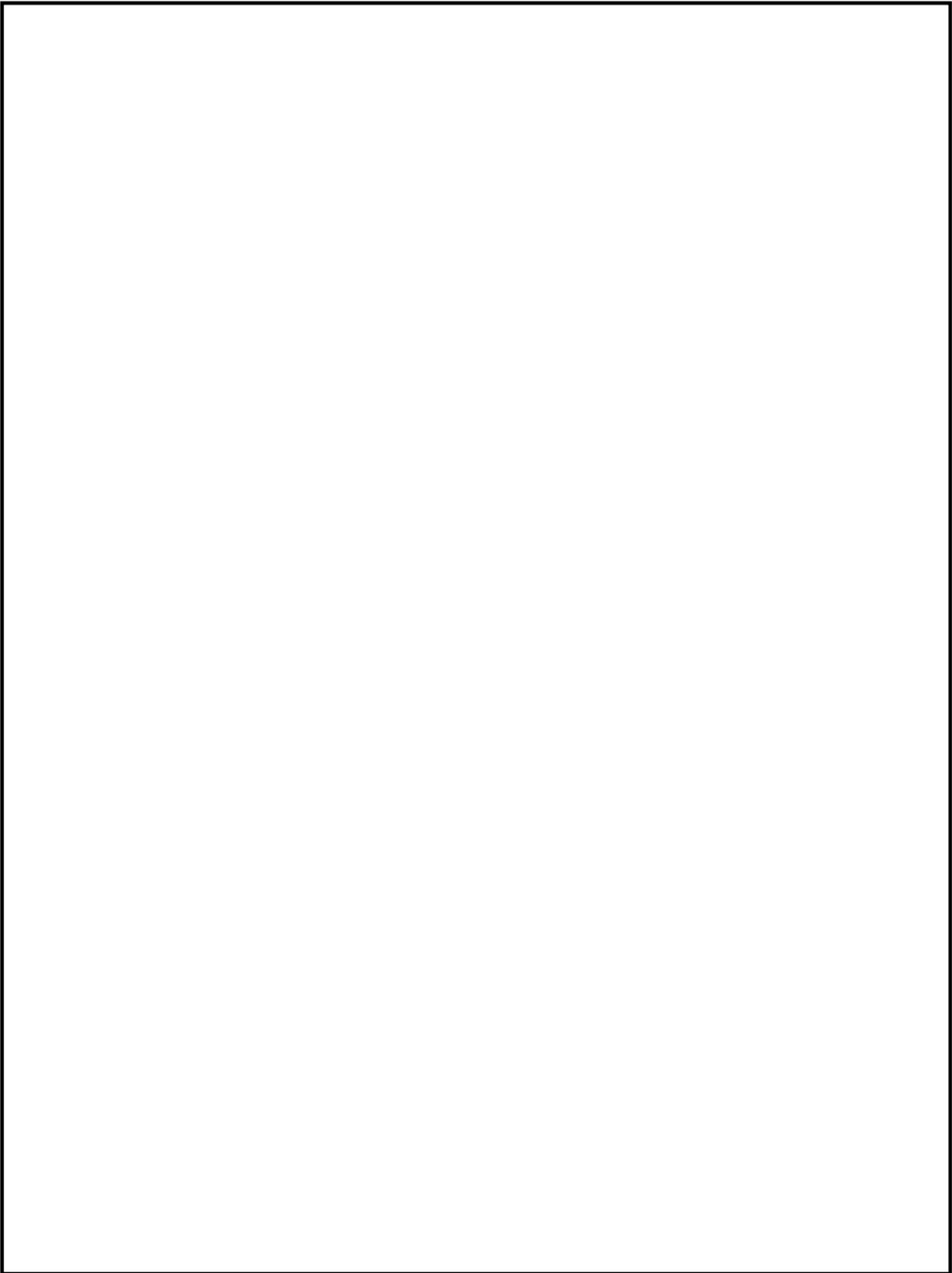
$$X = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot \left(0,46 \cdot \lg \left(\frac{1,6 \cdot 2 \cdot r_1}{r_1} \right) + 0,05 \right) \cdot 10^{-6} =$$

$$= 2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot \left(0,46 \cdot \lg \left(\frac{1,6 \cdot 2 \cdot 1,382}{1,382} \right) + 0,05 \right) \cdot 10^{-6} = 8,871 \cdot 10^{-5} \text{ Ом/м};$$

$$\sin \varphi = \sqrt{1 - (\cos \varphi)^2} = \sqrt{1 - (0,886)^2} = 0,464.$$

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

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



					141.4367ст3.ДР.ПЗ.РЗ				
Зм.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата					
Розробив		Сєднєв Д.А.			РОЗДІЛ 3. РОЗРАХУНОК ЗМІНИ НАПРУГИ І ЧАСТОТИ НА ШИНАХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ	Лист.	Арк.	Аркцив	
Перевірив		Пальчиков О.О.					49	17	
						НУК			
Н. Контр.									
Затверд.		Обрубов А.В.							

3.1. Розрахунок активних і індуктивних опорів при сумісній роботі двигунів і генераторів з різними навантаженнями

Необхідні для розрахунку параметри генератора наведені в табл. 3.1.

Значення активних і індуктивних опорів при роботі одного, двох або трьох генераторів:

$$\begin{aligned}x_{d1} &= 1,91; & x'_{d1} &= 0,235; & x_{q1} &= 1,13; \\x_{d2} &= 1,91 / 2 = 0,995; & x'_{d2} &= 0,235 / 2 = 0,117; & x_{q2} &= 1,13 / 2 = 0,565; \\x_{d3} &= 1,91 / 3 = 0,637; & x'_{d2} &= 0,235 / 3 = 0,078; & x_{q3} &= 1,13 / 3 = 0,377; \\r_{a1} &= 0,0186; \\r_{a2} &= 0,0186 / 2 = 0,0093; \\r_{a3} &= 0,0186 / 3 = 0,0062.\end{aligned}$$

Приведений пусковий опір електродвигуна вантажного крану потужністю

$$z_{дв1} = \frac{\eta_{дв} \cos \varphi_{дв} P_{\Gamma}}{k_{i\partial д\epsilon} \cos \varphi_{\Gamma} P_{дв}} \left(\frac{U_{дв}}{U_{\Gamma}} \right)^2 = \frac{0,89 \cdot 0,9 \cdot 100}{7 \cdot 0,8 \cdot 22} \left(\frac{380}{400} \right)^2 = 0,587,$$

де $\eta_{дв}$ – ККД електродвигуна, $\eta_{дв} = 0,89$;

$k_{i\partial д\epsilon}$ – кратність пускового струму, $k_{i\partial д\epsilon} = 7$;

$\cos \varphi_{\Gamma}$ і $\cos \varphi_{дв}$ – відповідно номінальні коефіцієнти потужності генератора і електродвигуна, $\cos \varphi_{\Gamma} = 0,8$ і $\cos \varphi_{дв} = 0,9$;

U_{Γ} і $U_{дв}$ – номінальні напруги на затискачах генератора і електродвигуна відповідно, $U_{\Gamma} = 400$ В і $U_{дв} = 380$ В;

P_{Γ} і $P_{дв}$ – номінальні активні потужності на затискачах генератора і валу крана відповідно, $P_{\Gamma} = 100$ кВт і $P_{дв} = 22$ кВт.

При $P_{\Gamma} = 200$ кВт і $P_{\Gamma} = 300$ кВт значення приведенного опору складає:

$$z_{дв2} = \frac{\eta_{дв} \cos \varphi_{дв} P_{\Gamma}}{k_{i\partial д\epsilon} \cos \varphi_{\Gamma} P_{дв}} \left(\frac{U_{дв}}{U_{\Gamma}} \right)^2 = \frac{0,89 \cdot 0,9 \cdot 200}{7 \cdot 0,8 \cdot 22} \left(\frac{380}{400} \right)^2 = 1,174;$$

$$z_{дв3} = \frac{\eta_{дв} \cos \varphi_{дв} P_{\Gamma}}{k_{i\partial д\epsilon} \cos \varphi_{\Gamma} P_{дв}} \left(\frac{U_{дв}}{U_{\Gamma}} \right)^2 = \frac{0,89 \cdot 0,9 \cdot 300}{7 \cdot 0,8 \cdot 22} \left(\frac{380}{400} \right)^2 = 1,76.$$

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

Таблиця 3.1

Параметри генератора типу ГСН-3553 ВН 100

Тип генератора	Напру-га, В	Активний опір при 20 °С, в.о.	Індуктивний опір, в.о.							Постійні часу, с				Махо-вий момент інерції GD^2 , кг·м ²
			розсі-яння обмотки статора x_{σ}	за повз-довж-ною віссю x_d	за попере-чною віссю x_q	перехід-ний за повздовж-ною віссю x_d'	понад-рехідний за повз-довжньою віссю x_d''	нега-тивної послі-довності фаз x_2	нульо-вої послі-довності фаз x_0	T_{d0}	T_d'	T_a	T_a''	
ГСН-3553 ВН 100	400	0,0186	0,085	1,91	1,13	0,235	0,136	0,138	0,044	1,72	0,211	0,0185	0,0148	42

Пускове значення коефіцієнту потужності електродвигуна $\cos\varphi_{\Pi} = 0,41$ визначається за графіком, наведеному на рис. 2.12.3 [10] для $s_{кр} = 0,192$. Остання величина визначається за формулою

$$s_{кр} = \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} = \frac{-0,015 + \sqrt{0,015^2 - 4 \cdot 1,056 \cdot -0,041}}{2 \cdot 1,056} = 0,192,$$

в яку підставляються значення розрахункових коефіцієнтів при умові кратності максимального моменту $m_{max} = 2,2$; кратності пускового моменту $m_{\Pi} = 1,1$; ковзання $s_{ном} = 0,033$:

$$a = (m_{max} - m_{\Pi}) - s_{ном} m_{\Pi} (m_{max} - 1) = (2,2 - 1,1) - 0,033 \cdot 1,1(2,2 - 1) = 1,056;$$

$$b = 2s_{ном} m_{max} (m_{\Pi} - 1) = 2 \cdot 0,033 \cdot 2,2(1,1 - 1) = 0,015;$$

$$c = s_{ном} [s_{ном} (m_{max} - m_{\Pi}) - m_{\Pi} (m_{max} - 1)] = 0,033 [0,033(2,2 - 1,1) - 1,1(2,2 - 1)] = -0,042.$$

Реактивна і активна складові опору електродвигуна:

$$x_{дв1} = z_{дв1} \sin\varphi_{\Pi} = 0,587 \cdot \sqrt{1 - 0,41^2} = 0,535;$$

$$r_{дв1} = z_{дв1} \cos\varphi_{\Pi} = 0,587 \cdot 0,41 = 0,241;$$

$$x_{дв2} = z_{дв2} \sin\varphi_{\Pi} = 1,174 \cdot \sqrt{1 - 0,41^2} = 1,07;$$

$$r_{дв2} = z_{дв2} \cos\varphi_{\Pi} = 1,174 \cdot 0,41 = 0,481;$$

$$x_{дв3} = z_{дв3} \sin\varphi_{\Pi} = 1,76 \cdot \sqrt{1 - 0,41^2} = 1,606;$$

$$r_{дв3} = z_{дв3} \cos\varphi_{\Pi} = 1,76 \cdot 0,41 = 0,722.$$

Приведений опір попереднього навантаження 10 кВт і 40 кВт при роботі одного (100 кВт), двох (200 кВт) і трьох (300 кВт) двигунів:

$$z_{п11} = \frac{P_{\Gamma}}{P_{\Pi}} \left(\frac{U_{дв}}{U_{\Gamma}} \right)^2 = \frac{100}{10} \left(\frac{380}{400} \right)^2 = 9,025 \quad z_{п21} = \frac{P_{\Gamma}}{P_{\Pi}} \left(\frac{U_{дв}}{U_{\Gamma}} \right)^2 = \frac{100}{40} \left(\frac{380}{400} \right)^2 = 2,256;$$

$$z_{п12} = \frac{P_{\Gamma}}{P_{\Pi}} \left(\frac{U_{дв}}{U_{\Gamma}} \right)^2 = \frac{200}{10} \left(\frac{380}{400} \right)^2 = 18,05; \quad z_{п22} = \frac{P_{\Gamma}}{P_{\Pi}} \left(\frac{U_{дв}}{U_{\Gamma}} \right)^2 = \frac{200}{40} \left(\frac{380}{400} \right)^2 = 4,513;$$

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

$$z_{п13} = \frac{P_{\Gamma}}{P_{п}} \left(\frac{U_{дв}}{U_{\Gamma}} \right)^2 = \frac{300}{10} \left(\frac{380}{400} \right)^2 = 27,075; \quad z_{п23} = \frac{P_{\Gamma}}{P_{п}} \left(\frac{U_{дв}}{U_{\Gamma}} \right)^2 = \frac{300}{40} \left(\frac{380}{400} \right)^2 = 6,769.$$

Реактивна і активна складові опору попереднього навантаженням

$$x_{п11} = z_{п11} \sin \varphi_{\Gamma} = 9,025 \cdot \sqrt{1 - 0,8^2} = 5,415; \quad r_{п11} = z_{п11} \cos \varphi_{\Gamma} = 9,025 \cdot 0,8 = 7,22;$$

$$x_{п12} = z_{п12} \sin \varphi_{\Gamma} = 18,05 \cdot \sqrt{1 - 0,8^2} = 10,83; \quad r_{п12} = z_{п12} \cos \varphi_{\Gamma} = 18,05 \cdot 0,8 = 14,44;$$

$$x_{п13} = z_{п13} \sin \varphi_{\Gamma} = 27,075 \cdot \sqrt{1 - 0,8^2} = 16,245; \quad r_{п13} = z_{п13} \cos \varphi_{\Gamma} = 27,075 \cdot 0,8 = 21,66;$$

$$x_{п21} = z_{п21} \sin \varphi_{\Gamma} = 2,256 \cdot \sqrt{1 - 0,8^2} = 1,354; \quad r_{п21} = z_{п21} \cos \varphi_{\Gamma} = 2,256 \cdot 0,8 = 1,805;$$

$$x_{п22} = z_{п22} \sin \varphi_{\Gamma} = 4,513 \cdot \sqrt{1 - 0,8^2} = 2,707; \quad r_{п22} = z_{п22} \cos \varphi_{\Gamma} = 4,513 \cdot 0,8 = 3,61;$$

$$x_{п23} = z_{п23} \sin \varphi_{\Gamma} = 6,769 \cdot \sqrt{1 - 0,8^2} = 4,061; \quad r_{п23} = z_{п23} \cos \varphi_{\Gamma} = 6,769 \cdot 0,8 = 5,415.$$

Розглядається 1 випадок: 1 генератор і 1 двигун при попередньому навантаженні 10 кВт. Відповідні опори двигуна і попереднього навантаження складаються паралельно за формулами:

$$r_{н1} = \frac{r_{дв1}(r_{п11}^2 + x_{п11}^2) + r_{п11}(r_{дв1}^2 + x_{дв1}^2)}{(r_{дв1} + r_{п11})^2 + (x_{дв1} + x_{п11})^2} =$$

$$= \frac{0,241(7,22^2 + 5,415^2) + 7,22(0,241^2 + 0,535^2)}{(0,241 + 7,22)^2 + (0,535 + 5,415)^2} = 0,242;$$

$$x_{н1} = \frac{x_{дв1}(r_{п11}^2 + x_{п11}^2) + x_{п11}(r_{дв1}^2 + x_{дв1}^2)}{(r_{дв1} + r_{п11})^2 + (x_{дв1} + x_{п11})^2} =$$

$$= \frac{0,535(7,22^2 + 5,415^2) + 5,415(0,241^2 + 0,535^2)}{(0,241 + 7,22)^2 + (0,535 + 5,415)^2} = 0,499.$$

Розглядається 2 випадок: 1 генератор і 2 двигуни при попередньому навантаженні 10 кВт. Відповідні опори двигунів і попереднього навантаження складаються паралельно за формулами, представленими вище, попередньо додатково визначаються опори роботи 2-х двигунів, включених паралельно:

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

$$r_{\text{дв2A}} = \frac{r_{\text{дв1}}(r_{\text{дв1}}^2 + x_{\text{дв1}}^2) + r_{\text{дв1}}(r_{\text{дв1}}^2 + x_{\text{дв1}}^2)}{(r_{\text{дв1}} + r_{\text{дв1}})^2 + (x_{\text{дв1}} + x_{\text{дв1}})^2} =$$

$$= \frac{0,241(0,241^2 + 0,535^2) + 0,241(0,241^2 + 0,535^2)}{(0,241 + 0,535)^2 + (0,241 + 0,535)^2} = 0,12;$$

$$x_{\text{дв2A}} = \frac{x_{\text{дв1}}(r_{\text{дв1}}^2 + x_{\text{дв1}}^2) + x_{\text{дв1}}(r_{\text{дв1}}^2 + x_{\text{дв1}}^2)}{(r_{\text{дв1}} + r_{\text{дв1}})^2 + (x_{\text{дв1}} + x_{\text{дв1}})^2} =$$

$$= \frac{0,535(0,241^2 + 0,535^2) + 0,241(0,241^2 + 0,435^2)}{(0,241 + 0,535)^2 + (0,241 + 0,535)^2} = 0,268..$$

Розглядаються 3 і 4 випадки: 2 генератори і 1 двигун при попередньому навантаженні 10 кВт і 40кВт, опори складаються паралельно для значення опорів двигуна, визначеного при роботі 2-х генераторів, і відповідних навантажень.

Розглядається 5 випадок: 2 генератори і 2 двигуни при попередньому навантаженні 10 кВт, опори складаються паралельно за формулами, представленими вище, попередньо додатково визначаються опори роботи 2-х двигунів, визначених при роботі 2-х генераторів, працюючих паралельно:

$$r_{\text{дв5A}} = \frac{r_{\text{дв2}}(r_{\text{дв2}}^2 + x_{\text{дв2}}^2) + r_{\text{дв2}}(r_{\text{дв2}}^2 + x_{\text{дв2}}^2)}{(r_{\text{дв2}} + r_{\text{дв2}})^2 + (x_{\text{дв2}} + x_{\text{дв2}})^2} =$$

$$= \frac{0,481(0,481^2 + 1,07^2) + 0,481(0,481^2 + 1,07^2)}{(0,481 + 1,07)^2 + (0,481 + 1,07)^2} = 0,241;$$

$$x_{\text{дв5A}} = \frac{x_{\text{дв2}}(r_{\text{дв2}}^2 + x_{\text{дв2}}^2) + x_{\text{дв2}}(r_{\text{дв2}}^2 + x_{\text{дв2}}^2)}{(r_{\text{дв2}} + r_{\text{дв2}})^2 + (x_{\text{дв2}} + x_{\text{дв2}})^2} =$$

$$= \frac{1,07(0,481^2 + 1,07^2) + 1,07(0,481^2 + 1,07^2)}{(0,481 + 1,07)^2 + (0,481 + 1,07)^2} = 0,535.$$

Розглядаються 6 і 7 випадки: 2 генератори і 3 двигуни при попередньому навантаженні 10 кВт і 40 кВт, опори складаються паралельно за формулами, представленими вище, попередньо додатково визначаються опори роботи 3-х двигунів, визначених при роботі 2-х генераторів, працюючих паралельно, і відповідних навантажень:

					141.4367ст3.ДР.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

$$r_{\text{дв6А}} = \frac{r_{\text{дв2}}(r_{\text{дв5А}}^2 + x_{\text{дв5А}}^2) + r_{\text{дв5А}}(r_{\text{дв2}}^2 + x_{\text{дв2}}^2)}{(r_{\text{дв2}} + r_{\text{5А}})^2 + (x_{\text{дв2}} + x_{\text{дв5А}})^2} =$$

$$= \frac{0,481(0,241^2 + 0,535^2) + 0,241(0,481^2 + 1,07^2)}{(0,481 + 0,241)^2 + (0,535 + 1,07)^2} = 0,16;$$

$$x_{\text{дв6А}} = \frac{x_{\text{дв2}}(r_{\text{дв5А}}^2 + x_{\text{дв5А}}^2) + x_{\text{дв5А}}(r_{\text{дв2}}^2 + x_{\text{дв2}}^2)}{(r_{\text{дв2}} + r_{\text{5А}})^2 + (x_{\text{дв2}} + x_{\text{дв5А}})^2} =$$

$$= \frac{1,07(0,241^2 + 0,535^2) + 0,535(0,481^2 + 1,07^2)}{(0,481 + 0,241)^2 + (0,535 + 1,07)^2} = 0,357.$$

Розглядається 8 випадок: 3 генератори і 1 двигун при попередньому навантаженні 40 кВт, опори складаються паралельно для значення опорів двигуна, визначеного при роботі 3-х генераторів і відповідного навантаження.

Розглядається 9 випадок: 3 генератори і 2 двигуни при попередньому навантаженні 40 кВт, опори складаються паралельно за формулами, представленими вище, попередньо додатково визначаються опори роботи 2-х двигунів, визначених при роботі 3-х генераторів, працюючих паралельно:

$$r_{\text{дв9А}} = \frac{r_{\text{дв3}}(r_{\text{дв3}}^2 + x_{\text{дв3}}^2) + r_{\text{дв3}}(r_{\text{дв3}}^2 + x_{\text{дв3}}^2)}{(r_{\text{дв3}} + r_{\text{дв3}})^2 + (x_{\text{дв3}} + x_{\text{дв3}})^2} =$$

$$= \frac{0,722(0,722^2 + 1,606^2) + 0,722(0,722^2 + 1,606^2)}{(0,722 + 1,606)^2 + (0,722 + 1,606)^2} = 0,361;$$

$$x_{\text{дв9А}} = \frac{x_{\text{дв3}}(r_{\text{дв3}}^2 + x_{\text{дв3}}^2) + x_{\text{дв3}}(r_{\text{дв3}}^2 + x_{\text{дв3}}^2)}{(r_{\text{дв3}} + r_{\text{дв3}})^2 + (x_{\text{дв3}} + x_{\text{дв3}})^2} =$$

$$= \frac{1,606(0,722^2 + 1,606^2) + 1,606(0,722^2 + 1,606^2)}{(0,722 + 1,606)^2 + (0,722 + 1,606)^2} = 0,803.$$

Розглядається 10 випадок: 3 генератори і 3 двигуни при попередньому навантаженні 40 кВт, опори складаються паралельно за формулами, представленими вище, попередньо додатково визначаються опори роботи 3-х двигунів, визначених при роботі 3-х генераторів, працюючих паралельно, і відповідного навантаження:

$$r_{дв10A} = \frac{r_{дв3} (r_{дв9A}^2 + x_{дв9A}^2) + r_{дв9A} (r_{дв3}^2 + x_{дв3}^2)}{(r_{дв3} + r_{9A})^2 + (x_{дв3} + x_{дв9A})^2} =$$

$$= \frac{0,722(0,361^2 + 0,803^2) + 0,361(0,722^2 + 1,606^2)}{(0,722 + 0,361)^2 + (1,106 + 0,803)^2} = 0,241;$$

$$x_{дв10A} = \frac{x_{дв3} (r_{дв9A}^2 + x_{дв9A}^2) + x_{дв9A} (r_{дв3}^2 + x_{дв3}^2)}{(r_{дв3} + r_{9A})^2 + (x_{дв3} + x_{дв9A})^2} =$$

$$= \frac{1,606(0,361^2 + 0,803^2) + 0,803(0,722^2 + 1,606^2)}{(0,722 + 0,361)^2 + (1,106 + 0,803)^2} = 0,535.$$

Повний опір накидаємого навантаження і генератора:

$$x_{dH1} = x_{d1} + x_{H1} = 1,91 + 0,499 = 2,409;$$

$$x'_{dH1} = x'_{d1} + x_{H1} = 0,235 + 0,499 = 0,734;$$

$$x_{qH1} = x_{q1} + x_{H1} = 1,13 + 0,499 = 1,629;$$

$$r_{aH1} = r_{a1} + x_{H1} = 0,019 + 0,242 = 0,261;$$

$$z_{H1} = \sqrt{x_{H1}^2 + r_{H1}^2} = \sqrt{0,499^2 + 0,242^2} = 0,555;$$

$$\cos\varphi_{aH1} = \frac{r_{aH1}}{z_{H1}} = \frac{0,261}{0,555} = 0,47.$$

Результати розрахунків активних і індуктивних опорів при сумісній роботі двигунів і генераторів з різними навантаженнями наведені в табл. 3.2.

Коефіцієнти ЕРС генератора знаходяться за виразами відповідно до векторної діаграми рис. 3.1:

$$\xi_1 = \frac{z_{H1} \sqrt{x_{qH1}^2 + r_{aH1}^2}}{x_{dH1} x_{qH1} + r_{aH1}^2} = \frac{0,555 \sqrt{1,629^2 + 0,261^2}}{2,409 \cdot 1,629 + 0,261^2} = 0,229;$$

$$\xi'_1 = \frac{z_{H1} \sqrt{x_{qH1}^2 + r_{aH1}^2}}{x'_{dH1} x_{qH1} + r_{aH1}^2} = \frac{0,555 \sqrt{1,629^2 + 0,261^2}}{0,734 \cdot 1,629 + 0,261^2} = 0,724.$$

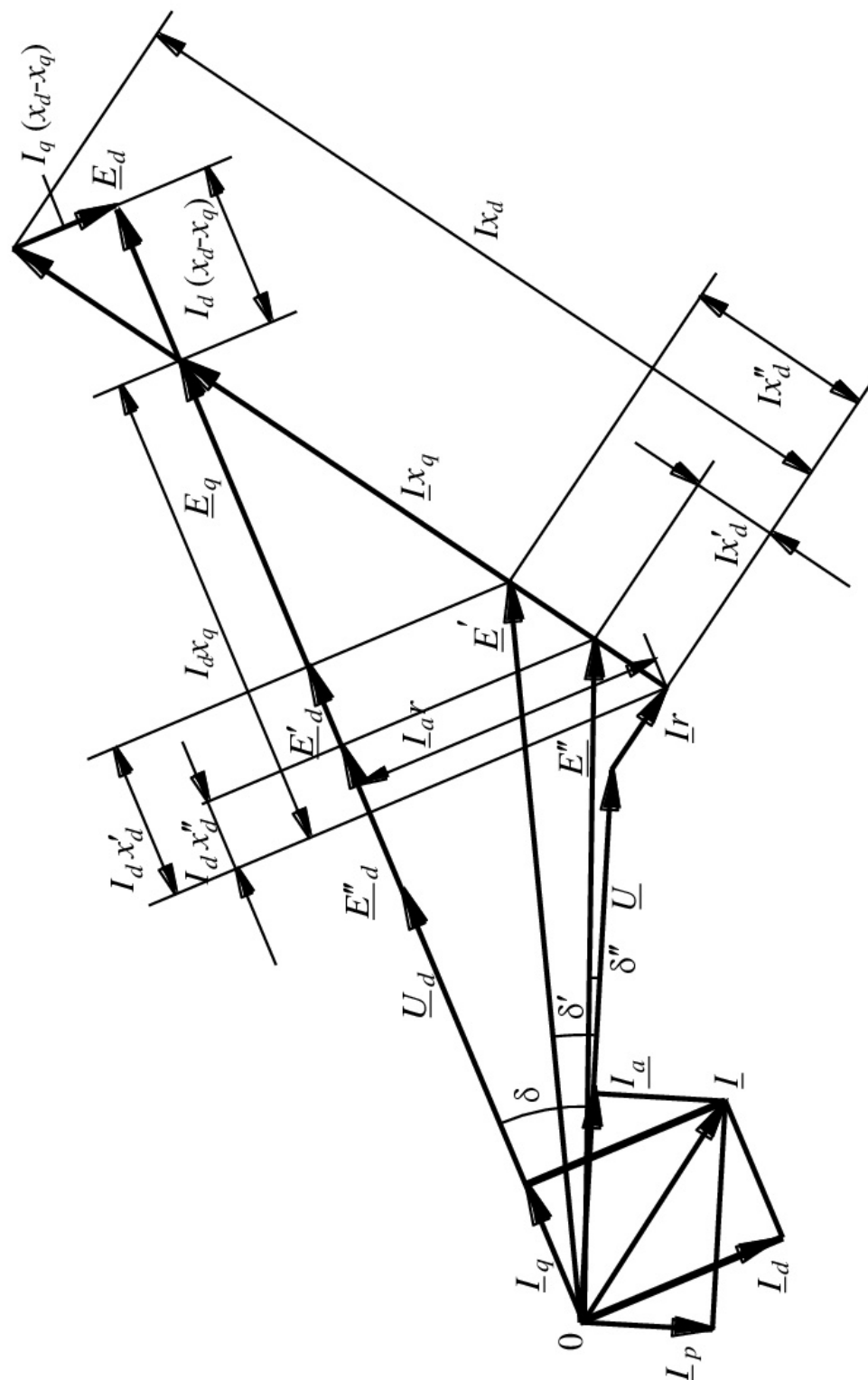


Рис. 3.1. Векторна діаграма генератора

Коефіцієнт ЕРС генератора, що зумовлений попереднім навантаженням,

$$\xi'_{п1} = \frac{z_{п1} \sqrt{(x_{qн1} + x_{п11})^2 + (r_{ан1} + r_{п11})^2}}{(x'_{дн1} + x_{п11})(x_{qн1} + x_{п11}) + (r_{ан1} + r_{п11})^2} =$$

$$= \frac{9,025 \sqrt{(1,13 + 5,415)^2 + (0,019 + 7,22)^2}}{(0,235 + 5,415) \cdot (1,13 + 5,415) + (0,019 + 7,22)^2} = 0,985.$$

Таблиця 3.2

Активні і індуктивні опори і показники процесів при сумісній роботі
двигунів і генераторів з різними навантаженнями

Пара- метр	Випадки сумісної роботи двигунів і генераторів при різних навантаженнях									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$r_{н}$	0,242	0,121	0,485	0,476	0,242	0,161	0,162	0,714	0,364	0,243
$x_{н}$	0,499	0,258	0,998	0,523	0,517	0,348	0,325	1,235	0,7	0,488
$x_{дн}$	2,409	2,168	1,953	1,778	1,472	1,303	1,28	1,871	1,337	1,125
$x'_{дн}$	0,734	0,493	1,116	0,941	0,634	0,466	0,443	1,313	0,779	0,566
x_{qn}	1,629	1,388	1,563	1,388	1,082	0,913	0,86	1,611	1,077	0,865
$r_{ан}$	0,261	0,14	0,494	0,486	0,251	0,17	0,171	0,721	0,37	0,249
$z_{н}$	0,555	0,285	1,11	0,951	0,57	0,384	0,363	1,426	0,789	0,545
$\cos\varphi_{ан}$	0,47	0,489	0,445	0,511	0,44	0,47	0,489	0,445	0,459	0,469
ξ	0,229	0,131	0,552	0,517	0,383	0,292	0,282	0,712	0,57	0,474
ξ'	0,724	0,565	0,915	0,907	0,845	0,785	0,778	0,956	0,921	0,889
$\xi'_{п}$	0,985	0,985	0,996	0,985	0,996	0,996	0,985	0,993	0,993	0,993
U_0	0,735	0,573	0,919	0,921	0,849	0,788	0,789	0,962	0,928	0,895

Напруга генератора в момент включення електродвигуна

$$U_{01} = \frac{\xi'}{\xi'_{п1}} = \frac{0,724}{0,985} = 0,735 .$$

Аналогічно розраховуються коефіцієнти ЕРС для інших випадків роботи двигунів і генераторів з різними попередніми навантаженнями, а також напруга генератора в момент включення електродвигуна. Результати розрахунків представлені в табл. 3.2.

3.2. Розрахунок показників дизеля у режимі накиду навантаження

Накидаємо навантаження на валу дизеля

$$\lambda_1 = 1,36 \frac{U_{\text{НОМ}}^2 \cos \varphi_{\text{аН}}}{z_{\text{Н}} \eta_{\Gamma} \cos \varphi_{\Gamma}} \left(\frac{P_{\Gamma}}{N_m} \right) = 1,36 \frac{1^2 \cdot 0,47}{0,555 \cdot 0,9 \cdot 0,8} \left(\frac{100}{149,558} \right) = 2,166,$$

де N_m – потужність дизеля 110 кВт, $N_m = 149,558$ л.с.

Аналогічно розраховуються навантаження для інших випадків роботи.

Результати розрахунків зведені в табл. 3.3.

Постійна часу обертових мас агрегата і час запізнення регулюючого імпульсу відповідно:

$$T_a = \frac{GD^2}{N_m} \left(\frac{n_{\text{НОМ}}}{518} \right)^2 = \frac{42 \cdot 3}{149,558} \left(\frac{750}{518} \right)^2 = 1,766 \text{ с};$$

$$\tau_p = \frac{30(\alpha_0 + 0,872)}{\pi \delta_r n_{\text{НОМ}} T_a} = \frac{30(15 \cdot \pi / 180 + 0,872)}{\pi \cdot 0,03 \cdot 750 \cdot 1,766} = 0,273,$$

де α_0 – кут впрыску до верхньої мертвої точки , $\alpha_0 = 15^\circ$;

δ_r – статизм автоматичного регулятора частоти дизеля РП-50 одноімпульсного, $\delta_r = 0,03$.

Розрахункові коефіцієнти механічного процесу:

$$D_d = T_k T_a = 0,003 \cdot 1,766 = 0,005298 \text{ с}^2;$$

$$E_{\tau_d} = \delta_r T_a (1 - \tau_p) = 0,03 \cdot 1,766 (1 - 0,273) = 0,039 \text{ с};$$

$$a_0 = \delta_r T_a = 0,03 \cdot 1,766 = 0,053;$$

$$\alpha = \frac{E_{\tau_d}}{2D_d} = \frac{0,039}{2 \cdot 0,005298} = 3,681;$$

$$\beta = \sqrt{\frac{1}{0,005298} - \alpha^2} = \sqrt{\frac{1}{D_d} - 3,681^2} = 13,236;$$

$$\rho = \sqrt{\frac{1 - \alpha a_0}{\beta a_0} + 1} = \sqrt{\frac{1 - 0,039 \cdot 0,053}{13,236 \cdot 0,053} + 1} = 1,465,$$

де T_k – постійна часу регулятора РП-50 одноімпульсного, $T_k = 0,003$ с.

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

Фазові кути механічного процесу

$$\psi = \operatorname{arctg} \frac{1 - \alpha a_0}{\beta a_0} = \operatorname{arctg} \frac{1 - 3,861 \cdot 0,053}{13,236 \cdot 0,053} = \operatorname{arctg}(1,147) = 0,854 \text{ рад};$$

$$\psi_0 = \operatorname{arctg} \frac{\beta}{\alpha} = \operatorname{arctg} \frac{13,236}{3,681} = \operatorname{arctg}(3,596) = 1,3 \text{ рад}.$$

Максимальне відхилення частоти обертання дизеля

$$\begin{aligned} \varphi_{m1} &= \rho \lambda_1 \delta_r \left[e^{-\frac{\alpha}{\beta} \left(\frac{\pi}{2} - \psi + \psi_0 \right)} \sin \psi_0 + \cos \psi \right] = \\ &= 1,465 \cdot 2,166 \cdot 0,03 \left[e^{-\frac{3,681}{13,236} \left(\frac{\pi}{2} - 0,854 + 1,3 \right)} \sin(1,3) + \cos(0,854) \right] = 0,057. \end{aligned}$$

Аналогічно розраховуються максимальні відхилення частоти обертання дизеля для інших випадків роботи. Результати розрахунків зведені в табл. 3.3.

Постійна часу затухання механічного процесу

$$T_\psi = \frac{0,396}{\beta} \left(\frac{\pi}{2} - \psi + \psi_0 \right) = \frac{0,396}{13,326} \left(\frac{\pi}{2} - 0,854 + 1,3 \right) = 0,06 \text{ с}.$$

3.3. Математичне моделювання перехідних процесів зміни напруги і частоти обертання дизеля при пуску асинхронних двигунів

Напруга збудження генератора для включаємого навантаження

$$U_{\text{вmax}} = \frac{1}{\xi_1} = \frac{1}{0,229} = 4,361.$$

Розрахункові коефіцієнти рівняння перехідного процесу генератора:

$$k_1 = \frac{\xi'}{T_{d0}} = \frac{0,724}{1,72} = 0,421;$$

$$k_2 = \frac{k_1}{\xi} = \frac{0,421}{0,229} = 1,836;$$

$$k_\psi = \frac{1}{T_\psi} = \frac{1}{0,06} = 16,667.$$

					141.4367ст3.ДР.ПЗ	Арк.
						60
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Аналогічно розраховуються напруги збудження генератора для включеного навантаження і розрахункові коефіцієнти рівняння перехідного процесу генератора для інших випадків роботи. Результати розрахунків зведені в табл. 3.3.

Зміна напруги генератора при сумісній роботі двигунів і генераторів з різними навантаженнями визначаються:

$$\begin{aligned}
 U(t)_1 &= U_{\text{вmaxl}} (1 - \varphi_{\text{maxl}}) \frac{k_{11}}{k_{21}} + \\
 &+ \left[U_{01} - U_{\text{вmaxl}} (1 - \varphi_{\text{maxl}}) \frac{k_{11}}{k_{21}} + U_{\text{вmaxl}} \frac{k_{11} \varphi_{\text{maxl}}}{k_{\phi} - k_2} \right] e^{-k_2 t} - U_{\text{вmaxl}} \frac{k_{11} \varphi_{\text{maxl}}}{k_{\phi} - k_{21}} e^{-k_{\psi} t} = \\
 &= 4,361(1 - 0,057) \frac{0,421}{1,836} + \\
 &+ \left[0,735 - 4,361(1 - 0,057) \frac{0,421}{1,836} + 4,361 \frac{0,421 \cdot 0,057}{16,667 - 1,836} \right] e^{-1,834 t} - \\
 &- 4,361 \frac{0,421 \cdot 0,057}{16,667 - 1,836} e^{-16,667 t} = 0,943 - 0,201 e^{-1,834 t} - 0,007032 e^{-16,667 t};
 \end{aligned}$$

$$U(t)_2 = 0,885 - 0,291 e^{-1,834 t} - 0,02 e^{-16,667 t};$$

$$U(t)_3 = 0,973 - 0,053 e^{-1,834 t} - 0,00165 e^{-16,667 t};$$

$$U(t)_4 = 0,964 - 0,041 e^{-1,834 t} - 0,002345 e^{-16,667 t};$$

$$U(t)_5 = 0,973 - 0,122 e^{-1,834 t} - 0,002219 e^{-16,667 t};$$

$$U(t)_2 = 0,918 - 0,122 e^{-1,834 t} - 0,008476 e^{-16,667 t};$$

$$U(t)_7 = 0,91 - 0,111 e^{-1,834 t} - 0,00961 e^{-16,667 t};$$

$$U(t)_8 = 0,979 - 0,016 e^{-1,834 t} - 0,001027 e^{-16,667 t};$$

$$U(t)_9 = 0,96 - 0,03 e^{-1,834 t} - 0,002378 e^{-16,667 t};$$

$$U(t)_{10} = 0,944 - 0,045 e^{-1,834 t} - 0,003928 e^{-16,667 t}.$$

Зміна частоти генератора при сумісній роботі двигунів і генераторів з різними навантаженнями складають:

					141.4367ст3.ДР.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

$$\begin{aligned}\omega(t)_1 &= 1 - \omega_{\max 1} e^{-\frac{t}{T_{\psi}}} = 1 - 0,057 e^{-\frac{t}{0,06}}; & \omega(t)_6 &= 1 - 0,082 e^{-\frac{t}{0,06}}; \\ \omega(t)_2 &= 1 - 0,115 e^{-\frac{t}{0,06}}; & \omega(t)_7 &= 1 - 0,09 e^{-\frac{t}{0,06}}; \\ \omega(t)_3 &= 1 - 0,027 e^{-\frac{t}{0,06}}; & \omega(t)_8 &= 1 - 0,021 e^{-\frac{t}{0,06}}; \\ \omega(t)_4 &= 1 - 0,036 e^{-\frac{t}{0,06}}; & \omega(t)_9 &= 1 - 0,04 e^{-\frac{t}{0,06}}; \\ \omega(t)_5 &= 1 - 0,027 e^{-\frac{t}{0,06}}; & \omega(t)_{10} &= 1 - 0,056 e^{-\frac{t}{0,06}}.\end{aligned}$$

Таблиця 3.3

Показники процесів при сумісній роботі двигунів і генераторів з різними навантаженнями

Пара-метр	Сумісна робота двигунів і генераторів при різних навантаженнях									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
λ	1,071	2,166	0,507	0,678	0,501	1,548	1,7	0,394	0,75	1,058
$\Phi_{\max}$	0,057	0,115	0,027	0,036	0,027	0,082	0,09	0,021	0,04	0,056
$U_{\max}$	4,361	7,613	1,812	1,934	2,612	3,419	3,55	1,404	1,755	2,109
k_1	0,421	0,329	0,532	0,527	0,492	0,456	0,452	0,556	0,536	0,517
k_2	1,836	2,501	0,964	1,02	1,285	1,56	1,605	0,78	0,94	1,09

На рис 3.2 і рис. 3.5 представлені залежності зміни напруги і частоти генератора відповідно при сумісній роботі двигунів і генераторів з різними навантаженнями для 1 і 2 випадків. На рис. 3.3 і рис. 3.6 представлені залежності зміни напруги і частоти генератора відповідно при сумісній роботі двигунів і генераторів з різними навантаженнями для 3...7 випадків. На рис. 3.4 і рис. 3.7 представлені залежності зміни напруги і частоти генератора при сумісній роботі двигунів і генераторів з різними навантаженнями для 8...10 випадків.

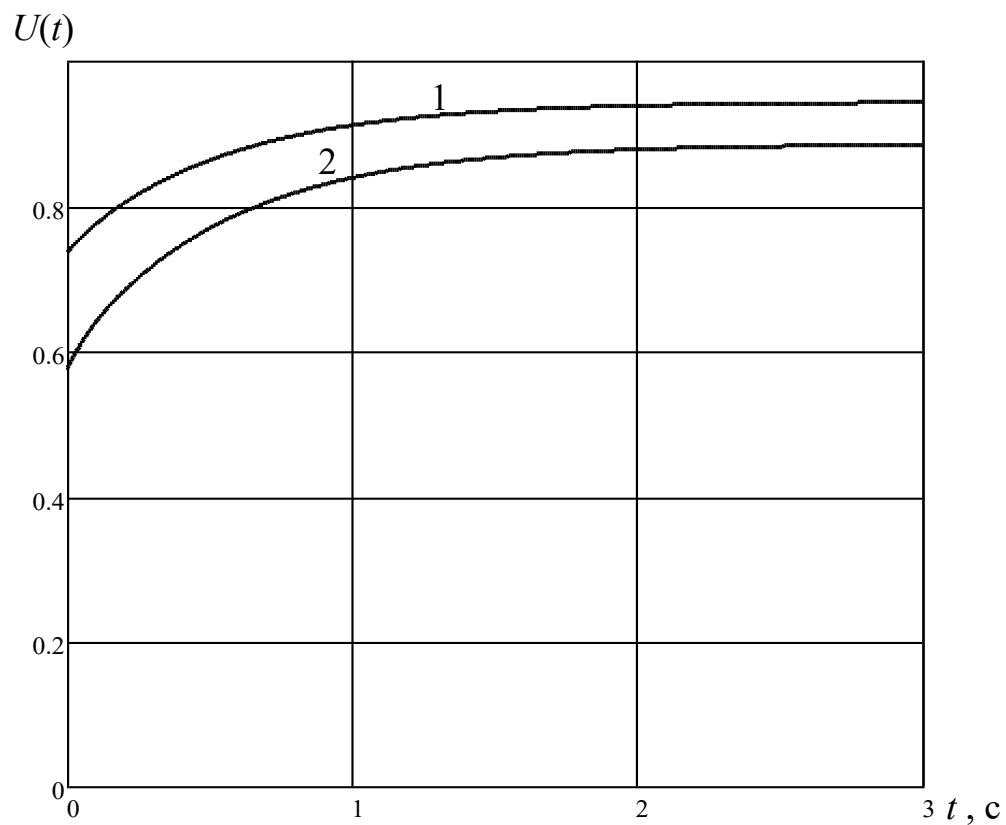


Рис. 3.2. Залежність зміни напруги генератора відповідно при сумісній роботі двигунів і генераторів з різними навантаженнями для 1 і 2 випадків

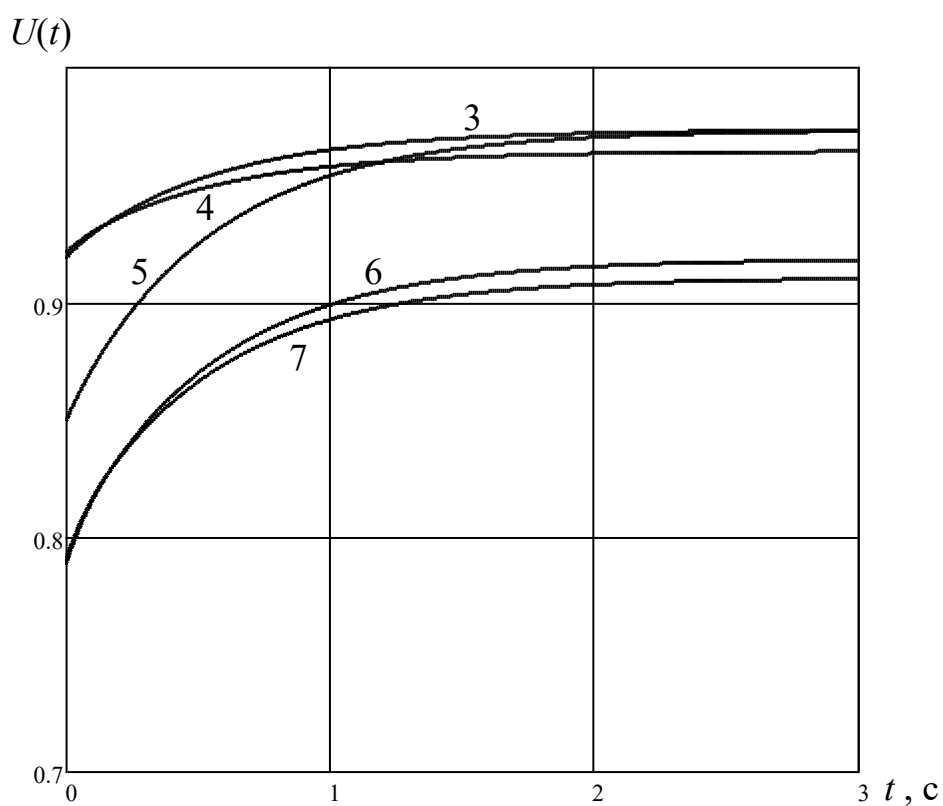


Рис. 3.3. Залежність зміни напруги генератора відповідно при сумісній роботі двигунів і генераторів з різними навантаженнями для 3...7 випадків

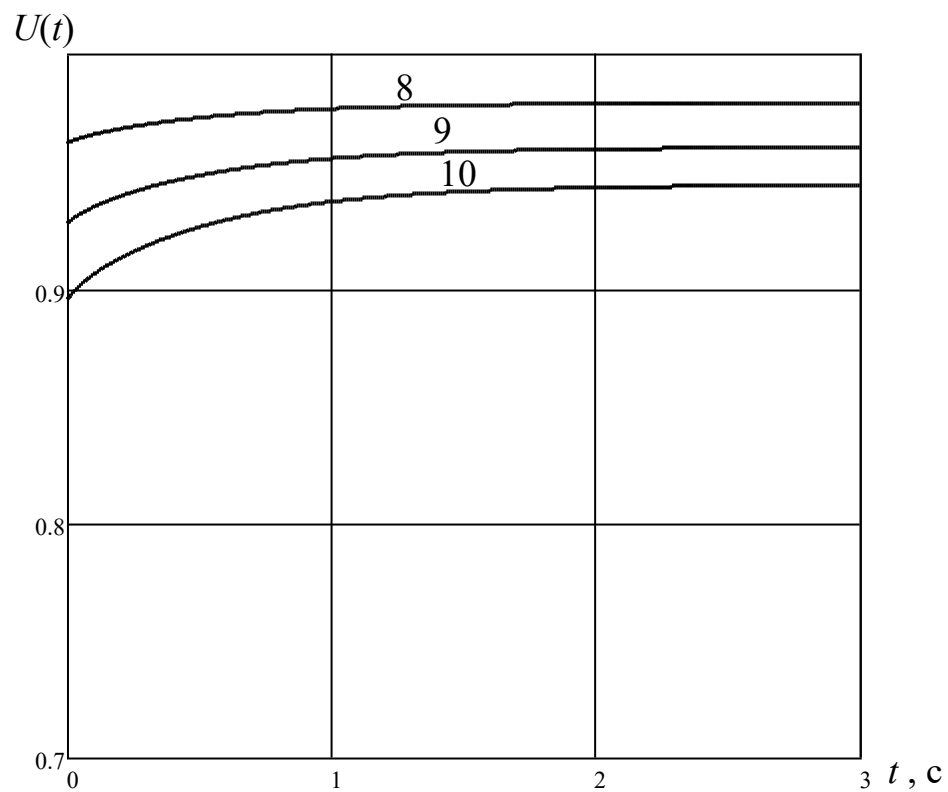


Рис. 3.4. Залежність зміни напруги генератора відповідно при сумісній роботі двигунів і генераторів з різними навантаженнями для 8...10 випадків

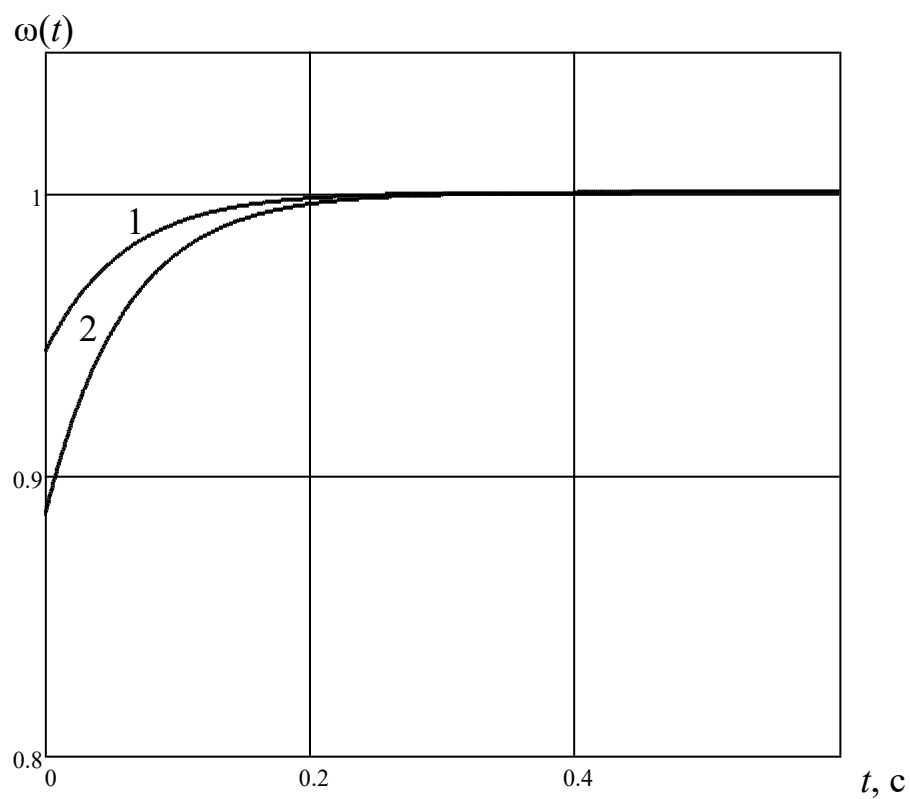


Рис. 3.5. Залежність зміни частоти генератора відповідно при сумісній роботі двигунів і генераторів з різними навантаженнями для 1 і 2 випадків

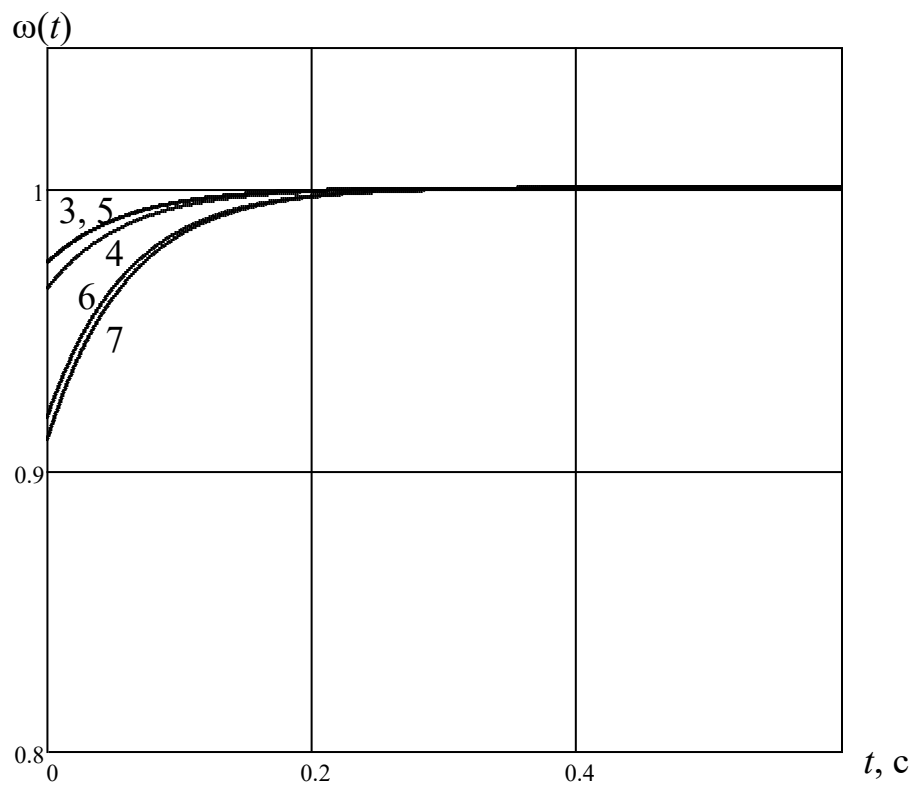


Рис. 3.6. Залежність зміни частоти генератора відповідно при сумісній роботі двигунів і генераторів з різними навантаженнями для 3...7 випадків

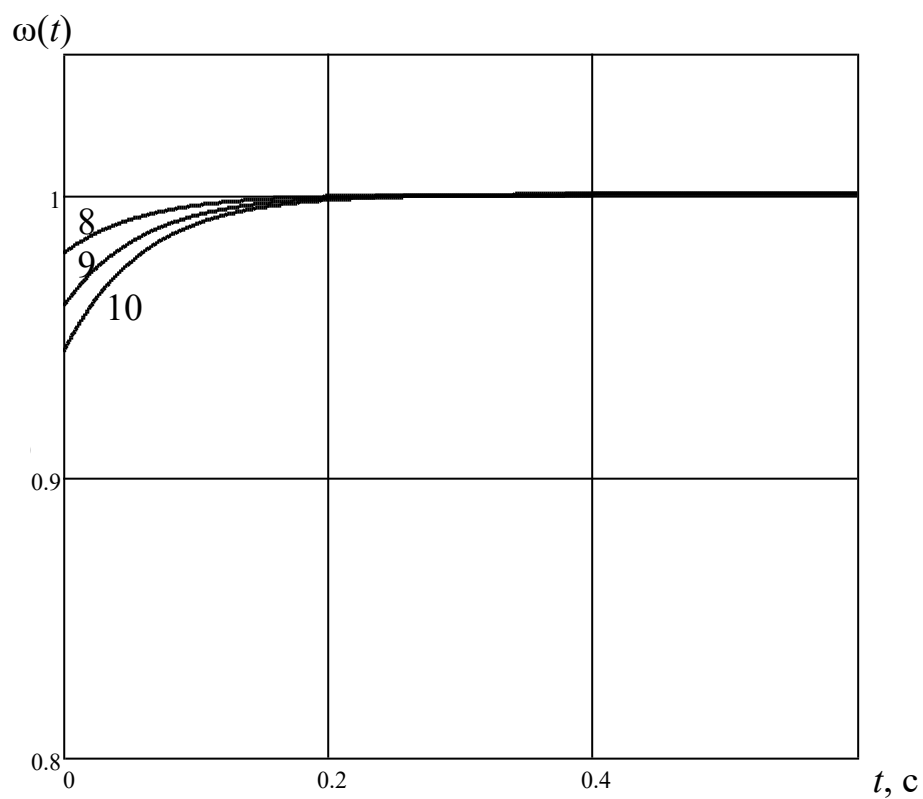
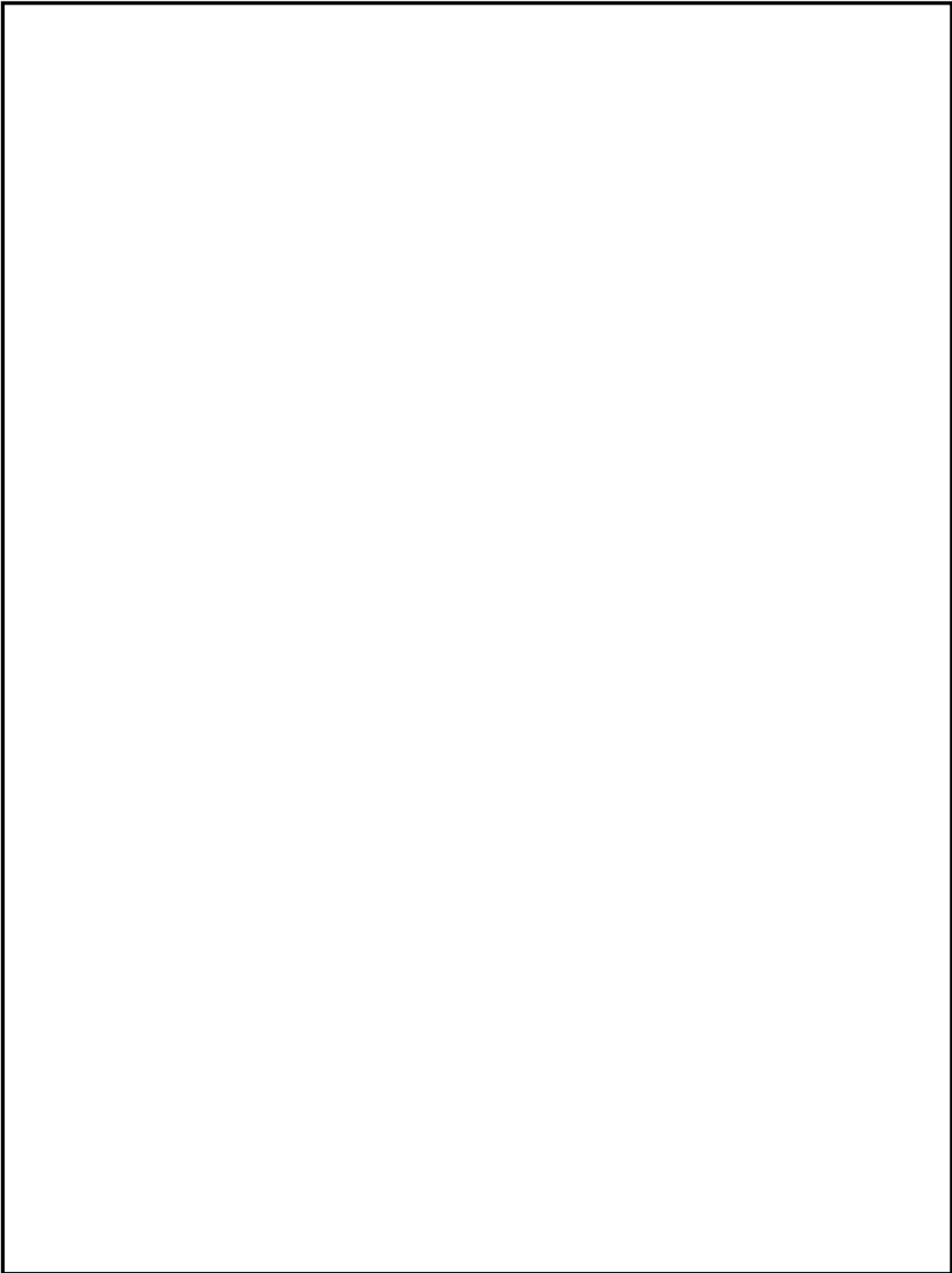


Рис. 3.7. Залежність зміни частоти генератора відповідно при сумісній роботі двигунів і генераторів з різними навантаженнями для 8...10 випадків



					141.4367ст3.ДР.ПЗ.Р4				
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					
Розробив		Сєднєв Д.А.			РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ	Лист.	Арк.	Архивіш	
Перевірив							66	15	
						НУК			
Н. Контр.									
Затверд.		Обрубов А.В.							

4.1. Загальні положення

Охорона праці – це система правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів та засобів, спрямованих на збереження життя, здоров'я і працездатності людини у процесі трудової діяльності

Організація охорони праці на підприємстві — це цілісна система прав, обов'язків та повноважень суб'єктів виробничого процесу, процедур, спрямованих на дотримання безпечного рівня виробництва, правил та нормативних вимог, які регулюють питання найманої праці.

Державна політика в галузі охорони праці визначається відповідно до Конституції України Верховною Радою України і спрямована на створення належних, безпечних і здорових умов праці, запобігання нещасним випадкам та професійним захворюванням. Державна політика в галузі охорони праці базується на принципах:

- пріоритету життя і здоров'я працівників, повної відповідальності роботодавця за створення належних, безпечних і здорових умов праці;
- підвищення рівня промислової безпеки шляхом забезпечення суцільного технічного контролю за станом виробництв, технологій та продукції, а також сприяння підприємствам у створенні безпечних та нешкідливих умов праці;
- комплексного розв'язання завдань охорони праці на основі загальнодержавної, галузевих, регіональних програм з цього питання та з урахуванням інших напрямів економічної і соціальної політики, досягнень в галузі науки і техніки та охорони довкілля;
- соціального захисту працівників, повного відшкодування шкоди особам, які потерпіли від нещасних випадків на виробництві та професійних захворювань;
- встановлення єдиних вимог з охорони праці для всіх підприємств та суб'єктів підприємницької діяльності незалежно від форм власності та видів діяльності;

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

- адаптації трудових процесів до можливостей працівника з урахуванням його здоров'я та психологічного стану;
- використання економічних методів управління охороною праці, участі держави у фінансуванні заходів щодо охорони праці, залучення добровільних внесків та інших надходжень на ці цілі, отримання яких не суперечить законодавству;
- інформування населення, проведення навчання, професійної підготовки і підвищення кваліфікації працівників з питань охорони праці;
- забезпечення координації діяльності органів державної влади, установ, організацій, об'єднань громадян, що розв'язують проблеми охорони здоров'я, гігієни та безпеки праці, а також співробітництва і проведення консультацій між роботодавцями та працівниками (їх представниками), між усіма соціальними групами під час прийняття рішень з охорони праці на місцевому та державному рівнях;
- використання світового досвіду організації роботи щодо поліпшення умов і підвищення безпеки праці на основі міжнародного співробітництва.

4.2. Техніка безпеки при ремонті суднового електрообладнання

При розробці і впровадженні електрообладнання основна увага приділяється техніці безпеки та електробезпеки нового обладнання.

Правила техніки безпеки та електробезпеки в рівній мірі відносяться як до експлуатації, так і до проведення ремонту та технічного обслуговування, оскільки несправне обладнання може служити причиною нещасних випадків і травм на виробництві. Тому правила техніки безпеки і електробезпеки регламентуються наступними основними документами: Регістр; Правила класифікації та побудови морських суден; Правила технічної експлуатації електроустановок; Правила техніки безпеки при експлуатації електроустановок споживачів.

Ремонтні роботи вироблені в суднових електроустановках, можуть проводитися:

					141.4367ст3.ДР.ПЗ	Арк.
						68
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- 1) при частковому знятті напруги;
- 2) при повному знятті напруги;
- 3) без зняття напруги.

При ремонті електричної частини лебідки проводяться роботи, пов'язані з ремонтом або профілактикою виконавчого двигуна, станції управління лебідкою і автоматичного командоконтроллера. Роботи по ремонту виконавчого двигуна і схеми управління виробляються при повністю знятій напрузі; ремонт автоматичного контролера може здійснюватися при частково знятій напрузі.

Для проведення ремонтних робіт необхідно підготувати робоче місце. Для цього повинні бути виконані наступні заходи:

1. Необхідно відключити харчування на панелі головного розподільного щита, або на панелі розподільного щита лебідок. При цьому на пакетний вимикач повинна бути повішена попереджувальна табличка: «Не включати, працюють люди!»

2. Необхідно переконатися у відсутності напруги на струмопровідних частинах.

Перевірка відсутності напруги слід провадити між усіма фазами та кожною фазою по відношенню до «землі». Перед перевіркою необхідно переконатися в справності застосовуваного приладу або показчика шляхом перевірки їх на струмопровідних частинах, свідомо що знаходяться під напругою, або за допомогою спеціального приладу. Показчик напруги або інший прилад, застосовуваний для перевірки, повинні бути розраховані на номінальну лінійну напругу електроустановки. Якщо перевіряється таким чином прилад падав або був підданий ударам, то необхідна повторна перевірка.

3. Робоче місце повинно бути не захищені і мати хороше освітлення, всі інструменти і пристосування повинні бути справними і правильно налаштованими; рукоятки кусачок, плоскогубців і викруток повинні бути

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

зроблені з ізоляційних матеріалів. Після прийняття зазначених запобіжних заходів можна безпосередньо приступати до профілактики або ремонту автоматичної швартовні лебідки.

У розробленому електроприводі дипломного проекту існує ряд зон, які вимагають в процесі експлуатації підвищеної уваги від обслуговуючого персоналу. Це елементи схеми з харчуванням від суднової мережі 440 В:

- а) силова схема перетворювача частоти;
- б) асинхронний двигун;
- в) блок живлення;
- г) перетворювачі та вимірювальні датчики.

Як наслідок цього техніки безпеки та електробезпеки передбачають:

- 1) кваліфіковане обслуговування електроприводу особовим складом;
- 2) огляд може провадити особа з рядового або командного електротехнічного персоналу;
- 3) підключення і відключення окремих блоків або вузлів проводиться при знятому загальному напрузі;
- 4) при ремонті і наладці електрообладнання сторонні особи поблизу робочого місця знаходитися не повинні;
- 5) перед включенням необхідно перевірити наявність, якість і надійність всіх видів заземлення і величину опору ізоляції, справність сигналізації та систем захисту.

Крім цього необхідно виконання деяких інших пунктів з метою дотримання техніки безпеки та електробезпеки.

- 1) При роботі під напругою необхідно мати в наявності:
 - а) діелектричні рукавички;
 - б) килимок;
 - в) калоші;
 - г) інструмент з ізольованими ручками, заздалегідь пройшли випробування в лабораторії з зазначеними на них термінами придатності.

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

2) Усі висувні частини шаф тиристорного перетворювача частоти повинні мати внутрішнє кріплення, а при необхідності фіксуватися висунутому стані.

4.3. Система пожежогасіння для захисту працюючих на судні

Дія системи водогасіння засноване на принципі охолодження палаючого предмета і припинення до нього доступу кисню шляхом створення навколо цього вогнища атмосфери, що не підтримує процес горіння і насиченою утворюються при випаровуванні води парами. Систему водогасіння використовують для гасіння пожеж у внутрішніх приміщеннях, на відкритих палубах, надбудови, але вона мало ефективна для гасіння пожежі в товщі вантажу і трюмах суховантажних суден. Цією системою можна користуватися при гасінні палаючого електричного обладнання, акумуляторних, ліхтарних, малярних, а також гасінні нафтопродуктів на танкерах.

До системи водогасіння пред'являються наступні основні вимоги:

- в будь-яку можливу точку пожежі на судні вода повинна подаватися не менше ніж двома струменями від незалежних пожежних різків;
- висота струменів повинна бути не менше 12 м;
- продуктивність пожежних насосів повинна одночасно забезпечити включення двох різків і таких споживачів, як водо гасіння спринклерної системи, система водорозпиленних (для гасіння пожеж в машинному і котельному відділеннях), системи водяних завіс, системи піногасіння.

Система повинна забезпечити розгалуження різків таким чином, щоб на відкритих палубах і довгих коридорах різки встановлювалися б на відстані один від одного не менше 20 м. У внутрішніх приміщеннях корпусу і надбудов різки розміщують в коридорах біля трапів і біля входів в приміщення. У машинному і котельному відділеннях відповідно встановлюються по два різка. Біля кожного пожежного різка розміщують рукава з ручними стволами. На відкритих палубах довжина рукавів складає 20, а у внутрішніх приміщеннях-10 м. Діаметр парусинових рукавів повинен бути не менше 50 мм, внутрішній діаметр насадки не менше 13 мм.

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

Такі матеріали, як горючі рідини, волокнисті речовини та інші, можна гасити шляхом зниження в зоні вогнища кількості кисню за рахунок введення в приміщення водяної пари або інертних газів. Система парогасіння на судах є найбільш ефектною при гасінні пожеж у вантажних трюмах, паливних і масляних цистернах, котелень, машинних і вантажних насосних відділеннях, малярних та інших приміщеннях. У парогасіння використовується насичена пара з тиском 6...7 кг/см². На судні може бути 1-2 або більше станцій парогасіння, від яких пар з незалежних труб надходить в приміщення, що охороняються. Діаметр труб підбирається так, щоб приміщення можна було заповнити паром не більше ніж за 15 хв. Відкриті отвори відростків розташовуються у верхніх частинах ємностей, службовців для зберігання нафтопродуктів, а в суховантажних трюмах – на висоті 0,8...1,0 м від настилу підлоги.

Хімічна піна являє собою продукт реакції лужних і кислотних розчинів в присутності стабілізаторів, а повітряно-механічна піна – механічну суміш піноутворювача, води і повітря. Для отримання хімічної піни застосовують, наприклад, суміш сірчаноокислого алюмінію і каоліну з добавками екстракту лакричного кореня і інші склади у вигляді порошку.

На судах широке поширення отримав піногенератор ПГ-50-С, застосовуваний в системах для вироблення хімічної піни. Порошок засипається в бункер, який має захисну сітку, і через безповоротний клапан підсмоктується потоком води. Від змішування порошку і води в вихідному дифузори і трубопроводах за піногенератором утворюється піна. Хімічна піна є досить ефективним засобом гасіння пожежі в машинно-котельних відділеннях, в паливних відсіках та інших приміщеннях. Однак системи хімічного піногасіння мають ряд недоліків, які дають підставу на нових судах віддати перевагу системам, який виробляє повітряно-механічну піну. До недоліків можна віднести, наприклад, руйнування піни при посиленні її через трубопровід, що перевищує довжину 60...80 м, при тривалому зберіганні пінопорошок бгається і втрачає піноутворюючі якості.

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

Для отримання повітряно-механічної піни в якості піноутворювача використовують не порошок, а піноутворюючу рідину, при взаємодії якої з водою і повітрям утворюється піна. Застосовується прісна і морська вода, але інтенсивність піноутворювача при морській воді дещо менша. У схемі станції повітряно-механічного піногасіння піна утворюється безпосередньо за резервуаром, що зберігає суміш піноутворювача з прісною водою. Від системи стисненого повітря по трубопроводу до резервуару подається повітря, коли відкривається клапан. Суміш піноутворювача з водою витісняється з резервуара повітрям по сифонної, в якій є отвір, розташоване під вільним рівнем рідини в резервуарі. Через отвір повітря також потрапляє в сифонну трубку і, насичуючи суміш піноутворювача з водою, сприяє утворенню повітряно-механічної піни. За пінопроводу піна надходить в приміщення, що охороняється (на ділянку пожежі) і за допомогою крана, шланга і крана з соплом подається на вогнище пожежі. Як правило, систему обслуговують дві станції, розосереджені в окремих відсіках. Щодо усунення пожежі система продувається повітрям. Практично на 1 м³ воздушно-механической піни необхідно 1...1,5 кг піноутворювача і 100 л води.

Для гасіння пожеж легкозаймистих рідин, волокнистих матеріалів та знаходиться під напругою електричного обладнання застосовується вуглекислота. Запаси вуглекислоти зберігаються на станціях вуглекислотного гасіння в сталевих балонах ємністю 40 л, розміщених групами (батареями). Розташування приміщень для вуглекислотних станцій підбирається таким чином, щоб воно було ізольовано від житлових і службових приміщень газонепроникними перегородками. Вуглекислотне приміщення обов'язково повинно мати безпосередній вихід на палубу, хорошу вентиляцію і теплову ізоляцію стін. Температура приміщень не повинна бути вище + 40 ° С і нижче + 2 ° С В вуглекислотних станціях балони розміщують зазвичай двома-трьома групами (батареями), причому кожна група, що складається більш ніж з 6 балонів, має ручне управління пуску, здійснюване переміщенням штанги або

					141.4367ст3.ДР.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		73

натягом троса зусиллям однієї людини. Ручне управління використовується в якості резервного, при наявності пневматичного або електричного приводу на більшій батареї.

4.4. Визначення загальних запасів палива, масла і води

Загальні запаси палива, масла і води визначаються на період автономного плавання судна, прийнятого проектантом з урахуванням басейну, в якому повинно експлуатуватися судно.

Запаси палива і масла визначаються за виразами:

$$B_T = ((g_e \cdot N_e + g'_e \cdot N'_e) \cdot t_x + g''_e \cdot N''_e \cdot t_{ст} + B_K \cdot t_x) \cdot 10^{-3};$$

$$B_M = ((g_m \cdot N_e + g'_m \cdot N'_e) \cdot t_x + g''_m \cdot N''_e \cdot t_{ст} + G_K) \cdot 10^{-3},$$

де g_e, g'_e, g''_e – питомі витрати палива на головні і допоміжні двигуни, кг/(кВт·год);

g_m, g'_m, g''_m – питомі витрати масла на головні і допоміжні двигуни, кг/(кВт·год);

N_e, N'_e, N''_e – потужність головних і допоміжних двигунів, кВт;

$t_x, t_{ст}$ – ходовий і стояночний час судна, год;

B_K – витрати палива на котел, кг/год;

G_K – сумарна кількість масла, що заливається в циркуляційні системи двигунів, т.

Запаси палива і масла складають:

$$B_T = ((0,5 \cdot 200 + 1,2 \cdot 100) \cdot 120 + 1,2 \cdot 100 \cdot 15 + 15 \cdot 120) \cdot 10^{-3} = 30 \text{ т};$$

$$B_M = ((0,191 \cdot 200 + 0,204 \cdot 100) \cdot 120 + 0,204 \cdot 100 \cdot 15 + 1,2) \cdot 10^{-3} = 7,34 \text{ т}.$$

Ємність цистерн для зберігання цих запасів палива і масла рівні:

$$B_T = 1,2 \cdot B_T / \rho_T = 1,2 \cdot 30 / 0,83 = 43,37 \text{ м}^3;$$

$$B_M = 1,2 \cdot B_M / \rho_M = 1,2 \cdot 7,34 / 0,91 = 9,68 \text{ м}^3.$$

Продуктивність опріснювальної установки визначається за виразом

$$Q_{ст} = m \cdot n(q_p/20)/1000 = 1,3 \cdot 24(50/20)/1000 = 0,078 \text{ м}^3/\text{год},$$

					141.4367ст3.ДР.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		74

де $q_p/20$ – годинна величина витрати води на одну людину при розрахунковому часу роботи станції протягом 20 годин на добу рот умові $q_p = 50$ л/(чол); $q_p/20 = 50/20$ л/(чол·год);

n – кількість членів екіпажу, $n = 24$ чол.;

m – коефіцієнт запасу, при використанні води від опріснювальної установки тільки для питних цілей і миття застосовується $m = 1,05$; якщо від опріснювальної установки подається вода і для технічних цілей, коефіцієнт запасу приймається для вантажних та буксирних суден $m = 1,3$.

На суднах з опріснювальною установкою повинні передбачатися ємності, які служать в якості накопичувачів очищеної і знезараженої води і забезпечують судно під час пікових витрат і в разі короткочасного вимикання опріснювальної установки для обслуговування, ремонту. Накопичувальні ємності можуть бути об'єднані з витратними ємностями, що служать для створення напору в системі.

Обсяг накопичувальних ємностей для забезпечення пікових витрат води на суднах з опріснювальною установкою повинен бути не менше визначеного за виразом

$$V_n = 2 \cdot K \cdot n (q_p/20)/1000 = 2 \cdot 4 \cdot 24 (50/20)/1000 = 0,48 \text{ м}^3,$$

де K – коефіцієнт нерівномірності водоспоживання; величину K рекомендується приймати для вантажних і буксирних суден I гр. $K = 3,8 \dots 4,0$.

Внутрішня поверхня накопичувальної ємності повинна покриватися стійким до дії знезаражуючого реагенту (хлор, озон) синтетичним антикорозійним покриттям.

На суднах I групи з опріснювальною установкою рекомендується передбачати запасні ємності заборотної води з метою забезпечення роботи станції під час проходження найбільш забруднених ділянок басейнів або стоянки в портах, де заборонений прийом заборотної води.

Обсяг запасних ємностей заборотної води може бути визначений виходячи з розрахункової величини витрати на 1 людину, кількості пасажирів

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

і екіпажу і часу проходження забрудненої ділянки або стоянки на забрудненій акваторії за виразом

$$V_3 = t \cdot n \cdot (q_p/20)/1000 = 50 \cdot 24 \cdot (50/20)/1000 = 3 \text{ м}^3,$$

де t – час проходження забрудненої ділянки або стоянки в порту із забрудненою акваторією; для вантажних і буксирних суден І гр. $t = 40 \dots 50$ годин.

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

В дипломній роботі вирішена задача розробки електроенергетичної системи лісовоза типу «Судак». В цілому по роботі можна зробити наступні висновки:

1. Перевагою дизель-генераторних установок є: постійна готовність до швидкого запуску і можливість швидкого прийому навантаження; мала ступінь нерівномірності обертання – не більше $1/150 \dots 1/200$ (а при їх паралельному включенні $1/250 \dots 1/300$); максимальна автономність систем і агрегатів, що обслуговують двигун.

2. Обрано два основні генератори активною потужністю 100 кВт кожний, один резервний з активною потужністю 100 кВт і один аварійний генератор з потужністю 50 кВт.

3. Розрахунки перехідних процесів в електроенергетичній системі при пуску, самозапуску і переключенні як одиночних потужних асинхронних двигунів та їх груп є обов'язковими, зважаючи на те, як сильно знизиться напруга і частота мережі, що може привести до розбалансування системи.

4. Ефективним способом зменшення провалу напруги і частоти є попереднє забезпечення «гарячого» резерву генераторних потужностей.

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

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

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/>

					141.4367ст3.ДР.ПЗ	Арк.
						80
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		