



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

Навчально науковий інститут автоматики та електротехніки

Кафедра суднових електроенергетичних систем

«Допущений до захисту»

Завідувач кафедри

Обрубов А. В.

(підпис)

«05» червня 2026 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття першого освітнього рівня вищої освіти «бакалавр»

на тему:

**«Розробка електропривода швартовного пристрою для судна
«Boka Polaris»»**

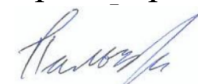
Виконав: студент групи 4301з



(підпис)

Котовський Д.Р.

Керівник роботи: к.т.н., доц. кафедри



(підпис)

Пальчиков О.О.

Миколаїв – 2026 р.



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

Навчально-науковий інститут автоматики та електротехніки

Кафедра суднових електроенергетичних систем
Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
Освітня програма «Електромеханіка та електроенергетика»

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Гарант освітньої програми

д. т. н., проф.

Волянська Я. Б.

«15» грудня 2026 р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ
на здобуття першого освітнього рівня вищої освіти «бакалавр»

Студенту Котовському Данилу Руслановичу

- Тема роботи: «Розробка електропривода швартовного пристрою для судна «Boka Polaris»»
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: Механізм швартовного пристрою судна «Boka Polaris»
- Перелік питань, що належать до розробки (найменування розділів):
 - Визначення параметрів електропривода швартовної лебідки.
 - Вибір конструктивної схеми швартовного пристрою судна «Boka Polaris».
 - Дослідження динамічних експлуатаційних режимів розробленого електропривода.
 - Охорона праці.
- Перелік презентаційних матеріалів:
 - Загальний вид і основні характеристики судна «Boka Polaris».
 - Технічні дані двигуна МАП 611 – 4/12.
 - Контакторна схема управління електропривода автоматичної швартовної лебідки.
 - Модель електропривода швартовної лебідки при вибиранні канату.
 - Модель електропривода швартовної лебідки при травленні канату.



3. 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

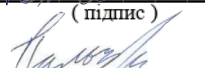
№ з/п	Назва етапів	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Визначення параметрів електропривода швартовної лебідки	10.04.2026 р.	Вик.
2.	Вибір конструктивної схеми швартовного пристрою судна «Волка Polarіs»	24.04.2026 р.	Вик.
3.	Дослідження динамічних експлуатаційних режимів розробленого електропривода	14.05.2026 р.	Вик.
4.	Охорона праці	21.05.2026 р.	Вик.

Студент

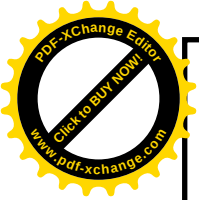

(підпис)

Котовський Д.Р.
(прізвище та ініціали)

Керівник ВКРБ


(підпис)

Пальчиков О.О.
(прізвище та ініціали)



АНОТАЦІЯ

У кваліфікаційній роботі розглянуто комплексну проблему експлуатаційного моделювання асинхронного електропривода швартовного пристрою. Зазначена проблема вирішується за допомогою аналізу конструктивних схем електроприводів швартовних пристроїв, вибору контакторно-частотної системи керування асинхронним двошвидкісним двигуном з короткозамкненим ротором, розробки елементної бази безпосереднього перетворювача частоти, розробки математичних моделей асинхронного двигуна та швартовного механізму, різних експлуатаційних режимах. Визначено область застосування запропонованих моделей та шляхи підвищення її точності. Розглянуто питання охорони праці.

Кваліфікаційна робота складається з 73 сторінок і включає 25 рисунків, 5 таблиць, графічна частина складає 7 сторінок. Під час виконання роботи використано наступне програмне забезпечення Matlab, AutoCad, Mathcad.

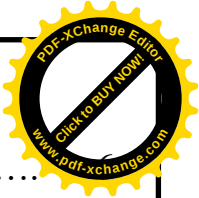
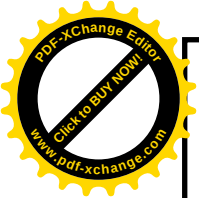
Ключові слова: електропривід швартовних пристроїв, асинхронним двошвидкісним двигуном з короткозамкненим ротором

ABSTRACT

In the qualification work, a complex problem of maintenance modeling of an asynchronous electric drive of a mooring device has been considered. This problem has been solved by analyzing the design diagrams of electric drives in mooring annexes, choosing a contactor-frequency control system for an asynchronous two-speed squirrel-cage motor, developing an element base for a direct frequency converter, developing mathematical models of an induction motor and a mooring mechanism, as well as modeling the statics and dynamics of the developed drive when different operating conditions. The scope of application of the proposed model and ways to improve its accuracy have been determined. The issues of labor protection were considered.

The qualification work consists of 73 pages and includes 25 drawings, 5 tables, the graphic part consists 7 pages. During the execution of the work Matlab, AutoCad, Mathcad have been used.

					141.43013.ДР.ПЗ	Арк.
						4
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

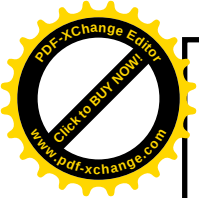


ЗМІСТ

ВСТУП	
РОЗДІЛ 1. ВИБІР КОНСТРУКТИВНОЇ СХЕМИ ШВАРТОВНОГО ПРИБОРУ СУДНА «ВОКА POLARIS»	8
1.1. Аналіз швартовних механізмів суден	9
1.2. Характеристика судна «Voka Polaris»	18
1.3. Визначення зусиль швартовного ланцюга судна «Voka Polaris».....	21
РОЗДІЛ 2. ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕКТРОПРИВОДА ШВАРТОВНОЇ ЛЕБІДКИ	23
2.1. Електродвигун швартовного пристрою	24
2.2. Статичні характеристики електродвигуна швартовного пристрою	26
2.3. Експлуатація електропривода швартовної лебідки	35
РОЗДІЛ 3. ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІЧНИХ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ РЕЖИМІВ РОЗРОБЛЕНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДА.....	47
3.1 Параметри для моделювання електропривода швартовної лебідки	48
3.2. Параметри перехідного процесу при вибиранні канату	49
3.3. Параметри перехідного процесу при травленні канату	52
РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ	56
4.1. Загальні положення	57
4.2. Аналіз небезпечних та шкідливих факторів, впливаючих на електромеханіка при експлуатації дизель-генераторних агрегатів	59
4.3. Розрахунок освітлення в кабінеті капітана	62
4.4. Заходи з техніки безпеки при експлуатації дизель-генераторних агрегатів	65
ВИСНОВКИ	71
ЛІТЕРАТУРА	73



					141.43013.ДР.ПЗ.Вс			
Зм.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата	ВСТУП	Лист.	Арк.	Аркушів
Розробив		Котовський Д.Р.						
Перевірив		Пальчиков О.О.					6	2
Н. Контр.								
Затверд.		Обрубов А.В.				НУК		

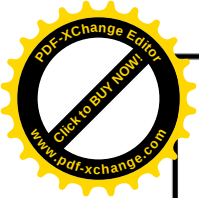


Суднові електроприводи – невід’ємна частина суден. Вони наводять такі механізми як: механізми машинно-котельного. відділення, вантажопідіймачі, крани, вантажні та шлюпкові лебідки, кермові пристрої. Зокрема, електропривод використовується для керування процесами постановки та зняття судна з якоря, а також для виконання швартовних операцій.

Існує ряд факторів, які ускладнюють роботу електропривода якірно-швартування: зовнішні умови (волога та температури); робота в автономній електромережі; підтримка необхідного тягового зусилля при малих швидкостях та робота на упор; часті пуски; підтримка оборотів електродвигуна при зміні навантаження на нього валу.

Оскільки автоматичні швартовні лебідки застосовуються лише на суднах із мережами змінного струму, електроприводи до них виконуються на основі використання багатошвидкісних короткозамкнених електродвигунів змінного струму. Системи з виконавчими електродвигунами постійного струму, які отримують живлення за системою Д-Г або через випрямлячі, що регулюються, у вітчизняній практиці не застосовуються. При контакторному управлінні електроприводами автоматичних швартовних лебідок з трьохшвидкісними короткозамкнутими електродвигунами силова схема повністю повторює силову частину швартовних механізмів, а в ланцюг управління на додаток до командоконтролера ручного управління включені датчики від зважувального пристрою, що дають команду на автоматичне травлення або пристрої контролю та сигналізації, виведені на пульт керування лебідкою.

					141.43013.ДР.ПЗ	Арк.
						7
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



					141.4301з.ДР.ПЗ.Р1			
Зм.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата				
Розробив		Котовський Д.Р.			РОЗДІЛ 1. ВИБІР КОНСТРУКТИВНОЇ СХЕМИ ШВАРТОВНОГО ПРИСТРОЮ СУДНА «ВОКА POLARIS»	Лист.	Арк.	Аркциів
Перевірив		Пальчиков О.О.					8	16
						НУК		
Н. Контр.								
Затверд.		Обрубов А.В.						

1.1. Аналіз швартовних механізмів суден

Швартування призначений для закріплення судна біля причалу або пспоруд. Елементи швартування:

- швартові – канати, що закріплюються одним кінцем на березі або іншій споруді;
- кнехти – служать для закріплення суднового кінця швартов;
- кіпові планки, клюзи-призначені для запобігання зламу та зменшення тертя швартовів;
- швартовні механізми – служать для підбирання (підтягування) та стопоріння швартов;
- в'юшки, банкетки – призначені для зберігання швартовів;
- кранці – служать для пом'якшення ударів при швартовці судна.

Загальна схема швартування представлена на рис. 1.1. На рис. 1.2 зображена схема швартування судна лагом.

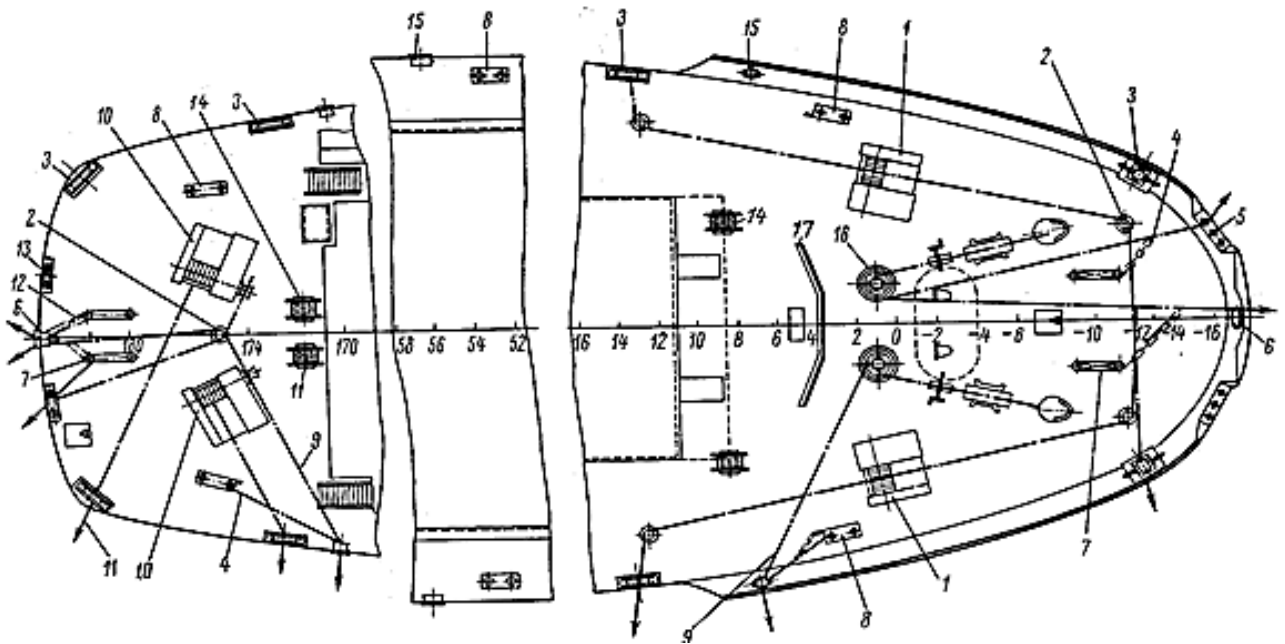


Рис. 1.1. Загальна схема швартування:

- 1 – лебідка швартовна автоматична; 2 – роульс напрямний; 3 – клюз швартовний шестирульський; 4 – стопор швартовного каната; 5 – кіпова планка з трьома роульсами; 6 – клюз буксирний; 7 – кнехт буксирний; 8 – кнехт швартовний; 9 – канат швартовний; 10 – лебідка швартовна автоматична з турочкою; 11 – швартів; 12 – стопор буксирного каната; 13 – кіпова планка з двома роульсами та наміткою; 14 – юшків безприводний з гальмом; 15 – клюз швартовний; 16 – шпіль якірно-швартовний; 17 – хвильовідбійник.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

141.4301з.ДР.ПЗ

Арк.

9

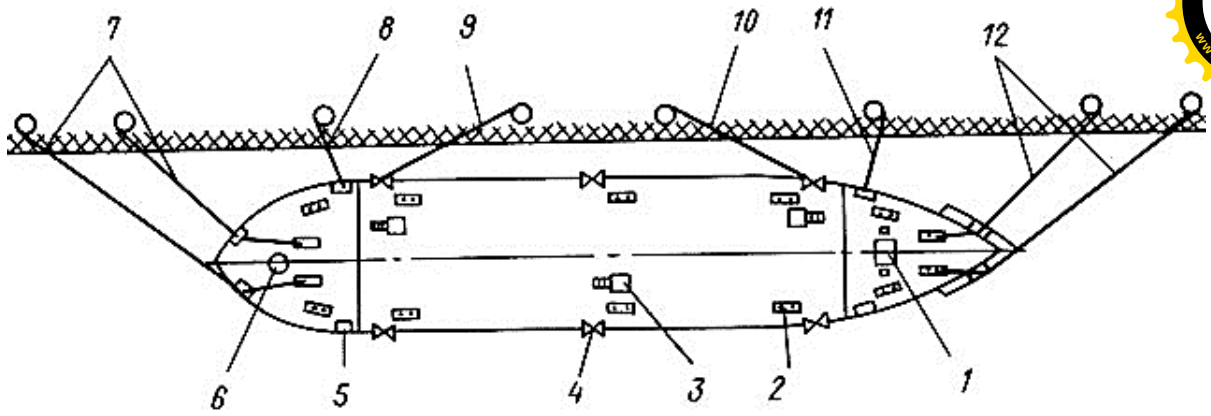


Рис. 1.2. Схема швартування судна лагом:

- 1 – брашпіль; 2 – кнехт; 3 – швартовна лебідка; 4 – клюз; 5 – кіпова планка,
6 – швартовний шпиль; 7 – кормові поздовжні; 8 – кормовий притискний;
9 – кормовий шпринг; 10 – носовий шпринг; 11 – носовий притискний;
12 – носові поздовжні.

Для підтягування швартів служать турочки брашпіля, швартовні шпилі, швартовні лебідки, автоматичні швартовні лебідки, багатобарабанні швартовні лебідки.

За відсутності швартовних лебідок, після підтягування швартова за допомогою механізмів, шварти необхідно застопорити, а потім перенести на кнехт і закріпити вісімками. Для стопорення швартова на нього накладаються тросові стопори зазвичай з того ж матеріалу, що і швартів, а іноді використовуються стаціонарні стопори.

Автоматичні швартовні лебідки підтримують зусилля у швартові в заданих межах за рахунок травлення або підбирання швартова. Якщо довжина швартова перевищить задану величину, то виключення аварії лебідка стопориться і подає звуковий сигнал

На автоматичних швартовних лебідках весь швартов знаходиться на барабанах, що значно спрощує роботи зі швартування та при зміні осаді судна. Але оскільки автоматичні лебідки громіздкі, то не вдається встановити кількість лебідок, що відповідає числу швартов, які зазвичай подає судно.

Автоматична швартовна лебідка фірми «Товімор» (рис. 1.3) складається з швартовного барабана 12 і турочки 7, що приводяться електродвигуном 17 через редуктор 23. Швартовний барабан вільно сидить на пустотілому валу водила 10 і

									Арк.
									10
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

робочий муфтою 15, рухлива напівмуфта якої переміщається рукояткою валу шестигранної форми. Стрічкове гальмо 14 утримує барабан від оберти при вимкненій кулачковій муфті. Турачка 7 жорстко сидить на робочому валу та обертається на всіх режимах роботи швартівної лебідки. Передбачається можливість встановлення якірної приставки замість турки.

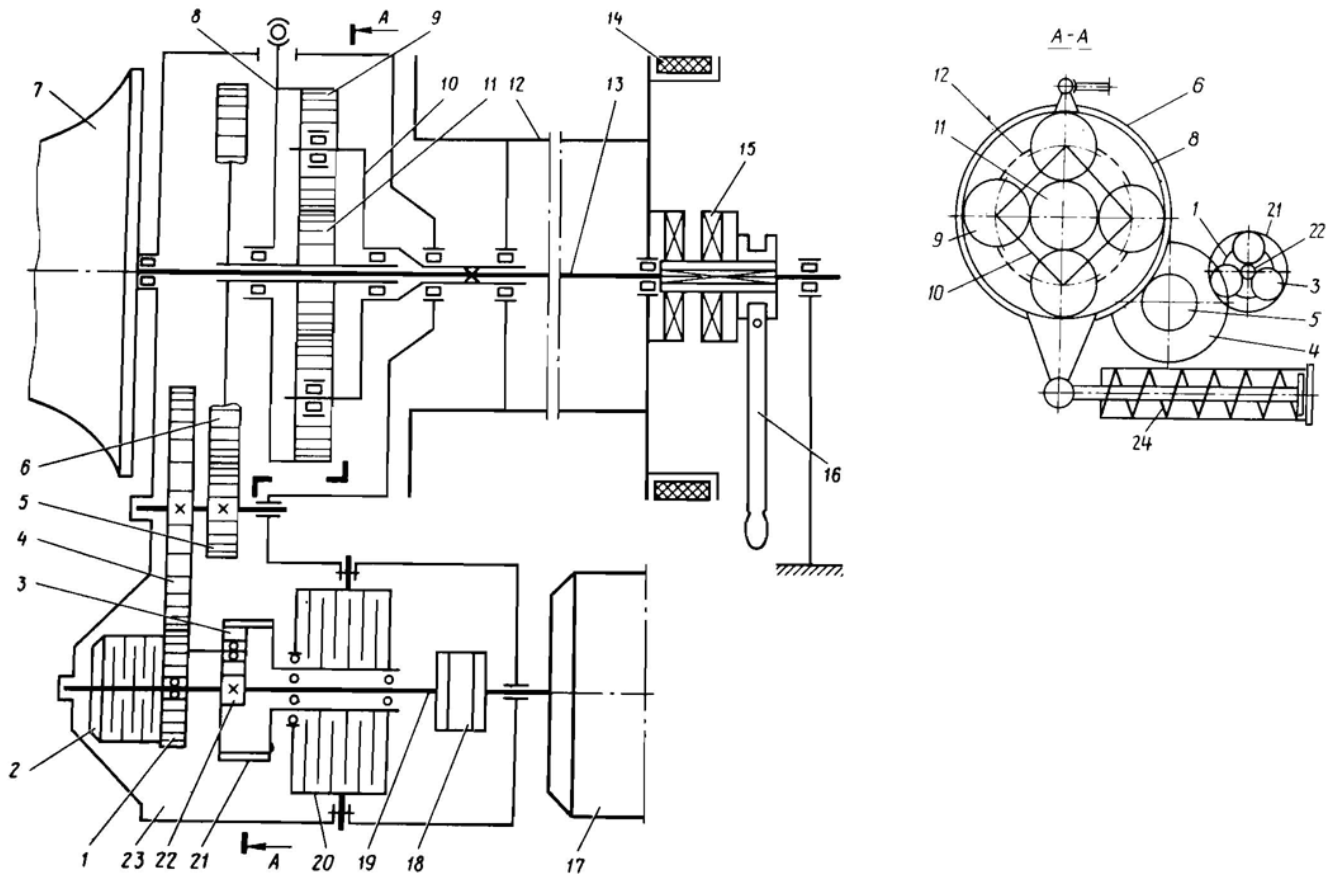


Рис. 1.3. Автоматична швартівна лебідка з електроприводом фірми «Товімор»

Редуктор 23 двошвидкісний, може працювати в номінальному та прискореному режимах. Останній використовується для вибору ненавантаженого каната. Електродвигун 17 з перемиканням кількості пар працюючих полюсів має три частоти обертання для кожного із зазначених режимів роботи редуктора. Найбільше тягове зусилля на барабані 122,6 кН, на турачку – 108,9 кН.

Управління електродвигуном 17 та редуктором 23 у ручному режимі здійснюється від колонки командоконтролера (рис. 1.4). Ручний або автоматичний режим роботи встановлюються перемикачем 6 розташованим на бічній стінці колонки. Для роботи швартовного барабана в режимі ручного



управління необхідно включити кулачкову муфту 15 (рис. 1.3) і відпустити гальмо 14. Вихідне положення рукоятки 3 (рис. 1.4) командоконтролера відповідає положенню «стоп», праворуч – «вибирати». Кожен із зазначених режимів має три швидкості, що включаються рукояткою послідовно.

Увімкнення редуктора на потрібний режим роботи проводиться рукояткою 2. Вихідне положення рукоятки відповідає включенню редуктора на номінальний режим роботи, відхилення рукоятки вліво та утримання в цьому положенні призводять до перемикавання редуктора на прискорений режим. Відпущена рукоятка 2 повертається пружною у вихідне положення.

Кнопка безпеки 1 служить для екстреної зупинки електродвигуна. Сигнальна лампа 4 спалахує при перевантаженні, сигнальна лампа 5 при включенні автоматичного режиму.

В автоматичному режимі керування лебідкою здійснюється командоконтролером, вбудованим у корпус редуктора. Командоконтроллер автоматично вмикає електродвигун на режим «травити» при збільшенні натягу каната і режим «вибирати» при зменшенні натягу порівняно із заданим на 20...30 кН і зупиняє електродвигун при досягненні заданого зусилля натягу.

Для роботи турочкою необхідно увімкнути гальмо 14 (рис. 1.3) та роз'єднати муфту барабана 15. Перемикач 6 (рис. 1.3) встановити на ручний режим роботи.

Редуктор 23 (рис. 1.3) змонтований в литому корпусі і являє собою чотириступінчасту зубчасту передачу. Перший ступінь (планетарна передача 21, 22, 3 з дисковою електромагнітною муфтою 2 і дисковим електромагнітним гальмом 20) забезпечує включення номінального або прискореного режиму. Другий і третій щаблі складаються з косозубих циліндричних шестерень 1, 4, 5, 6. Четверта планетарна щабель 8, 9, 10, 11 передає крутний момент на робочий вал 13 лебідки і виконує функцію силовимірювального пристрою. Цей пристрій вимірює значення зусилля, на яке натяг каната відхиляється від заданого, і передає механічний сигнал керування на командоконтроллер автоматичного режиму.

					141.4301з.ДР.ПЗ	Арк.
						12
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

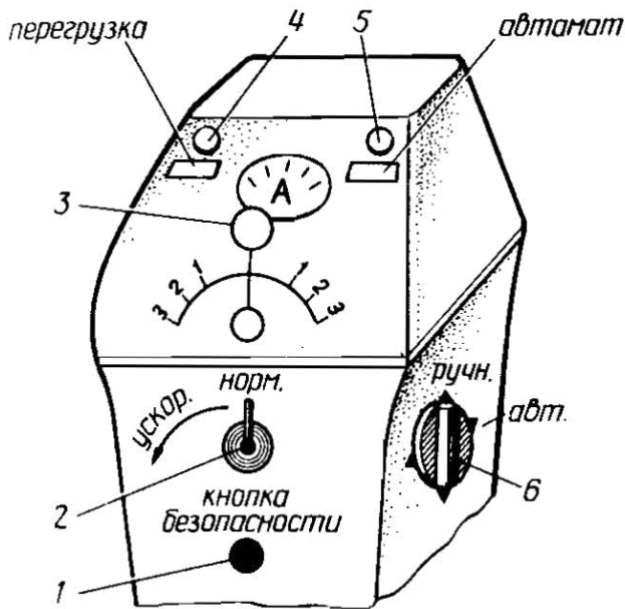


Рис. 1.4. Колонка командоконтролера
лебідки

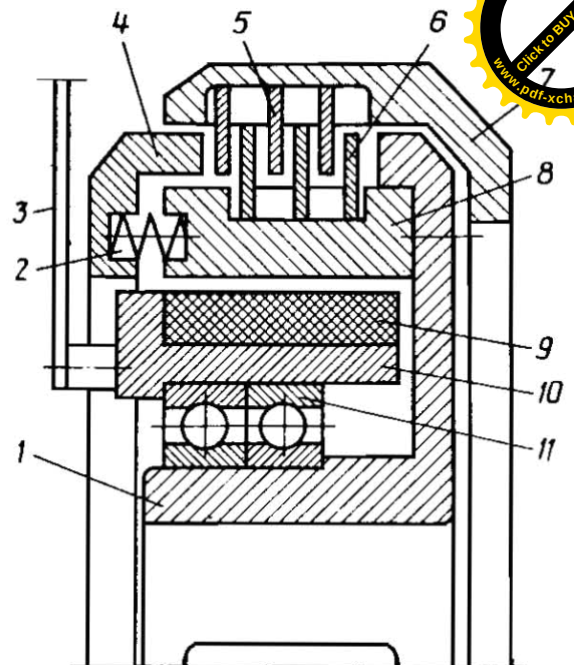


Рис. 1.5. Електромагнітна
дискова муфта

Електромагнітна дискова муфта (рис. 1.5) маточкою 1 встановлюється на валу першого ступеня редуктора на шпонці або шліцях. До ступиці кріпиться втулка 8, в пазах якої в осьовому напрямку можуть переміщатися внутрішні фрикційні диски 6. З ними чергуються зовнішні диски корпусу 5 7, на який при стиснутих дисках передається крутний момент. Стиснення дисків виконується якорем 4 під дією електромагнітного поля котушки 10 з обмоткою 9. Котушка встановлена на маточці на підшипниках 11 і струмопідвідним пристроєм 3 утримується від обертання. За відсутності живлення якір 4 віджимається пружинами 2, стиснення пластин слабшає.

Залишковий момент, що крутить, у вимкненому положенні становить 0,5-3,0 % номінального. Муфта, розімкнена за відсутності живлення в котушці електромагніта, називається нормально розімкнутою.

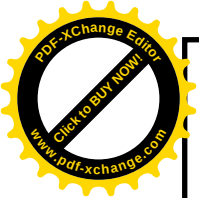
Дискове фрикційне гальмо 20 (рис. 1.3) має аналогічний принцип дії, але є нормально замкненим: за відсутності живлення фрикційні пластини стискаються сильними пружинами, що впливають на них через якір, і гальмо утримує від обертання зубчастий вінець 21.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

141.4301з.ДР.ПЗ

Арк.

13



У номінальному режимі дискова муфта 2 розімкнута, а гальмо 20 замкнене, оскільки живлення до обмотування котушок не підводиться. Обертання електродвигуна 17 через еластичну муфту 18 передається на центральну шестерню 22 і три сателіти 3, які оббігають по зубцях загальмованого вінця 21 і обертають шестерню 1, що є водієм планетарної передачі. Обертання через другий і третій ступені передається на порожнистий вал шестерні 6 і сидить на ньому центральну шестерню 11 планетарної передачі четвертого ступеня. Зубчастий вінець цієї передачі 8 утримується від обертання пружиною 24 силовимірювального пристрою. Обертання від центральної шестерні 11 передається чотирьом сателітам 9, що обігає по зубцях вінця 8 у бік, протилежний їх обертанню. Сателіти 9, переміщуючись поступально, обертають водило 10 і жорстко з'єднаний з ним 13 робочий вал лебідки.

При включенні прискореного режиму живлення підводиться до електромагнітів муфти 2 і гальма 20, при цьому муфта буде замкнута, а гальмо розімкнута. Шестерня-водило 1 з'єднується з валом 19 і вимкне планетарну передачу, оскільки шестерні 22 і, обертаючись з однаковою частотою, переноситимуть сателіти 3 по кільцевій орбіті без обертання навколо своїх осей. Разом з сателітами буде обертатися зубчастий вінець 21. Таким чином, всі елементи передачі виявляються жорстко пов'язаними між собою і її передавальне число стає рівним одиниці. При незмінному передатному числі другого, третього і четвертого ступенів частота обертання барабана 12 і турачки 7 збільшується.

Командоконтроллер автоматичного режиму лебідки (рис. 1.6) складається з двох кулачкових барабанів 12 і 15, що жорстко сидять на валу 11. При повороті вала кулачки впливають на мікровимикачі В1 - В8, що замикають електричні ланцюги управління, блокування та сигналізації. Мікровимикачі В6, В7, В8 закріплені в корпусі нерухомо. Мікровимикачі В1, В2, В3, В4, В5 встановлені на рухомий траверсі 13. При обертанні рукоятки 20 через шестерні 19 і 18 зубчастий диск 17 повертає траверсу 13 щодо валу П. Стрілка 14 при цьому переміщається за шкалою указателя.

					141.4301з.ДР.ПЗ	Арк.
						14
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вал 11 командоконтролера наводиться від зубчастого вінця 6 ред. кт. через систему важелів 7, із зворотною пружиною 8, зубчастий сектор 9 і кон. шестерню 10. При натягу каната 1, що сходить з нижньої частини барабана 5, зубчастий вінець 6 повертається за годинниковою стрілкою (з боку турачки) і переміщує шток 23, стискаючи пружину 21 в циліндрі 22 силовимірювального пристрою до зусилля, пропорційного зусилля натягу каната. При цьому стрілка 16, повертаючись з валом I фіксує на шкалі показчика фактичне зусилля натягу каната.

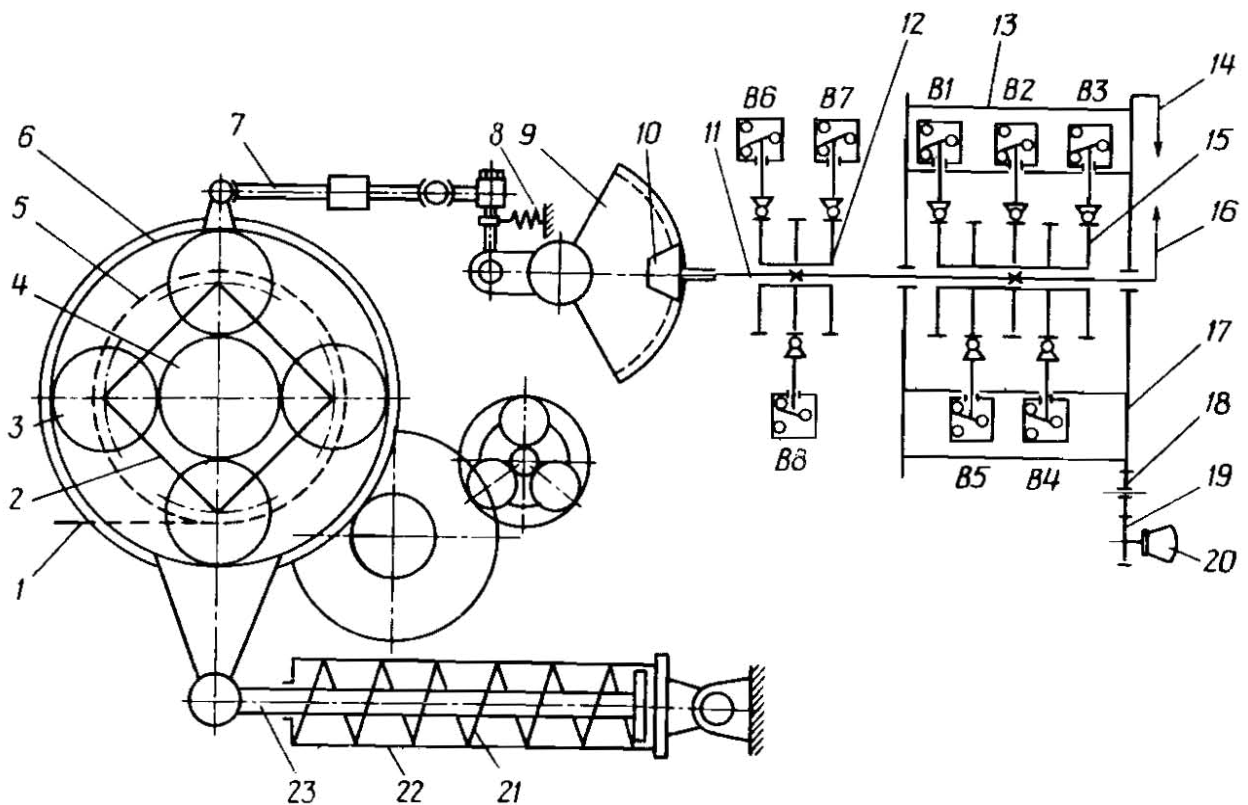


Рис. 1.6. Автоматична система управління лебідкою

Для переходу на режим автоматичного керування після встановлення стрілки 14 на задане зусилля натягу каната включають лебідку на режим ручного управління і вибирають канат до суміщення стрілки 16 зі стрілкою 14 на шкалі вказівника. Це положення відповідає вихідній позиції кулачкових барабанів 12 і 15 щодо мікрореле B6 - B8 B1 - B5 при заданому зусиллі натягу каната.

При послабленні натягу на 20...30 кН пружина 21 силовимірювального пристрою поверне вінець 6 і вал 11 проти годинникової стрілки. Кулачок

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

141.4301з.ДР.ПЗ

Арк.

15



барабана 15 замкне мікрореле В2 і включить лебідку на режим "вибір першу швидкість. При великій слабіні каната пружина продовжить поворот кулачкового барабана 15 і послідовно замкне контакти мікрореле В4 і В5, включаючи другу та третю швидкості. При натягу каната до заданого зусилля вінець 6, пружина 21, кулачковий барабан 15 і стрілка 16 повернуться у вихідне положення та електричні ланцюги управління розімкнуться.

При збільшенні натягу на 20...30 кН швартовний канат поверне барабан 5 лебідки, водило 2 з сателітами 3 і зубчастий вінець 6 за годинниковою стрілкою щодо нерухомої шестерні 4, збільшивши стиснення пружини 21. Кулачковий барабан 15 теж. Нормально замкнене гальмо електродвигуна при цьому розімкнеться, але пуск електродвигуна залишиться заблокованим. Канат витравлюватиметься під дією зовнішнього зусилля, обертаючи барабан, всі щаблі редуктора і якор електродвигуна.

Якщо натяг каната буде слабшати, пружина 21 поверне вінець 6 і кулачковий барабан 15 у вихідне положення. Якщо інтенсивність натягу каната перевищить швидкість його витравлення, відбудеться подальший поворот вінця 6 і кулачкового барабана 15, послідовно замкнуться контакти мікрореле В4 і В5, включивши Другу і третю швидкості електродвигуна в режим "трюїти". У міру ослаблення натягу каната пружина 21 розтискатиметься, повертаючи вінець 6, кулачковий барабан 15 і стрілку 16 у вихідне положення, при якому електричні ланцюги управління розімкнуться.

Інші мікрореле мають таке призначення: В1 - підготовка ланцюга керування при включенні автоматичного режиму; В6, В8 - сигналізація навантаження при номінальному та прискореному режимах роботи; В7 - відключення ланцюгів керування в автоматичному режимі під час перевантаження.

На рис. 1.7 зображена схема комбінованого електроприводу автоматичної швартовної лебідки з двошвидкісним двигуном і паралельним включенням перетворювача частоти з безпосереднім зв'язком (показана тільки силова частина).

					141.43013.ДР.ПЗ	Арк.
						16
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

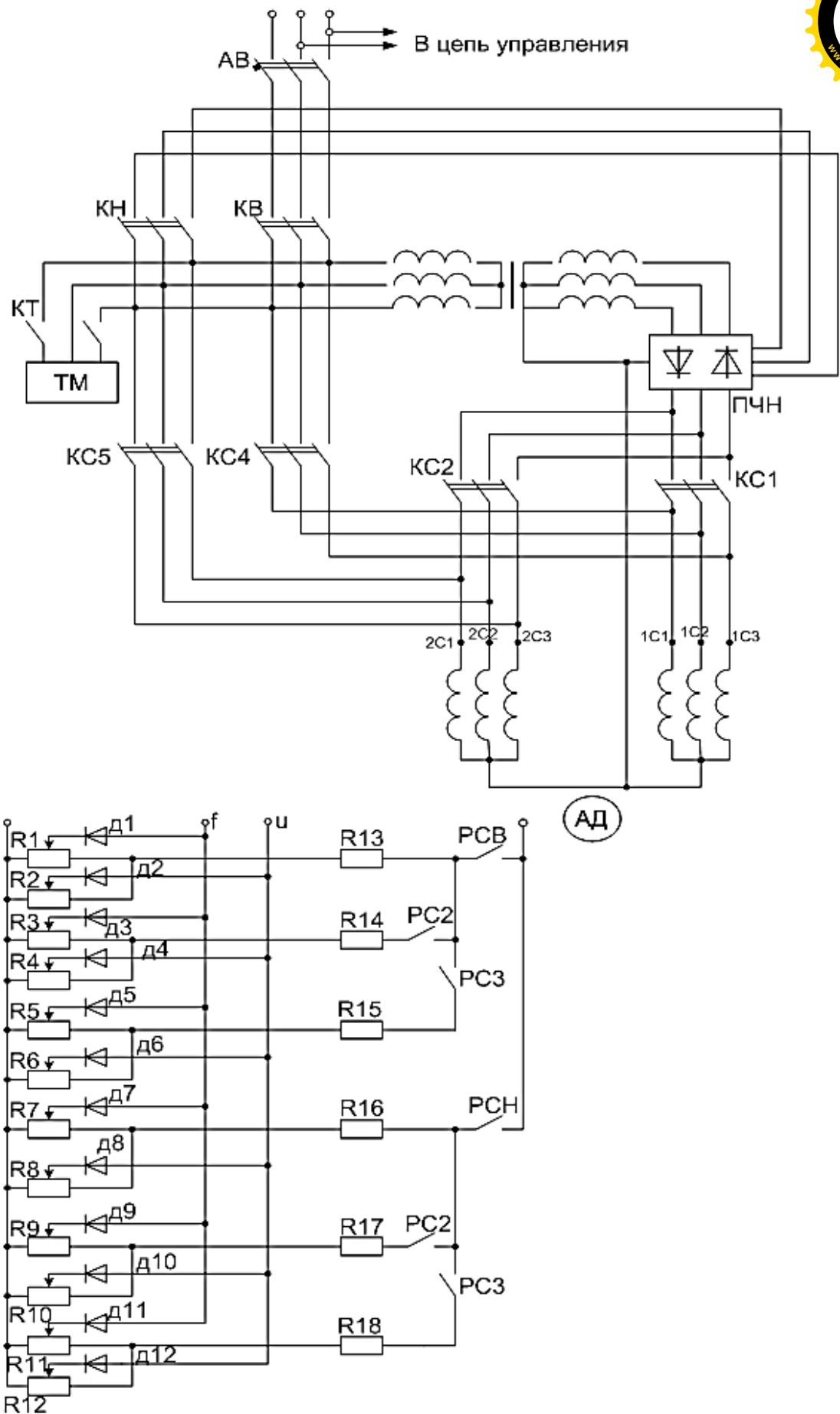


Рис. 1.7. Схема комбінованого електроприводу автоматичної швартовної лебідки

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

141.4301з.ДР.ПЗ

Арк.

17

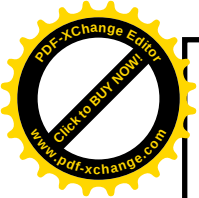


Схема забезпечує частотний пуск і гальмування при роботі двигуна автоматичної швартовної лебідки від перетворювача частоти, а також двоступінчастий розгін і гальмування в зоні електромашинного регулювання. Загальний діапазон регулювання швидкостей до типового співвідношенням пар полюсів машини $2p = 4/6$ становить 1:15, а в зоні частотного регулювання діапазон зміни частоти обертання двигуна від 150 до 600 об/хв. Перетворювач частоти пов'язаний з живильною мережею за допомогою понижувального трансформатора Тр. Управління каналами регулювання частоти і напруги здійснюється за допомогою реле РСВ, РСН і РС2, РС3.

Реле перемикають ланцюги резисторів $R1...R18$, які зібрані за потенціометричними схемами, причому ланцюги з діодів Д1...Д12 утворюють логічну схему, при якій включення подальшого ланцюга виключає попередню.

1.2. Характеристика судна «Boka Polaris»

Судно «Boka Polaris» – багатоцільове водолазне допоміжне і офшорне будівельне судно з краном з активною щоглою розміром 150 метр. Судно водолазного забезпечення, яке відповідає вимогам кодексу MODU (Mobile Offshore Drilling Units) – кодексу щодо будівництва та обладнання мобільних морських бурових установок. Lloyds Register | ✕ 100A1, дайвінг допоміжне судно, вертолітна площадка WDL ✕ LMC, UMS, DP (AAA). Кормова та кормова головна палуба посилені для встановлення A-Frame. А-подібні рами зазвичай виготовляються спеціально для конкретного судна та експлуатаційних вимог замовника та відповідають вимогам для важких підводних робіт у висококорозійних середовищах. А-подібні рами призначені для виконання широкого спектру операцій, таких як вантажопідйомність у морі та під водою (переміщення якоря та роботи з плугом або траншеєкопачем), а також спуск і підйом спеціальних інструментів і обладнання. Вантажопідйомність А-рами становить від 1 до 350 тонн. Вони можуть бути доставлені як автономні, самотнтуючі блоки для монтажу на кормі або будь-якому борті судна.

					141.43013.ДР.ПЗ	Арк.
						18
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Стандартні функції – головний пункт управління та монтажні циліндри.
Додаткові функції – сервісний кран/лебідки для обслуговування та допомоги в монтажі.

Судно «Boka Polaris» побудовано у Голандії фірмою Kranendonk BV м. Роттердам. Рік побудови судна – 1999. Загальний і головний види судна «Boka Polaris» представлені на рис. 1.8 і рис. 1.9 відповідно.

Основні характеристики судна «Boka Polaris» наведені у табл. 1.1.



Рис. 1.8. Загальний вид судна «Boka Polaris»

Таблиця 1.1 Основні характеристики судна «Boka Polaris»

Найменування параметру	Значення
Довжина найбільша, м	107,35
Ширина найбільша, м	22,0
Висота борту, м до головної палуби середня	13,5 9,5
Водотонажність найбільша судна, т	5500
Швидкість, вуз	11,0
Екіпаж, ч	55

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

141.4301з.ДР.ПЗ

Арк.

19

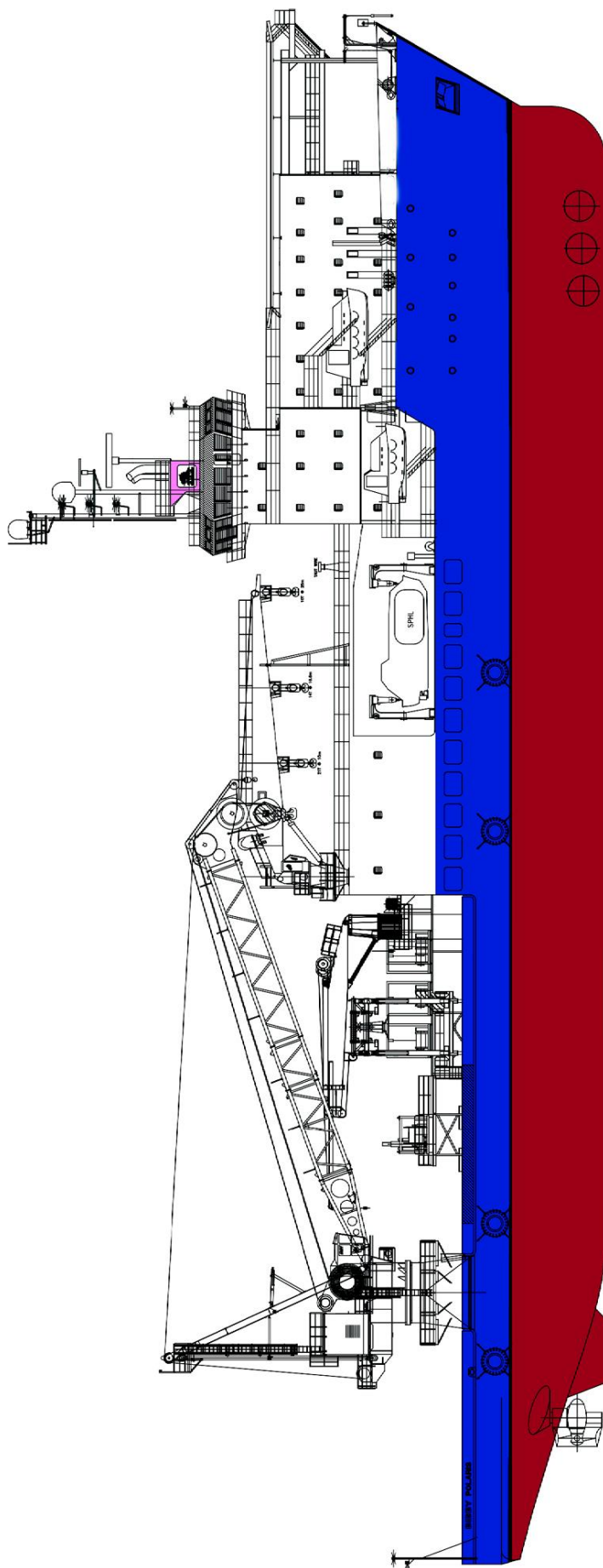


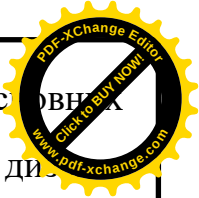
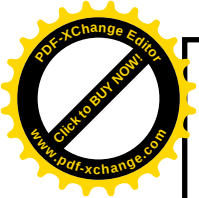
Рис. 1.9. Головний вид судна «Boka Polaris»

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

141.4301з.ДР.ПЗ

Арк.

20



Дизель-електрична силова установка складається з чотирьох осовованих дизелів Wärtsilä 9L26 потужністю 2680 кВт кожний та однієї допоміжної дизель-генераторної установки 750 кВт. Загальна потужність складає 10720 кВт. Аварійна установка потужністю 150 кВт розташована значно вище палуби надводного борту та вільна від зон пошкодження.

Рух судна виконується двома рушіями потужністю 2200 кВт кожний, повністю азимутальний фірми Kaplan, сопло з фіксованим кроком, гвинтові агрегати приводні безступінчатою частотою обертання. Керовані двигуни складаються з трьох тунельних двигунів типу змінного кроку потужністю 1335 кВт, які встановлені дуже низько для максимальної ефективності.

Головне обладнання розділене на два окремі приміщення, кожне з яких здатне до автономної роботи в разі пожежі/затоплення і розташовані поза передбачуваним боковим пошкодженням. Розподільні щити в двох відсіках також вільні від сторони регулювання площі пошкодження. Кожен головний рушійний двигун і кожен тунельний підрулювач розташовані у власному окремому водонепроникному відсіку. Усі кабелі живлення/керування та трубопроводи мають окреме відповідне обладнання двигуна/контролю і широко розділені для максимального резервування. Головна диспетчерська у машинному відділенні з вторинним керуванням з кермової рубки. Третій аварійний центр управління розташований значно вище надводного борту палуби та внутрішньої зони пошкодження регламенту та оточені протипожежними межами.

Система динамічного позиціонування складається з двох основних систем керування в рульовій рубці з подальшим незалежним керуванням положенням комп'ютера всередині центру управління надзвичайними ситуаціями. Незалежні посилення/сенсори наведені до цієї станції окремими кабельними розводками для максимального резервування.

1.3. Визначення зусиль швартовного ланцюга судна «Boka Polaris»

Кількість швартових канатів (тросів) на судні пов'язано з основною характеристикою постачання N_c і може складати від 3 до 20. Довжина швартових

					141.43013.ДР.ПЗ	Арк.
						21
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



канатів також залежить від характеристики постачання і знаходиться в межах 130 до 200 м.

$$N_c = \Delta^{2/3} + 2 \cdot B \cdot h + 0,1 \cdot A = 5500^{2/3} + 2 \cdot 22 \cdot 9,5 + 0,1 \cdot 1020 = 831,566 \text{ м}^2,$$

де Δ – водотоннажність судна, $\Delta = 5500 \text{ т}$;

B – ширина судна, $B = 22 \text{ м}$;

h – умовна висота від ватерлінії до верхньої палуби біля борту найвищої рубки, $h = 9,5 \text{ м}$;

A – площа парусності в межах довжини судна по ватерлінії $l = 107,35 \text{ м}$ без урахування парусності щогл, стріл, огорож, $A = l \cdot h = 107,35 \cdot 9,5 = 1020 \text{ м}^2$.

Розривне зусилля може бути обчислено за формулою

$$F \geq a_2 \sqrt{N_c - b_2} = 6300 \sqrt{831,566 - 375} = 134600 \text{ Н},$$

де a_2 і b_2 – коефіцієнти парусності вибираємо згідно довідників: $a_2 = 6300$, $b_2 = 375$.

Приймаємо $F = 240000 \text{ Н} < 500000 \text{ Н}$.

Оскільки номінальне тягове зусилля швартових механізмів повинно бути не вище $0,33 \cdot F$, то номінальне тягове зусилля $F_{\text{ш}}$ приймаємо рівним 80 кН .

З таблиці 8.9 [29] вибираємо автоматичну швартовну лебідку з наступними технічними даними:

номінальне тягове зусилля $F_{\text{ш}} = 80 \text{ кН}$;

розрахунковий діаметр троса $d_{\text{т}} = 28 \text{ мм}$;

розривне зусилля троса $F = 320 \text{ кН}$;

канатоємність барабана 200 м ;

швидкість вибирання ненавантаженого троса при неавтоматичному режимі не менше $0,9 \text{ м/с}$;

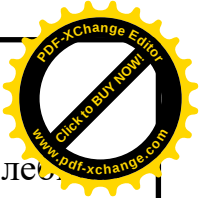
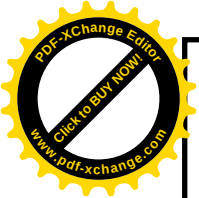
швидкість вибирання троса при номінальному тяговому зусиллі не менше $0,2 \text{ м/с}$;

мінімальна швидкість при автоматичному режимі не більше $0,07 \text{ м/с}$.

					141.4301з.ДР.ПЗ	Арк.
						22
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



					141.43013.ДР.ПЗ.Р2				
Зм.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата					
Розробив		Котовський Д.Р.			РОЗДІЛ 2. ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТ- РІВ ЕЛЕКТРОПРИВОДА ШВАРТОВНОЇ ЛЕБІДКИ	Лист.	Арк.	Аркциф	
Перевірив		Пальчиков О.О.						23	24
						НУК			
Н. Контр.									
Затверд.		Обрубов А.В.							



2.1. Електродвигун швартовного пристрою

Номінальна потужність електродвигуна автоматичної швартовної лебідки розраховується за формулою

$$P = \frac{F_{\text{ш}} \cdot U_{\text{ш}}}{\eta \cdot k_{\text{ст}}} = \frac{80 \cdot 0,23}{0,75 \cdot 1,07} = 22,93 \text{ кВт},$$

де $U_{\text{ш}}$ – номінальна швидкість вибирання швартовного троса, приймається $U_{\text{ш}} = 0,23 \text{ м/с}$;

η – значення коефіцієнта корисної дії швартовної лебідки, $\eta = 0,75$;

$k_{\text{ст}}$ – поправочний коефіцієнт для двигунів, що мають запас за часом стоянки (при допустимому часі стоянки під струмом в номінальному режимі $t_{\text{доп}} = 30 \text{ с}$),

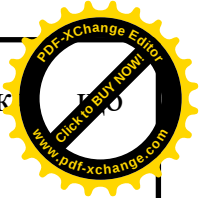
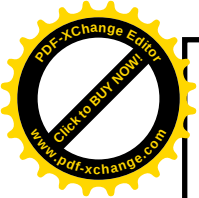
$$k_{\text{ст}} = \sqrt[4]{\frac{t_{\text{ш}} - 10}{15}} = \sqrt[4]{\frac{30 - 10}{15}} = 1,07.$$

Номінальна потужність електродвигуна приймається $P = 23 \text{ кВт}$.

Вибирається за каталогом двошвидкісний електродвигун типу МАП 611 - 4/12, технічні дані якого наведені в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 Технічні дані електродвигуна МАП 611 – 4/12

Найменування параметру	Значення	
Число полюсів $2p$	4	12
Номінальна потужність $P_{\text{ном}}$, кВт	65	23
Номінальна частота обертання $n_{\text{ном}}$, об/хв	1410	415
Номінальний коефіцієнт потужності $\cos\varphi_{\text{ном}}$, об/хв	0,88	0,67
Коефіцієнт корисної дії η	0,87	0,7
Номінальний струм статора $I_{\text{ном}}$, А	128	75
Пусковий струм $I_{\text{п}}$, А	780	225
Пусковий момент $M_{\text{п}}$, Н·м	1030	1150
Максимальний момент $M_{\text{мах}}$, Н·м	1350	1160
Кратність пускового струму $I_{\text{пуск}}/I_{\text{ном}}$	6,1	3,0
Момент інерції J , кг·м ²	1,25	1,25



Для канатомостності барабана автоматичної швартовної лебідки становить 200 м, вибираємо його параметри:

$D_6 = 0,78$ м – діаметр барабана;

$L_6 = 1,15$ м – довжина використовуваної частини барабана.

Визначимо число шарів S канату на барабані з урахуванням того, що повна довжина канату становить 200 м.

Довжина канату в одному витку першого шару

$$l = \pi \cdot D_6 = \pi \cdot 0,78 = 2,45 \text{ м.}$$

Кількість витків у першому шарі

$$N_{B1} = L_6 / d_T = 1,15 / 0,028 = 41.$$

Довжина канату, що укладена у перший шар,

$$L = N_{B1} \cdot l = 41 \cdot 2,45 = 100,45 \text{ м.}$$

Діаметр барабана з урахуванням першого шару

$$D'_6 = D_6 + 2d_T = 0,78 + 2 \cdot 0,028 = 0,84 \text{ м.}$$

Довжина канату в одному витку другого шару

$$l' = \pi \cdot D'_6 = \pi \cdot 0,84 = 2,64 \text{ м.}$$

Кількість витків у другому шарі

$$N_{B2} = (200 - L) / l' = (200 - 100,45) / 2,64 = 37,7.$$

Тобто, другий шар повністю не заповнюється.

Отже, $n = 1 + N_{B1} / N_{B2} = 1 + 37,7/41 = 1,92$.

Визначаємо передаточне число механізму

$$i \leq \frac{0,9 \cdot \pi \cdot (D_6 + 2 \cdot n \cdot d_T) \cdot n_c}{60 \cdot U_{\text{ш}}} = \frac{0,9 \cdot \pi \cdot (0,78 + 2 \cdot 1,92 \cdot 0,028) \cdot 500}{60 \cdot 0,23} = 90.$$

Обраний електродвигун перевіряється за пусковим моментом і умов міцності швартовного троса

$$\begin{aligned} \frac{80 \cdot F_{\text{ш}} \cdot (D_6 + 2 \cdot n \cdot d_T)}{i \cdot \eta} &\leq M_{\text{п}} < \frac{40 \cdot F \cdot (D_6 + d_T)}{i \cdot \eta} \Rightarrow \\ \Rightarrow \frac{80 \cdot 80 \cdot (0,78 + 2 \cdot 1,92 \cdot 0,028)}{90 \cdot 0,75} &\leq 1150 < \frac{40 \cdot 320 \cdot (0,78 + 0,028)}{90 \cdot 0,75} \Rightarrow \\ \Rightarrow 841,5 &\leq 1150 < 1532,2 \text{ Н.} \end{aligned}$$

					141.43013.ДР.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

Пусковий момент на малій швидкості повинен задовольняти умові:

$$M_{\Pi} > \frac{65 \cdot F_{\text{ш}} \cdot (D_6 + 2 \cdot n \cdot d_{\text{т}})}{i \cdot \eta} = \frac{65 \cdot 80 \cdot (0,78 + 2 \cdot 1,92 \cdot 0,028)}{90 \cdot 0,75} = 683,7 \text{ Н.}$$

$$M_{\Pi} = 1150 > 683,7 \text{ Н.}$$

При використанні систем штучного зниження малої швидкості за допомогою перетворювача частоти найкращі характеристиками мають електродвигуни, у яких номінальна швидкість швартування реалізується при числі полюсів $2p = 12$, а підвищена – при $2p = 4$. Для таких систем рекомендуються наступні інтервали швидкостей: номінальний – 0,23...0,3 м/с; максимальний – 0,75...1 м/с.

2.2. Статичні характеристики електродвигуна швартовного пристрою

Розглядається ротор спільно зі статором при відсутності між ними електричного зв'язку. Параметри роторного ланцюга замінюються їх наведеними значеннями:

$$I_2' = I_2 / k_c; \quad r_2' = r_2 \cdot k_c; \quad x_2' = x_2 \cdot k_c,$$

де k_c – коефіцієнт трансформації двигуна, $k_c = E_1/E_{2\text{н}}$.

Для кожного режиму роботи асинхронного двигуна відповідає певна область ковзань, а саме:

генераторному режиму – $-\infty < s < 0$;

руховому режиму – $0 < s < 1$;

режиму противключения – $-1 < s < \infty$.

Крім того, слід виділити два проміжних режиму:

короткого замикання – $s = 1$;

ідеального неробочого руху – $S = 0$.

В асинхронних двигунах швидкість однозначно пов'язана з ковзанням

$$\omega = \omega_c(1 - S),$$

тому механічні характеристики двигунів часто представляють у вигляді залежності між моментом і ковзанням

$$M = f(S).$$

					141.4301з.ДР.ПЗ	Арк.
						26
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Складається Т-подібна схема заміщення фази асинхронного двигуна (рис.2.1).

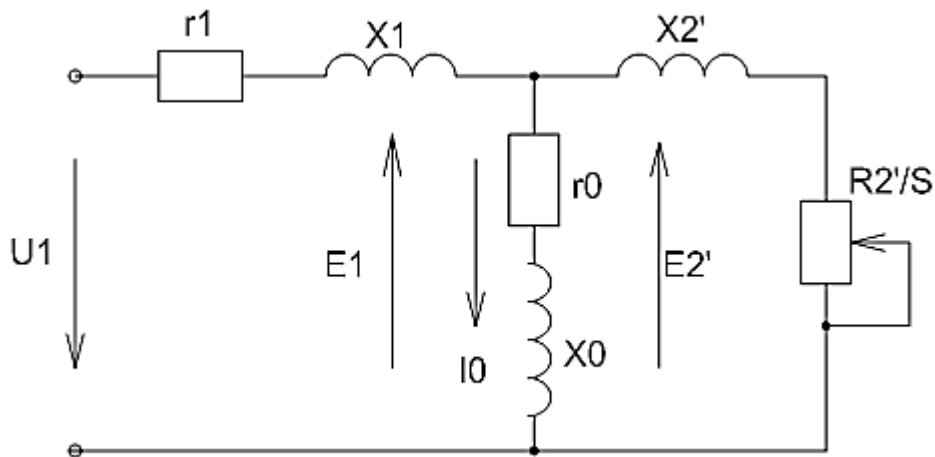


Рис. 2.1. Т-подібна схема заміщення фази асинхронного двигуна

Номінальне ковзання двигуна

$$s_H = \frac{n_1 - n_2}{n_1} = \frac{500 - 415}{500} = 0,17 ,$$

де n_1 – синхронна частота обертання поля статора, $n_1 = 500$ об/хв;

n_2 – частота обертання ротора, $n_2 = 415$ об/хв.

Синхронна кутова швидкість поля статора

$$\omega_1 = \frac{2 \cdot \pi \cdot f_1}{p} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 50}{6} = 52,3 \text{ с}^{-1},$$

де f_1 – частота струму живильної мережі, $f_1 = 50$ Гц;

p – число пар полюсів двигуна, $p = 6$.

Кутова швидкість ротора двигуна (номінальна)

$$\omega_{2H} = (1 - S_H) \omega_1 = (1 - 0,17) \cdot 52,3 = 43,44 \text{ с}^{-1}.$$

Номінальний момент двигуна

$$M_H = \frac{P_H}{\omega_{2H}} = \frac{23000}{43,44} = 529,3 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Кратність максимального моменту

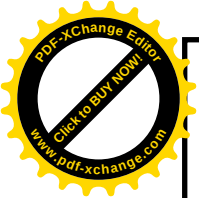
$$k_M = \frac{M_{\max}}{M_H} = \frac{1160}{529,3} = 2,19.$$

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

141.43013.ДР.ПЗ

Арк.

27



Кратність пускового моменту

$$k_{\Pi} = \frac{M_{\Pi}}{M_H} = \frac{1150}{529,3} = 2,17.$$

Визначаємо параметри обмотки двигуна з $2p = 12$. Критичне ковзання за формулою Клосса розраховується з рівняння:

$$\frac{s_H}{s_{кр}} + \frac{s_{кр}}{s_H} = 2 \frac{M_{кр}}{M_H};$$

$$\frac{s_H^2 + s_{кр}^2}{s_{кр} \cdot s_H} = 2 \frac{M_{кр}}{M_H};$$

$$s_{кр}^2 - 2 \frac{M_{кр}}{M_H} \cdot s_{кр} \cdot s_H + s_H^2 = 0;$$

$$s_{кр}^2 - 0,745 \cdot s_{кр} + 0,029 = 0;$$

$$s_{кр} = \frac{0,745 \pm \sqrt{0,555 - 4 \cdot 0,029}}{2} = 0,7.$$

Критична частота обертання ротора

$$n_{2кр} = (1 - s_{кр}) n_1 = (1 - 0,7) \cdot 500 = 150 \text{ об/хв.}$$

Струм намагнічування двигуна

$$I_0 = I_H \left(\sin \varphi_H - \frac{s_H}{s_{кр}} \cos \varphi_H \right) = 75 \left(0,74 - \frac{0,17}{0,7} 0,67 \right) = 43,3 \text{ А},$$

де $\sin \varphi_H = \sqrt{1 - (\cos \varphi_H)^2} = \sqrt{1 - 0,67^2} = 0,74.$

Номінальний струм ротора

$$I'_{2H} = I_H \sqrt{1 + \left(\frac{I_0}{I_H} \right)^2 - 2 \left(\frac{I_0}{I_H} \right) \sin \varphi_H} = 75 \sqrt{1 + \left(\frac{43,3}{75} \right)^2 - 2 \left(\frac{43,3}{75} \right) \cdot 0,74} = 51,9 \text{ А}.$$

Активний опір ротора

$$r'_{2H} = \frac{M_H \cdot \omega_0 \cdot s_H}{3(I'_{2H})^2} = \frac{529,3 \cdot 500 \cdot 2\pi \cdot 0,17}{3(51,9)^2 \cdot 60} = 0,583 \text{ Ом}.$$

					141.43013.ДР.ПЗ	Арк.
						28
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Повний опір короткого замикання

$$Z_k = \frac{U_\phi}{I_H \left(k_i - \frac{I_0}{I_H} \right)^2} = \frac{220}{75 \cdot \left(3 - \frac{43,3}{75} \right)} = 1,21 \text{ Ом.}$$

Коефіцієнт потужності при пуску

$$\begin{aligned} \cos \varphi_\Pi &= \cos \varphi_H \left(\frac{k_\Pi}{k_H} \frac{\eta_H}{1 - S_H} + k_i g (1 - \eta_H) \right) = \\ &= 0,67 \left(\frac{2,17}{3} \cdot \frac{0,7}{1 - 0,17} + 3 \cdot 0,33 \cdot (1 - 0,7) \right) = 0,61, \end{aligned}$$

де g – відношення втрат в міді статора до сумарних втрат в номінальному режимі, приймається $g = \Delta P_M / \Delta P_H = 0,33$.

Коефіцієнт первинного розсіяння

$$\delta_1 = 1 + \frac{I_0}{2 \cdot I_\Pi} = 1 + \frac{43,3}{2 \cdot 225} = 1,096.$$

Пусковий струм ротора

$$I'_{2\Pi} = I_H \left(k_i - \frac{I_0}{I_H} \right) = 75 \left(3 - \frac{43,3}{75} \right) = 181,7 \text{ А.}$$

Активний опір ротора при пуску

$$r'_{2\Pi} = \frac{M_H \cdot \omega_0 \cdot k_\Pi}{3(I'_{2\Pi})^2} = \frac{529,3 \cdot 500 \cdot 2\pi \cdot 2,17}{3 \cdot (181,7)^2 \cdot 60} = 0,61 \text{ Ом.}$$

Активний опір статора

$$r_1 = Z_k \cdot \cos \varphi_\Pi - \delta_1 \cdot r'_{2\Pi} = 1,21 \cdot 0,61 - 1,096 \cdot 0,61 = 0,07 \text{ Ом.}$$

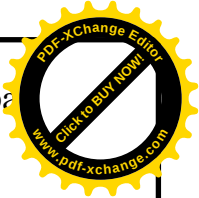
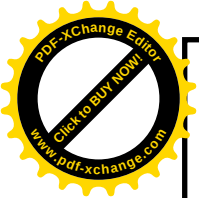
Індуктивний опір двигуна, що визначається за номінального режиму,

$$X'_{кн} = \sqrt{\left(\frac{\delta_1 \cdot r'_{2\Pi}}{S_H} \right)^2 - r_1^2} = \sqrt{\left(\frac{1,096 \cdot 0,61}{0,7} \right)^2 - 0,07^2} = 0,91 \text{ Ом.}$$

Індуктивний опір короткого замикання двигуна, яке визначається за пусковим режимом,

$$X'_{кп} = \sqrt{Z_k^2 - (r_1 + s_1 \cdot r'_{2\Pi})^2} = \sqrt{1,21^2 - (0,07 + 1,096 \cdot 0,61)^2} = 0,958 \text{ Ом.}$$

					141.43013.ДР.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29



Для двигуна з короткозамкненим двигуном індуктивний опір статора

$$X_1 = X'_{2H} = \frac{X'_{KH}}{2} = \frac{0,91}{2} = 0,455 \text{ Ом.}$$

Індуктивний опір контуру намагнічування розраховується згідно формули

$$X_0 = E_{mH} / I_0 = 243,292 / 43,3 = 5,619 \text{ Ом,}$$

де E_{mH} – електрорушійна сила гілки намагнічування, що наведена потоком повітряного проміжку в обмотці статора в номінальному режимі становить,

$$\begin{aligned} E_{mH} &= \sqrt{(U_H \cdot \cos \varphi_H - r_1 \cdot I_H)^2 + (U_H (\sin \varphi_H + X_1 \cdot I_H))^2} = \\ &= \sqrt{(220 \cdot 0,67 - 0,07 \cdot 75)^2 + (220 \cdot (0,74 + 0,455 \cdot 75))^2} = 243,292 \text{ А.} \end{aligned}$$

Проводиться розрахунок механічних характеристик при його роботі з числом полюсів $2p = 12$. Побудування механічної характеристики в межах $0 \leq s \leq s_{кр}$ і $s_{кр} = 0$ проводиться, розраховуючи її за спрощеною формулою Клосса:

$$M = 2 \frac{M_{кр}}{\frac{s}{s_{кр}} + \frac{s_{кр}}{s}},$$

а в межах $s_{кр} < s < 1$ за виразом

$$M = M_{кр} \frac{2 + (s^2 - s_{кр}^2) \cdot k}{\frac{s}{s_{кр}} + \frac{s_{кр}}{s}};$$

вводячи коефіцієнт k , тому що в цих межах спрощена формула Клосса дає неприпустимі похибки. Коефіцієнт k визначаємо за кривими $k = f(s_{кр})$.

Підставляємо відомі величини в вищенаведені вирази, отримуються такі формули для розрахунку механічної характеристики:

$$M = 2 \frac{1160}{\frac{s}{0,7} + \frac{0,7}{s}};$$

$$M = 1160 \frac{2 + (s^2 - 0,49) \cdot 0,216}{\frac{s}{0,7} + \frac{0,7}{s}},$$

при значенні коефіцієнта $k = 0,216$.

Результати наведені в табл. 2.2.

					141.4301з.ДР.ПЗ	Арк.
						30
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Розрахунок параметрів схеми заміщення асинхронного двигуна при
Номінальній ковзанні двигуна

$$s_H = \frac{n_1 - n_2}{n_1} = \frac{1500 - 1410}{1500} = 0,06 ,$$

де n_1 – синхронна частота обертання поля статора, $n_1 = 1500$ об/хв;
 n_2 – частота обертання ротора, $n_2 = 1410$ об/хв.

Синхронна кутова швидкість поля статора

$$\omega_1 = \frac{2 \cdot \pi \cdot f_1}{p} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 50}{2} = 157,08 \text{ с}^{-1},$$

де f_1 – частота струму живильної мережі, $f_1 = 50$ Гц;
 p – число пар полюсів двигуна, $p = 2$.

Кутова швидкість ротора двигуна (номінальна)

$$\omega_{2H} = (1 - s_H) \omega_1 = (1 - 0,06) \cdot 157,08 = 147,66 \text{ с}^{-1}.$$

Номінальний момент двигуна

$$M_H = \frac{P_H}{\omega_{2H}} = \frac{65000}{147,66} = 440,2 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Кратність максимального моменту

$$k_M = \frac{M_{\max}}{M_H} = \frac{1350}{440,2} = 3,07.$$

Кратність пускового моменту

$$k_H = \frac{M_H}{M_H} = \frac{1030}{440,2} = 2,34.$$

Визначаємо параметри обмотки двигуна з $2p = 4$. Критичне ковзання розраховується згідно формули

$$s_{\text{кр}} = s_H \cdot (k_M + \sqrt{k_M^2 - 1}) = 0,06 \cdot (3,07 + \sqrt{0,07^2 - 1}) = 0,36;$$

Критична частота обертання ротора

$$n_{2\text{кр}} = (1 - s_{\text{кр}}) n_1 = (1 - 0,36) \cdot 1500 = 960 \text{ об/хв}.$$

Струм намагнічування двигуна

$$I_0 = I_H \left(\sin \varphi_H - \frac{s_H}{s_{\text{кр}}} \cos \varphi_H \right) = 128 \left(0,48 - \frac{0,06}{0,36} 0,88 \right) = 42,67 \text{ А},$$

					141.43013.ДР.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

де

$$\sin \varphi_H = \sqrt{1 - (\cos \varphi_H)^2} = \sqrt{1 - 0,88^2} = 0,48.$$

Номинальний струм ротора

$$I'_{2H} = I_H \sqrt{1 + \left(\frac{I_0}{I_H}\right)^2 - 2\left(\frac{I_0}{I_H}\right) \sin \varphi_H} = 128 \sqrt{1 + \left(\frac{42,67}{128}\right)^2 - 2\left(\frac{42,67}{128}\right) \cdot 0,48} = 113,8 \text{ А.}$$

Активний опір ротора

$$r'_{2H} = \frac{M_H \cdot \omega_0 \cdot s_H}{3 \cdot (I'_{2H})^2} = \frac{440,2 \cdot 157,8 \cdot 0,06}{3 \cdot (113,8)^2} = 0,107 \text{ Ом.}$$

Повний опір короткого замикання

$$Z_K = \frac{U_\phi}{I_H \left(k_i - \frac{I_0}{I_H}\right)^2} = \frac{220}{128 \cdot \left(6,09 - \frac{42,67}{128}\right)} = 0,299 \text{ Ом.}$$

Коефіцієнт потужності при пуску

$$\begin{aligned} \cos \varphi_\Pi &= \cos \varphi_H \left(\frac{k_\Pi}{k_H} \frac{\eta_H}{1 - S_H} + k_i g (1 - \eta_H) \right) = \\ &= 0,88 \left(\frac{2,37}{6,09} \cdot \frac{0,87}{1 - 0,06} + 6,09 \cdot 0,33 \cdot (1 - 0,87) \right) = 0,54, \end{aligned}$$

де g – відношення втрат в міді статора до сумарних втрат в номінальному режимі, приймається $g = \Delta P_M / \Delta P_H = 0,33$.

Коефіцієнт первинного розсіяння

$$\delta_1 = 1 + \frac{I_0}{2 \cdot I_\Pi} = 1 + \frac{42,67}{2 \cdot 780} = 1,055.$$

Пусковий струм ротора

$$I'_{2\Pi} = I_H \left(k_i - \frac{I_0}{I_H} \right) = 128 \left(6,09 - \frac{42,67}{128} \right) = 736,9 \text{ А.}$$

Активний опір ротора при пуску

$$r'_{2\Pi} = \frac{M_H \cdot \omega_0 \cdot k_\Pi}{3 (I'_{2\Pi})^2} = \frac{440,2 \cdot 157,8 \cdot 2,34}{3 \cdot (736,9)^2} = 0,099 \text{ Ом.}$$

Активний опір статора

$$r_1 = Z_K \cdot \cos \varphi_\Pi - \delta_1 \cdot r'_{2\Pi} = 0,299 \cdot 0,54 - 1,055 \cdot 0,099 = 0,057 \text{ Ом.}$$

					141.43013.ДР.ПЗ	Арк.
						32
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Індуктивний опір двигуна, що визначається за номінального режиму

$$X'_{\text{кн}} = \sqrt{\left(\frac{\delta_1 \cdot r'_{2\text{н}}}{S_{\text{н}}}\right)^2 - r_1^2} = \sqrt{\left(\frac{1,055 \cdot 0,107}{0,36}\right)^2 - 0,107^2} = 0,295 \text{ Ом.}$$

Індуктивний опір короткого замикання двигуна, який визначається по пусковому режиму,

$$X'_{\text{кп}} = \sqrt{Z_{\text{к}}^2 - (r_1 + S_1 \cdot r'_{2\text{п}})^2} = \sqrt{0,299^2 - (0,057 + 1,055 \cdot 0,099)^2} = 0,252 \text{ Ом.}$$

Для двигуна з короткозамкненим двигуном індуктивний опір статора

$$X_1 = X'_{2\text{н}} = \frac{X'_{\text{кн}}}{2} = \frac{0,295}{2} = 0,148 \text{ Ом.}$$

Індуктивний опір контуру намагнічування розраховується згідно формули

$$X_0 = E_{\text{мн}} / I_0 = 223,486 / 42,67 = 5,238 \text{ Ом,}$$

де $E_{\text{мн}}$ – електрорушійна сила гілки намагнічування, що наведена потоком повітряного проміжку в обмотці статора в номінальному режимі становить,

$$\begin{aligned} E_{\text{мн}} &= \sqrt{(U_{\text{н}} \cdot \cos \varphi_{\text{н}} - r_1 \cdot I_{\text{н}})^2 + (U_{\text{н}} (\sin \varphi_{\text{н}} + X_1 \cdot I_{\text{н}}))^2} = \\ &= \sqrt{(220 \cdot 0,88 - 0,057 \cdot 128)^2 + (220 \cdot (0,48 + 0,148 \cdot 128))^2} = 223,486 \text{ А.} \end{aligned}$$

Розраховуються механічні характеристики при його роботі з числом полюсів $2p = 4$. Побудування механічної характеристики в межах $0 \leq s \leq s_{\text{кр}}$ і $s_{\text{кр}} = 0$ проводиться, розраховуючи її за спрощеною формулою Клосса:

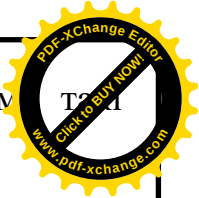
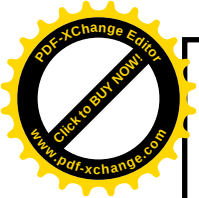
$$M = 2 \frac{M_{\text{кр}}}{\frac{s}{s_{\text{кр}}} + \frac{s_{\text{кр}}}{s}},$$

а в межах $s_{\text{кр}} < s < 1$ за виразом

$$M = M_{\text{кр}} \frac{2 + (s^2 - s_{\text{кр}}^2) \cdot k}{\frac{s}{s_{\text{кр}}} + \frac{s_{\text{кр}}}{s}};$$

вводячи коефіцієнт k , тому в цих межах спрощена формула Клосса дає неприпустимі похибки. Коефіцієнт k визначаємо за кривими $k = f(s_{\text{кр}})$.

					141.4301з.ДР.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33



Підставивши відомі величини в вищенаведені вирази, отримуємо формули для розрахунку механічної характеристики:

$$M = 2 \frac{1350}{\frac{s}{0,36} + \frac{0,36}{s}};$$

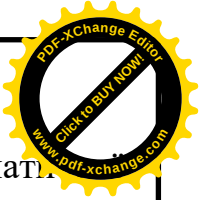
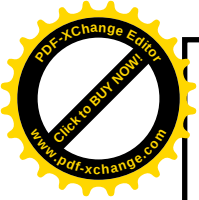
$$M = 1350 \frac{2 + (s^2 - 0,1296) \cdot 0,45}{\frac{s}{0,36} + \frac{0,36}{s}},$$

при значенні коефіцієнта $k = 0,45$.

Результати наведені в табл. 2.2.

Таблиця 2.2 Розрахунок механічної характеристики асинхронного двигуна

Число пар полюсів $2p = 12$			Число пар полюсів $2p = 4$		
Ковзання S	Момент M , Н·м	Частота обертання n , об/хв	Ковзання S	Момент M , Н·м	Частота обертання n , об/хв
0	0	500	0	0	1500
0,05	164,9	475	0,01	74,9	1485
0,08	261,7	460	0,03	223,4	1455
0,1	324,8	450	0,04	296,3	1440
0,13	416,5	435	0,05	367,9	1425
0,17	529,3	415	0,06	440,4	1410
0,2	612,8	400	0,08	571,8	1380
0,4	999,4	300	0,1	696,3	1350
0,7	1160	150	0,2	1146,2	1200
0,95	1157,3	25	0,3	1327,9	1050
0,98	1153	10	0,36	1350	960
0,99	1151,5	5	0,5	1314,9	750
1	1150	0	0,65	1219,8	525
			0,8	1126,4	300
			0,9	1073,5	150
			1	1030	0



2.3. Експлуатація електропривода швартовної лебідки

Обирається схема електроприводу змінного струму автоматичного швартовної лебідки з використанням перетворювача частоти з безпосереднім зв'язком, що показана на рис. 2.2 і її контакторна схема управління електропривода – на рис. 2.3. Дана схема призначена для управління двошвидкісним асинхронним короткозамкненим електродвигуном типу 621 – 4/12 серії МАП. Електродвигун має дві фіксовані швидкості, відповідні включенню двох незалежних обмоток. При включенні обмотки з числом полюсів $2p = 12$ реалізується потужність, необхідна для вибирання троса з номінальним тяговим зусиллям. При включенні обмотки з числом полюсів $2p = 4$ забезпечується вибирання і травлення ненавантаженого троса з великою швидкістю. Включення обмоток вищої і нижчої швидкості, а також реверсування електродвигуна здійснюється за допомогою магнітного контролера, керованого командоконтролером.

Обмотка з числом полюсів $2p = 12$ крім живлення прямо від мережі може отримувати живлення від статичного тиристорного перетворювача частоти з безпосереднім зв'язком. При управлінні через командоконтролер реалізується частота 16 Гц і відповідно швидкість, що становить близько 40 % номінальної. При автоматичному режимі роботи перетворювач формує частоту в 6 Гц, реалізується швидкість, що становить близько 20 % номінальної.

Основні вузли і елементи схеми:

12C1...12C3 – затискачі основної обмотки електродвигуна;

4C1...4C3 – затискачі обмотки для операцій з малою швидкістю;

ПЧН – статичний перетворювач частоти з безпосереднім зв'язком;

УВ – гальмівний магніт;

Т – силовий трансформатор живлення перетворювача частоти;

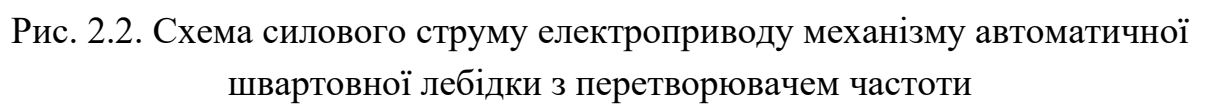
QF – автоматичний вимикач захисту перетворювача частоти;

КМ3 – контактор напрямки вибирання;

КМ5 – контактор напрямки травлення;

КМ4 – контактор гальмівного електромагніту;

					141.4301з.ДР.ПЗ	Арк.
						35
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



					141.4301з.ДР.ПЗ	Арк.
						36
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

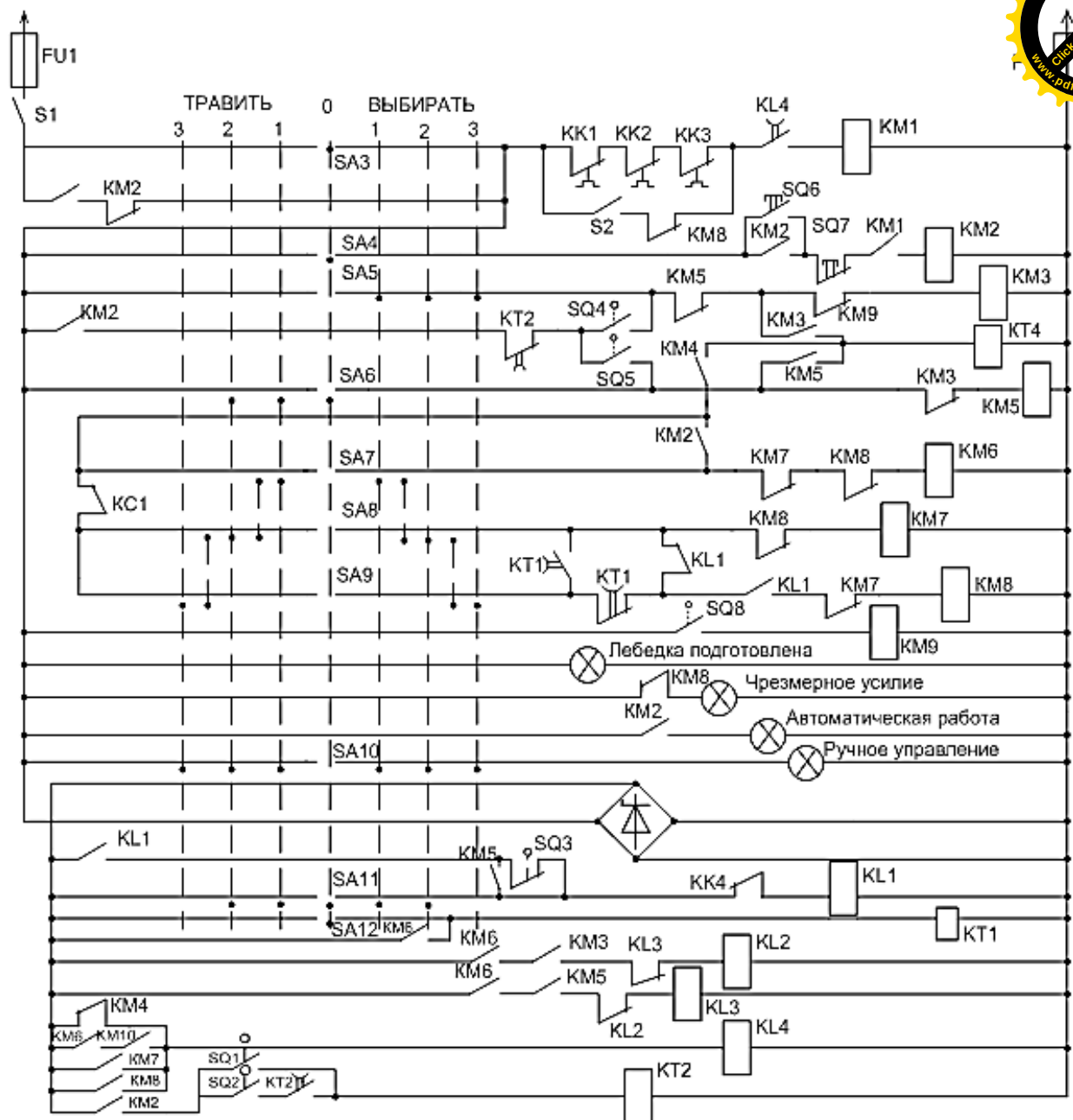


Рис. 2.3. Контакторна схема управління електропривода автоматичної швартовної лебідки

KM6, KM7, KM8 – контактори малої, основний і великий швидкості відповідно;

KM10 – контактор контролю напруги перетворювача;

KM1 – контактор нульового захисту;

KM2 – контактор режиму автоматичної роботи;

SQ6 – кнопка автоматичної роботи;

SQ7 – кнопка відключення режиму автоматичного роботи;

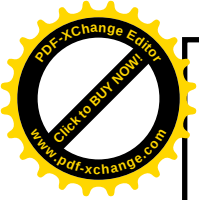
KM9 – контактор сигналу надмірного зусилля;

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

141.4301з.ДР.ПЗ

Арк.

37



SQ1, SQ2, SQ3, SQ4, SQ5, SQ8 – контакти командоапарата пов'язаного зі зважують пристроєм лебідки;

KT1 – реле прискорення з витримкою часу 0,5 с;

KL1 – реле вантажний захисту;

KL4 – реле контролю збірки схеми;

KL2, KL3 – реле управління перетворювачем;

KT2 – реле часу з витримкою часу 1 с;

S1 – вимикач управління;

S2 – вимикач шунтування теплового захисту;

KK1...KK3 – теплові реле захисту;

KK4 – вантажне реле (спрацьовує за час, на 40% менше, ніж час спрацьовування реле KK3);

SA3...SA12 – контакти командоконтролера.

Підготовка до пуску.

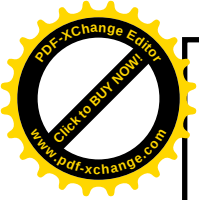
1. Подається напруга змінного струму 380 В, 50 Гц на фідери, що живлять електропривід лебідки.

2. Замикається автоматичний вимикач QF в ланцюзі живлення перетворювача частоти.

3. Перекладається рукоятка вимикача управління S1, вбудованого в командоконтролер, в положення «ВКЛ». При цьому підключений до джерела живлення в ланцюг управління електроприводом лебідки, загоряється лампа «Лебідка підготовлена».

4. При нульовому положенні рукоятки командоконтролера замкнуті його контакти SA3, SA4, SA11, SA12. Отримує живлення реле контролю збірки схеми KL4, реле вантажний захисту KL1 своїми контактами готує перехід з вищої швидкості на основну при важкому режимі роботи. Реле прискорення KT1 своїми контактами забезпечує плавний перехід з нижчої швидкості на вищу швидкість при раптовому переключенні рукоятки командоконтролера з положення «1» в положення «3».

					141.43013.ДР.ПЗ	Арк.
						38
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Робота електроприводу на положеннях командоконтролера «Вибира»:

Рукоятка командоконтролера в положенні «1».

При цьому замикаються контакти командоконтролера SA5, SA7, SA10, SA11 і розмикаються контакти SA3, SA4, SA12. При замиканні контакту SA5 отримує живлення котушка контактора напрямки вибирання КМ3. Контактор КМ3 спрацьовує, в результаті чого:

- розмикається контакт КМ3, що забезпечує блокування від одночасного включення двох різнойменних контакторів напрямку КМ3 і КМ5;

- отримує живлення котушка контактора гальма КМЧ, замикаються його головні контакти КМЧ в ланцюзі живлення котушки гальма УВ електродвигуна, замикається контакт КМЧ, що готує ланцюга харчування контакторів швидкостей, розмикається контакт КМЧ в ланцюзі харчування реле KL4, що забезпечує роботу нульового захисту;

- замикаються головні контакти КМ3, що готують ланцюг живлення електродвигуна.

При замиканні контакту командоконтролера SA7 отримує харчування котушка контактора малої швидкості КМ6. Контактор КМ6 спрацьовує, в результаті чого:

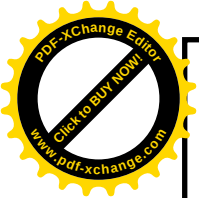
- замикаються головні контакти КМ6, підключають основну обмотку (12С1 - 12С3) до перетворювача частоти;

- замикається контакт КМ6 в ланцюзі живлення котушки реле прискорення КТ1, що забезпечує контроль перемикавання швидкостей;

- замикається контакт КМ6 в ланцюзі живлення котушок контакторів середньої КМ7 і великий КМ8 швидкостей;

- замикаються контакти КМ6 в ланцюгах живлення реле управління перетворювачем KL2 і KL3. Реле KL2 спрацьовує, замикаються контакти KL2 в ланцюзі управління перетворювачем, розмикається контакт KL2 в ланцюзі живлення KL3, що виключає можливість одночасного включення двох різнойменних реле управління перетворювачем KL2 і KL3.

					141.4301з.ДР.ПЗ	Арк.
						39
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рукоятка командоконтролера в положенні «2».

При цьому замикаються контакти командоконтролера SA5, SA8, SA10, розмикається контакт SA7.

При розмиканні контакту SA7 втрачає живлення котушка контактора малої швидкості КМ6, в результаті чого:

- розмикаються головні контакти КМ6, що відключають основну обмотку від перетворювача частоти;
- замикається контакт КТ6 в ланцюзі живлення котушок контакторів середньої та великої швидкостей;
- розмикається контакт КМ6 в ланцюзі живлення реле прискорення КТ1;
- розмикається контакт КМ6 в ланцюзі живлення реле контролю КЛ4;
- розмикаються контакти КМ6 в ланцюзі живлення реле управління перетворювачем КЛ2 і КЛ3.

При замиканні контакту SA8 отримує живлення котушка контактора середньої швидкості КМ7. Контактор КМ7 спрацьовує, в результаті чого:

- замикаються головні контакти КМ7, підключають основну обмотку (12С1 - 12С3) до мережі;
- розмикаються контакти КМ7 в ланцюгах живлення котушок контакторів малої і великої швидкостей КМ6 і КМ8 відповідно, що виключає одночасне підключення двох обмоток двигуна до мережі;
- замикається контакт КМ7 в ланцюзі живлення реле контролю КЛ4.

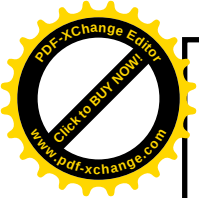
Реле прискорення КТ1 з витримкою часу замикає свій контакт в ланцюзі живлення контактора КМ8, готуючи перехід на велику швидкість. Контактор контролю напруги перетворювача відключається, його контакт КМ10 в ланцюзі живлення реле контролю КЛ4 розімкнути.

Електродвигун переходить на середню швидкість, при якій він може виконувати швартові операції з номінальним навантаженням.

Рукоятка командоконтролера в положенні «3».

При цьому замикається контакт командоконтролера SA9, контакти SA5, SA10 залишаються замкнутими, розмикаються контакти SA8, SA11.

					141.43013.ДР.ПЗ	Арк.
						40
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



При розмиканні контакту SA8 втрачає живлення котушка контакторів середньої швидкості KM7, в результаті чого:

- розмикаються головні контакти KM7, що відключають основну обмотку від мережі;
- розмикається контакт KM8 в ланцюзі живлення котушок контакторів малої і середньої швидкостей KM6 і KM7 відповідно;
- замикаються контакти KM7 в ланцюгах живлення котушок контакторів KM6 і KM8;
- розмикається контакт KM7 в ланцюзі живлення реле контролю KL4.

При замиканні контакту SA9 отримує живлення котушка контактора великої швидкості KM8. Контактор KM8 спрацьовує, в результаті чого:

- замикаються головні контакти KM8, підключають обмотку великої швидкості (4C1...4C3) до мережі;
- замикається контакт KM8 в ланцюзі живлення реле контролю KL4;
- розмикається контакт KM8 в ланцюзі шунтування теплового захисту, виключаючий можливість роботи на великій швидкості без теплового захисту.

При розмиканні контакту SA11 реле KL1 не втрачає живлення, тому що контакт SA11 зашунтований контактом KL1.

Електродвигун переходить на велику швидкість, на якій виконуються швартовні операції з ненавантаженим тросом.

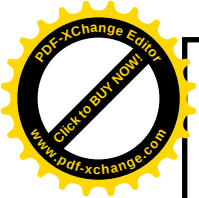
У всіх трьох положеннях рукоятки командоконтролера горять лампи «Ручне управління» і «Лебідка підготовлена».

Зупинка електроприводу.

Для зупинки електроприводу рукоятка командоконтролера встановлюється в положення «0». При цьому втрачають живлення котушки контакторів напрямку і швидкостей, гальма електродвигуна. В результаті цього розривається ланцюг головного струму електродвигуна лебідки. Електродвигун відключається від мережі і загальмовується.

Включення автоматичного режиму роботи.

					141.43013.ДР.ПЗ	Арк.
						41
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Натискається кнопка включення автоматичного режиму SQ6. При отримув живлення котушка контактора автоматичного режиму роботи. Контактор KM2 спрацьовує, в результаті чого:

- замикається контакт KM2, шунтуючий кнопку SQ6;
- замикається контакт KM2 в ланцюзі живлення реверсивних контакторів напрямку KM3, KM5;
- замикається контакт KM2, що готує включення контактора малої швидкості KM6;
- замикається контакт KM2, що готує роботу реле часу KT2;
- замикається контакт KM2 в ланцюзі живлення лампи автоматичного режиму;

Лампа спалахує. При номінальному натягу канату двигун відключений і загальмований.

Автоматична підтримка натягу канату.

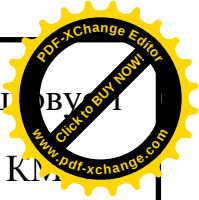
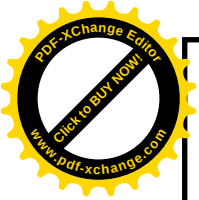
Зміна натягу швартовного канату викликає поворот барабана лебідки. Через планетарну передачу, силовимірювальний пристрій і систему важелів поворот барабана викликає поворот валу з кулачковими шайбами в ту чи іншу сторону в залежності від знака різниці між величиною натягу канату на барабані і величиною зусилля настройки силовимірювального пристрою. Кулачкові шайби впливають на блок перемикачів.

При натягу швартовного канату, рівному номінальному, контакти блоку перемикачів SQ4, SQ5, SQ8, SQ1, SQ2 розімкнуті, контакт SQ3 – замкнутий.

При падінні натягу канату замикається контакт SQ4, готуючи включення електродвигуна в напрямку «Вибирати». Продовжує падіння натягу канату викликає замикання контакту SQ1. При досягненні нижньої межі зусиль діапазону регулювання замикається контакт SQ2, замикаючи ланцюг живлення реле часу KT2, в результаті чого:

- замикається контакт KT2 в ланцюзі живлення реле часу KT2;
- замикається контакт KT2 в ланцюзі живлення котушки контактора напрямки KM3.

					141.4301з.ДР.ПЗ	Арк.
						42
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



При цьому отримує живлення котушка контактора КМ3, він спрацює контактом КМ3 включає ланцюг живлення котушки контактора гальма КМ4, також готує силовий ланцюг живлення електродвигуна.

Контактор КМ4 спрацьовує, своїм контактом підключає в ланцюг харчування котушку контактора малої швидкості КМ6. Контактор КМ6 спрацьовує, своїми головними контактами КМ6 підключає електродвигун до перетворювача частоти. Одночасно спрацьовує реле управління перетворювачем КЛ2, замикаються контакти КЛ2 в ланцюзі управління перетворювачем, який формує частоту близько 6 Гц, що відповідає швидкості троса, що становить близько 20 % номінальної. Відбувається плавне вибирання швартовного троса. Електродвигун розгальмовується і починає працювати зі швидкістю, що становить близько 20 % номінальної в напрямку «Вибирати», забезпечуючи збільшення натягу швартовного троса.

У міру збільшення натягу швартовного канату повертаються кулачкові шайби пристрої перемикачів автоматики, послідовно впливаючи на перемикачі. Першим розмикається контакт перемикача SQ2, потім контакт SQ1, знеструмлюючи котушку реле часу КТ2. Реле КТ2 з витримкою часу розімкне свій контакт КТ2 в ланцюзі живлення котушки контактора напрямки КМ3. Контакти КМ3 відключають ЕД від мережі.

Завдяки витримці часу реле КТ2 досягається номінальне натяг канату, контакт SQ4 розмикається. Натяг канату і зусилля силовимірального пристрою знаходяться в рівновазі. Електродвигун лебідки відключений і загальмований.

У разі збільшення натягу канату вище заданого замикається контакт SQ5, що готує включення контактора напрямки КМ5. В іншому система автоматичної підтримки натягу канату працює аналогічно.

Відключення автоматичного режиму роботи.

Натискається кнопка SQ7, при цьому розривається ланцюг харчування котушки контактора автоматичного режиму роботи КМ2. При цьому

					141.4301з.ДР.ПЗ	Арк.
						43
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



розмикаються контакти КМ2 в ланцюзі живлення котушок контакторів на КМ3 і КМ5, контактора малої швидкості КМ6, реле часу КТ2. Ланцюг автоматичного режиму роботи гасне. Електродвигун відключається і загальмовується (в тому випадку, якщо в момент відключення він обертався), а вплив контактів реле автоматичного режиму на систему управління електродвигуном лебідки припиняється.

Електрична частина лебідки має наступні види захисту:

- нульовий захист електроприводу лебідки, здійснювану контактором нульового захисту КМ1, який розмикає свій контакт в ланцюзі управління електродвигуном лебідки при зникненні або значному зниженні напруги. Електродвигун відключається від мережі і загальмовується. При відновленні напруги електродвигуна мимоволі не включається, повторний пуск електродвигуна лебідки може бути проведений тільки через нульове положення командоконтролера переключенням його в робоче положення;

- захист від перевантажень здійснюється електротепловим реле КК1...КК3, вантажним реле КК4. Реле КК1... КК3 при перевантаженні електродвигуна своїми контактами розривають ланцюг живлення контактора нульового захисту, в результаті чого електродвигун відключається від мережі і загальмовується.

Для зниження теплового навантаження електродвигуна в важких умовах роботи схемою передбачено автоматичне перемикання з найвищої швидкості на середню після 5...10 с роботи при швидкості близькою до нуля. Це перемикання здійснюється під впливом вантажного реле КЛ1 захисту. При спрацьовуванні реле КК4 на третьому положенні командоконтролера розмикається ланцюг котушки реле вантажний захисту КЛ1; контакти цього реле припиняють живлення котушки контактора великій швидкості КМ8 і подають харчування на котушку контактора середньої швидкості КМ7. Відбувається відповідне переключення обмоток електродвигуна без перерви харчування ланцюга гальма. На середній швидкості може здійснюватися робота при перевантаженні 200...220% протягом однієї хвилини. При особливо несприятливих умовах може

					141.43013.ДР.ПЗ	Арк.
						44
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

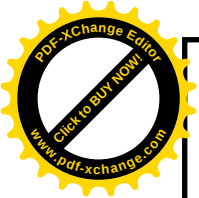


виявитися, що час роботи з перевантаженням перевищує допустимий. Для завершення операції в цьому випадку рукоятку командоконтролера повертають в нульове положення, замикають і утримують в такому положенні вимикач S2, а потім командоконтролер переводять у друге положення. Робота в цих умовах допускається протягом часу що не перевищує 1 хв. В схем є амперметр, включений через трансформатор струму в головну ланцюг. Після охолодження нагрівальних елементів контакти електротеплових реле автоматично повертаються в замкнутий стан:

- захист від коротких замикань ланцюгів управління, здійснювану плавкими запобіжниками FU1 і FU2;
- захист від обриву ланцюгів харчування реле, здійснювану реле KL4;
- захист перетворювача частоти від струмів короткого замикання, обриву фаз, здійснювану автоматичним вимикачем QF і контактором контролю напруги перетворювача;
- все електрообладнання лебідки має захисне заземлення;
- в автоматичному режимі реле часу KT2 замикає свої контакти з витримкою часу для виключення помилкових спрацьовувань;
- при роботі лебідки в швидкісному режимі на третій швидкості в напрямку «Вибирати» і виникненні граничного натягу канату швидкісний режим відключається - лебідка перемикається на роботу з номінальною швидкістю (якщо не встигає спрацювати вантажне реле KK4); розмикається контакт SQ3;
- при виникненні надмірної зусилля в канаті замикається контакт SQ8, подаючи живлення на контактор сигналу надмірного зусилля. Контактор KM9 спрацьовує, розриваючи своїм контактом KM9 ланцюг харчування котушки контактора напрямки KM3. Електродвигун відключається від мережі і загальмовується. Загоряється сигнальна лампа «Надмірне зусилля». При знятті сигналу надмірного зусилля втрачає живлення котушка контактора KM9, знову можлива нормальна робота лебідки.

Електрична частина лебідки має наступні види блокувань:

- фіксація засувкою рукоятки командоконтролера в нульовому положенні;

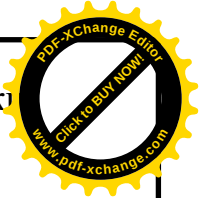
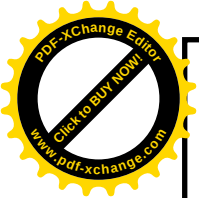


- механічне блокування, що виключає одночасне включення контактів напрямків КМ3 і КМ5;
- електричне блокування, що виключає одночасне включення контакторів КМ3 і КМ5, Здійснювана контактами КМ5 і КМ3;
- блокування, що унеможливорює одночасне включення контакторів швидкостей КМ6, КМ7 і КМ8, здійснювана контактами КМ6, КМ7, КМ8.
- блокування забезпечує відключення і загальмування електродвигуна при неспрацьовуванні одного з контакторів швидкостей, здійснювана реле контролю збірки схеми КЛ4.
- при наявності граничного натягу канату лебідка не включається в напрямку «Вибирати» в швидкісному режимі (розімкнути контакт SQ3).
- при переводі рукоятки командоконтролера з нульового в будь-який робочий стан автоматичний режим відключається. Лебідка працює на заданому робочому положенні рукоятки;
- під час шунтування теплового захисту перемикачем S2 виключається робота в цьому режимі на третій швидкості (розмикається контакт КМ8 в ланцюзі шунтування захисту).
- блокування, що забезпечує плавний розгін на другій швидкості і перехід з витримкою часу на третю швидкість при раптовому перекладі з першого положення рукоятки командоконтролера у третю, здійснюється контактами реле прискорення КТ1.

					141.43013.ДР.ПЗ	Арк.
						46
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



					141.43013.ДР.ПЗ.РЗ			
Зм.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата				
Розробив		Котовський Д.Р.			РОЗДІЛ 3. ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІЧ- НИХ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ РЕЖИМІВ РОЗРОБЛЕНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДА	Лист.	Арк.	Аркциві
Перевірів		Пальчиков О.О.					47	9
						НУК		
Н. Контр.								
Затверд.		Обрубов А.В.						



3.1. Параметри для моделювання електропривода швартовної лебідки

Момент інерції барабана

$$J_{\text{бар}} = m_{\text{бар}} \cdot \left(\frac{r_{16}^2 + r_{16}^2}{2} \right) = 109,198 \cdot \left(\frac{0,39^2 + (0,39 - 0,005)^2}{2} \right) = 16,397 \text{ кг} \cdot \text{м}^2,$$

де $m_{\text{бар}}$ – маса барабана при щільності матеріалу барабана $\rho = 7800 \text{ кг/м}^3$,

$$m_{\text{бар}} = \rho_{\text{ст}} \cdot \left(\frac{r_{16}^2 - r_{16}^2}{2} \right) \cdot l = 7800 \cdot \left(\frac{0,39^2 - (0,39 - 0,005)^2}{2} \right) \cdot 1,15 = 109,198 \text{ кг}.$$

Сумарний момент інерції швартовної лебідки

$$J_{\Sigma} = J_{\text{дв}} \cdot k + \frac{J_{\text{бар}}}{i^2} = 1,25 \cdot 1,05 + \frac{16,397}{90^2} = 1,315 \text{ кг} \cdot \text{м}^2,$$

де k – коефіцієнт, що враховує моменти інерції муфт, $k = 1,05$,

i – передавальне співвідношення, $i = 90$.

Повна потужність автоматичної швартовної лебідки:

при $2p = 12$

$$S_{12} = \frac{P_{\text{ном}}}{\eta \cdot \cos \varphi_{\text{ном}}} = \frac{23}{0,67 \cdot 0,7} = 49,041 \text{ кВА};$$

при $2p = 4$

$$S_4 = \frac{P_{\text{ном}}}{\eta \cdot \cos \varphi_{\text{ном}}} = \frac{65}{0,88 \cdot 0,87} = 84,901 \text{ кВА}.$$

Коефіцієнти для моделювання, визначені згідно реактивних опорів:

при $2p = 12$

$$L_{12x} = \frac{x_1}{2 \cdot \pi \cdot f} = \frac{0,455}{2 \cdot \pi \cdot 50} = 0,00145 \text{ Гн};$$

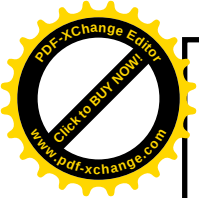
$$L_{12x0} = \frac{x_0}{2 \cdot \pi \cdot f} = \frac{5,619}{2 \cdot \pi \cdot 50} = 0,018 \text{ Гн};$$

при $2p = 4$

$$L_{12x} = \frac{x_1}{2 \cdot \pi \cdot f} = \frac{0,148}{2 \cdot \pi \cdot 50} = 0,000471 \text{ Гн};$$

$$L_{12x0} = \frac{x_0}{2 \cdot \pi \cdot f} = \frac{5,238}{2 \cdot \pi \cdot 50} = 0,017 \text{ Гн}.$$

					141.43013.ДР.ПЗ	Арк.
						48
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Визначення моментів при роботі швартовної лебідки:

при виборі канату з номінальним навантаженням

$$M_{BH} = \frac{F_{ш} \cdot (D_6 + 2 \cdot n \cdot d_T)}{i \cdot \eta} = \frac{80000 \cdot (0,78 + 2 \cdot 1,92 \cdot 0,028)}{90 \cdot 0,75 \cdot 2} = 525,94 \text{ Н};$$

при виборі і травленні ненавантаженого канату

$$M_{HH} = \frac{F_{ш} \cdot \left(\frac{1}{\eta} - 1\right) (D_6 + 2 \cdot n \cdot d_T)}{i \cdot 2} = \frac{80000 \cdot \left(\frac{1}{0,75} - 1\right) (0,78 + 2 \cdot 1,92 \cdot 0,028)}{90 \cdot 2} = 131,48 \text{ Н};$$

при травленні канату з номінальним навантаженням

$$M_{TH} = - \frac{F_{ш} \cdot \left(2 - \frac{1}{\eta}\right) (D_6 + 2 \cdot n \cdot d_T)}{i \cdot 2} = - \frac{80000 \cdot \left(2 - \frac{1}{0,75}\right) (0,78 + 2 \cdot 1,92 \cdot 0,028)}{90 \cdot 2} = 262,97 \text{ Н}.$$

3.2. Параметри перехідного процесу при вибиранні канату

На рис. 3.1 наведена модель електроприводу швартовної лебідки при вибиранні канату. В табл. 3.1 представлені параметри перехідного процесу при вибиранні канату. Результати моделювання зображені на рис. 3.2...3.6.

Таблиця 3.1 Параметри перехідного процесу при вибиранні канату

Вибирання канату		Час перехідного процесу <i>t</i> , с	Кутова швидкість <i>ω</i> , с ⁻¹	Кінечна кутова швидкість <i>ω</i> , с ⁻¹	Довжина вибраного канату <i>S</i> , м
Режим з номінальним навантаженням	1 швидкість	1	12,50	0,054	0,050
	2 швидкість	0,3	45,00	0,195	0,045
	3 швидкість	-	-	-	-
Ненавантажений канат	1 швидкість	1	15,50	0,0675	0,0633
	2 швидкість	0,5	50,64	0,220	0,100
	3 швидкість	0,3	154,4	0,670	0,110

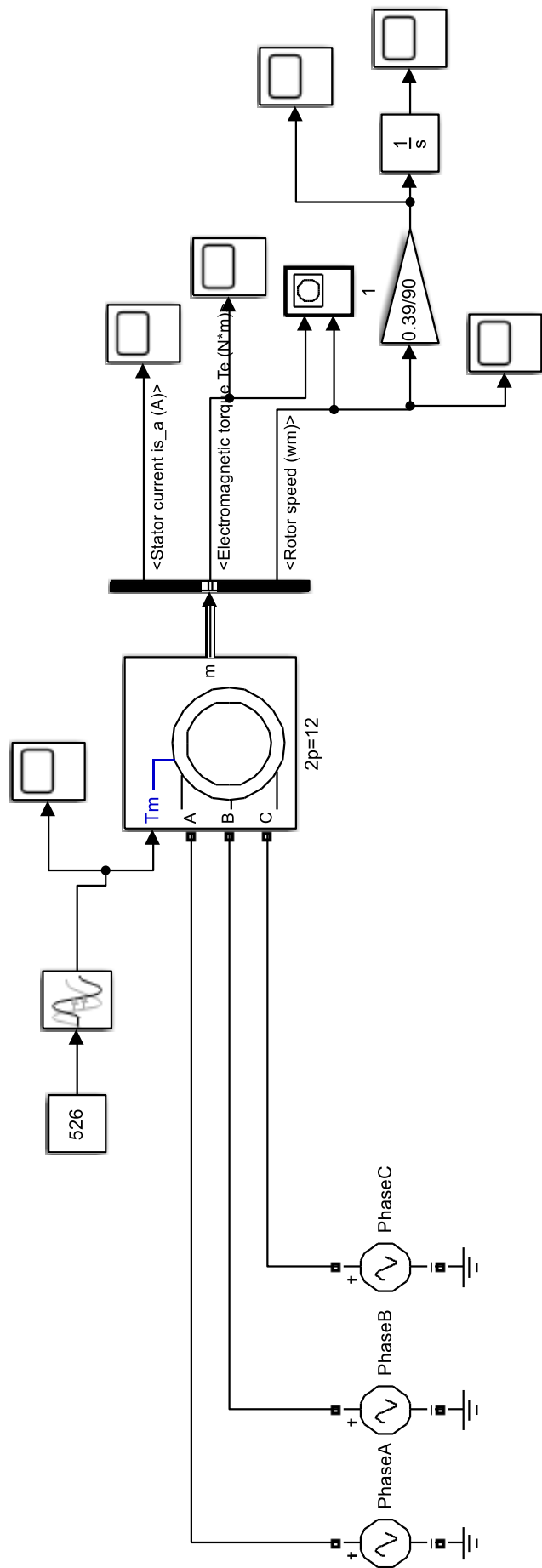


Рис. 3.1. Модель електропривода швартовної лебідки при вибиранні канату

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

141.4301з.ДР.ПЗ

Арк.

50

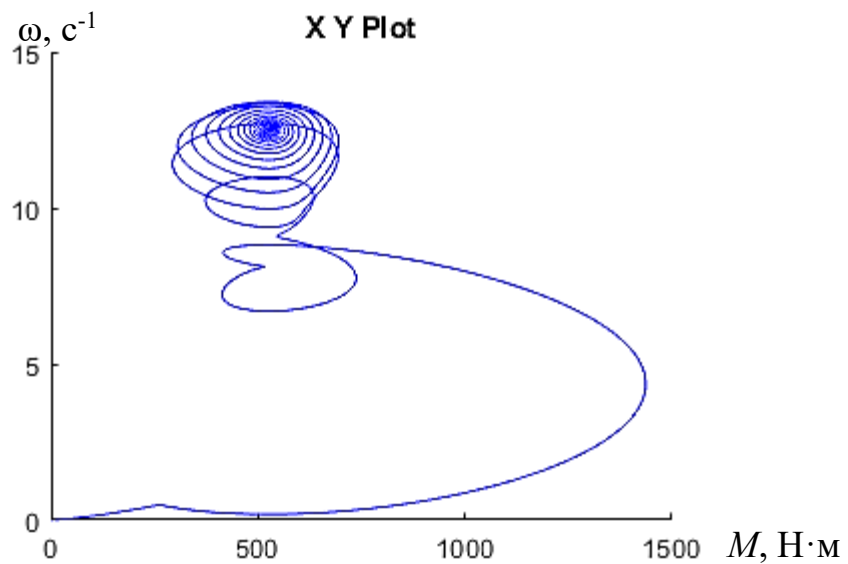


Рис. 3.2. Кутова швидкість для 1-ої швидкості при номінальному режимі

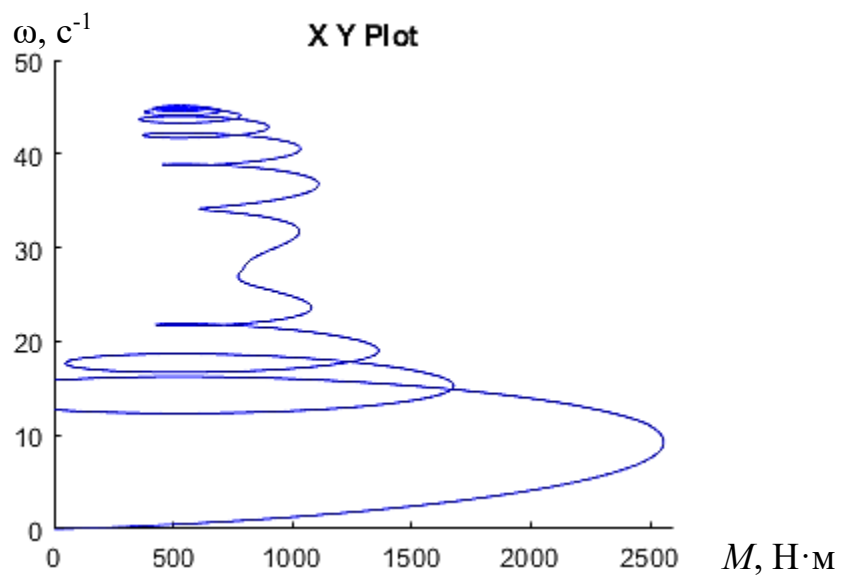


Рис. 3.3. Кутова швидкість для 2-ої швидкості при номінальному режимі

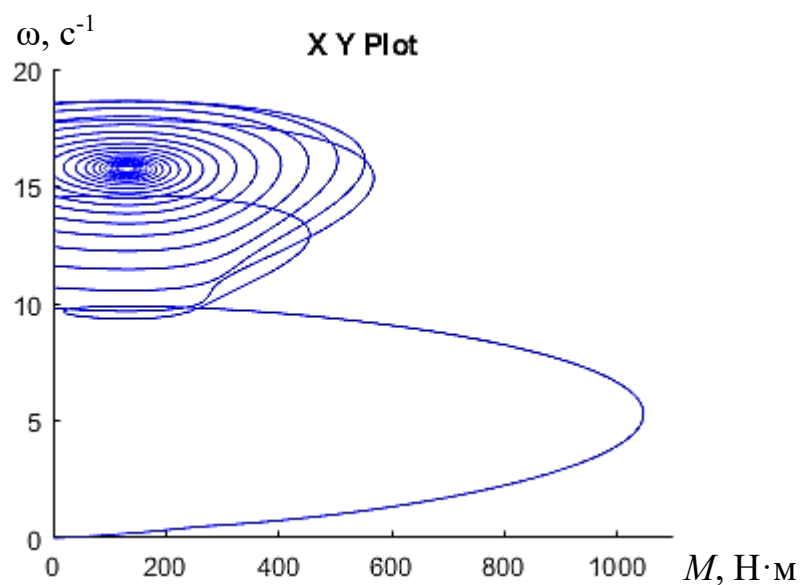


Рис. 3.4. Кутова швидкість для 1-ої швидкості при ненавантаженому режимі

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

141.4301з.ДР.ПЗ

Арк.

51

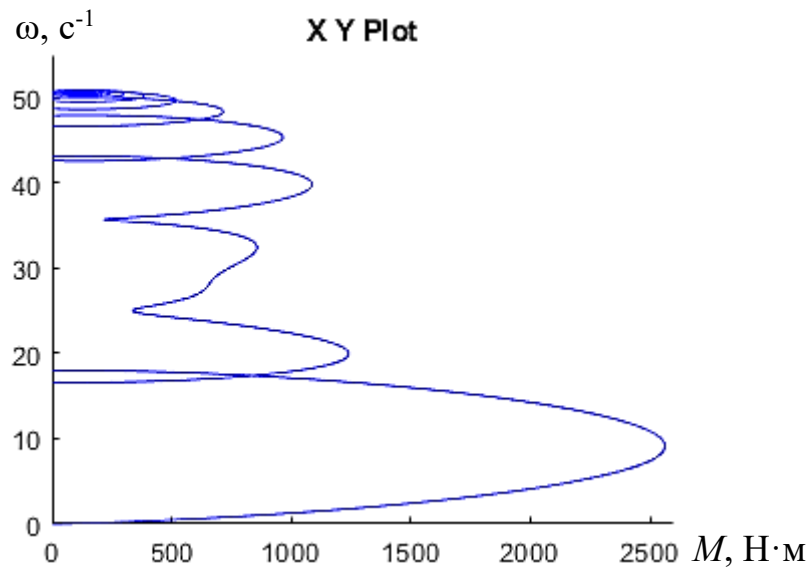


Рис. 3.5. Кутова швидкість для 2-ої швидкості при ненавантаженому режимі

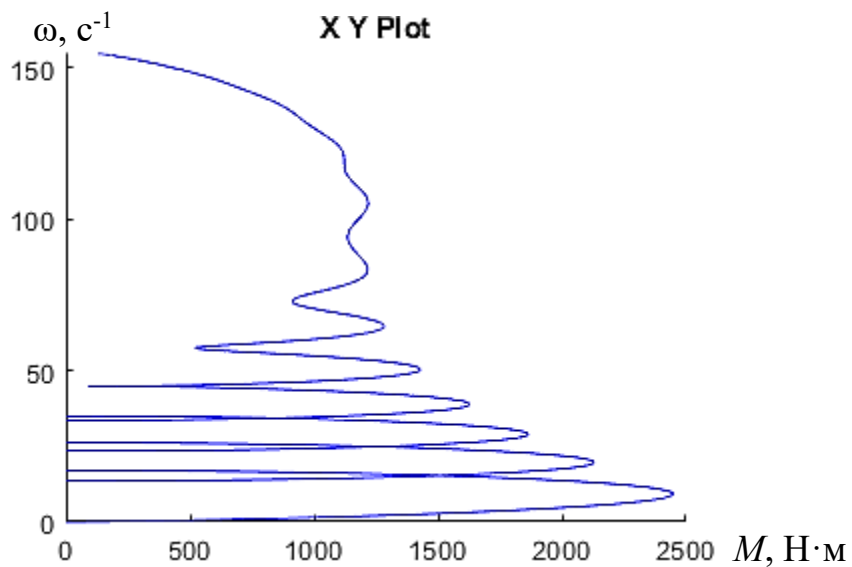


Рис. 3.6. Кутова швидкість для 3-ої швидкості при ненавантаженому режимі

3.3. Параметри перехідного процесу при травленні канату

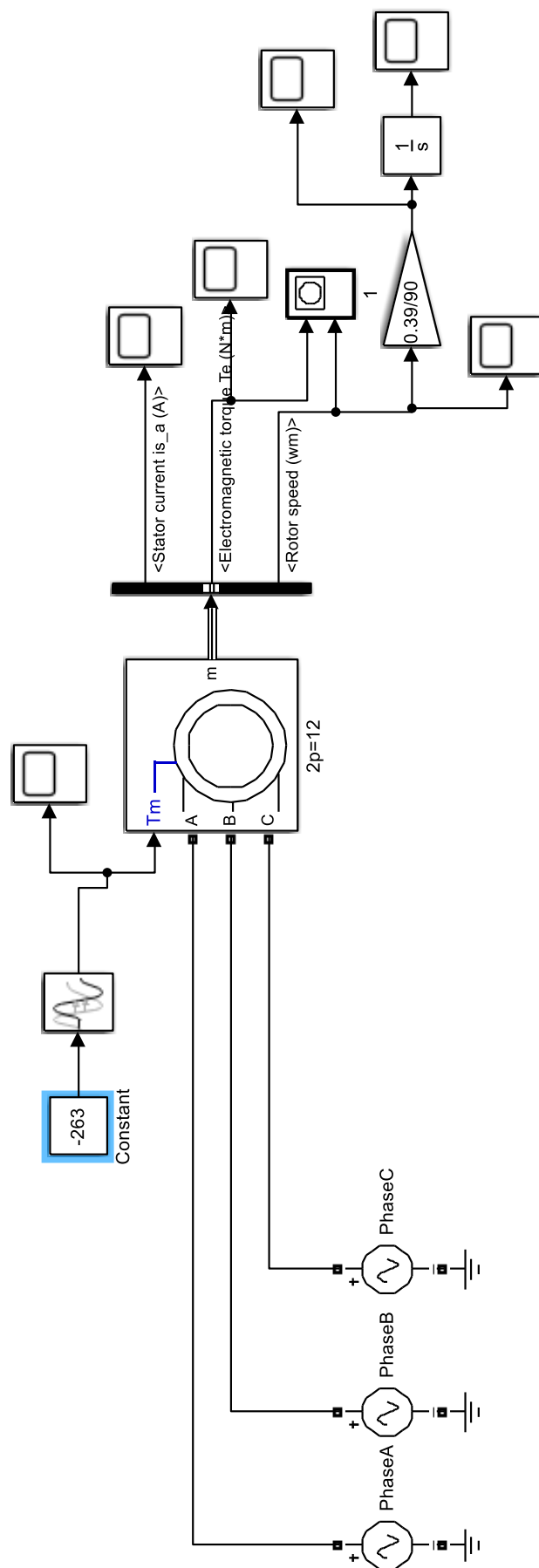
На рис. 3.7 наведена модель електроприводу швартовної лебідки при травленні канату. В табл. 3.2 представлені параметри перехідного процесу при травленні канату. Результати моделювання зображені на рис. 3.8...3.12.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

141.4301з.ДР.ПЗ

Арк.

52



НОМІНАЛЬНИМ НАВАНТАЖЕННЯМ

					141.4301з.ДР.ПЗ	Арк.
						53
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 3.2 Параметри перехідного процесу при травленні канату

Травлення канату		Час перехід- ного процесу t , с	Кінечна кута- ва швидкість ω , с^{-1}	Кінечна швидкість канату V , м/с	Довж. витравленого канату S , м
Режим з номінальним навантаженням	1 швидкість	1	18,70	0,081	0,077
	2 швидкість	0,4	55,75	0,242	0,087
	3 швидкість	-	-	-	-
Ненавантаже- ний канат	1 швидкість	1	15,50	0,0675	0,0633
	2 швидкість	0,5	50,64	0,220	0,100
	3 швидкість	0,3	154,4	0,670	0,110

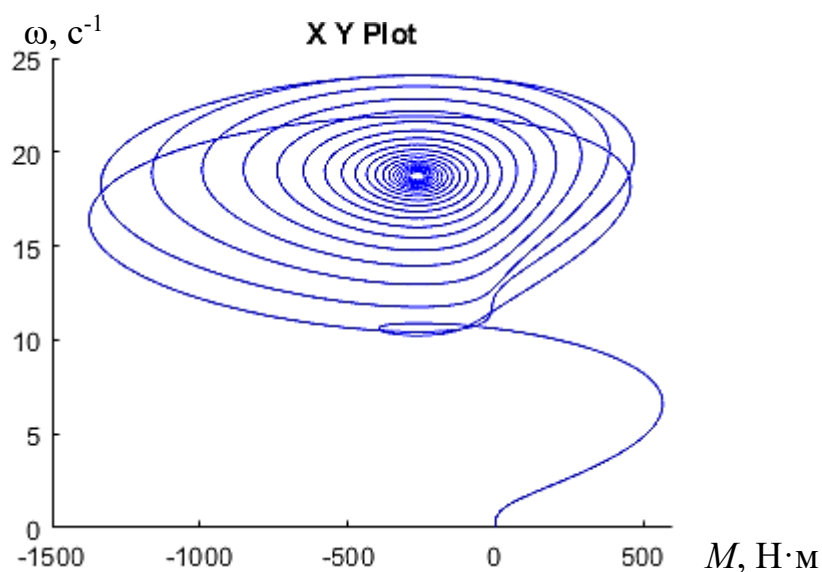


Рис. 3.8. Кутова швидкість для 1-ої швидкості при номінальному режимі

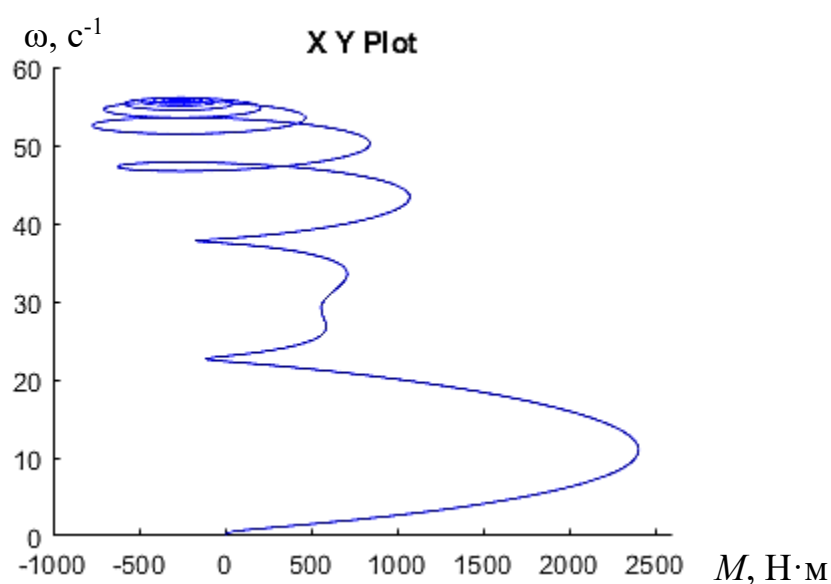


Рис. 3.9. Кутова швидкість для 2-ої швидкості при номінальному режимі

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

141.4301з.ДР.ПЗ

Арк.

54

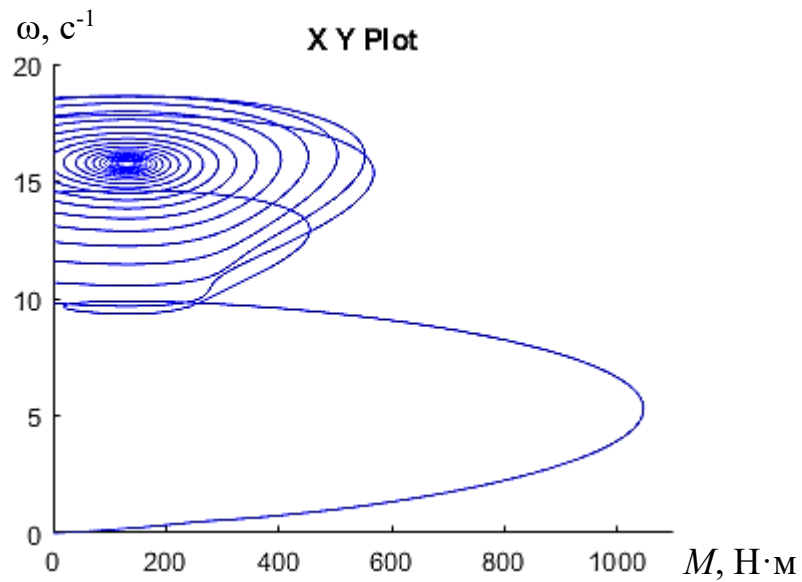


Рис. 3.10. Кутова швидкість для 1-ої швидкості при ненавантаженому режимі

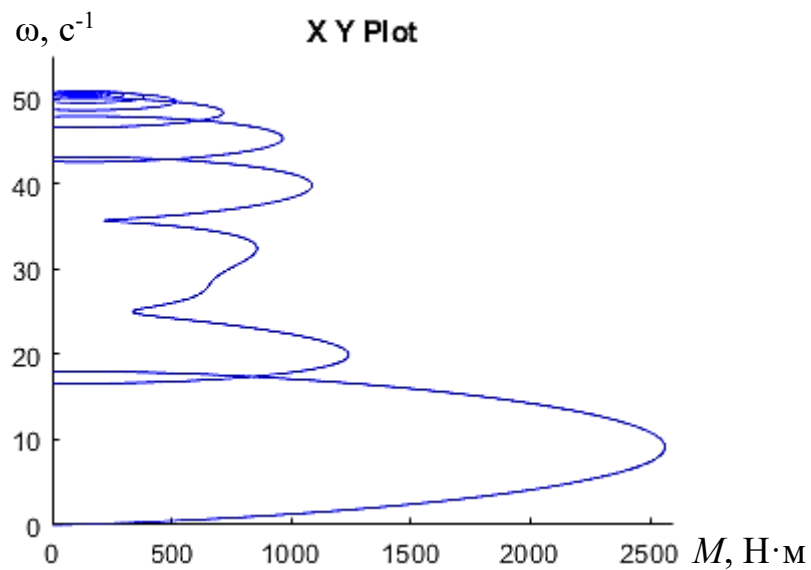


Рис. 3.11. Кутова швидкість для 2-ої швидкості при ненавантаженому режимі

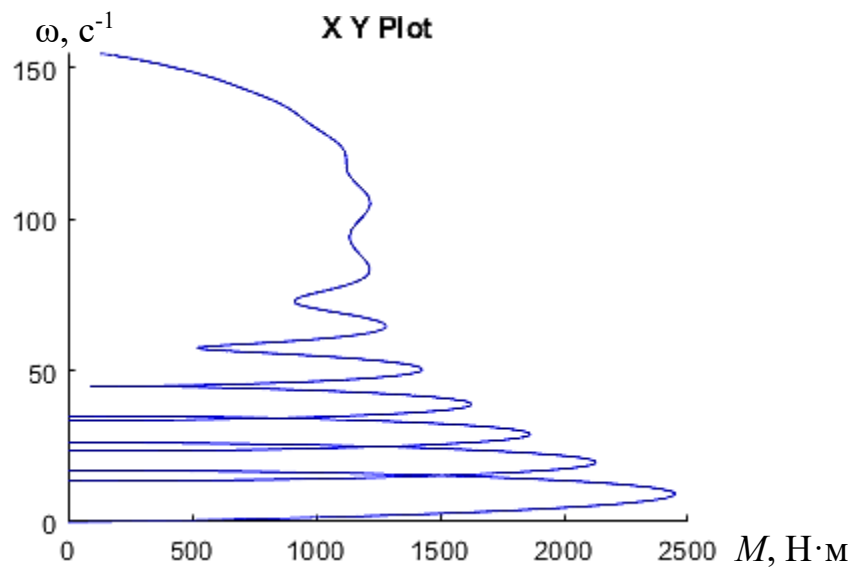


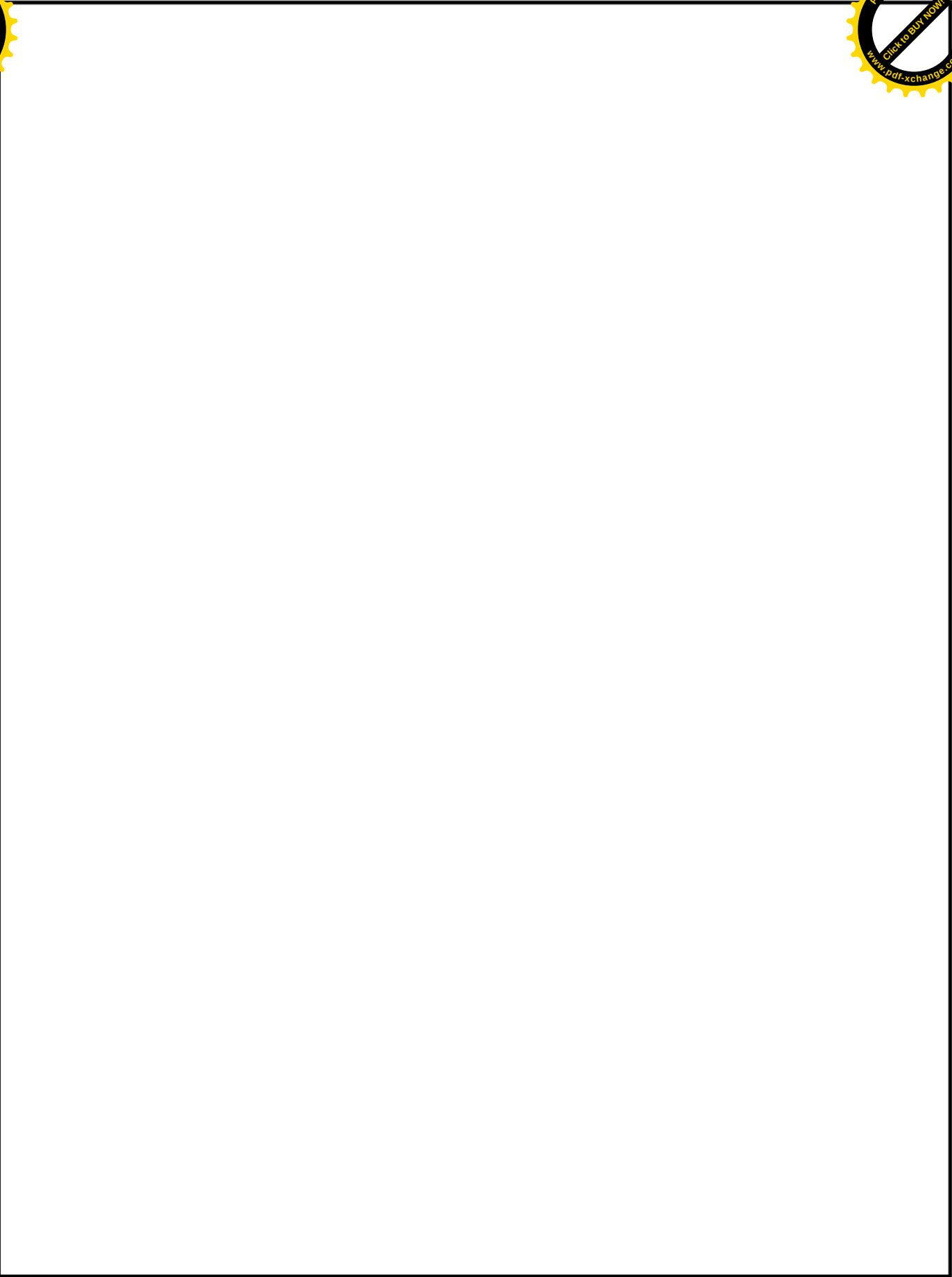
Рис. 3.12. Кутова швидкість для 3-ої швидкості при ненавантаженому режимі

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

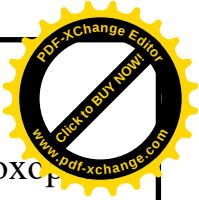
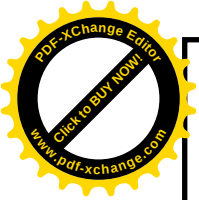
141.4301з.ДР.ПЗ

Арк.

55



					141.4301з.ДР.ПЗ.Р4						
Зм.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата							
Розробив		Котовський Д.Р.			РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ			Лист.	Арк.	Аркушів	
Перевірів		Пальчиков О.О.								56	10
								НУК			
Н. Контр.											
Затверд.		Обрубов А.В.									



4.1. Загальні положення

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

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

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

Правове регулювання охорони праці охоплює розробку і прийняття загальних норм охорони праці, правил техніки безпеки і виробничої санітарії; проведення профілактичних заходів, спрямованих на створення сприятливих умов праці, що попереджують виробничий травматизм та професійні захворювання; створення сприятливих умов праці і забезпечення її охорони на

					141.4301з.ДР.ПЗ	Арк.
						57
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



діючих підприємствах в процесі виконання працівниками своїх трудових обов'язків; систематичне поліпшення і оздоровлення умов праці безпосередньою участю самих трудових колективів; розробку додаткових заходів щодо охорони праці окремих категорій трудящих – жінок, неповнолітніх, осіб зі зниженою працездатністю.

У Законі «Про охорону праці» вперше в історії України економічні заходи управління охороною праці зведені до рангу державної політики. Цим Законом у суспільстві стверджуються принципово нові взаємовідносини, що базуються на економічному механізмі управління умовами праці – формуванні у власника (роботодавця) економічної зацікавленості у здійсненні заходів щодо поліпшення умов праці [3].

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

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

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

Порушення правил електробезпеки при використанні технологічного обладнання, електроустановок та безпосереднє зіткнення з струмооведучими частинами установок, що знаходяться під напругою, створює небезпеку ураження електричним струмом.

Проходження електричного струму через організм людини надає термічну, електролітичну та біологічну дії. Термічна дія струму проявляється в опіках окремих ділянок тіла, нагріванні крові, кровоносних судин; електролітичне – в



розкладанні крові; біологічне – в подразнені живих тканин організму, що призводить до припинення діяльності органів кровообігу і дихання.

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

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

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

- електричний опік (контактний) струмовий – виходить в результаті зіткнення (контакту) людини з струмоведучих частиною і є наслідком перетворення електричної енергії в теплову. Розрізняють чотири ступені опіків: I – почервоніння шкіри; II – утворення пухирів; III – омертвіння всієї товщі шкіри; IV – обвуглювання тканин організму. Тяжкість ураження обумовлюється не стільки ступенем опіку, скільки площею обпаленої поверхні тіла. Струмові опіки виникають при напрузі не вище 1000 В і є найчастіше опіками I-II ступеня;

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

Електричні знаки – це плями сірого і блідо-жовтого кольору, подряпини, забої на поверхні шкіри людини, яка зазнала дії струму. Форма знака може відповідати формі струмоведучих частин, якої торкнувся потерпілий. Лікування

					141.43013.ДР.ПЗ	Арк.
						59
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



електричних знаків у більшості випадків завершується благополучно, у місці відновлює чутливість і еластичність.

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

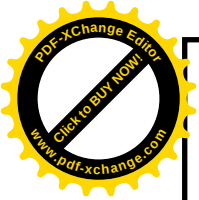
Електроофтальмія – це ураження кон’юнктиви і повік в результаті впливу потужного потоку ультрафіолетових променів при електричній дузі.

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

Електричний удар – збудження живих тканин і внутрішніх органів людини, що супроводжується мимовільними судомними скороченнями м’язів. Електроудари бувають чотирьох ступенів: I – судорожне скорочення м’язів без втрати свідомості; II – судоми м’язів, втрата свідомості при збереженні дихання і роботи серця; III – втрата свідомості, зупинка серця або дихання; IV – клінічна смерть, тобто відсутність дихання і кровообігу.

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

					141.43013.ДР.ПЗ	Арк.
						60
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



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

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

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

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

4.3. Розрахунок освітлення в кабінеті капітана

Проводиться розрахунок вибору необхідних світильників для забезпечення нормальних робочих умов в кабінеті капітана з наступними даними: площа

					141.43013.ДР.ПЗ	Арк.
						61
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

кабінету $S = A \cdot B = 4 \cdot 3 = 12 \text{ м}^2$; висота $H = 2,5 \text{ м}$; розрахункова розташована горизонтально на рівні $0,8 \text{ м}$ від палуби, тому $h_{\text{розрах}} = 2,5 - 0,8 = 1,7 \text{ м}$.

Обрання коефіцієнту використання світлового потоку по нищезначеним параметрам:

- коефіцієнт відбиття підволоки – $\rho_{\text{п}} = 70 \%$;
- коефіцієнт відбиття переборок – $\rho_{\text{пер}} = 50 \%$;
- коефіцієнт відбиття палуби – $\rho_{\text{р}} = 50 \%$.

Попередньо приймається кількість світильників – чотири типу СС-755 з 4-ма люмінесцентними лампами ЛЛ типу ПТБ 15-4 і з розміщенням світильників згідно креслення (рис. 4.1).

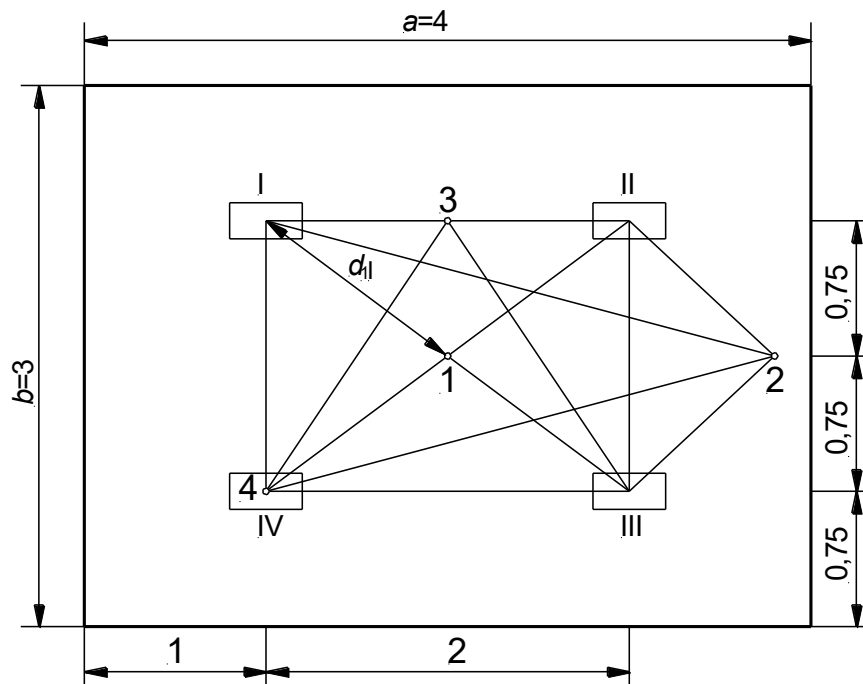


Рис. 4.1. Розташування світильників до розрахунку освітленості точковим методом

Визначаються відстані d від розрахункових точок 1 – 4 до перпендикуляра світлового центру світильників I – IV на розрахункову площу:

$$d_{1I} = 1,25 \text{ м}; \quad d_{2I} = 2,8 \text{ м}; \quad d_{3I} = 1,0 \text{ м}; \quad d_{4I} = 1,5 \text{ м};$$

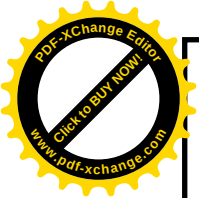
$$d_{1II} = 1,25 \text{ м}; \quad d_{2II} = 1,0 \text{ м}; \quad d_{3II} = 1,0 \text{ м}; \quad d_{4II} = 2,5 \text{ м};$$

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

141.4301з.ДР.ПЗ

Арк.

62



$$\begin{aligned}d_{1\text{III}} &= 1,25 \text{ м}; & d_{2\text{III}} &= 1,0 \text{ м}; & d_{3\text{III}} &= 1,8 \text{ м}; & d_{4\text{III}} &= 2,0 \text{ м}; \\d_{1\text{IV}} &= 1,25 \text{ м}; & d_{2\text{IV}} &= 2,8 \text{ м}; & d_{3\text{IV}} &= 1,8 \text{ м}; & d_{4\text{IV}} &= 0 \text{ м}.\end{aligned}$$

Згідно знайденим значенням і за кривими просторових ізолюксів для світильника типу СС-755 (рис. 5.2.3 [9]) визначаються сумарні умовні значення освітленостей в намічених точках:

$$\Sigma e_1 = 24 + 24 + 24 + 24 = 96 \text{ лк};$$

$$\Sigma e_2 = 5,0 + 30 + 30 + 5,0 = 70 \text{ лк};$$

$$\Sigma e_3 = 30 + 30 + 12 + 12 = 84 \text{ лк};$$

$$\Sigma e_4 = 17 + 5 + 9 + 55 = 86 \text{ лк}.$$

Знаходиться дійсне значення освітленості в розрахункових точках за формулою:

$$E_1 = \frac{n \cdot F_{\text{л}} \cdot \mu \cdot \Sigma e_1}{1000 \cdot k_{\text{зап}}} = \frac{4 \cdot 7000 \cdot 1,2 \cdot 96}{1000 \cdot 1,5} = 215 \text{ лк};$$

$$E_2 = \frac{n \cdot F_{\text{л}} \cdot \mu \cdot \Sigma e_2}{1000 \cdot k_{\text{зап}}} = \frac{4 \cdot 7000 \cdot 1,2 \cdot 70}{1000 \cdot 1,5} = 157 \text{ лк};$$

$$E_3 = \frac{n \cdot F_{\text{л}} \cdot \mu \cdot \Sigma e_3}{1000 \cdot k_{\text{зап}}} = \frac{4 \cdot 7000 \cdot 1,2 \cdot 84}{1000 \cdot 1,5} = 187 \text{ лк};$$

$$E_4 = \frac{n \cdot F_{\text{л}} \cdot \mu \cdot \Sigma e_4}{1000 \cdot k_{\text{зап}}} = \frac{4 \cdot 7000 \cdot 1,2 \cdot 86}{1000 \cdot 1,5} = 196 \text{ лк},$$

де n – кількість світильників, $n = 4$;

$F_{\text{л}}$ – світловий потік лампи ПТБ 15-4, $F_{\text{л}} = 7000 \text{ Лм}$;

μ – коефіцієнт, що враховує вплив віддалених світильників і відбитого світла, $\mu = 1,2$;

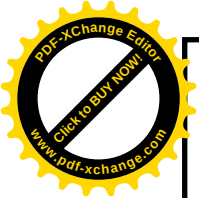
$k_{\text{зап}}$ – коефіцієнт запасу, що враховує експлуатаційне зниження освітленості в порівнянні з запроектованною внаслідок забруднення підволоки та переборок, світильників і ламп, $k_3 = 1,5$.

Розраховується середнє значення освітленості в приміщенні за формулою

$$E_{\text{сер}} = \frac{\sum_{i=1}^n E}{m} = \frac{215 + 157 + 187 + 192}{4} = 187,8 \text{ лк},$$

де m – кількість розрахункових точок, $m = 4$.

					141.43013.ДР.ПЗ	Арк.
						63
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Таким чином, середня освітленість більше нормуємої (табл. 5.1.6 [9]).

$$E_{\text{сер}} \geq E_{\text{норм}} = 150 \text{ лк},$$

і відповідно, вибір світильників проведений правильно.

Приймається для установки 4 світильники типу СС-755 з 4-ма люмінесцентними лампами ЛЛ типу ПТБ 15-4.

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

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

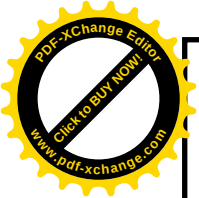
Огороженню підлягають всі струмоведучі неізольовані частини електричних пристроїв (дроти, шини, контакти рубильників і запобіжників).

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

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

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

					141.4301з.ДР.ПЗ	Арк.
						64
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



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

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

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

Для захисту від ураження електрострумом у чотирьохпроводних мережах, питомих трансформатором з глухозаземленою нейтраллю, застосовують захисне занулення. Цей вид захисту представляє собою з'єднання металевих частин установки, які не знаходяться під напругою, із заземленим в трансформаторному

					141.4301з.ДР.ПЗ	Арк.
						65
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



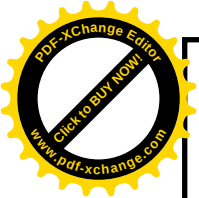
пункті нульовим проводом. У разі появи напруги на корпусі устаткування відбувається коротке замикання в мережі і згоряють запобіжники, що призводить до відключення напруги від електроустановки.

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

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

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

					141.43013.ДР.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		66



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

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

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

Правильно організоване освітлення позитивно впливає на діяльність центральної нервової системи, знижує енерговитрати організму на виконання певної роботи, що сприяє підвищенню працездатності людини, продуктивності праці і якості продукції, зниженню виробничого травматизму тощо. Так, наприклад, збільшення освітленості від 100 до 1000 люкс при напруженій



зоровій роботі приводить до підвищення продуктивності праці на 10%, зменшення браку на 20%, зниження кількості нещасних випадків на 5%. Вважають, що 5% травм можуть спричинюватись такою професійною хворобою як робоча міопія (короткозорість).

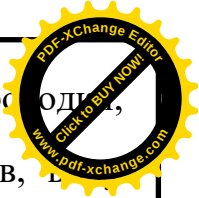
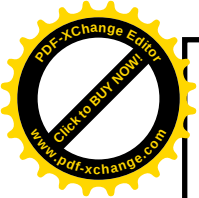
Слід відмітити особливо важливу роль в життєдіяльності людини природного освітлення, його ультрафіолетової частини спектру. Природне освітлення стимулює біохімічні процеси в організмі, поліпшує обмін речовин, загартовує організм, йому властива протибактерицидна дія тощо. У зв'язку з цим при недостатньому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

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

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

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

					141.43013.ДР.ПЗ	Арк.
						68
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



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

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

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

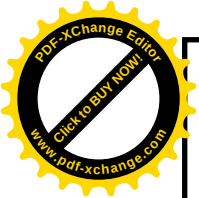
У разі виявлення вогнища пожежі необхідно оповістити працюючих про пожежу, повідомити про нього в пожежну частину, зняти напругу з електроустаткування в зоні пожежі, відключити вентиляцію і приступити до ліквідації пожежі. Для цих цілей використовують стаціонарні і переносні вогнегасні засоби, штатні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

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

					141.43013.ДР.ПЗ	Арк.
						69
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



					141.4301з.ДР.ПЗ.В			
Зм.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата				
Розробив		Котовський Д.Р.			ВИСНОВКИ	Лист.	Арк.	Аркцивіт
Перевірів		Пальчиков О.О.					66	2
						НУК		
Н. Контр.								
Затверд.		Обрубов А.В.						



В кваліфікаційній роботі бакалавра поставлена і вирішена комп'ютерна задача експлуатаційного моделювання асинхронного електропривода швартовного пристрою судна «Boka Polaris» відповідно до експлуатаційних вимог. В цілому по роботі можна зробити наступні висновки:

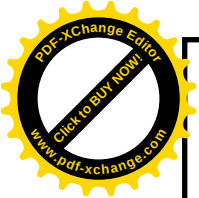
1. Сучасним напрямленням розвитку швартовних електроприводів є використання багатошвидкісного асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором, заміна контактних апаратів тиристорними комутаторами, використання контакторів з безструмовою комутацією, використання магнітопружних датчиків для вимірювання моменту.

2. Побудовані природні механічні і електромеханічні характеристики асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором для $2p = 12$ і $2p = 4$. Побудовані штучні механічні і електромеханічні характеристики асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором для $2p = 12$ і наступних частотах живлення 6 і 16 Гц.

3. Розроблені математичні моделі і реалізовані в Matlab електропривода швартовного пристрою для всіх можливих режимів його роботи, при чому частотний перетворювач представляється ідеальним джерелом напруги з необхідною частотою, асинхронний двигун при зміні кількості пар полюсів представляється окремою моделлю з постійними коефіцієнтами, механічна частина представлена коефіцієнтом, зміна довжини канату визначається інтегруванням швидкості, режим роботи обирається на основі початкових даних.

4. Проаналізовано перехідні процеси при експлуатації швартовного пристрою: момент в перехідних режимах сягає 2600 Н·м, що майже в двічі перевищує статичний максимальний момент, довжина канату майже не змінюється, час перехідного процесу сягає 0,3...1,0 с.

					141.43013.ДР.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		71



ЛІТЕРАТУРА

1. ДСТУ 7237:2011. Система стандартів безпеки праці. Електробезпека. Держстандарт України, 2011. – 10 с.
2. Бондаренко В. І. Основи електричного привода / В. І. Бондаренко. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2003. – 310 с.
3. Возняк, О.М., Штуць. А.А., Колісник М.А. Сучасні системи електроприводів. Теорія та практика. Частина 1. – Вінниця: ТВОРИ, 2021. – 280 с.
4. Суднові автоматизовані електроприводи: Навчальний посібник / В.О. Яровенко, О.І. Зарицька, П.С. Черников. – Одеса: ОНМУ, 2021. – 213 с.
5. Піскунов А.М. Електроустаткування суден: навч. посібник для вузів. – Миколаїв: НУК, 2006. – 144 с.
6. Локарев, В. І. Суднові автоматизовані електроприводи. Навчальний посібник. – Миколаїв: УДМТУ, 2002. – 160 с.
7. Основи електропривода виробничих машин та комплексів: навч. посіб. / В.Е. Воскобойник та ін. – Д.: Національний ТУ «Дніпровська політехніка», 2021. – 254 с.
8. Лавріненко Ю.М., Савченко П.І., Синявський О.Ю. Основи електропривода. – Київ: Видавництво Ліра-К, 2017. – 524 с.
9. Структурно-параметричний синтез систем автоматизованих електроприводів. Бойчук Б.Г., Лозинський О.Ю., Цяпа В.Б., Головач І.Р. – Львів: «Магнолія-2006», 2021. – 116 с.
10. Чабан В. Математичне моделювання електромеханічних процесів. – Львів: Вид-во Нац. ун-ту «Львівська політехніка», 1997. – 342 с.
11. Мануїлов В. П. Режим роботи суднових енергетичних установок (збірник ситуаційних завдань): Навчальний посібник / В. П. Мануїлов, О. В. Бурлаченко, А. І. Іванов, В. Ю. Кателко, Б. А. Подруцький. – Одеса: ОГМА, 1992. – 84 с.
12. Основи електропривода. Теорія та практика / А. А. Видмиш, Л. В. Ярошенко. – Вінниця, 2020. – 387 с.
13. Колб Ан. Теорія електроприводу: навч. посібник. – Д.: Національний гірничий університет, 2011. – 540 с.

					141.43013.ДР.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		72



14. Попович М.Г. Електромеханічні системи автоматичного керування електроприводи: навч. посібник / М. Г. Попович, О. Ю. Лозинський, Клепиков та ін.; за ред.. М. Г. Поповича, О. Ю. Лозинського. – К.: Либідь, 2005. – 680 с.
15. Суднові автоматизовані електроприводи. Методичні вказівки / С.М. Дранчук, С.І. Іовчев. – Одеса: ОНМУ, 2025. – 78 с.
16. Плахтина Є. Г. Математичне моделювання запорної арматури електричних машин систем. – Львів: Вища школа. Вид-во при Львів. ун-ті, 1986. – 164 с.
17. Правила класифікації та побудови морських суден. Частина 1. Класифікація. Том 1. – К.: Регістр судноплавства України, 2020. – 150 с.
18. Правила класифікації та побудови морських суден. Том 4. – К.: Регістр судноплавства України, 2020. – 360 с.
19. Загірняк М.В., Коренькова Т.В. Сучасні перетворювачі частоти в системах електропривода. – Харків: Видавництво «Точка», 2017. – 206 с.
20. Павленко Т. П. Автоматизований електропривод загальнопромислових механізмів. – Харків: ХНУМГ ім.О.М.Бекетова, 2018. – 132 с.

					141.4301з.ДР.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		73