

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

Навчально науковий інститут автоматики та електротехніки

Кафедра суднових електроенергетичних систем

«Допущений до захисту»

Завідувач кафедри

Обрубов А.В.



(підпис)

« 05 » 06 2026 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття першого освітнього рівня вищої освіти «бакалавр»

на тему:

«Розробка магнітного пускача суднового призначення»

Виконав: студент групи 4301з



(підпис)

Акулов Р.Є.

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 Акулову Роману Євгеновичу

- Тема роботи: «Розробка магнітного пускача суднового призначення»
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: Магнітний пускач змінного струму з номінальним струмом 63 А напівзаглибного транспортного судна «Black Marlin»
- Перелік питань, що належать до розробки (найменування розділів):
 - Опис і основні характеристики напівзаглибного транспортного судна «Black Marlin».
 - Розрахунок елементів контуру струму.
 - Вибір і розрахунок приводного електромагніту.
 - Охорона праці.
- Перелік презентаційних матеріалів:
 - Загальний вид і основні характеристики напівзаглибного транспортного судна «Black Marlin».
 - Суднові магнітні пускачі змінного струму.
 - Сумарна протидіюча характеристика.
 - До розрахунку приводного електромагніту змінного струму.
 - Тягова характеристика електромагніту.

6. Консультанти розділів ВКР

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

7. Дата видачі завдання 24.02.2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Опис і основні характеристики напівзаглибного транспортного судна «Black Marlin»	10.04.2026 р.	Вик.
2.	Розрахунок елементів контуру струму	24.04.2026 р.	Вик.
3.	Вибір і розрахунок приводного електромагніту	14.05.2026 р.	Вик.
4.	Охорона праці	21.05.2026 р.	Вик.

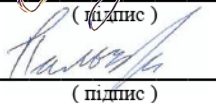
Студент


(підпис)

Акулов Р.Є.

(прізвище та ініціали)

Керівник ВКРБ


(підпис)

Пальчиков О.О.

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Дипломна робота присвячена експлуатації магнітних пускатрів, які забезпечують безперебійну та безпечну роботу електродвигунів на прикладі напівзаглибного транспортного судна «Black Marlin». Проаналізовано застосування і технічне обслуговування магнітних пускатрів в суднових системах. Виконано розрахунок елементів струмоведучого контуру, головних і додаткових контактів, пристрою дугогасіння. Проведено побудову протидіючої характеристики. Розраховано приводний електромагніт з побудовою тягової характеристики. Розглянуті питання охорони праці.

Кваліфікаційна робота складається з 80 сторінок і включає 19 рисунків, 1 таблицю, графічна частина складає 5 сторінок. Під час виконання роботи використано наступне програмне забезпечення MS Excel, AutoCad, Matlab.

Ключові слова: магнітний пускатч; пристрій дугогасіння; розрахунок елементів струмоведучого контуру.

ABSTRACT

The thesis is devoted to the operation of magnetic starters, which ensure uninterrupted and safe operation of electric motors, using the example of the semi-submersible transport vessel "Black Marlin". The application and maintenance of magnetic starters in ship systems are analyzed. The calculation of the elements of the current-carrying circuit, the main and additional contacts, the arc extinguishing device has been performed. The construction of the counteracting characteristic was carried out. The driving electromagnet with the construction of traction characteristics is calculated. The issues of labor protection have been considered.

Qualifying work consists of 80 pages and includes 19 drawings, 1 tables, the graphic part consists of 5 pages. During the execution of the work MS Excel, AutoCad, Matlab have been used.

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

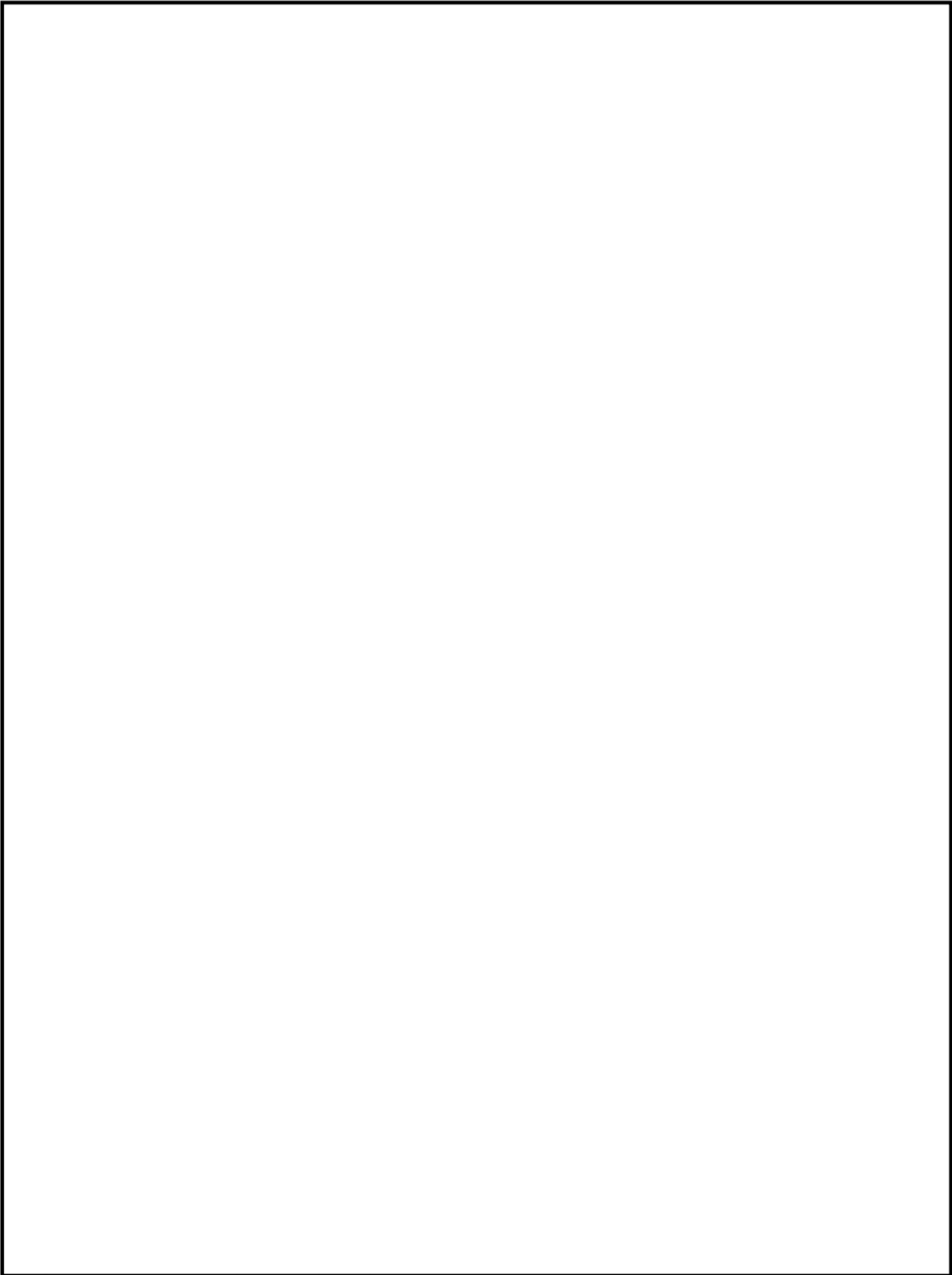
ЗМІСТ

ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1. ОПИС І ОСНОВНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ НАПІВЗАГЛИБНОГО ТРАНСПОРТНОГО СУДНА «BLACK MARLIN».....	9
1.1. Характеристика напівзаглибного транспортного судна «Black Marlin».....	10
1.2. Суднові магнітні пускачі	14
1.3. Застосування магнітних пускачів в судових системах	22
1.4. Технічне обслуговування і ремонт магнітних пускачів	24
РОЗДІЛ 2. РОЗРАХУНОК ЕЛЕМЕНТІВ КОНТУРУ СТРУМУ	32
2.1. Розрахунок елементів струмоведучого контуру	33
2.2. Розрахунок головних контактів	37
2.3. Розрахунок додаткових контактів	40
2.4. Розрахунок пристрою дугогасіння	41
РОЗДІЛ 3. ВИБІР І РОЗРАХУНОК ПРИВОДНОГО ЕЛЕКТРОМАГНІТУ	44
3.1. Розрахунок контактної пружини головних і допоміжних контактів, зворотної пружини контактів	45
3.2. Побудова протидіючої характеристики	49
3.3. Розрахунок приводного електромагніту.....	51
3.4. Розрахунок тягової характеристики	60
РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ	63
4.1. Загальні положення	64
4.2. Заходи щодо забезпечення безпеки праці при експлуатації судових систем автоматики, контролю і сигналізації, вимірювання та захисту	66
4.3. Розрахунок вібрації судового дизель-генератора при його експлуатації	69

4.4. Заходи з техніки безпеки при експлуатації дизель-генераторних

агрегатів.....	70
ВИСНОВКИ	77
ЛІТЕРАТУРА	79

					141.4301з.ДР.ПЗ	Арк.
						6
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

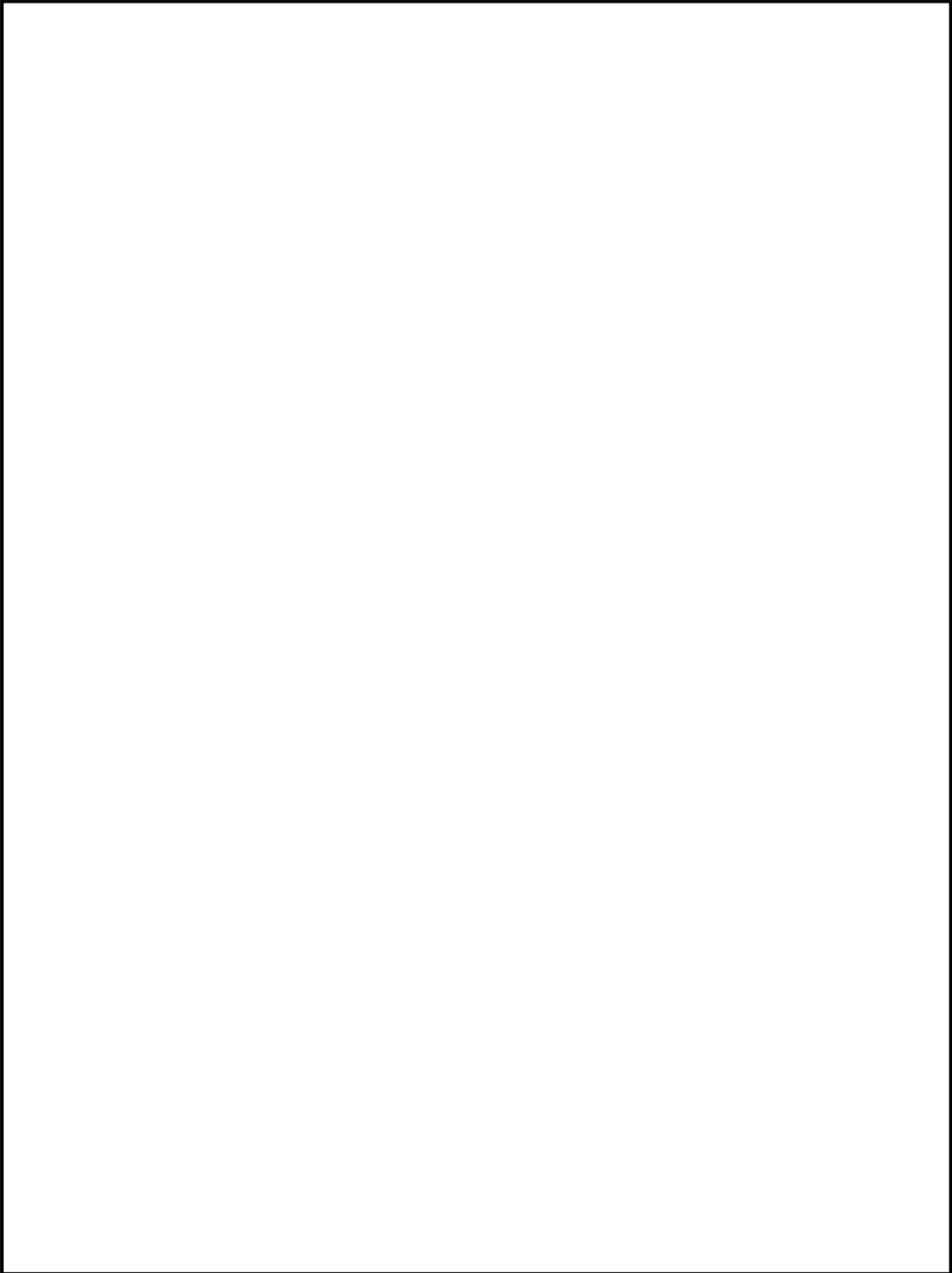


					141.4301з.ДР.ПЗ.Вс					
Зм.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата						
Розробив		Акулов Р.Є.			ВСТУП			Лист.	Арк.	Аркушів
Перевірів		Пальчиков О.О.							7	2
								НУК		
Н. Контр.										
Затверд.		Обрубов А.В.								

Магнітні пускачі знаходять своє застосування у суднобудуванні, де необхідне забезпечення безперебійної та безпечної роботи електродвигунів. Однією з найважливіших функцій таких уставок є аварійна зупинка електрообладнання при виникненні перевантажень, які загрожують його працездатності. При цьому за контроль перевантажень відповідають спеціальні датчики, які фіксують робочий режим. Якщо за якимись показниками система працює на межу своїх можливостей, то магнітний пускач зупиняє її роботу, запобігаючи поломці обладнання. Завдяки наявності теплових реле магнітні пускачі надійно захищають електродвигуни не тільки від тривалих навантажень, а й від струмів при обриві фаз. При цьому система фіксації відхилень дуже точна і вловлює найменші зміни. Моделі магнітних пускачів з обмежувачами напруги широко використовуються в мікропроцесорній техніці та інших високотехнологічних системах керування.

Залежно від призначення прийнято розділяти всі магнітні пускачі на нереверсивні та реверсивні. Також виділяють пускачі з тепловим реле і без нього, кнопкові та безкнопкові. Ще одна класифікаційна ознака – це ступінь впливу довкілля, яким всі магнітні пускачі поділяються на моделі, придатні до використання у середовищах різного ступеня агресивності. Професіонали виділяють також моделі з різною напругою котушки, від якої залежить можливість використання тих чи інших електродвигунів. Сьогодні на ринку пропонується величезний вибір моделей та марок магнітних пускачів, однак у кожному конкретному випадку можна знайти не так багато варіантів, що відповідають потребам обладнання. Тому при виборі магнітних пускачів необхідно бути гранично уважним, зібраним та критичним, щоб придбання дозволило зробити роботу конкретного електроустаткування ще продуктивнішою та безпечнішою. Неправильний вибір магнітного пускача загрожує достроковим виходом з ладу електродвигуна.

					141.43013.ДР.ПЗ	Арк.
						8
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



					141.4301з.ДР.ПЗ.Р1				
Зм.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата	РОЗДІЛ 1. ОПИС І ОСНОВНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ СУДНА «BLACK MARLIN»				
Розробив	Акулов Р.Є.								
Перевірів	Пальчиков О.О.								
Н. Контр.									
Затверд.	Обрубов А.В.								
					Лист.	Арк.	Аркциів		
						9	13		
					НУК				

1.1. Характеристика напівзаглибного транспортного судна «Black Marlin»

Напівзаглибні транспортні судна призначені для переміщення великогабаритних, надзвичайно важких вантажів, таких як, секції морських платформ і нафтових платформ, підводні човни, крани, судна, причали. Причому навантаження і розвантаження вантажів проводяться самостійно, без додаткових кранів. Напівзаглибні транспортні судна це судна типу FLO / FLO (Float-on / Float-off). Коли на транспортне судно необхідно занурити якийсь негабаритний вантаж, спочатку через 16 кінгстонів баластні цистерни заповнюють забортною водою і судно занурюється на глибину до 26 метрів. На це необхідно близько 12 години, а за цей час в танки заливається до 77000 тонн води. Після стабілізації морського судна, починається навантаження. Процес вантаження дуже відповідальний захід, що вимагає від усіх працівників особливих знань, розважливості, граничної уважності і злагожденості всієї команди, а також це може досягати великих тимчасових витрат.

За допомогою буксирів, вантаж заштовхують і утримують над рівнем палуби, поки напівзаглиблене транспортне судно не підніметься в своє нормальне положення. Потім команда зварників зміцнює вантаж до металевої палуби, а перевірка постановка вантажу проводиться водолазами. Після чого вода повільно відкачуються, і транспортне судно приймає на себе надважкий вантаж. Звідси і походить назва типу судна, яке перекладається як «lift» – «підняти».

Напівзаглибне транспортне судно «Black Marlin» побудовано у 1999 році на верфі фірми Shipbuilding Co Taiwan, China. Класифікація Bureau Veritas| ✱ HULL, ✱ MACH, спеціальні роботи, напівзаглибне багатовантажне судно з необмеженим районом плавання. «Black Marlin» здатне перевозити вантажі до 57 000 тон, призначене для переміщення офшорних нафтогазових об'єктів, але також може перевозити інші судна і діяти як офшорні об'єкти в сухому доці. Загальний вид напівзаглибного судна «Black Marlin» представлений на рис. 1.1, вид збоку і зверху на рис. 1.2.

					141.43013.ДР.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10



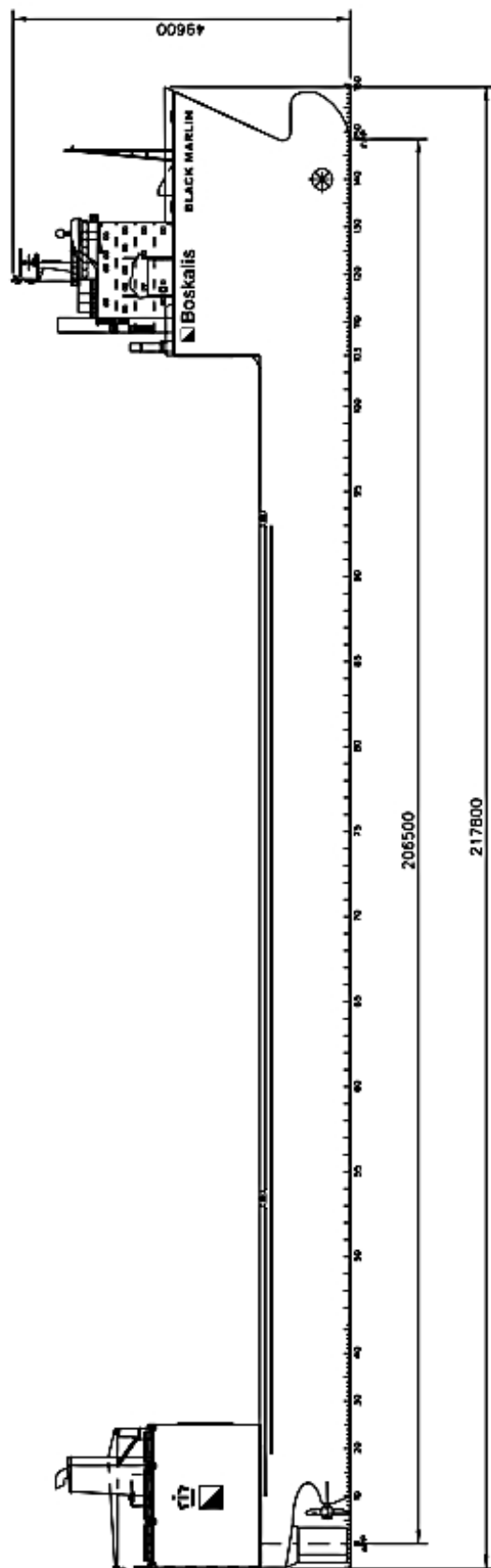
Рис. 1.1. Загальний вид напівзаглибного судна «Black Marlin»

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

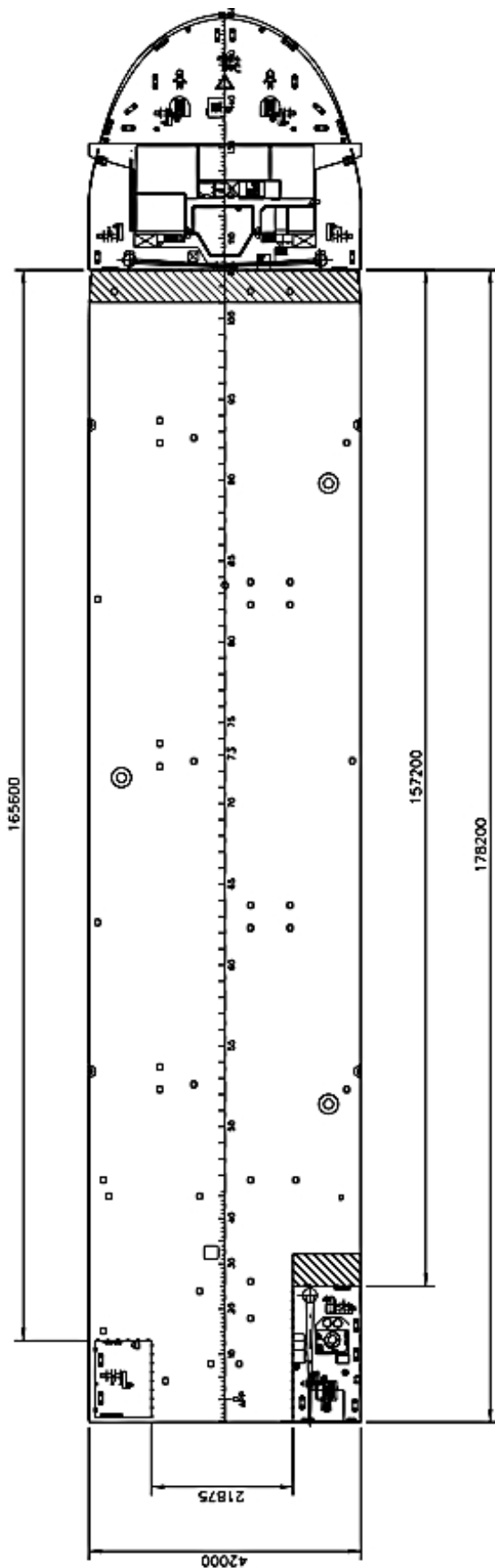
141.4301з.ДР.ПЗ

Арк.

11



a



б

Рис. 1.2. Вид збоку (а) і зверху (б) судна «Black Marlin»

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

141.4301з.ДР.ПЗ

Арк.

12

Основні характеристики судна «Black Marlin» наведені у табл. 1.1.

Таблиця 1.1 Основні характеристики судна «Black Marlin»

Найменування параметру	Значення
Довжина загальна, м	217,80
Ширина найбільша, м	42,00
Висота найбільша, м	13,3
Осадка, м:	
при зануренні	23,30
в навантаженні	10,08
Дедвейт, т	57021
Водотонажність, т	91238
Швидкість при повному навантаженні, вуз:	
без вантажу	14,5
з вантажем	11,5
Екіпаж, ч	38

Головним двигуном енергетичної установки судна є дизель потужністю 1×12640 кВт. Головною силовою установкою судна є гвинт регульованого кроку з потужністю 1×12 МВт, носовий підкеруючий пристрій потужністю 1×2000 кВт з висувним гвинтом регульованого кроку.

Навігаційне обладнання складає: $2 \times$ ARPA; $1 \times$ доплеровській лаг; $2 \times$ ехолот; $1 \times$ факсимільний апарат для передачі метеокарт; $2 \times$ ЕКНІС; $2 \times$ радар; $1 \times$ подвійний гірокомпас; SPOS – система оптимізації ходових якостей судна; OSTOPUS – бортова система Octopus (бортова система моніторингу руху судна і система підтримки прийняття рішень «Amarcon»). Засоби зв'язку на судні: повна сумісність з ГМССБ А-3; $1 \times$ СЧ / ВЧ радіостанція; $1 \times$ широкосмугова мережа Inmarsat broadband; $2 \times$ Inmarsat- C; $1 \times$ ССОО; $1 \times$ АІС; $4 \times$ апаратура ЦІВ ДВЧ; $2 \times$ морський аварійний радіобуй; $2 \times$ радіолокаційний рятувальний відповідач; $3 \times$ портативна радіотелефонна станція ДВЧ; $10 \times$ портативна радіотелефонна станція УВЧ; $1 \times$ малий термінал супутникового зв'язку.

Баласт представлений чотирма основними баластними насосами $3300 \text{ м}^3/\text{год}$ при 35 м ; одним баластним насосом $90 \text{ м}^3/\text{год}$ при 80 м ; двома

					141.4301з.ДР.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

зачисними насосами 50 м³/год при 40 м; двома зачисними ежекторами 125 м³/год при 28 м.

1.2. Суднові магнітні пускачі

Суднові магнітні пускачі змінного струму призначені для дистанційного пуску, зупинки і реверсу, а також для захисту від перевантажень трифазних асинхронних двигунів з короткозамкненим ротором. Пускачі забезпечують, крім того, нульовий захист при миттєвому зникненні напруги.

Суднові магнітні пускачі серії ПММ випускаються чотирьох величин на номінальні струми від 22,5 до 135 А в бризгозахищеному і водозахищеному виконанні. Вони можуть бути реверсивними і нереверсивними і виконуються в різних модифікаціях, що відрізняються вбудованими елементами (запобіжники, кнопки управління і пакетні перемикачі). Магнітні пускачі складаються з наступних основних частин: магнітного контактора серії КМ-2000, двох теплових реле, кнопок управління, пакетного перемикача (в пускателях з вбудованим пакетним перемикачем), запобіжників (в пускателях з вбудованим запобіжником) і кожуха.

Деталі контактора і теплових реле зібрані на загальному сталевому підставі, яке прикріплено гвинтами до днища кожуха. Зазвичай в пускач вбудовується один замикаючий допоміжний контакт, що служить для шунтування контактів кнопки «Пуск» і здійснює нульовий захист, тобто відключає пускач при зникненні напруги і запобігає мимовільне включення при появі напруги. Однак в пускателях серії ПММ можуть бути вбудовані і додаткові допоміжні контакти як замикають, так і розмикаючих. Реверсивні пускачі забезпечені механічним блокуванням, що не допускає одночасного включення реверсують контакторів. У пускателях розглянутої серії тепловий захист двигунів здійснюється тепловими реле типу ТРП. Вони включаються в дві фази головного ланцюга пускача. Контакти теплових реле включаються послідовно з втягує котушкою контактора. Теплова захист не здійснює захист

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

від струмів короткого замикання, тому для захисту від струмів короткого замикання необхідно використовувати запобіжники або автомати.

На рис. 1.3 приведена електрична схема реверсивного пускача серії ПММ з вбудованими запобіжниками і пакетним перемикачем живлення ПП.



Рис. 1.3. Електрична схема реверсивного пускача серії ПММ

При натисканні на кнопку «Вперед» отримує живлення втягуюча котушка контактора KM1.3 через контакти теплових реле, контакт KM2.3 і кнопку «Стоп». Контактор KM1.3 спрацьовує, своїм замикаючим допоміжним контактом шунтує кнопку «Вперед» і замикає головні контакти в ланцюзі статора двигуна. Тому для включення пускача досить короткочасно натиснути на кнопку «Вперед». Розмикаючий допоміжний контакт KM1.3 розмикає ланцюг котушки контактора. Таким чином, досягається взаємна електричне блокування реверсуючих контакторів, що унеможливорює одночасне їх включення. Аналогічно працює схема і при натисканні кнопки «Назад». Для відключення пускача натискають на кнопку «Стоп». При цьому знеструмлюється ланцюг втягуючої котушки, і контактор відключається. При

поверненні кнопки «Стоп» у вихідне положення пускач знову не включається, так як замикаючий допоміжний контакт контактора залишається розімкненим. Відключення двигуна від мережі може статися при натисканні на кнопку «Стоп» обслуговуючим персоналом, спрацьовуванні теплового захисту, спрацьовуванні нульового захисту внаслідок миттєвого зникнення або значного зниження (провалу) напруги мережі.

При неприпустимому перевантаженні двигуна спрацьовує теплове реле, розриваючи своїм розмикальним контактом ланцюг живлення втягуючих котушок контактів КМ1.3 або котушки контактора. При миттєвому або значному зниженні напруги якір контактора відпадає. Головні контакти і допоміжний контакт шунтуючої кнопки «Вперед» або «Назад» розмикається. При відновленні напруги мережі до свого номінального значення самовільного включення пускача не відбувається, так як при його відключенні замикаючий допоміжний контакт розімкнувся і ланцюг котушки контактора розімкнений.

Автоматичні перемикачі мереж – пускачі серії АПП розраховані на роботу в мережах змінного струму напругою 220 і 380 В і частотою 50 Гц. Вони випускаються п'яти величин на номінальні струми від 50 до 540 А (без теплових реле). Номінальний струм АПП з тепловими реле визначається номінальним струмом реле ТРП. Перемикачі (пускачі) здійснюють автоматичне перемикання живлення споживачів з основного фідера на резервний при зниженні напруги на основному до $(0,65 \pm 0,05)U_{\text{ном}}$. Зворотне перемикання відбувається при відновленні напруги на основному фідері до $(0,9 \pm 0,05)U_{\text{ном}}$. Витримка часу при перемиканні становить 0,5; 0,8 і 1 с, а на відключення – 0,2 с. Основним елементом пускача ПП є контактор КМ-2000. Управління АПП може здійснюватися як місцевим постом управління, так і дистанційно за допомогою двох дистанційно-імпульсних реле серії РЕМ, які живляться від джерела постійного струму напругою 24В. Автоматичні

					141.4301з.ДР.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

перемикачі мереж – пускачі розраховані на роботу з частотою включень не більше 15 в годину. Апарати АПП монтуються на сталевій рамі і електрично з'єднуються між собою проводами або проводом і мідними шинами. Рама з встановленими на ній апаратами вбудовується в сталевий ящик брызкоо захищеного виконання.

Магнітні пускачі серії ПМЧ розраховані на змінний струм частотою 400 Гц, напругою 220 і 380В. Вони призначені для захисту і управління високошвидкісними короткозамкненими асинхронними двигунами і випускаються п'яти величин на струми від 10 до 200 А. Принципова схема пускача аналогічна схемі пускача ПММ. Управління пускачами здійснюється або за допомогою кнопок управління, або дистанційно – за допомогою імпульсних реле. Режим роботи пускачів – тривалий, з частотою пусків до 15 в годину. В якості комутаційних апаратів в пускачах використовуються контактори серії КНТ, а захисних реле – спеціальні температурно-струмові реле серії ТРМТ. Вся апаратура пускачів розташовується в корпусі брызкоо захищеного виконання.

Пускачі ПМЧ витримують 50 000 включень допустимого пускового струму і стільки ж відключень номінального струму при $\cos\phi = 0,4$ і напрузі 50 В. Струм динамічної і односекундної термічної стійкості становить $20I_{ном}$.

Автоматичні пускачі-перемикачі серії АППЧ розраховані на змінний струм частотою 400 Гц, напругою 220 В, 380 В і випускаються чотирьох величин на струми від 25 до 200 А. Вони призначені для захисту і управління високошвидкісними асинхронними двигунами і автоматичного перемикання споживачів з основного фідера на резервний і назад. Автоматичне перемикання на резервний фідер відбувається при зниженні напруги на основному фідері нижче 85 % номінального. Пускач-перемикач не реагує на провали напруги, якщо їх тривалість менш 1 с. Основна комутаційна і захисна апаратура, способи управління в АППЧ і їх комутаційна здатність такі ж, як у магнітного пускача ПМЧ.

					141.43013.ДР.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

Суднові магнітні пускачі постійного струму серії ПП-1000-5000 призначені для пуску, реверса, зупинки та захисту двигунів постійного струму. Магнітний пускач постійного струму являє собою комплектний апарат, призначений головним чином для пуску двигунів з обмеженням пускового струму.

Залежно від модифікації пускачі виконуються: з одноступінчастим і двоступінчастим пуском, реверсивними і неревверсивними, одномержевими і двухмержевими. Двухсетевие пускачі при харчуванні від двох мереж забезпечують автоматичне перемикання двигуна на резервну мережу при зниженні напруги в основній мережі до 50...70 % номінального. При відновленні напруги в основній мережі пускач перемикається на неї.

Пускачі розраховані на напругу 110, 220, 95-170, 175- 320 В постійного струму. Залежно від номінального струму випускаються пускачі п'яти величин: на 20, 60, 100, 200 і 400 А. Допустимий пусковий струм не повинен перевищувати чотирикратного номінального струму пускача. Управління пускачем може здійснюватися кнопками управління або дистанційно – за допомогою електромагнітних реле. Неревверсивні пускачі дозволяють здійснити не більше 15 пусків в годину через рівні проміжки часу або зробити три пуски підряд з подальшими трьома пусками не раніше ніж через 10 хв. Реверсивні пускачі дозволяють зробити до 200 пусків в годину при ПВ = 40 %.

Магнітні пускачі серії ПП-1000...ПП-5000 виконуються в брызгозащищеному і водозащищеному виконанні. У корпусі з алюмінієвого сплаву розміщені наступні основні елементи пускача: лінійний контактор, контактор прискорення, теплове реле, диференціальне реле, пускові резистори, додатковий резистор, сигнальна лампа, запобіжники і кнопки управління. В якості лінійного контактора використовується контактор постійного струму серії КН. Двигун від перевантажень захищає теплове реле серії ТРТ. В якості контактора прискорення і диференціального реле в

					141.4301з.ДР.ПЗ	Арк.
						18
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

пусках застосовується спеціальний контактор типу Р-30У. Він виконується диференціальним двохкотушковим (рис. 1.4). Посередині С-подібного магнітопровода 6 шарнірно укріплений плоский якір 3, на кінці якого знаходиться контактний місток 7. На верхньому осерді 4 розташована утримуюча котушка 5, а на нижньому осерді 2 – робоча котушка 1. Зусилля пружини 8, що фіксує положення якоря, направлено згідно з тяговим зусиллям, створюваним утримуючою котушкою. Спрацьовування контактора відбувається при певній різниці зусиль утримуючої і робочої котушок.

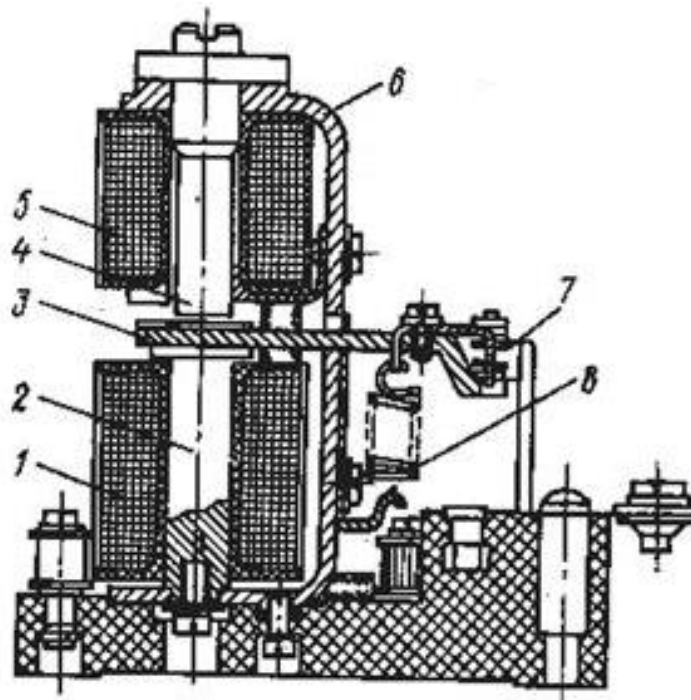


Рис. 1.4. Контактор типу Р-30У

Утримуюча котушка включається на падіння напруги на пусковому резисторі, а робоча котушка – на протидії електрорушійної сили двигуна. Після пуску двигуна у міру збільшення його частоти обертання зростає протидія електрорушійної сили якоря, а падіння напруги на пусковому резисторі зменшується. В результаті цього тягове зусилля робочої котушки підвищується, а зусилля утримує котушки знижується. Залежно від настройки при певній частоті обертання двигуна відбувається спрацьовування контактора. Пускові резистори розміщуються в корпусі пускача. На кришці

корпусу пускача розташовані сигнальна лампа і кнопки управління. Конструкція пускачів допускає можливість дистанційного керування.

У пускачах передбачається тепловий або максимальний захист. Крім того, при кнопчному управлінні вони мають нульовий захист двигунів. Ланцюги управління від струмів короткого замикання захищаються запобіжниками. На рис. 1.5 приведена принципова електрична схема одномережевого нереверсивного пускача серії ПП-1000...ПП-5000.

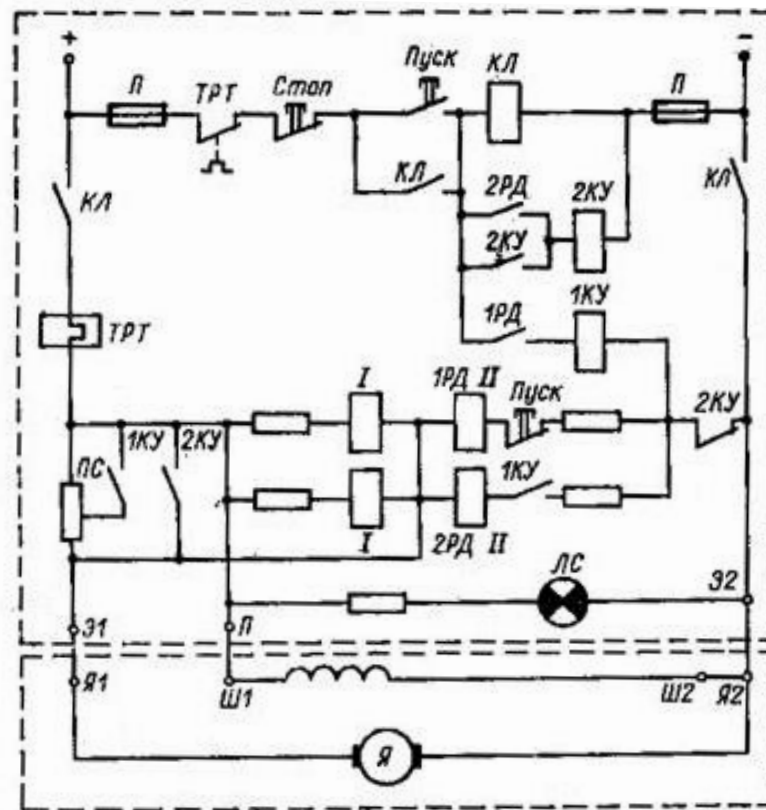


Рис. 1.5. Електрична схема одномережевого пускача серії ПП-1000... ПП-5000

Пуск двигуна здійснюється наступним чином. При натисканні на кнопку «Пуск» отримує живлення котушка лінійного контактора КЛ. Спрацювавши, він своїми головними контактами підключає шунтову обмотку двигуна на повну напругу мережі; якір двигуна через пусковий резистор ПС на мережу; робочу котушку диференціального реле 1РД – на протидії електрорушійної сили двигуна. Замикаючі допоміжні контакти контактора КЛ шунтують кнопку «Пуск».

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

141.4301з.ДР.ПЗ

Арк.

20

У схемі утримуючі котушки I реле 1РД і 2РД підключені паралельно пусковому резистору. Тому після включення лінійного контактора на якір диференціального реле 1РД діє тягове зусилля від магніторушійної сили робочої котушки II і протилежно спрямована сила від магніторушійної сили утримуючої котушки I, що прагнуть утримати якір в первісному положенні.

У перший момент частота обертання двигуна, а відповідно і протидії електрорушійної сили дорівнюють нулю. Отже, магніторушійні сили робочої котушки будуть визначатися тільки падінням напруги на резисторі ланцюга якоря.

У міру розгону двигуна його частота обертання і протидії електрорушійної сили будуть збільшуватися, а падіння напруги на пусковому резисторі зменшуватися. В результаті цього тягове зусилля від магніторушійної сили робочої котушки буде зростати, а від магніторушійної сили утримуючої котушки спадати.

Реле 1РД налаштоване так, що коли протидії електрорушійної сили на робочій котушці досягає 50 % напруги мережі, реле спрацьовує і замикаючим контактом включає контактор прискорення 1КУ, який своїм замикаючим головним контактом шунтує перший ступінь пускового резистора, а допоміжним контактом готує до включення диференціальне реле 2РД.

Реле 2РД спрацьовує при досягненні протидії електрорушійної сили 80% напруги мережі. Своїм замикаючим контактом воно включає контактор прискорення 2КУ, який своїми головними контактами повністю шунтирует пусковий резистор ПС. Замикає допоміжний контакт контактора прискорення 2КУ шунтирует контакт 2РД в ланцюзі котушки 2КУ, а розмикає контакт 2КУ відключає робочі котушки реле 1РД і 2РД. На цьому процес пуску закінчується, і двигун працює на природному механічній характеристиці. Для зменшення кидків струму при пуску двигуна в схемі передбачена додаткова блокування робочої котушки диференціального реле 1РД розмикальним контактом кнопки «Пуск».

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

При натисканні кнопки «Пуск» її розмикає контакт відключає робочу котушку реле 1РД. Після відпускання кнопки ток в робочій котушці буде змінюватися з деяким запізненням щодо зміни струму в утримує котушці. В результаті збільшиться час спрацьовування реле 1РД і зменшиться сплеск струму при шунтуванні ступені пускового резистора.

Сигнальна лампа ЛС включається контактором КЛ і горить весь час, поки працює двигун. Зупинка двигуна здійснюється шляхом натискання на кнопку «Стоп», яка розриває ланцюг харчування лінійного контактора. При неприпустимою перевантаження спрацьовує теплове реле ТРП і відключає контактор КЛ, який розриває ланцюг живлення двигуна. Нульова захист здійснюється лінійним контактором КЛ. Для повторного включення двигуна необхідно знову натиснути кнопку «Пуск». Електродинамічна і термічна стійкість пускачів відповідає аналогічним параметрам контакторів серії КН. Електрична зносостійкість пускачів першої – четвертої величин при пусковому струмі, що не перевищує $4I_{ном}$, 100 000 циклів «включено - виключено».

1.3. Застосування магнітних пускачів в суднових системах

Судові магнітні пускателі можуть бути використані на судах морського та річного флоту, а також на морських бурових платформах у якості пускорегулюючих пристроїв однофазних або трьохфазних користувачів. Для дистанційного пуску двигуна або автоматичного пуску приводу в параметрах функцій, що визначають роботу установок, переважно поширення отримали релейно-контактні схеми управління. Дистанційне управління при автоматичному пуску здійснюється за допомогою кнопочного поста від будь-якого типу вимірювального пристрою. Для прямого включення пуску в мережу застосовуються магнітні пускачі. Вони забезпечують можливість пуску двигуна потужністю 1,7...55,0 кВт при напрузі 380 В. Магнітний пускач – це триполюсний контактор, два теплових реле та вбудований або

					141.43013.ДР.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

дистанційний кнопочний пост. Тепловий захист відключає двигун, коли струм перевантаження збільшує 1,2 номінального, протягом 20 хв після тривалої роботи при номінальному струмі. При семікратному струмі перевантаження з холодного стану пускач спрацьовує приблизно через 5 с, що необхідно враховувати при пусках двигуна насосів або вентиляторів з більшим маховим моментом, коли час розгону може збільшитися на 5 с. Таким чином, необхідно правильно вибирати теплове реле, інакше воно відключає двигун до закінчення пуску. Суднові магнітні пускачі відповідають вимогам «Правил технічного спостереження за побудовою суден і виготовленням матеріалів і виробів для суден», «Правил класифікації і побудови морських суден»; «Технічного регламента про безпеку об'єктів морського транспорту».

На судах промислового та транспортного флоту в основному застосовується автоматизоване дистанційне управління електростанціями, де використовуються магнітні пускачі. На рис. 1.7 представлена схема автоматизованої судової електростанції, що містить три генераторні агрегати та забезпечена виконанням наступних операцій:

а) включення агрегатів на паралельну роботу в нормальних та аварійних режимах;

б) регулювання збудження, розподілу реактивного навантаження між синхронними генераторами та відновлення напружень після відключення короткого замикання;

в) регулювання частоти, розподілення активного навантаження між синхронними генераторами та запобігання небезпечних перевантажень агрегатів;

г) захист генераторів та установок від струмів короткого замикання та перевантаження та відновлення нормального режиму роботи систем з відключенням пошкодженого елемента;

г) забезпечення стійкості паралельної роботи генераторів та систем;

д) розвантаження генераторних агрегатів та включення резервного обладнання для відновлення живлення приймачів електроенергії;

					141.4301з.ДР.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

- ж) централізоване дистанційне управління та регулювання з пульта управління режимом роботи системи;
- з) контроль і сигналізація подання об'єктів регулювання та управління.

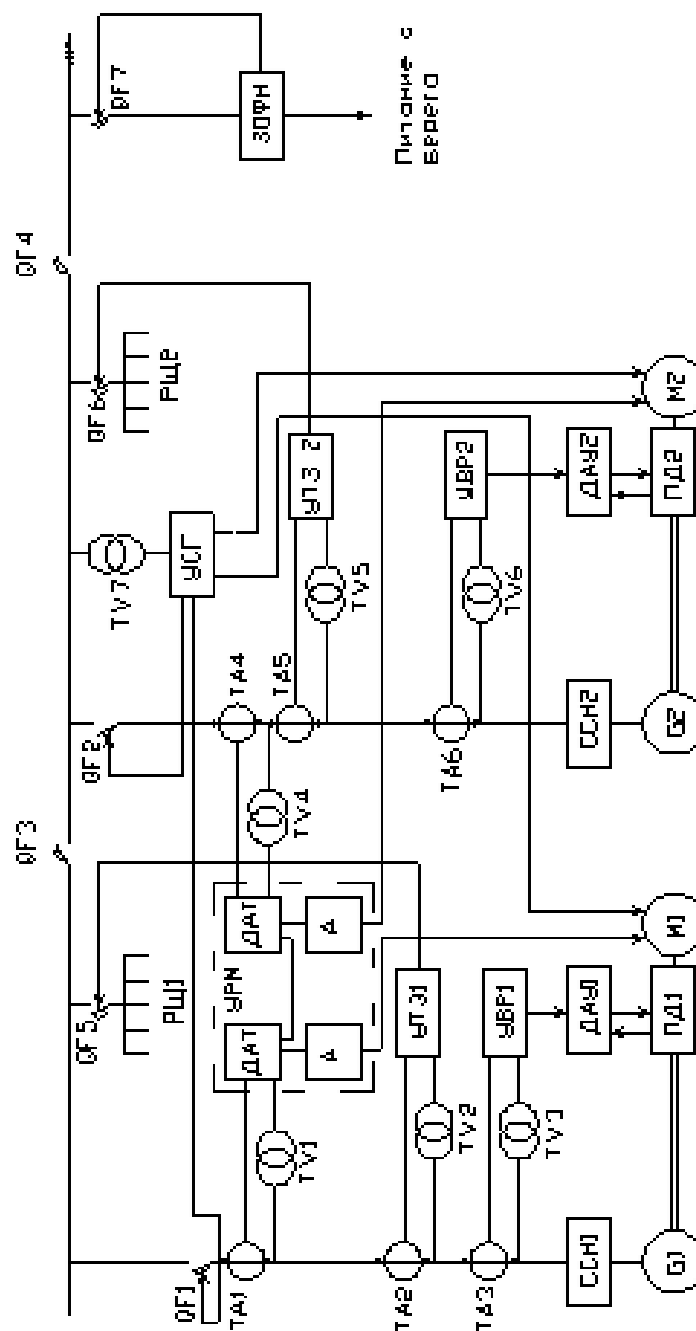


Рис. 1.7. Схема автоматизації суднової електростанції

1.4. Технічне обслуговування і ремонт магнітних пускачів

Технічне обслуговування магнітних пускачів, яке представляє собою комплекс операцій з підтримки працездатності або справності пристрою при

користуванні за призначенням, очікуванні, зберіганні і транспортуванні. Пристрій при цьому не розбирається. Типовій обсяг робіт з технічного обслуговування магнітних пускачів входять: очищення від нили і бруду, змащення тертьових частин, ліквідація видимих пошкоджень, затягування кріпильних деталей, очищення контактів від бруду і напливів, перевірка справності кожухів, оболонок, корпусів, перевірка роботи сигнальних і заземлюючих пристроїв.

Перевіряти і налагоджувати теплові реле рекомендується в лабораторії, використовуючи спеціальні електричні пристрої. Перевірку реле починають із зовнішнього огляду: перевіряють наявність пломб, цілісність кожуха і щільність прилягання його до цоколю, стан ущільнень, очищення реле. Після зняття кожуха приступають до внутрішнього огляду: очищають деталі, перевіряють затяжку гвинтів, гайок, що кріплять пружин, контакти, підп'ятники, магнітопроводи; перевіряють надійність внутрішніх з'єднань; регулюють механічну частину реле; контакти ретельно очищають і полірують воронілом (користуватися надфілем та абразивні матеріали не можна).

Далі вимірюють опір ізоляції мегаомметром 1000 В між електричними частинами реле і корпусом, яке повинно бути не менше 10 МОм, перевіряють уставки. Якщо виявлені дефекти, що виходять за можливість усунення їх в лабораторії, реле замінюють новим.

В результаті експлуатації, аварій, перевантажень і природного зносу частина електроустаткування і мереж виходить з ладу і підлягає ремонту. Ремонт – це комплекс операцій з відновлення справності або працездатності електротехнічних пристроїв, відновленню їх ресурсів або їх складових частин. Під операцією ремонту розуміють закінчену частину ремонту, виконувану на одному робочому місці виконавцями певної спеціальності, наприклад: очищення, розбирання, зварювання, виготовлення обмоток. Існує кілька методів ремонту: ремонт експлуатуючою організацією, спеціалізований, ремонт підприємством – виробником товару. Останні два методи мають

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

істотні переваги, які дозволяють досягти високих техніко-економічних показників шляхом застосування нестандартизованого високопродуктивного ефективного обладнання, виробництва запчастин, впровадження сучасної технології, близькою до технології електромашинобудівних заводів, із застосуванням нових матеріалів. Ці методи дозволяють створити обмінний фонд з нових або відремонтованих електричних машин та іншого обладнання поширених серій і типів. Але ці методи виключають можливість оперативного ремонту відповідального і нетипового обладнання, устаткування, виготовленого зарубіжними фірмами, і обладнання старих марок. Крім того, не вирішується проблема технічного обслуговування, що становить понад 80% трудомісткості ремонту електричних мереж і великогабаритного устаткування (трансформаторні підстанції, розподільні пристрої, щити управління). Надійність, безперебійність і безпека робіт електрообладнання та мереж може бути забезпечена правильною системою ремонту електроустаткування експлуатуючою організацією. Такою системою є планово-попереджувальний ремонт (ППРЕО), що представляє собою форму організації ремонту, що складається з комплексу організаційно-технічних заходів, що забезпечують виконання технічного обслуговування та профілактичного ремонту.

В електричних апаратах найчастіше пошкоджуються рухливі, нерухомі і дугогасильні контакти. Ремонт в основному полягає у визначенні несправності, усунення її, заміні пошкоджених і зношених деталей з наступним регулюванням і випробуванням. При експлуатації контакти очищають від нагару металу, кіптяви, оксидів. Очищають напилком з тонкої (дрібної) насічкою. Усувають сильний і слабкий натиск контактів. Для цього між контактами поміщають папір (фольгу), відтягуючи рухливі контакти через динамометр, витягають фольгу. Нормальне зусилля 0,5...0,7 кг. Магнітна система контактів може створювати шум, гудіння, причини цього: нещільно прилягає якір до сердечника, пошкодження короткозамкнутого

					141.43013.ДР.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

витка, дуже великий натяг контактів, якір перекошений по відношенню до сердечника, в місцях дотику якоря і сердечника є іржа, у магнітних пускачів і контакторів не можна допускати різночасності замикання силових контактів. Короткозамкнуті витки (рис. 1.8) у контакторів і магнітних пускачів виконуються з міді, латуні та алюмінію. Вони укладаються в виштампувані пази на кінцях сердечника. Звертається увага на дугогасительні камери. Відсутність їх може викликати перекриття дугою окремих фаз. Котушки ремонтують при пошкодженні каркаса, обривах, виткових замикань і повному згорянні. Обрив в котушці визначається, якщо не розвивається тягове зусилля і не споживається струм. Виткове замикання виявляється по ненормальному нагріванню і зменшенню тяги.

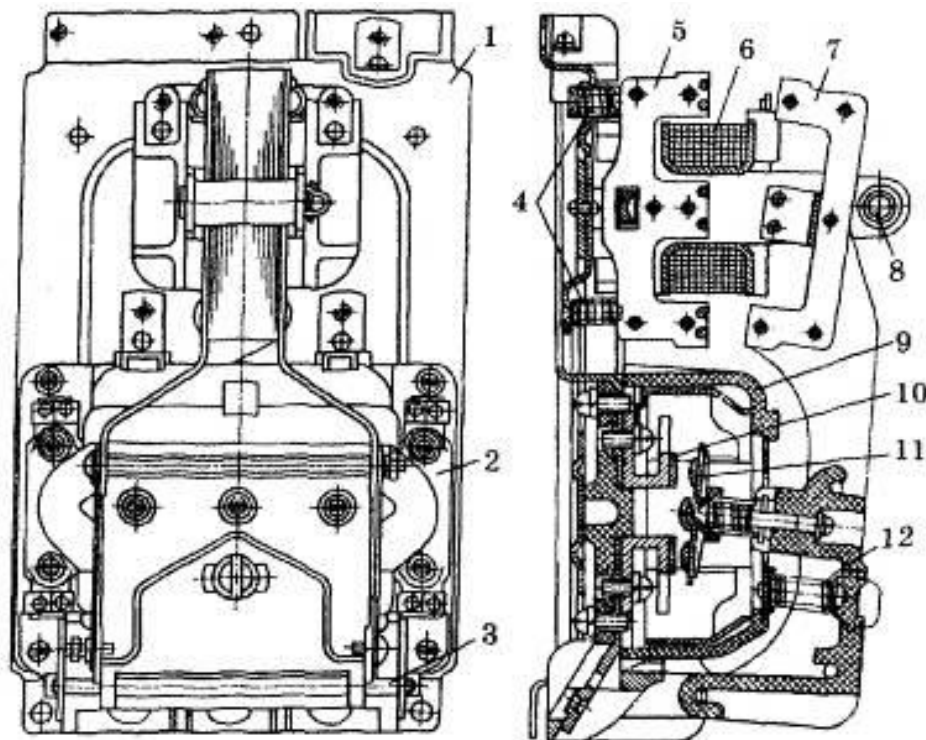


Рис. 1.8. Контактор магнітного пускача:

1 – основа; 2 – блок-контакти (допоміжні контакти); 3 – вісь якоря; 4 – амортизуючі пружини; 5 – осердя; 6 – котушка; 7 – якір; 8 – упор; 9 – ізоляційна камера; 10 – нерухомий контакт; 11 – рухомий контакт; 12 – пружина повернення якоря.

У контакторів частіше змінюють головні контакти, гнучкі з'єднання, дугогасильні камери, котушки, пружини, короткозамкнені витки. Опір ізоляції

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

141.4301з.ДР.ПЗ

Арк.

27

обмоток не повинен перевищувати 0,5 МОм. У реле частіше перегорають нагрівальні елементи. Для нагрівальних елементів застосовують ніхром, фехраль. Окремі нагрівальні елементи виготовляють методом штампування. Спиральні нагрівальні елементи кадмірують для оберігання від окислення. На малюнку 6 показаний контактор магнітного пускача.

Ремонт контактів: забруднення, знос, обгорання, кіптява або окислення, напливи і бризки металу на поверхні рухомих (включаючи і ножі рубильників) або нерухомих (губки ножів) контактів, а також на пластинах і контактних містках усуваються бавовняною серветкою, змоченою в бензині, або надфілем. При товщині контактів менше 50 % початкової величини обгорілі контакти замінюють новими. Контакти, які мають металокерамічне (срібло-нікель) або інше покриття, що забезпечує підвищену провідність або корозійну стійкість, зачищати напилком або надфілем забороняється! Контакти очищають бавовняною серветкою, змоченою в бензині, а особливо відповідальні контакти (вимикачі 6...10 кВ, реле) спиртом. Напилком з дрібною насічкою, надфілем або скляною шкуркою очищають або видаляють нагар і напливи металу на контактах, що не мають покриття. Контактна поверхня повинна бути чистою, допускаються раковини площею не більше 1 мм² і глибиною до 0,2 мм. Товщина губок і ножів рубильників не повинна бути менше 80 % початкової. При зламі або ослабленні контактних пружин, пошкодженнях антикорозійного покриття, пружини замінюють.

Ремонт котушок електромагнітів: котушки бувають каркасними і безкаркасними. Найбільш часто зустрічається пошкодження – тріщини довжиною до 15 мм в каркасі. Їх усувають наступним чином. Поверхня каркаса навколо тріщини очищають від пилу і масла бавовняною серветкою, змоченою в бензині. На поверхню тріщини наносять шар клею БФ і протягом 10...15 хв підсушують на повітрі, далі наносять другий шар і витримують ще 5...10 хв. Після цього склеюються частини каркаса стягують тафтяна або бавовняною ізоляційною стрічкою і висушують в сушильній шафі протягом

					141.4301з.ДР.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

1,5...2 год при температурі 100-110 ° С, після чого охолоджують і знімають бандаж.

При зниженому опорі ізоляції (менше 0,5 МОм) котушку поміщають в сушильну шафу з температурою 60...70 °С на кілька годин. Після цього перевіряють опір ізоляції і, якщо досягнута норма (не менше 1 МОм), відразу ж виробляють її просочення одним з лаків БТ-988 або БТ-987-М і вдруге сушать протягом 8 год при температурі 105 °С.

При пошкодженні зовнішнього шару ізоляції котушки або обриві обмотувального дроту в верхніх шарах обмотки знімають зовнішню ізоляцію обмотки і пошкоджені витки до місця пошкодження або обриву, припаюють, ізолюють місце пайки нового обмотувального дроту і домативають необхідну кількість витків, повторивши операції, які виконуються під час намотування нових котушок. При значних пошкодженнях каркаса, міждроткових замиканнях, обгоранні ізоляції обмотки на велику глибину котушка повинна бути замінена новою.

Ремонт каркасних котушок: підбирають необхідний для котушки каркас і провід, параметри якого повинні відповідати паспортним даним. Кінці дроту котушки зачищають шліфувальною шкуркою, облуживають і припоєм ПОС-30 припаюють до провідника виведення. Висновок складається з листової або латунної деталі з припаяними до неї провідником більшого перетину, ніж провід обмотки, для забезпечення механічної міцності виведення. Місце пайки ізолюють.

Перед установкою на намотувальний верстат каркас слід обернути подвійним шаром електроізоляційного паперу товщиною 0,02...0,03 мм і кінець її приклеїти до каркасу. При намотуванні необхідно стежити за тим, щоб натяг дроту не було надмірним, це може викликати обрив проводу. Провід під час намотування повинен лягати рівним щільним шаром. Між 1-м і 2-м шарами обмотки укладають межсоевой ізоляції з ізоляційної паперу. Якщо котушка Нагревостойкость, то для міжшарової ізоляції використовують тонку склотканина.

					141.4301з.ДР.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

Висновки обмотки можуть бути м'якими або жорсткими. М'які виконують з гнучких монтажних проводів. Місце пайки м'якого виведення з обмоткою ізолюють полівінілхлоридної трубкою, на яку накладають смужку лакотканини.

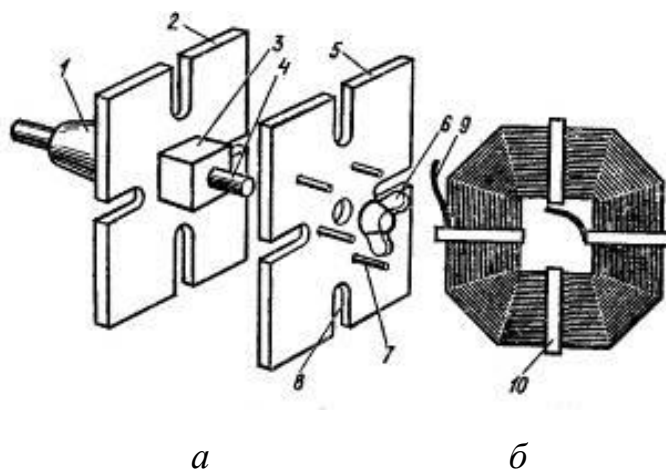


Рис. 1.9. Рознімне оправлення (а) і безкаркасна котушка (б):

1 – деталь; 2,5 – щоки; 3 – втулка; 4 – штир; 6 – гайка; 7 – шпилька;
8 – щілина; 9 – взведення; 10 – бандаж.

Жорсткі виводи, як зазначено вище, роблять з попередньо луджених латунних смужок. Від обмотки їх ізолюють прокладками. Висновки, припаяні до котушки, кріплять нитками. Місця пайки обертають ізоляційної прокладкою, що має виріз для вертикальної частини виведення. Ремонт безкаркасних котушок. За розмірами дефектної котушки виготовляють роз'ємну оправлення (рис. 1.9, а). Розмір її з урахуванням ізоляції котушки повинен відповідати сердечника, для якого призначена котушка. Оправлення встановлюють на токарному верстаті і закріплюють за деталь 1 або на спеціальному намотувальному пристосуванні. На оправлення укладають в чотирьох місцях по периметру тафтяну стрічку з таким розрахунком, щоб після намотування котушки її вистачило для пристрою бандажа 10 (рис. 1.9, б). За тафтяну стрічку втулку оправки обертають двома шарами електрокартону товщиною 0,2...0,3 мм і шириною, рівній висоті котушки. До початку обмотки припаюють припоєм ПОС-30 шматок гнучкого мідного

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

141.4301з.ДР.ПЗ

Арк.

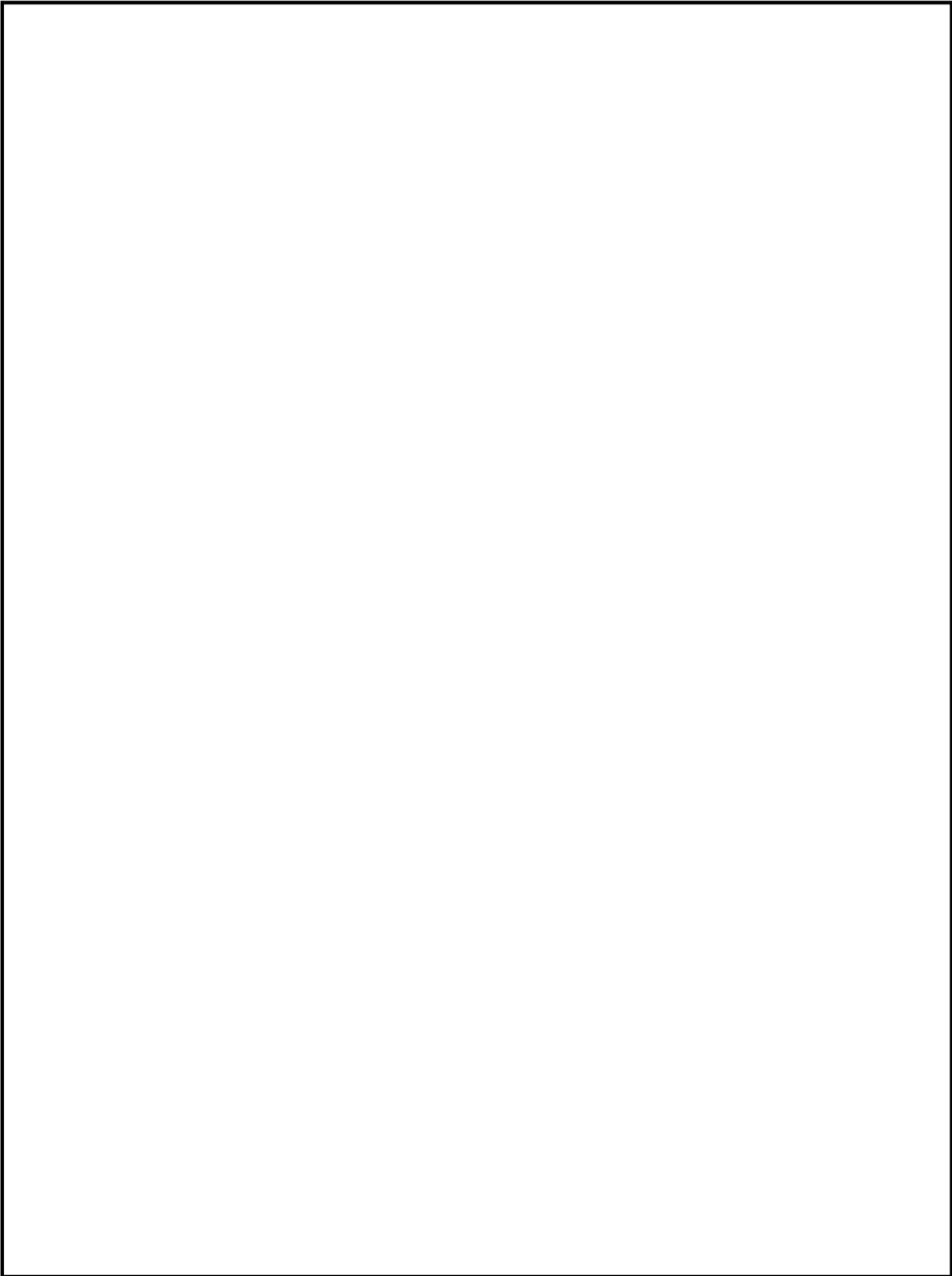
30

дроту (виведення 9). Місце пайки ізолюють смужкою міканіти. При намотуванні котушки кожен шар покривають просочувальним лаком і тонкої електротехнічним папером шириною на 5...7 мм більше висоти котушки. Ці краї паперу загортають під крайні витки наступного шару котушки. До кінця обмотки також припаюють шматок гнучкого дроту для виведення. Котушку бандажуються раніше покладеної тафтяна стрічкою. Виготовлені котушки сушать протягом 2 ч в сушильній шафі при температурі 80...90 °С, перевіряють опір ізоляції і цілісність обмотки. Відразу ж після сушки, ще в теплому стані, котушку опускають в просочувальну ванну з лаком МЛ-92 і тримають до припинення виділення бульбашок, після чого ще раз сушать протягом 4...5 годин при температурі 100...110 °С. Висушену обмотку котушки обмотують двома-трьома шарами ізоляційної паперу, двома шарами лакоткани або тафтяна стрічкою, очищають висновки і каркас від шару лаку, наклеюють бирку. Ізоляцію готової до експлуатації котушки відчують змінним струмом напругою 2000 на с частотою 50 Гц протягом 1 хв, плавно підвищуючи напругу. Опір ізоляції котушки після випробування не повинно бути менше 0,5 МОм. Ремонт магнітопроводу: забруднення видаляють бавовняною серветкою, змоченою в бензині; сліди корозії ретельно зачищають сталеві щіткою і шліфувальною шкуркою; наклеп на поверхнях зіткнення сердечника і ярма видаляють шліфуванням поверхні напилком на шліфувальному верстаті. Площа зіткнення осердя і ярма перевіряють так: беруть складені разом аркуші білого і копійчального паперу, стискають з певним зусиллям ярмо і осердя і на папері отримують відбиток площі дотику, яка повинна бути не менше 70 % площі сердечника. Щільність прилягання перевіряють щупом 0,05 мм. Щуп не повинен входити в простір між ярмом і осердям більш ніж на 5 мм. Місця нерівностей шабрують уздовж листів стали. Пошкоджений короткозамкнений виток замінюють новим, виготовленим за розмірами дефектного з того ж матеріалу. Пошкоджений виток розпилюють і

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

видаляють. Пази витка зачищають надфілем і виток закріплюють в пазах. Зменшена величина (менше 0,2 мм) немагнітного (повітряного) проміжку між середніми кернами сердечника і ярма магнітопровода доводиться до норми 0,2...0,25 мм підпилюванням середнього керна ярма (або сердечника), що перевіряється щупом. Допускається непаралельність площин в межах 0,01 мм. Очищені сердечник і ярмо занурюють у ванну з емаллю ГФ-92-ХС так, щоб поверхні їхнього зіткнення не були покриті лаком. Пофарбовані деталі сушать на повітрі.

					141.4301з.ДР.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32



					141.43013.ДР.ПЗ.Р2		
Зм.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата	РОЗДІЛ 2. РОЗРАХУНОК ЕЛЕМЕНТІВ КОНТУРУ СТРУМУ		
Розробив		Акулов Р.Є.					
Перевірив		Пальчиков О.О.					
Н. Контр.							
Затверд.		Обрубов А.В.			НУК		
					Лист.	Арк.	Аркциф
						32	12

2.1. Розрахунок елементів струмоведучого контуру

Струмоведучий контур комутаційного електричного апарату включає в себе струмопровідні частини (провідники різної форми і перетину), контактні з'єднання (затискачі), гнучкі з'єднання і комутуючі контакти. Проектування струмоведучих частин електричних апаратів включає в себе проведення теплового розрахунку в різних режимах роботи.

Для провідників прямокутного перерізу

$$a \cdot b \cdot (a + b) = \frac{I_n^2 \cdot \rho \cdot (1 + \alpha \cdot \Theta_{\text{доп}})}{2 \cdot K_T \cdot (\Theta_{\text{доп}} - \Theta_0)},$$

де a, b – товщина і ширина провідників відповідно, приймається $a = 6b \Rightarrow a = 0,2 \text{ см}; b = 1 \text{ см};$

I_n – номінальний струм тривалого режиму, $I_n = 63 \text{ А};$

ρ_0 – питомий опір міді, $\rho_0 = 1,62 \cdot 10^{-6} \text{ Ом} \cdot \text{см};$

α – температурний коефіцієнт опору міді, $\alpha = 4,3 \cdot 10^{-3} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$

$\Theta_{\text{доп}}$ – допустима температура нагріву провідника, $\Theta_{\text{доп}} = 105 \text{ }^\circ\text{C};$

Θ_0 – температура навколишнього середовища, $\Theta_0 = 40 \text{ }^\circ\text{C};$

K_T – коефіцієнт тепловіддачі, $K_T = 7 \cdot 10^{-4} \text{ Вт}/(\text{см}^2 \cdot ^\circ\text{C}).$

Визначається площа S_C і периметр P_C поперечного перерізу:

$$S_C = a \cdot b = 0,2 \cdot 1 = 0,2 \text{ см}^2;$$

$$P_C = 2 \cdot (a + b) = 2 \cdot (0,2 + 1) = 2,4 \text{ см}.$$

Розраховується температура нагріву струмоведучих частин в номінальному режимі

$$\Theta_{\text{тк}} = \Theta_0 + \frac{I_n^2 \cdot \rho \cdot (1 + \alpha \cdot \Theta_{\text{доп}})}{K_T \cdot S_C \cdot P_C} = 40 + \frac{63^2 \cdot 1,62 \cdot 10^{-6} \cdot (1 + 4 \cdot 10^{-3} \cdot 105)}{7 \cdot 10^{-4} \cdot 0,2 \cdot 2,4} = 69^\circ\text{C}.$$

При цьому виконується умова $\Theta_{\text{тк}} \leq \Theta_{\text{доп}}.$

Оцінимо термічну стійкість апарату. Для цього розрахуємо параметр $I^2 \cdot t_{\text{ту}}$, який називається тепловим імпульсом

					141.43013.ДР.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

$$I^2 \cdot t_{\text{ту}} = A_{\text{ту}} = \frac{\gamma \cdot c \cdot S_{\text{с}}^2 \cdot \ln \frac{1 + \alpha \cdot \Theta_{\text{кз}}}{1 + \alpha \cdot \Theta_{\text{нач}}}}{\rho_0 \cdot \alpha} =$$

$$= \frac{8,9 \cdot 0,39 \cdot 0,2^2 \cdot \ln \frac{1 + 4 \cdot 10^{-3} \cdot 300}{1 + 4 \cdot 10^{-3} \cdot 105}}{1,62 \cdot 10^{-6} \cdot 4 \cdot 10^{-3}} = 8,68 \cdot 10^6 \text{ А}^2 \cdot \text{с},$$

де γ – щільність міді, $\gamma = 8,9 \text{ г/см}^3$;

c – питома теплоємність міді, $c = 3,9 \text{ Дж/(г}^\circ\text{С)}$;

$\Theta_{\text{нач}}$ – початкова температура провідника до моменту короткого замикання, $\Theta_{\text{нач}} = 105^\circ\text{С}$;

$\Theta_{\text{кз}}$ – допустима температура провідника в режимі короткого замикання, $\Theta_{\text{кз}} = 300^\circ\text{С}$.

Визначимо термічний струм

$$I_{\text{ту}} = \sqrt{\frac{A_{\text{ту}}}{t_{\text{ту}}}}.$$

Час $t_{\text{ту}}$ приймаємо рівним 1, 3, 5 и 10 с:

$$t_{\text{ту}} = 0,5 \text{ с: } I_{\text{ту}} = 4167 \text{ А};$$

$$t_{\text{ту}} = 1 \text{ с: } I_{\text{ту}} = 2947 \text{ А};$$

$$t_{\text{ту}} = 5 \text{ с: } I_{\text{ту}} = 1318 \text{ А};$$

$$t_{\text{ту}} = 10 \text{ с: } I_{\text{ту}} = 932 \text{ А}.$$

Всі значення $I_{\text{ту}}$ вище граничного відключаемого струму контактора

$$I_{\text{откл}} = 8 \cdot I_{\text{н}} = 630 \text{ А}.$$

Визначимо величину площі контактування з'єднання. Площа контактуємих поверхонь визначимо за формулою

$$S_{\text{к}} = l \cdot b = I_{\text{н}} / j_{\text{к}},$$

де $j_{\text{к}}$ – уявна густина струму, для мідних шин і деталей при струмі менш 200 А приймають $j_{\text{к}} = 31 \text{ А/см}^2$.

Після розрахунку отримаємо $S_{\text{к}} = 2,032 \text{ см}^2$.

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

Довжина перекриття кінців шин дорівнює

$$l = S_k / b = S_k = 2,58 / 1 = 2,032 \text{ см.}$$

Число болтів в контактному з'єднанні виберемо, виходячи з питомих тисків f_k між контактуючими поверхнями і значення уявної щільності струму j_k . Для міді візьмемо $f_k = 90 \text{ кг/см}^2$. За відомими значеннями f_k і S_k визначаємо необхідну силу контактного натискання

$$F_k = f_k \cdot S_k = 90 \cdot 2,032 \cdot 9,81 = 1794 \text{ Н.}$$

За додатком 4 [1] вибираємо 1 болт М6.

Визначимо перевищення температури контактного з'єднання за такою формулою:

$$\tau_k = \Theta_k - \Theta_0 = \frac{I^2 \cdot R_{ko}}{K_T \cdot S_H},$$

де Θ_k – температура деталі в місці контактування;

S_H – повна зовнішня поверхня контактного з'єднання,

$$S_H = 2 \cdot a \cdot b + 4 \cdot l \cdot a + 2 \cdot l \cdot b = 2 \cdot 0,2 \cdot 1 + 4 \cdot 2,032 \cdot 0,2 + 2 \cdot 2,032 \cdot 1 = 6,1 \text{ см}^2;$$

R_{ko} – загальний опір контактного з'єднання.

Загальний опір R_{ko} складається з перехідного опору контакту R_k і омичного опору R_{k1} матеріалу частин провідників, що утворюють контактне з'єднання

$$R_k = \frac{\varepsilon}{m_1 \cdot F_k^{m_2}} = \frac{2,4 \cdot 10^{-3}}{1 \cdot 1794} = 1,338 \cdot 10^{-6} \text{ Ом.},$$

де ε – коефіцієнт, що залежить від матеріалу і стану поверхонь, вибираємо його за додатком 5 для контакту мідь-мідь, $\varepsilon = 2,4 \cdot 10^{-3} \text{ Ом} \cdot \text{Н}$;

m_2 – коефіцієнт, що залежить від типу контактів, $m_2 = 1$ [1].

Опір R_{k1} відрізняється від опору прямої ділянки контактуючих частин за рахунок викривлення ліній струму в місці контакту. Це призводить до підвищення опору, який враховується поправочним коефіцієнтом K_c . За залежністю, представленою на рис. 4 [1], знаходимо $K_c = 0,55$.

					141.43013.ДР.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

Омічний опір

$$R_{K1} = K_c \cdot \frac{\rho \cdot l}{S_c} = 0,55 \cdot \frac{1,62 \cdot 10^{-6} \cdot 2,032}{0,2} = 9,78 \cdot 10^{-6} \text{ Ом.}$$

Загальний опір

$$R_{K0} = R_K + R_{K1} = (1,338 + 9,78) \cdot 10^{-6} = 1,112 \cdot 10^{-5} \text{ Ом.}$$

Перевищення температури контактної з'єднання

$$\tau_k = \frac{63^2 \cdot 1,112 \cdot 10^{-5}}{7 \cdot 10^{-4} \cdot 6,1} = 10,4 \text{ }^{\circ}\text{C.}$$

Температура деталі в місці контактування

$$\Theta_k = \Theta_0 + \tau_k = 40 + 10,4 = 50,4 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Температура контактної з'єднання не набагато перевищує температуру примикаючих до неї шин.

2.2. Розрахунок головних контактів

Система комутуючих контактів є основним вузлом, заради функціонування якого проектується апарат. Тому конструкція і параметри контактної системи визначають основні параметри всього апарату і, отже, його конструкцію, габарити і масу.

Конструктивну форму головних і допоміжних контактів виберемо мостикового типу. Матеріал контактів – мідь, тому що при заданому струмі тепловий вплив дуги сприяє очищенню контактної поверхні від окисних плівок.

Для розрахунку головних контактів визначимо параметри контактних конструкцій. Перехідний опір R_K замкнутих контактів не повинен перевищувати значення, при якому температура Θ_k контактних деталей на кордоні зони стягування ліній струму не перевищує допустимої. Опір R_K визначимо із співвідношення:

$$\Theta_k - \Theta_0 = \tau_k = \frac{I_H^2 \cdot \rho_0 \cdot (1 + \alpha \cdot \Theta_k)}{S_c \cdot P_c \cdot K_T} + \frac{I_H^2 \cdot R_K}{\sqrt{\lambda} \cdot S_c \cdot P_c \cdot K_T} + \frac{R_K^2 \cdot I_H^2}{8 \cdot \lambda \cdot \rho_0} \leq \tau_{\text{кдоп}},$$

де $\tau_{\text{кдоп}}$ – допустиме перевищення температури контактів, $\tau_{\text{кдоп}} = 105^\circ\text{C}$;

λ – питома теплопровідність міді, $\lambda = 3,9 \frac{\text{Вт}}{\text{см}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$ [3].

Максимальну температуру нагрівання контактної точки для контактів з накладками з міді приймемо рівної

$$\Theta_{\text{к}} = 55 + \Theta_0.$$

Вирішуючи рівняння щодо $R_{\text{к}}$, знаходимо $R_{\text{к}} = 3,35 \cdot 10^{-4} \text{ Ом}$.

За формулою

$$R_{\text{к}} = \frac{K_1 \cdot (1 + \frac{2}{3} \cdot \alpha \cdot \Theta_{\text{к}})}{(0,102 \cdot F_{\text{к}})^m},$$

визначаємо силу натискання в контактах, яка забезпечує знайдене значення $R_{\text{к}}$.

Для плаского контакта з міді знаходимо $K_1 = 0,18 \cdot 10^{-3}$, значення коефіцієнта $m = 1$. В результаті знаходимо $F_{\text{к}} = 6,602 \text{ Н}$.

Питомий тиск в контакті

$$f_{\text{к}} = \frac{F_{\text{к}}}{I_{\text{н}}} = \frac{6,602}{63} = 0,105 \text{ Н/А}.$$

Візьмемо питомий тиск в контакті вищим. Це призведе лише до зниження перехідного опору контактів і зменшення температури нагрівання контактної точки. Візьмемо $f_{\text{к}} = 0,11 \text{ Н/А}$, тоді

$$F_{\text{к}} = f_{\text{к}} \cdot I_{\text{н}} = 6,93 \text{ Н}.$$

Для знайденного значення $F_{\text{к}}$ уточнимо перехідний опір

$$R_{\text{к}} = 3,192 \cdot 10^{-4} \text{ Ом}.$$

Падіння напруги в контакті

$$U_{\text{к}} = I_{\text{н}} \cdot R_{\text{к}} = 63 \cdot 3,35 \cdot 10^{-4} = 21 \text{ мВ}.$$

Повинна виконуватися умова

$$U_{\text{к}} \leq U_{\text{кдоп}} = 0,5 \cdot U_{\text{кр}},$$

					141.4301з.ДР.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

де $U_{кр}$ – напруга рекристалізації металу; для міді прийmemo $U_{кр} = 90$ мВ.

Значення

$$U_{кдоп} = 0,5 \cdot 90 = 45 \text{ мВ, тобто умова } U_{к} \leq U_{кдоп} \text{ виконується.}$$

Орієнтовно визначимо початковий струм зварювання контактів за формулою Г.В. Буткевича

$$I_{нсв} = K_{св} \cdot \sqrt{F_K} = 1800 \cdot \sqrt{6,93/9,81} = 1513 \text{ А,}$$

де $K_{св}$ – коефіцієнт визначаємо за додатком 9 [1], $K_{св} = 1800 \text{ А/кг}^{0,5}$.

Обчислимо електродинамічну силу відштовхування замкнених контактів:

$$F_{эд} = 2 \cdot 10^{-7} \cdot I^2 \cdot \ln \sqrt{Q/q} = 2 \cdot 10^{-7} \cdot 630^2 \cdot \ln \sqrt{\frac{0,2}{1,372 \cdot 10^{-4}}} = 0,578 \text{ Н,}$$

де Q – поперечний переріз деталі, що підводить струм до контактної площини, тобто $Q = S_C, \text{ см}^2$;

q – величина контактного майданчика, який визначається силою натискання, з урахуванням питомого опору матеріала зминання, що знаходиться для міді за додатком 10 [1] $\sigma_{см} = 50,5 \cdot 10^{-3} \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$,

$$q = \frac{F_K}{\sigma_{см}} = \frac{6,93}{50,5 \cdot 10^3} = 1,372 \cdot 10^{-4} \text{ см}^2.$$

Розраховане значення $F_{эд} = 0,578 \text{ Н}$ для $I = 10 \cdot I_n$, тобто умова $F_{эд} < F_K$ виконується.

Початкове контактне натискання прийmemo рівним половині кінцевого

$$F_n = 0,5 \cdot F_K = 0,5 \cdot 6,93 = 3,465 \text{ Н.}$$

Виберемо розмір циліндричних контактних накладок за додатком 6 [1].

Діаметр накладки $d = 12$ мм, висота накладки $h = 2,5$ мм. За додатком 7 виберемо прямокутну накладку, зіставляючи площу кола і прямокутника. Довжина накладки $d = 14$ мм, ширина накладки $b = 8$ мм, висота накладки $h = 2,5$ мм.

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

Розрахуємо зносостійкість контактів за такою формулою

$$N = \frac{V_{\text{изн}} \cdot \gamma}{g_{\text{рз}} + g_{\text{зм}}},$$

де $V_{\text{изн}}$ – частина обсягу пари контактів, яка буде піддана зношенню, приймемо зношення кожного контакту до 0,75 його первинної товщини, см³;

$g_{\text{рз}}, g_{\text{зм}}$ – питоме масове зношення, при дослідних коефіцієнтах зношення $k_{\text{рз}}, k_{\text{зм}}$, г/А² і коефіцієнті нерівномірності, що враховує розкидання величини зносу маси $k_{\text{нер}}$,

$$g_{\text{рз}} + g_{\text{зм}} = 10^{-9} \cdot (k_{\text{рз}} \cdot I_{\text{от}}^2 + k_{\text{зм}} \cdot I_{\text{вк}}^2) \cdot k_{\text{нер}},$$

γ – щільність матеріалу контакту, г/см³

$I_{\text{вк}}$ – струм включення;

$I_{\text{от}}$ – струм відключення.

За табл. 5-11 [3] $k_{\text{зм}} = 0,01$; по рис. 5-14 [3] $k_{\text{рз}} = 0,15$; за табл. 1.1 [2]

$$I_{\text{вк}} = 6 \cdot I_{\text{н}}, I_{\text{от}} = 6 \cdot I_{\text{н}}; V_{\text{изн}} = 2 \cdot d \cdot b \cdot h \cdot 0,75; \gamma = 9,5 \text{ г/см}^3$$

N – число комутацій вийшло більше заданого, є запас по комутацій контактів контактів,

$$N = \frac{2 \cdot 1,4 \cdot 0,8 \cdot 0,25 \cdot 0,75 \cdot 9,5}{10^{-9} \cdot (0,15 \cdot 6 \cdot 63^2 + 0,01 \cdot 6 \cdot 63^2) \cdot 1,1} = 0,952 \cdot 10^6$$

Виберемо розчин і провал контактів за табл. 2.30 [2]. Для пускача ПМА 4000 розчин головних контактів $\delta = 4$ мм, провал головних контактів $\beta = 2,5$ мм.

2.3. Розрахунок додаткових контактів

При розрахунку допоміжних контактів обмежимося орієнтовним розрахунком. Як матеріал допоміжних контактів візьмемо срібло.

Розрахуємо параметри струмоведущого контуру допоміжних контактів. Приймемо $b = 3a$, вирішуючи систему двох рівнянь, отримаємо: $a = 2$ мм; $b = 10$ мм. Виходячи з попередніх розрахунків, для розміщення контактних накладок приймемо $a = 0,2$ см, $b = 1$ см.

					141.4301з.ДР.ПЗ	Арк.
						40
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розміри контактних накладок виберемо за додатком 7 [1]. Діаметр контактної накладки $d = 5$ мм, висота $h = 1$ мм. За додатком 7 виберемо прямокутну накладку, зіставляючи площа кола і прямокутника. Довжина і ширина накладки $d = 4$ мм, висота накладки $h = 1$ мм. Розміри струмоведучої шини виберемо виходячи з розмірів контактної накладки, ширина шини $a = 5$ мм, товщина шини $b = 1$ мм.

За табл. 9 [1] виберемо питоме натискання $f_k = 0,05$ Н/А.

Кінцеве контактне натискання

$$F_k = f_k \cdot I_y = 0,05 \cdot 10 = 0,5 \text{ Н},$$

де I_y – струм ланцюга управління.

Початкове контактне натискання приймемо рівним половині кінцевого

$$F_n = 0,5 \cdot F_k = 0,5 \cdot 0,5 = 0,25 \text{ Н}.$$

Виберемо розчин і провал контактів за табл. 2.30 [2]. Для пускача ПМА 4000 розчин допоміжних контактів $\delta = 3$ мм, провал допоміжних контактів $\beta = 2$ мм.

2.4. Розрахунок пристрою дугогасіння

При розрахунку пристрою дугогасіння приймемо відстань між пластинами решітки $\delta_n = 4$ мм і товщину пластин $\Delta = 2$ мм.

Розрахуємо усталену температуру пластин решітки

$$T = 293 + 0,018 \cdot I_0 \cdot \sqrt{z} = 293 + 0,018 \cdot 8 \cdot 80 \cdot \sqrt{1200} = 692 \text{ }^\circ\text{К},$$

де z – число відключень ланцюга в годину, $z = 1200$;

I_0 – відключаємий струм для режиму рідкісних комутацій, $I_0 = 8 \cdot I_n$.

Коефіцієнт

$$K_p^0 = \frac{[820 + \delta_n^2 \cdot (\sqrt{I_0} - 5,7)] \cdot \sqrt{\Delta} \cdot 10^6}{2\sqrt{I_0} \cdot (40 + \sqrt{T - 273})} =$$

$$= \frac{[820 + 4^2 \cdot (\sqrt{8 \cdot 80} - 5,7)] \cdot \sqrt{2} \cdot 10^6}{2\sqrt{8 \cdot 80} \cdot (40 + \sqrt{692 - 273})} = 71,41 \cdot 10^5.$$

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

Індуктивність відключається ланцюга визначаємо за формулою

$$L = \frac{U_H}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot I_0} \sqrt{1 - \cos^2 \varphi_0} =$$

$$= \frac{380}{2\pi \cdot 50 \cdot 8 \cdot 80} \sqrt{1 - 0,35^2} = 15,25 \cdot 10^{-4} \text{ Гн},$$

де U_H – номінальна напругу ланцюга, $U_H = 380 \text{ В}$;

f – частота мережі, $f = 50 \text{ Гц}$;

$\cos \varphi_0$ – коефіцієнт потужності, $\cos \varphi_0 = 0,35$.

Коефіцієнт

$$K_2 = \frac{L \cdot I_0^{2/3} \cdot K_P^0}{1300} = \frac{15,25 \cdot 10^{-4} \cdot (8 \cdot 80)^{2/3} \cdot 71,41 \cdot 10^5}{1300} = 64,53.$$

Значення

$$K_H = 0,9 \cdot K_{сх} \sqrt{1 - \cos \varphi_0} = 0,9 \cdot 1,5 \sqrt{1 - 0,35} = 1,088,$$

де $K_{сх}$ – коефіцієнт схеми, при відключенні трифазного ланцюга триполюсним апаратом він дорівнює 1,5.

Значення напруги:

$$U_H^0 = 72 + 0,72 \cdot \delta_H = 72 + 0,72 \cdot 4 = 74,88 \text{ В};$$

$$U_D^0 = (110 + 0,003 \cdot I_0) \cdot (0,7 + 0,04 \cdot \delta_H) = (110 + 0,003 \cdot 8 \cdot 80) \cdot (0,7 + 0,04 \cdot 4) =$$

$$= 96,25 \text{ В}$$

Визначимо число розривів n_a для аперіодичного процесу за формулою

$$n_a = 0,6 + \left[\frac{K_H \cdot U_H - K_2 \cdot (1 + \ln K_H \frac{U_H}{K_2})}{U_H^0 + 0,35 \cdot K_H \cdot U_D^0} \right]^2 =$$

$$= 0,6 + \left[\frac{1,088 \cdot 380 - 64,53 \cdot (1 + \ln 1,088 \frac{380}{64,53})}{220 + 0,35 \cdot 1,088 \cdot 96,25} \right]^2 = 4,8.$$

Приймаємо кількість розривів $n_a = 5$.

Перевіримо, чи виконується умова переходу коливального процесу відновлення напруги в аперіодичний при $n_a = 5$

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

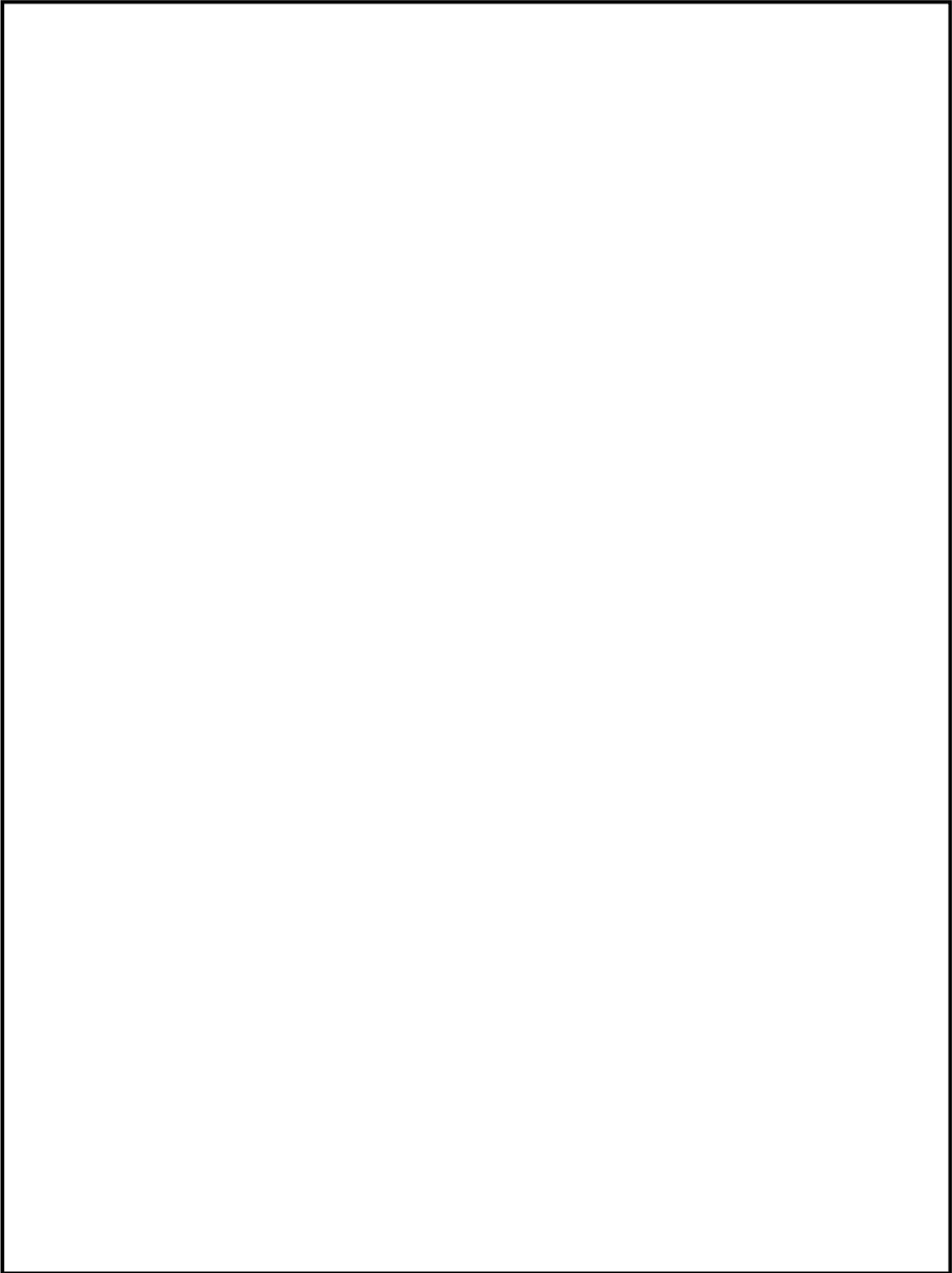
$$70000 \geq \frac{415\sqrt{n_a - 0,6}}{L \cdot I_0^{2/3}} = \frac{415\sqrt{5 - 0,6}}{15,25 \cdot 10^{-4} \cdot (8 \cdot 80)^{2/3}} = 7689;$$

Умова переходу виконується. Отже, розрахункове число розривів дугогасної решітки $n = 5$.

Необхідна довжина пластин решітки при часі горіння дуги $t_r = 0,01$ с

$$l_{\pi} = 1,73 \cdot \delta_{\pi}^2 \cdot \sqrt[3]{I_0} \cdot t_r = 1,73 \cdot 4^2 \cdot \sqrt[3]{8 \cdot 80} \cdot 0,01 = 4,77 \text{ см.}$$

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



					141.4301з.ДР.ПЗ.РЗ		
Зм.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата	РОЗДІЛ 3. ВИБІР І РОЗРАХУНОК ПРИВОДНОГО ЕЛЕКТРОМАГНІТУ		
Розробив		Акулов Р.Є.					
Перевірив		Пальчиков О.О.					
Н. Контр.							
Затверд.		Обрубов А.В.			НУК		
					Лист.	Арк.	Аркциф
						44	19

3.1. Розрахунок контактної пружини головних і допоміжних контактів, зворотньої пружини контактів

Будь-який електричний апарат за винятком деяких має пружини, які визначають основні характеристики його приводу. Пружини здійснюють контактне натискання, повертають механізм в початковий стан, знижують удари. Найбільшого поширення в електроапаратобудуванні отримали гвинтові циліндричні і плоскі пружини.

Гвинтові пружини, навиті з дроту або прутка круглого перетину і сприймають вісьове розтягувальне або стискаюче навантаження, розраховуються на кручення дроту або прутка.

Розрахуємо діаметр дроту контактної пружини головних контактів

$$d = \sqrt{\frac{8 \cdot K \cdot F_p \cdot c}{\pi \cdot [\tau]_K}} = \sqrt{\frac{8 \cdot 1,14 \cdot 15,3 \cdot 10}{\pi \cdot 370 \cdot 10^2}} = 0,11 \text{ см},$$

де c – індекс пружини, причому $c = D_0/d$, приймаємо $c = 10$;

K – коефіцієнт,

$$K = (4 \cdot c + 2)/(4 \cdot c - 3) = (4 \cdot 10 + 2)/(4 \cdot 10 - 3) = 1,14;$$

$[\tau]_K$ – допустима напруга на кручення, за додатком 13 [1] для сталеві вуглеводневої пружинного дроту $[\tau]_K = 370 \cdot 10^2 \text{ Н/см}^2$.

Сила F_p дорівнює подвійному контактному натискання, тому що контакти мостикового типу,

$$F_p = 2 \cdot 7,65 = 15,3 \text{ Н};$$

Середній діаметр пружини

$$D_0 = c \cdot d = 10 \cdot 1,1 = 1,1 \text{ см}.$$

Повний прогин пружини

$$f_{\text{полн}} = f_p \cdot \frac{F_p}{\Delta F} = 0,3 \cdot \frac{F_p}{0,5 \cdot F_p} = 0,6 \text{ см},$$

де f_p – робочий прогин пружини, що дорівнює провалу головних контактів

$$f_p = 0,3 \text{ см};$$

					141.4301з.ДР.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

ΔF – значення прирощення сили при попередній силі, якою навантажується пружина після монтажу F_0 , приймається її рівною $F_0 = 0,5 \cdot F_p$,

$$\Delta F = F_p - F_0 = F_p - 0,5 \cdot F_p = 0,5 \cdot F_p.$$

Робоча число витків

$$n = \frac{f_{\text{ПОЛН}} \cdot d \cdot \sigma}{8 \cdot F_p \cdot c^3} = \frac{0,6 \cdot 0,11 \cdot 8 \cdot 10^6}{8 \cdot 15,3 \cdot 10^3} = 4,3,$$

де σ – модуль пружності при зсуві, за додатком 13 [1] для сталевого вуглеводневого пружинного дроту, $\sigma = 8 \cdot 10^6$ Н/см².

Приймається $n = 5$.

Крок навивки

$$t = d + 1,2 \cdot \frac{f_{\text{ПОЛН}}}{n} = 0,11 + 1,2 \cdot \frac{0,6}{5} = 0,21 \text{ см.}$$

Довжина пружини у вільному стані

$$l_{\text{св}} = n \cdot t + 2 \cdot \delta = 5 \cdot 0,21 + 2 \cdot 0,22 = 1,93 \text{ см,}$$

де δ – довжина пружини, яка використовується для кріплення її кінців, приймемо $\delta = 2 \cdot d = 2 \cdot 0,11 = 0,22$ см.

Для забезпечення необхідної поздовжньої стійкості пружин стиснення вибирають

$$l_{\text{св}}/D_0 \leq 1,93/1,1 = 1,76 \leq 3 - \text{умова виконується.}$$

Зусилля поворотної пружини при відключенні має бути таким, щоб сила натискання F_y відповідної деталі на упор була достатньою для запобігання відскоку цієї деталі від упору при відключенні апарату. Питому силу натискання приймемо $f_y = 0,06$ Н/А.

Нахил характеристики поворотної пружини в більшості випадків береться набагато менше, ніж для контактної пружини, так як немає необхідності в збільшенні жорсткості поворотної пружини.

Визначимо F_y і F_p

$$F_y = f_y \cdot I_n = 0,06 \cdot 80 = 4,8 \text{ Н.}$$

Приймемо $F_p = 6$ Н, індекс пружини $c = 16$. За додатком 13 [1] для сталевого вуглеводневого пружинного дроту $\sigma = 8 \cdot 10^6$ Н/см².

					141.4301з.ДР.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

Коефіцієнт і діаметр дроту

$$K = (4 \cdot 16 + 2) / (4 \cdot 16 - 3) = 1,08;$$

$$d = \sqrt{\frac{8 \cdot 1,08 \cdot 6 \cdot 16}{\pi \cdot 370 \cdot 10^2}} = 0,08 \text{ см.}$$

Середній діаметр пружини

$$D_0 = c \cdot d = 16 \cdot 0,08 = 1,28 \text{ см.}$$

Робочий прогин пружини дорівнює сумі провалу і розчину головних контактів:

$$f_p = 0,8 \text{ см}; F_0 = F_y; \Delta F = F_p - F_y = 6 - 4,8 = 1,2 \text{ Н.}$$

Повний прогин пружини

$$f_{\text{полн}} = 0,8 \cdot \frac{6}{1,2} = 4 \text{ см.}$$

Робоче число витків

$$n = \frac{f_{\text{полн}} \cdot d \cdot \sigma}{8 \cdot F_p \cdot c^3} = \frac{0,6 \cdot 0,08 \cdot 8 \cdot 10^6}{8 \cdot 6 \cdot 16^3} = 13.$$

Крок навивки

$$t = d + 1,2 \cdot \frac{f_{\text{полн}}}{n} = 0,08 + 1,2 \cdot \frac{4}{13} = 0,45 \text{ см.}$$

Приймемо

$$\delta = 2 \cdot d = 2 \cdot 0,08 = 0,16 \text{ см.}$$

Довжина пружини у вільному стані

$$l_{\text{св}} = n \cdot t + 2 \cdot \delta = 13 \cdot 0,45 + 2 \cdot 0,16 = 6,16 \text{ см.}$$

Для забезпечення необхідної поздовжньої стійкості пружин стиснення вибирають

$l_{\text{св}}/D_0 \leq 6,16/1,28 = 4,81 \geq 3$ – умова не виконується, тому необхідно забезпечити додаткові стрижні або втулки.

Для розрахунку контактної пружини допоміжних контактів приймемо індекс пружини $c = 12$; $K = 1,11$. За додатком 13 [1] для сталевих вуглеводневого пружинного дроту $\sigma = 8 \cdot 10^6 \text{ Н/см}^2$. Сила F_p дорівнює

					141.4301з.ДР.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

подвійному контактному натисканню, тому що контакти мостикового типу, тобто $F_p = 1$ Н.

Розрахуємо діаметр дроту контактної пружини допоміжних контактів

$$d = \sqrt{\frac{8 \cdot K \cdot F_p \cdot c}{\pi \cdot [\tau]_K}} = \sqrt{\frac{8 \cdot 1,11 \cdot 1 \cdot 12}{\pi \cdot 370 \cdot 10^2}} = 0,03 \text{ см.}$$

Середній діаметр пружини

$$D_0 = c \cdot d = 12 \cdot 0,03 = 0,36 \text{ см.}$$

Робочий прогин пружини дорівнює сумі провалу допоміжних контактів $f_p = 0,2$ см. Прийmemo силу F_0 равною $0,5 \cdot F_p$.

Повний прогин пружини

$$f_{\text{полн}} = f_p \cdot \frac{F_p}{\Delta F} = 0,2 \cdot \frac{F_p}{0,5 \cdot F_p} = 0,4 \text{ см}$$

Робоча число витків

$$n = \frac{f_{\text{полн}} \cdot d \cdot \sigma}{8 \cdot F_p \cdot c^3} = \frac{0,4 \cdot 0,03 \cdot 8 \cdot 10^6}{8 \cdot 1 \cdot 12^3} = 6,9,$$

де σ – модуль пружності при зсуві, за додатком 13 [1] для сталевого вуглеводневого пружинного дроту, $\sigma = 8 \cdot 10^6$ Н/см².

Приймається $n = 7$.

Крок навивки

$$t = d + 1,2 \cdot \frac{f_{\text{полн}}}{n} = 0,03 + 1,2 \cdot \frac{0,4}{7} = 0,1 \text{ см.}$$

Довжина пружини у вільному стані

$$l_{\text{св}} = n \cdot t + 2 \cdot \delta = 7 \cdot 0,1 + 2 \cdot 0,06 = 0,82 \text{ см,}$$

де δ – довжина пружини, яка використовується для кріплення її кінців, прийmemo $\delta = 2 \cdot d = 2 \cdot 0,03 = 0,06$ см.

Для забезпечення необхідної поздовжньої стійкості пружин стиснення вибирають

$$l_{\text{св}}/D_0 \leq 0,82/0,36 = 2,25 \leq 3 \text{ – умова виконується.}$$

					141.4301з.ДР.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

3.2. Побудова протидіючої характеристики

Побудуємо протидіючу характеристику $F_{\text{п}} = F(\delta)$, яка визначається в сукупності силою зворотної пружини і вагою рухомих частин, силами пружин головних контактів, силами пружин розмикаючих блок-контактів і силами пружин замикаючих блок-контактів. У момент торкання головних контактів сила натискання зростає стрибком за рахунок попереднього натягу пружин, завдяки чому зменшується вібрація контактів і можливість їх зварювання в процесі включення ланцюга. Те ж саме відноситься і до допоміжних контактів, коммунуючих ланцюг управління.

На рис. 3.1...3.5 представлені протидіючі характеристики контактної пружини головних і допоміжних контактів.

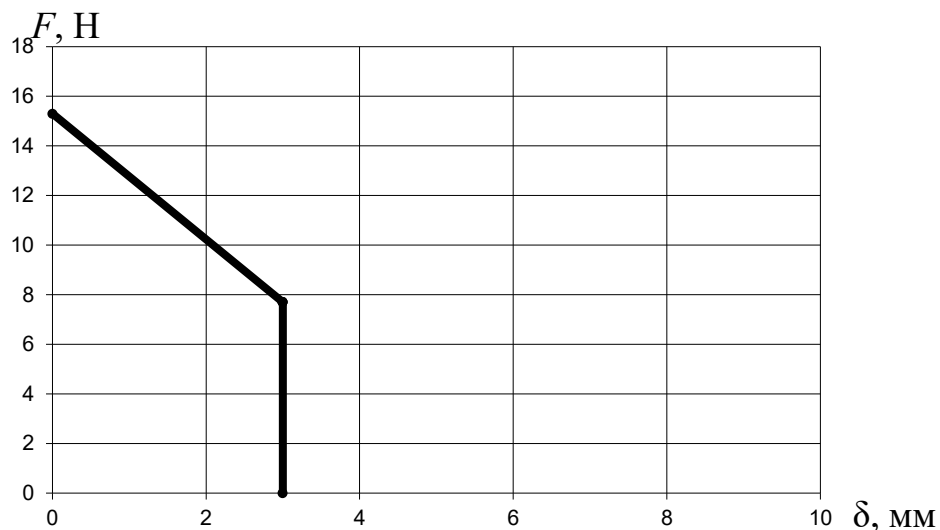


Рис. 3.1. Протидіюча характеристика контактної пружини головних контактів

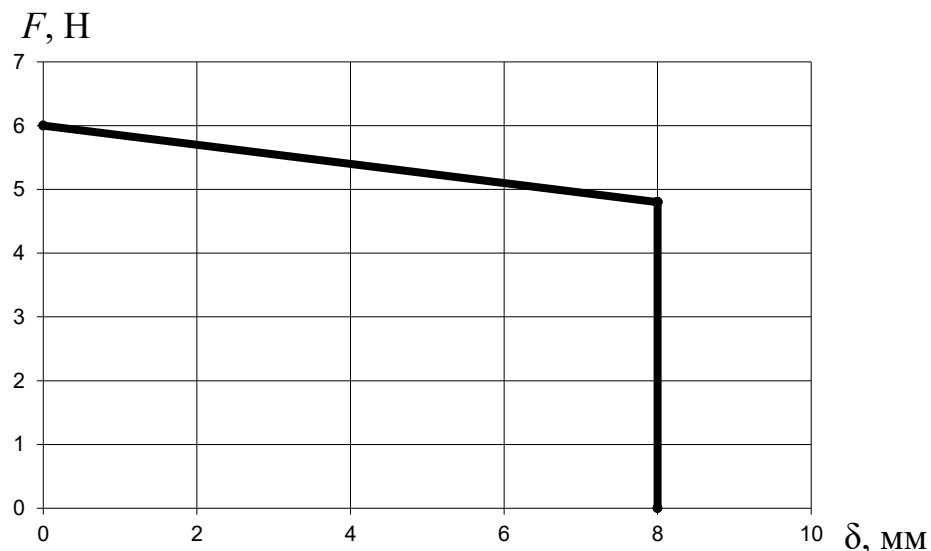


Рис. 3.2. Протидіюча характеристика зворотної пружини

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

141.4301з.ДР.ПЗ

Арк.

49

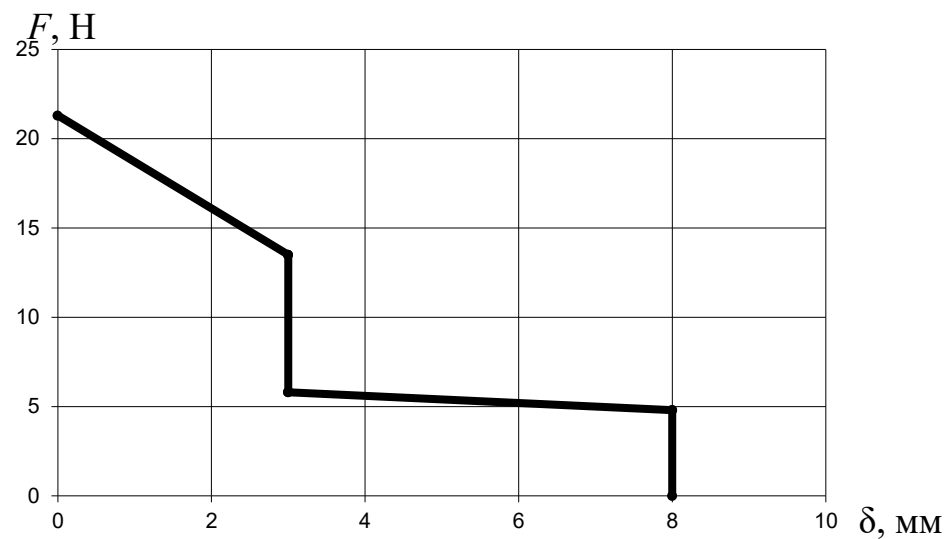


Рис. 3.3. Сумарна характеристика пружини

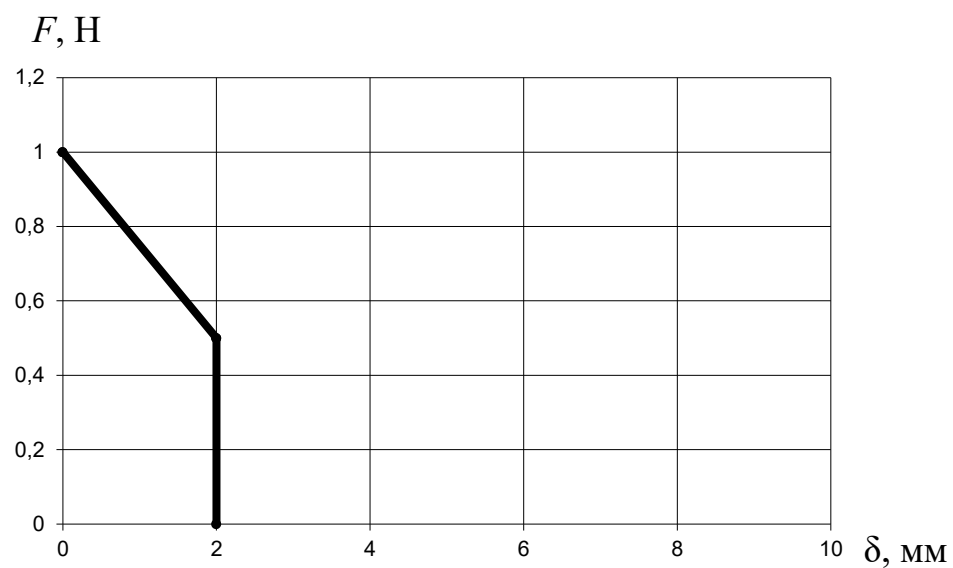


Рис. 3.4. Протидіюча характеристика контактної пружини додаткових контактів

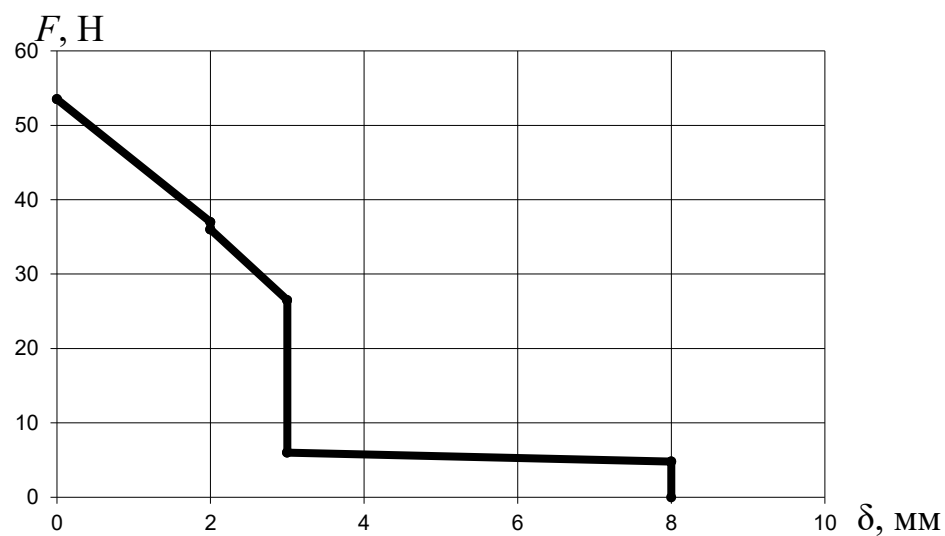


Рис. 3.5. Сумарна протидіюча характеристика пружини з урахуванням додаткових контактів

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

141.4301з.ДР.ПЗ

Арк.

50

3.3. Розрахунок приводного електромагніту

Вихідні дані для розрахунку приводного електромагніту:

1. Тип електромагніту за родом струму живлення: змінний струм.
2. Тип електромагніту по конфігурації магнітного ланцюга: П - подібний з поступальним рухом якоря.
3. Напруга живлення: змінна 127 В.
4. Частота джерела живлення: $f = 50$ Гц.
5. Режим роботи: тривалий.
6. Температура навколишнього середовища Θ_0 : $+40^\circ \text{C}$.
7. Клас обмотувального дроту: А, допустима температура нагріву $+105^\circ \text{C}$.
8. Матеріал магнітопроводу – 1511.

Зазначені проміжки:

$\delta_k = 0,05$ мм – кінцевий проміжок між якорем і полюсом;

$\delta_n = 0,18$ мм – паразитний проміжок.

Розраховуємо перетин магнітопроводу з умови відсутності вібрації якоря в притягнутому положенні.

При притягнутому положенні вібрація буде відсутньою, якщо мінімальне електромагнітне зусилля буде більше протидії

$$P_{\min} = K_p \cdot P'_{\text{ПРК}},$$

де $P_{\min}$ – мінімальна електромагнітна сила при притягнутому якорі;

K_p – коефіцієнт запасу по силі, $K_p = 1,1 \dots 1,3$;

$P'_{\text{ПРК}}$ – розрахункова протидія зусилля для кінцевого положення якоря,

для електромагніту з двома короткозамкненими витками при умові, що $P_{\text{ПРК}}$ – сума трьох робочих контактних натискань головних контактів, двох робочих натискань допоміжних контактів і робочого контактного натискання поворотної пружини, тобто $P_{\text{ПРК}} = 3 \cdot 15,3 + 2 \cdot 1 + 6 = 53,9$ Н,

$$P'_{\text{ПРК}} = 0,5 \cdot P_{\text{ПРК}} = 0,5 \cdot 53,9 = 26,95 \text{ Н.}$$

					141.4301з.ДР.ПЗ	Арк.
						51
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для розрахунку перетину магнітопроводу використовуємо наступну формулу

$$S = \frac{K_p \cdot P'_{\text{ГРК}} \cdot (1 + \alpha \cdot m_p + 2c \cdot \alpha)}{2(1 + \alpha)(1 + m_p - \sqrt{(m_p - 1)^2 + 4c^2 \cdot \alpha}) B_m^2 \cdot 10^5} =$$

$$= \frac{1,3 \cdot 0,5 \cdot 53,9 \cdot (1 + 0,6 \cdot 1,5 + 2 \cdot 1 \cdot 0,6)}{2(1 + 0,6)(1 + 1,5 - \sqrt{(1,5 - 1)^2 + 4 \cdot 1^2 \cdot 0,6}) 1^2 \cdot 10^5} = 3,89 \text{ см}^2,$$

де α, m_p, c – параметри, приймаємо $\alpha = 0,6, m_p = 1,5, c = 1$;

B_m – амплітудне значення магнітної індукції для сталі магнітопровода 1511, $B_m = 1$ Тл;

K_p – коефіцієнт запасу по силі, приймаємо $K_p = 1,3$.

У торець магнітопроводу вставляється короткозамкнений виток. Матеріал короткозамкненого витка – мідь. Задамося величиною ширини провідника короткозамкненого витка $\Delta = 2$ мм. Складемо співвідношення для знаходження величин a_1, a_2, a, b , які показані на рис. 3.6:

$$a_2 / a_1 = \alpha;$$

$$b / (a_1 + a_2 + \Delta) = \eta;$$

$$b = 2a; a \cdot b = S.$$

Прийmemo величину $\eta = 2$, вважаючи квадратний перетин магнітопровода в місці розташування котушки оптимальним. Вирішуючи систему рівнянь і округляючи значення до цілих, отримаємо:

$$a_1 = 7 \text{ мм}, a_2 = 4 \text{ мм}, a = 14 \text{ мм}, b = 28 \text{ мм}.$$

Магнітопровід шихтований. Коефіцієнт заповнення для пакета сталі з лакованих листів товщиною 0,5 мм дорівнює $K_{zc} = 0,93$.

Знаходимо активний переріз магнітопровода

$$S_a = (a_1 + a_2) \cdot b \cdot K_{zc} = (7 + 4) \cdot 28 \cdot 0,93 \cdot 10^{-6} = 2,86 \text{ см}^2.$$

Розраховуються розміри короткозамкненого витка, що визначаються за необхідним для боротьби з вібрацією якоря опором короткозамкненого витка

					141.4301з.ДР.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

$$r_B = \frac{\omega \cdot \mu_0 \cdot S_a}{(1 + \alpha) \cdot \delta_K} \cdot \sqrt{\frac{c^2 \cdot \alpha}{m_p - c^2 \cdot \alpha}} =$$

$$= \frac{2\pi \cdot 50 \cdot 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 2,86 \cdot 10^{-4}}{(1 + 0,6) \cdot 0,05 \cdot 10^{-3}} \cdot \sqrt{\frac{1^2 \cdot 0,6}{1,5 - 1^2 \cdot 0,6}} = 1,15 \cdot 10^{-3} \text{ Ом},$$

де ω – кутова частота, $\omega = 2\pi f$;

δ_K – кінцевий проміжок між якорем і полюсом, приймаємо $\delta_K = 0,05$ мм.

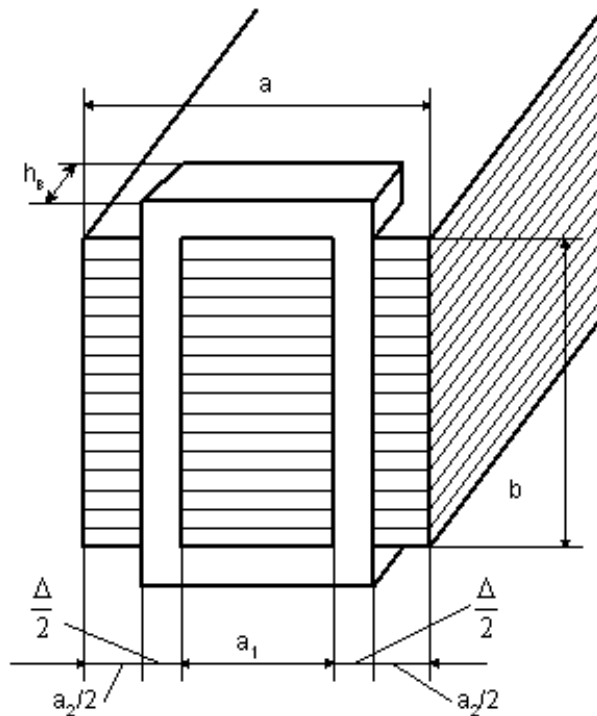


Рис. 3.6. Короткозамкнений виток
в магнітопроводі

Знаходимо висоту витка з співвідношення

$$h_B = \rho_B \cdot \frac{2(b + a_1 + 2\Delta)}{r_g \cdot 0,5 \cdot \Delta} =$$

$$= 2,62 \cdot 10^{-8} \cdot (1 + 0,004 \cdot 100) \cdot \frac{2(28 + 7 + 2 \cdot 2)10^{-3}}{1,15 \cdot 10^{-3} \cdot 0,5 \cdot 2 \cdot 10^{-3}} = 2,47 \text{ мм},$$

де ρ_B – питомий опір витка при температурі $t = 100$ °С і матеріал короткозамкненого витка – алюміній з питомим опором витка з алюмінію при 20°С рівним $\rho_0 = 2,62 \cdot 10^{-8}$ Ом·м,

$$\rho_B = \rho_0 \cdot (1 + 0,004 \cdot t).$$

Округляємо висоту витка $h_B = 2,5$ мм.

Уточнюємо опір короткозамкненого витка

$$r_B = \rho_B \cdot \frac{2(b + a_1 + 2\Delta)}{h_B \cdot 0,5 \cdot \Delta} =$$

$$= 2,62 \cdot 10^{-8} \cdot (1 + 0,004 \cdot 100) \cdot \frac{2(28 + 7 + 2 \cdot 2,5)10^{-3}}{2 \cdot 10^{-3} \cdot 0,5 \cdot 2,5 \cdot 10^{-3}} = 1,14 \cdot 10^{-3} \text{ Ом.}$$

Для визначення розмірів обмотки потрібно знайти її магніторушійну силу при притягнутому якорі. Для цього складається схема заміщення магнітного кола без урахування магнітного опору сталі. Схема заміщення магнітного ланцюга представлена на рис. 3.7.

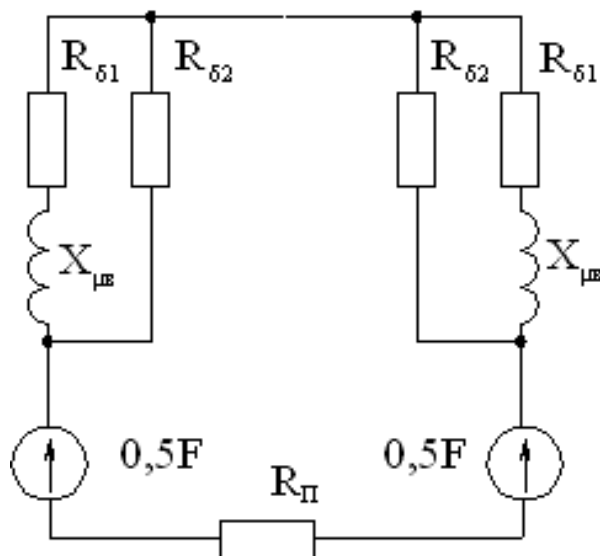


Рис. 3.7. Схема заміщення магнітного ланцюга

Визначимо параметри схеми заміщення. Магнітний опір короткозамкненого витка

$$X_{\mu B} = \frac{2\pi f}{r_B} = \frac{2\pi \cdot 50}{1,14 \cdot 10^{-3}} = 2,75 \cdot 10^5 \text{ 1/Гн.}$$

Магнітний опір паразитного повітряного зазору

$$R_{\Pi} = \frac{1}{\mu_0} \cdot \frac{\delta_{\Pi}}{S_K} = \frac{1}{4\pi \cdot 10^{-7}} \cdot \frac{0,1 \cdot 10^{-3}}{3,65 \cdot 10^{-4}} = 2,18 \cdot 10^5 \text{ 1/Гн,}$$

де S_K – перетин магнітопроводу в місці розташування котушки,

$$S_k = K_{zc} \cdot a \cdot b = 0,93 \cdot 14 \cdot 28 = 3,65 \text{ см}^2.$$

Приймемо кінцевий проміжок між якорем і магнітопроводом $\delta_k = 0,05$ мм. Магнітний опір повітряного проміжку над екранованою частиною і над неекранованою частиною відповідно:

$$R_{\delta 1} = \frac{1}{\mu_0} \cdot \frac{\delta_k}{K_{zc} \cdot a_1 \cdot b} = \frac{1}{4\pi \cdot 10^{-7}} \cdot \frac{0,05 \cdot 10^{-3}}{0,93 \cdot 7 \cdot 28 \cdot 10^{-6}} = 2,18 \cdot 10^5 \text{ 1/Гн};$$

$$R_{\delta 2} = \frac{1}{\mu_0} \cdot \frac{\delta_k}{K_{zc} \cdot a_1 \cdot b} = \frac{1}{4\pi \cdot 10^{-7}} \cdot \frac{0,05 \cdot 10^{-3}}{0,93 \cdot 4 \cdot 28 \cdot 10^{-6}} = 3,82 \cdot 10^5 \text{ 1/Гн}.$$

Розрахуємо магніторушійну силу за такою формулою

$$F = K_u \cdot K_{\Pi} \cdot \frac{B_m}{\sqrt{2}} \cdot S_k \cdot [R_{\Pi} + K_{cx} \cdot \frac{R_{\delta 2} \cdot (R_{\delta 1} + jX_{\mu\sigma})}{R_{\delta 2} + R_{\delta 1} + jX_{\mu\sigma}}] =$$

$$= 1,25 \cdot 1,1 \cdot \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot 3,65 \cdot 10^{-4} \cdot [2,04 \cdot 10^5 + 2 \cdot \frac{3,85 \cdot 10^5 \cdot (2,18 \cdot 10^5 + j2,75 \cdot 10^5)}{3,85 \cdot 10^5 + 2,18 \cdot 10^5 + j2,75 \cdot 10^5}] =$$

$$= 205,65 + j65,18 = 215,73 \angle 18,47^\circ \text{ А},$$

де K_{cx} – коефіцієнт схеми, $K_{cx} = 2$;

K_u – коефіцієнт коливання напруги, $K_u = 1,25$;

$K_u = 1,1$ – коефіцієнт, що враховує втрати в сталі, $K_u = 1,1$.

Кількість витків знайдемо з формули

$$W = \frac{K_R \cdot U_{min}}{4,44 f \cdot B_m \cdot S_k} = \frac{0,9 \cdot 0,9 \cdot 220}{4,44 \cdot 50 \cdot 1 \cdot 0,93 \cdot 3,65 \cdot 10^{-4}} = 2202 \text{ витка},$$

де K_R – коэффициент, учитывающий падение напряжения на активном сопротивлении, $K_R = 0,9$;

U_{min} – мінімальна напруга в мережі, $U_{min} = 0,9 \cdot U$.

Визначаємо струм обмотки

$$I = F/W = 215,73/2202 = 98 \text{ мА}.$$

Задамося щільністю струму. Для тривалого режиму приймемо

$$j = 2,2 \cdot 10^6 \text{ А/м}^2.$$

Знаходимо перетин і діаметр проводу:

					141.43013.ДР.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

$$q = I/j = 0,098/(2,2 \cdot 10^6) = 4,45 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2;$$

$$d = 2 \sqrt{\frac{q}{\pi}} = 2 \sqrt{\frac{4,45 \cdot 10^{-8}}{\pi}} = 0,24 \cdot 10^{-3} \text{ м},$$

Округляємо за ГОСТ для провода ПЭВ-2 до $0,25 \cdot 10^{-3}$ м, коефіцієнт заповнення $f_0=0,56$.

Площа обмоточного вікна

$$Q = \frac{q \cdot W}{f_0} = \frac{4,45 \cdot 10^{-8} \cdot 2202}{0,56} = 1,75 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2.$$

Із співвідношень $Q = h_0 \cdot l_0$ і, прийнявши $l_0/h_0 = 2$, знаходимо:

$h_0 = 9,4 \cdot 10^{-3}$ м – товщина котушки,

$l_0 = 19 \cdot 10^{-3}$ м – довжина котушки.

Виходячи з можливості розміщення каркаса, запасу на розміщення котушки, задаємо розмір вікна магнітопровода

$$h = 2,5h_0 = 23 \cdot 10^{-3} \text{ м}, l = 1,3l_0 = 24 \cdot 10^{-3} \text{ м}.$$

Для уточненого розрахунку обмотки при притягнутому якорі розглянемо схема заміщення магнітного ланцюга з урахуванням феромагнітних ділянок (рис. 3.8):

Z_1 – магнітний опір якоря;

Z_2, Z_3 – магнітні опори бічних магнітопроводів.

Обчислюємо магнітні опору ділянок магнітопровода (довжини ділянок знаходимо за ескізом магніту):

$$Z_1 = \rho_z \cdot \frac{h + 2a}{S_K} = (2 \cdot 10^2 + j0,5 \cdot 10^2) \cdot \frac{23 \cdot 10^{-3} + 2 \cdot 14 \cdot 10^{-3}}{3,65 \cdot 10^{-4}} =$$

$$= 28,19 \cdot 10^3 + j7,05 \cdot 10^3 \text{ 1/Гн};$$

$$Z_2 = Z_3 = \rho_z \cdot \frac{l + a + 0,5h}{S_K} = (2 \cdot 10^2 + j0,5 \cdot 10^2) \cdot \frac{(24 + 14 + 0,5 \cdot 23) \cdot 10^{-3}}{3,65 \cdot 10^{-4}} =$$

$$= 19,25 \cdot 10^4 + j48,12 \cdot 10^3 \text{ 1/Гн};$$

$$Z_{cx} = Z_1 + 2Z_2 = 28,19 \cdot 10^3 + j7,05 \cdot 10^3 + 2 \cdot (19,25 \cdot 10^4 + j48,12 \cdot 10^3) =$$

$$= 41,31 \cdot 10^4 + j10,33 \cdot 10^4 \text{ 1/Гн}.$$

					141.4301з.ДР.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

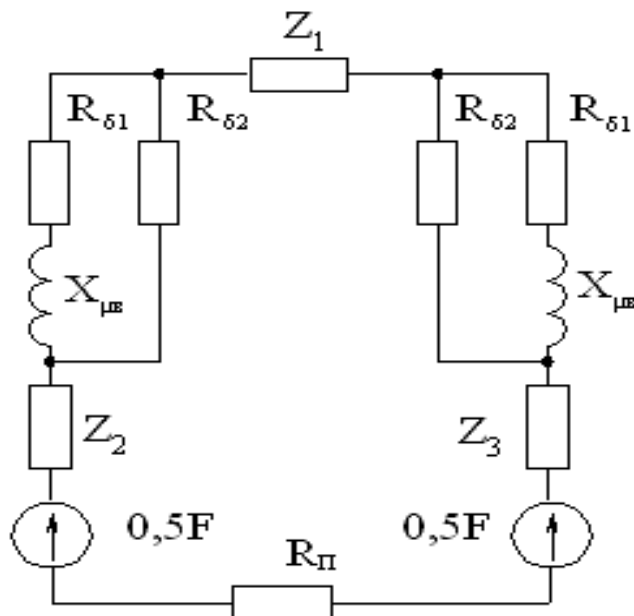


Рис. 3.8. Схема заміщення магнітного кола з урахуванням феромагнітних ділянок

Знаходимо магніторушійну силу з урахуванням магнітного опору сталі:

$$F = K_u \cdot \frac{B_m}{\sqrt{2}} \cdot S_k \cdot [R_{\pi} + Z_{cx} + K_{cx} \cdot \frac{R_{\delta 2} \cdot (R_{\delta 1} + jX_{\mu в})}{R_{\delta 2} + R_{\delta 1} + jX_{\mu в}}] =$$

$$= 1,25 \cdot \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot 3,65 \cdot 10^{-4} \cdot [2,18 \cdot 10^5 + 2 \cdot \frac{3,85 \cdot 10^5 \cdot (2,18 \cdot 10^5 + j2,75 \cdot 10^5)}{3,85 \cdot 10^5 + 2,18 \cdot 10^5 + j2,75 \cdot 10^5} +$$

$$+ 41,31 \cdot 10^4 + j10,33 \cdot 10^4] = 320,08 + j92,53 = 313,82 \angle 16,12^\circ, \text{ A.}$$

Для уточнення числа витків обмотки розрахуємо наступні коефіцієнти

$$c_1 = \rho \cdot j_{\text{доп}} \cdot l_{\text{ср}},$$

де ρ – питомий опір дроту обмотки;

$j_{\text{доп}}$ – допустима щільність струму;

$l_{\text{ср}}$ – середня довжина витка.

Питомий опір міді при 20°C рівний $\rho_0 = 1,62 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}$.

З попереднього розрахунку приймемо температуру обмотки $t = 77^\circ \text{C}$,
 $j_{\text{доп}} = 2,2 \cdot 10^6 \text{ A/м}^2$.

З геометрії котушки визначаємо:

$$l_{\text{ср}} = 2 \cdot (a + b) + \pi \cdot h_0 = 2 \cdot (14 + 28) \cdot 10^{-3} + \pi \cdot 9,4 \cdot 10^{-3} = 113 \cdot 10^{-3} \text{ м};$$

$$c_1 = 1,62 \cdot 10^{-8} \cdot (1 + 0,004 \cdot 77) \cdot 2,2 \cdot 10^6 \cdot 113 \cdot 10^{-3} = 5,38 \text{ В};$$

$$c_2 = \frac{\omega \cdot \Phi_m}{\sqrt{2}} = \frac{2\pi \cdot f \cdot B_m \cdot S_K}{\sqrt{2}} = \frac{2\pi \cdot 50 \cdot 1 \cdot 3,65 \cdot 10^{-4}}{\sqrt{2}} = 0,08 \text{ В.}$$

Визначаємо кількість витків

$$W = \frac{U_{\min}}{\sqrt{c_1^2 + c_2^2 + 2c_1 \cdot c_2 \cdot \sin\theta}} =$$

$$= \frac{0,85 \cdot 220}{\sqrt{5,08^2 + 0,08^2 + 2 \cdot 5,08 \cdot 0,08 \cdot \sin 16,12^\circ}} = 2263 \text{ витка,}$$

де $U_{\min}$ – мінімальна напруга живлення, $U_{\min} = 0,85U$;

θ – кут втрат, рівний $\theta = 16,12^\circ$.

Омічний опір обмотки

$$R_o = \rho \cdot \frac{l_{cp}}{q} \cdot W = 1,62 \cdot 10^{-8} \cdot (1 + 0,004 \cdot 77) \cdot \frac{0,113}{4,45 \cdot 10^{-8}} \cdot 2263 = 117,42 \text{ Ом.}$$

Додатковий активний опір

$$R_d = \frac{\omega \cdot W^2 \cdot \sin\theta}{Z_{екв}} = \frac{2\pi \cdot 50 \cdot 2266^2 \cdot \sin 16,12^\circ}{99,33 \cdot 10^4 + 28,72 \cdot 10^4} = 432,05 \text{ Ом,},$$

де $Z_{екв}$ – еквівалентний магнітний опір системи,

$$Z_{екв} = R_{\Pi} + Z_{сх} + K_{сх} \cdot \frac{R_{\delta 2} \cdot (R_{\delta 1} + jX_{\mu\delta})}{R_{\delta 2} + R_{\delta 1} + jX_{\mu\delta}} = 99,33 \cdot 10^4 + 28,72 \cdot 10^4 \text{ 1/Гн.}$$

Індуктивний опір обмотки

$$X = \frac{\omega \cdot W^2 \cdot \cos\theta}{Z_{екв}} = \frac{2\pi \cdot 50 \cdot 2266^2 \cdot \cos 16,12^\circ}{99,33 \cdot 10^4 + 28,72 \cdot 10^4} = 1495 \text{ Ом.}$$

Кут між струмом і напругою

$$\text{tg}\varphi = \frac{X}{R_o + R_d} = \frac{1495}{117,42 + 432,05} = 69,8^\circ.$$

Уточнюємо струм в обмотці

$$I = \frac{U}{\sqrt{(R_o + R_d)^2 + X^2}} = \frac{220}{\sqrt{(117,42 + 432,05)^2 + 1495^2}} = 0,138 \text{ А.}$$

					141.4301з.ДР.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

Обчислимо активну потужність при $U = U_{\max} = 1,05U$

$$P_{\text{эл}} = (1,05 \cdot I)^2 \cdot (R_o + R_d) = (1,05 \cdot 0,87)^2 \cdot (117,42 + 432,05) = 11,56 \text{ Вт.}$$

Визначимо температуру перегріву обмотки

$$\tau = \frac{I^2 \cdot R_o}{K_T \cdot S_{\text{охл}}} = \frac{0,118^2 \cdot 117,42}{14,27 \cdot 4,24 \cdot 10^{-3}} = 37^\circ\text{C},$$

де $S_{\text{охл}}$ – поверхню охолодження, $\alpha = 0,6$ тобто котушка на ізоляційному каркасі,

$$\begin{aligned} S_{\text{охл}} &= S_n + \alpha \cdot S_{\text{вн}} = (2 \cdot (a + b) + 2\pi \cdot h_0) \cdot l_0 + 0,6 \cdot 2 \cdot (a + b) \cdot l_0 = \\ &= (2 \cdot (14 + 28) + 2\pi \cdot 9,4) \cdot 19 \cdot 10^{-6} + 0,6 \cdot 2 \cdot (14 + 28) \cdot 10^{-6} = 4,24 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2; \end{aligned}$$

K_T – коефіцієнт тепловіддачі,

$$K_T = \frac{2,1 \cdot [1 + 0,005 \cdot (t - t_{\text{окр}})]}{\sqrt[3]{S_{\text{охл}}}} = \frac{2,1 \cdot [1 + 0,005 \cdot (77^\circ - 40^\circ)]}{\sqrt[3]{4,24 \cdot 10^{-3}}} = 14,27.$$

Сумарна температура

$$t = t_{\text{окр}} + \tau = 40 + 37 = 77^\circ\text{C} - \text{температура менше допустимої.}$$

Для перевірки відсутності вібрації якоря необхідно знайти в притягнутому положенні потоки в екранованій і неекранованій частинах полюса для мінімальної напруги.

Знаходимо кут між потоками

$$\psi = \arctan(X_{\text{мв}}/R_{\delta 1}) = \arctan(2,75 \cdot 10^5 / 2,18 \cdot 10^5) = 51,51^\circ.$$

Для визначення потоків потрібен наступний коефіцієнт

$$n = \frac{S_2}{S_1 \cdot \cos \psi} = \frac{a_2 \cdot b}{a_1 \cdot b \cdot \cos \psi} = \frac{a_2}{a_1 \cdot \cos \psi} = \frac{5}{8 \cdot \cos 48,6^\circ} = 0,94,$$

де S_1 і S_2 – площі екранованої і неекранованої частин відповідно.

Коефіцієнт для кута $51,51^\circ$ становить

$$n = \frac{4}{7 \cdot \cos 51,51^\circ} = 0,918.$$

Потік в зазорі приймемо рівним

$$\Phi_\delta = B_m \cdot S_k = 1 \cdot 3,65 \cdot 10^{-4} = 3,65 \cdot 10^{-4} \text{ Вб.}$$

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

Потік в екранованій частини

$$\Phi_{\delta 1} = \frac{\Phi_{\delta}}{\sqrt{1+n^2+2n \cdot \cos \psi}} = \frac{3,65 \cdot 10^{-4}}{\sqrt{1+0,918^2+2 \cdot 0,918 \cdot \cos 51,51^{\circ}}} = 2,11 \cdot 10^{-4} \text{ Вб.}$$

Потік в неекранованій частини

$$\Phi_{\delta 2} = n \cdot \Phi_{\delta 1} = 0,918 \cdot 2,11 \cdot 10^{-4} = 1,94 \cdot 10^{-4} \text{ Вб.}$$

Середнє значення сил від відповідних потоків

$$P_{cp1} = \frac{\Phi_{\delta 1}^2}{4\mu_0 \cdot S_1} = \frac{2,11^2 \cdot 10^{-8}}{4 \cdot 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 7 \cdot 28 \cdot 10^{-6}} = 45,18 \text{ Н;}$$

$$P_{cp2} = \frac{\Phi_{\delta 2}^2}{4\mu_0 \cdot S_2} = \frac{1,94^2 \cdot 10^{-8}}{4 \cdot 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 4 \cdot 28 \cdot 10^{-6}} = 66,65 \text{ Н.}$$

Амплітудне значення змінної складової сили

$$P_m = \sqrt{P_{cp1}^2 + P_{cp2}^2 + 2P_{cp1} \cdot P_{cp2} \cdot \cos 2\psi} = \\ = \sqrt{45,18^2 + 66,65^2 + 2 \cdot 45,18 \cdot 66,65 \cdot \cos 2 \cdot 51,51^{\circ}} = 71,6 \text{ Н.}$$

Мінімальне значення сили

$$P_{\min} = P_{cp1} + P_{cp2} - P_m = 45,18 + 66,65 - 71,6 = 40,23 \text{ Н.}$$

Вібрація якоря відсутня, якщо $P_{\min} > P'_{ПРК}$,

$40,23 > 0,5 \cdot 53,9 \Rightarrow 32,94 > 26,96$ – умова відсутності вібрації якоря виконується.

Знайдемо пульсацію сили

$$P\% = \frac{P_m}{P_{cp1} + P_{cp2}} \cdot 100\% = \frac{71,76}{45,18 + 66,65} \cdot 100\% = 64,5\%.$$

3.4. Розрахунок тягової характеристики

Електромагнітну силу можна знайти за такою формулою

$$P_{cp} = -\frac{1}{2} \cdot I^2 \frac{dL}{d\delta},$$

де I – діюче значення сили струму.

					141.4301з.ДР.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

Опором сталі і короткозамикаючих витків можна знехтувати, але необхідно врахувати розсіювання магнітного потоку. У схемі заміщення потік розсіювання приведений до повної магніторушійної сили обмотки, тому наведене значення опору розсіювання прийнято втричі більше, ніж його значення, отримане за його геометричні розміри $R'_S = 3 \cdot R_s$, що справедливо для магнітного кола з розподіленою магніторушійною силою обмотки.

Провідність розсіювання розрахуємо за формулою

$$R_s = 1/L_s = \frac{1}{\mu_0 \cdot \left(\frac{b}{h} + 0,52 + \frac{1,2 \cdot b}{h/a + 1} \right) \cdot 1} =$$

$$= \frac{1}{2 \cdot 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot \left(\frac{28}{23} + 0,52 + \frac{1,28}{23/14 + 1} \right) \cdot 24 \cdot 10^{-3}} = 18,91 \cdot 10^6 \text{ 1/Гн.}$$

Магнітний опір робочого і паразитного проміжку розрахуємо за формулою з урахуванням потоків випинання, тому що при великих проміжках вони надають більше значення на опір проміжку:

$$R_\delta(\delta) = 1/L_\delta =$$

$$= \frac{1}{\mu_0 \cdot \left(\frac{a \cdot b}{\delta} + 0,52 \cdot (a + 1,5b) + \frac{1,26 \cdot (a + 0,5b)}{\delta/a + 1} + \frac{0,64 \cdot b}{\delta/a + 0,5} + 0,31 \cdot \delta + a \right)}.$$

$$R_\Pi = 1/L_\Pi = \frac{1}{\mu_0 \cdot \frac{(a + 0,098\delta_\Pi) \cdot (b + 0,098\delta_\Pi)}{\delta_\Pi}} =$$

$$= \frac{1}{\mu_0 \cdot \frac{(a + 0,098 \cdot 0,0001) \cdot (b + 0,098 \cdot 0,0001)}{0,0001}} = 0,2 \cdot 10^6 \text{ 1/Гн,}$$

де δ_Π – величина паразитного зазора, приймемо $\delta_\Pi = 0,1$ мм.

Індуктивність обмотки буде визначатися через еквівалентну магнітне опір всієї системи за виразом

$$L(\delta) = W^2/R_{\text{мекв}}(\delta).$$

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

Для даної системи

$$R_{\text{мэкв}}(\delta) = \frac{2 \cdot R_{\delta}(\delta) \cdot 3 \cdot R_S}{2 \cdot R_{\delta}(\delta) + 3 \cdot R_S + 3 \cdot R_S} + R_{\Pi}(\delta).$$

Струм при відповідному проміжку може бути знайдений при розрахованих значеннях індуктивності за законом Ома

$$I(\delta) = \frac{U}{\sqrt{R_o^2 + (\omega \cdot L(\delta))^2}}.$$

Електромагнітну силу можна задати як функцію

$$P_{\text{ср}}(\delta) = -\frac{1}{2} \cdot I(\delta)^2 \frac{dL(\delta)}{d\delta}, \text{ тому що входять до неї величини залежать від}$$

робочого повітряного зазору. За допомогою математичного редактора MathCAD 2014 задаємо і будуємо цю функцію.

На рис. 3.9. показана тягова характеристика електромагніта при номінальній напрузі (суцільна лінія) і при $0,85 \cdot U_{\text{ном}}$ (штрихпунктирна лінія). Як видно з рис. 3.9, в обох випадках вона лежить вище сумарної протидії характеристики пружин.

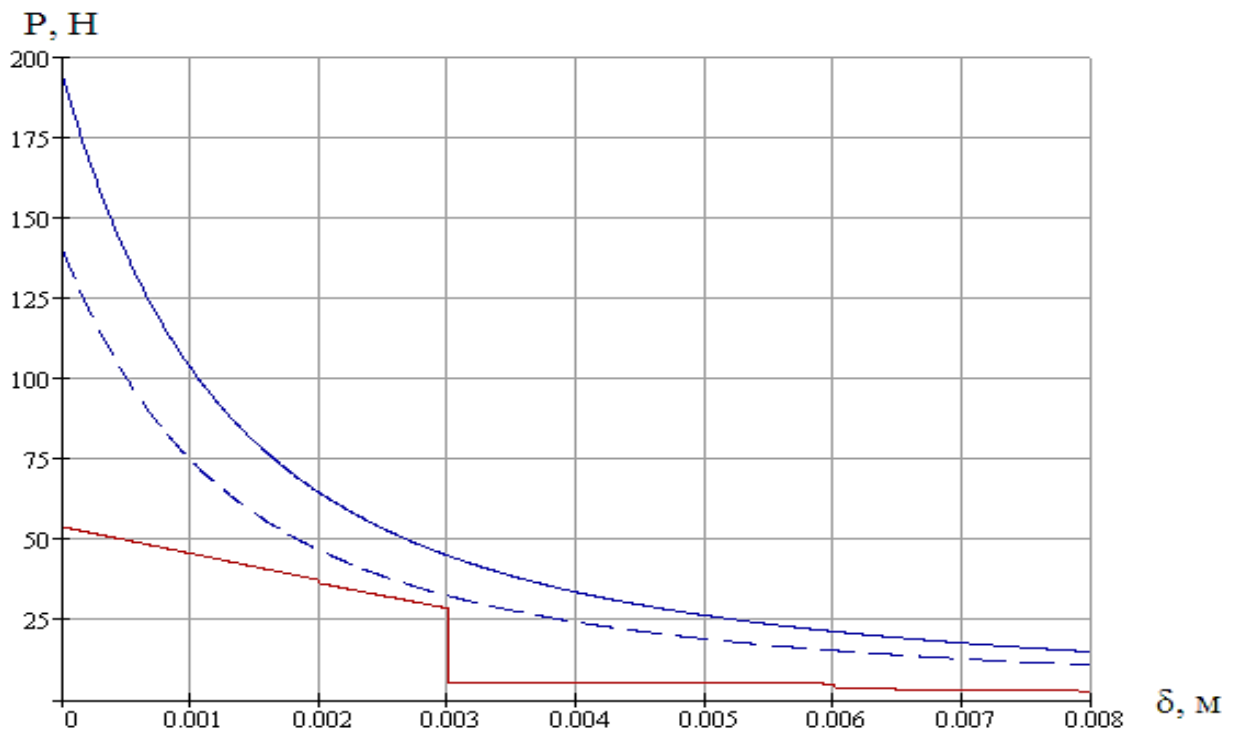
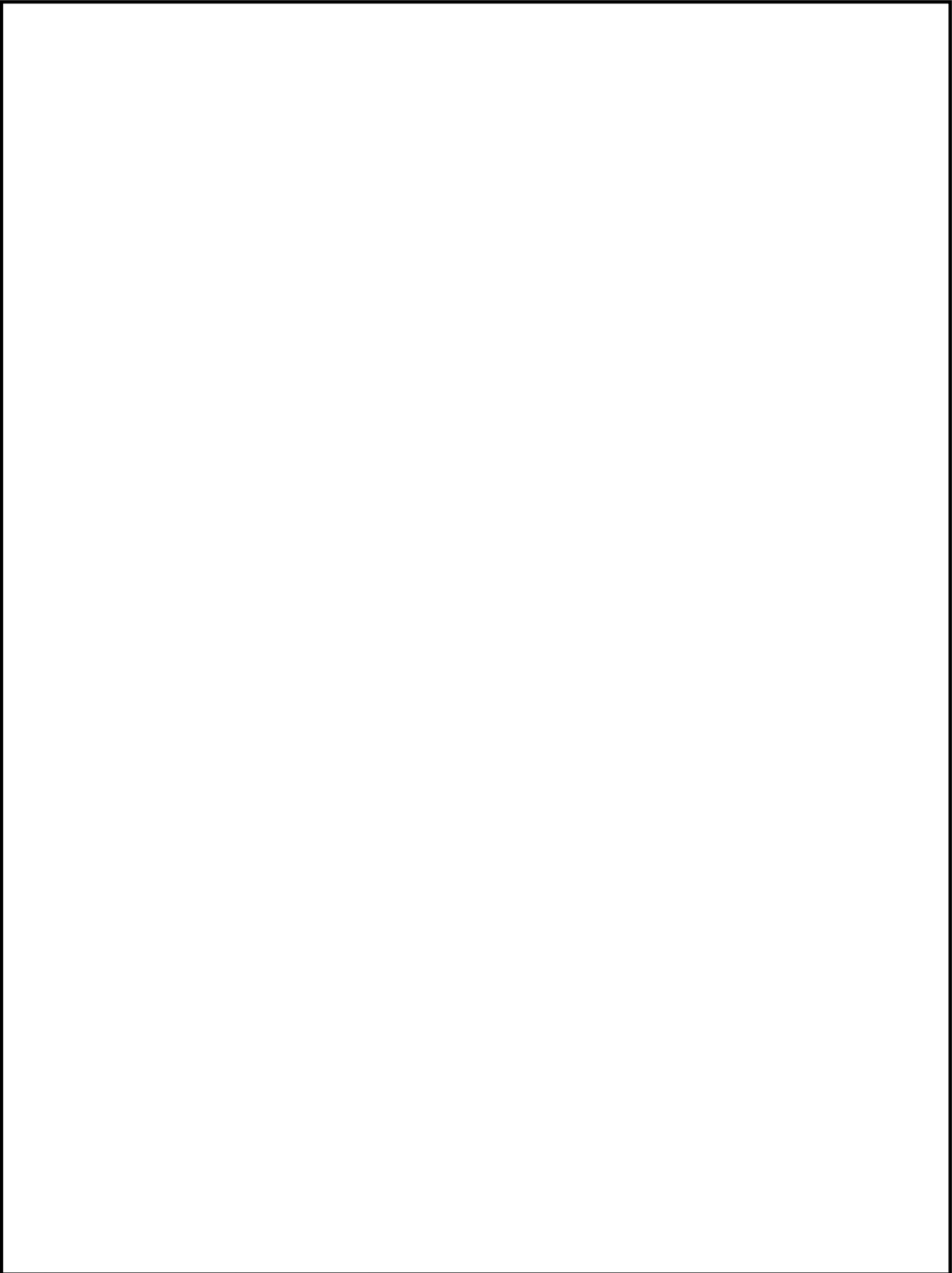


Рис. 3.9. Тягова характеристика електромагніта



					141.4301з.ДР.ПЗ.Р4				
Зм.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата	РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ				
Розробив	Акулов Р.Є.								
Перевірів	Пальчиков О.О.								
Н. Контр.									
Затверд.	Обрубов А.В.								
					Лист.	Арк.	Аркцифр		
							63	7	
					НУК				

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

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

умов праці, що попереджують виробничий травматизм та професійні захворювання; створення сприятливих умов праці і забезпечення її охорони на діючих підприємствах в процесі виконання працівниками своїх трудових обов'язків; систематичне поліпшення і оздоровлення умов праці безпосередньо з участю самих трудових колективів; розробку додаткових заходів щодо охорони праці окремих категорій трудящих – жінок, неповнолітніх, осіб зі зниженою працездатністю.

У Законі «Про охорону праці» вперше в історії України економічні заходи управління охороною праці зведені до рангу державної політики. Цим Законом у суспільстві стверджуються принципово нові взаємовідносини, що базуються на економічному механізмі управління умовами праці – формуванні у власника (роботодавця) економічної зацікавленості у здійсненні заходів щодо поліпшення умов праці [12].

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

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

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

Проходження електричного струму через організм людини надає термічну, електролітичну та біологічну дії [1]. Термічна дія струму

					141.43013.ДР.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		65

проявляється в опіках окремих ділянок тіла, нагріванні крові, кровоносних судин; електролітичне – в розкладанні крові; біологічне – в подразненні живих тканин організму, що може призвести до припинення діяльності органів кровообігу і дихання.

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

4.2. Заходи щодо забезпечення безпеки праці при експлуатації судових систем автоматики, контролю і сигналізації, вимірювання та захисту

Основними умовами забезпечення безпеки праці при експлуатації судового електрообладнання є: справність і надійність роботи засобів автоматики, сигналізації, контролю, вимірювання і захисту; відмінне знання обслуговуючим персоналом пристрою електроустаткування і правил його експлуатації; регулярний інструктаж і перевірка знань з електробезпеки.

Для забезпечення безпомилкового орієнтування, визначення роду струму і фази (полюса) кабелі та проводи електричних трас маркують, а шини забарвлюють в відповідні відмітні кольору.

При виконанні ремонтних і профілактичних операцій з судовим електрообладнанням всі роботи за мірою електробезпеки поділяються на виконувані без зняття напруги, при частковій або повністю знятій напрузі.

Необхідних заходів обережності при проведенні цих видів робіт в залежності від конкретних умов викладені в Правилах техніки безпеки на судах морського флоту. Цими правилами, зокрема, передбачено, що всі

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

роботи з огляду і ремонту суднового електроустаткування повинні проводитися при повністю знятій напрузі. Робота без зняття напруги допускається тільки при аварійних ситуаціях за участю старшого електромеханіка і з точним дотриманням усіх заходів, що забезпечують безпеку їх виконання. Як виняток персоналу дозволяється робити деякі роботи по обслуговуванню електротехнічних пристроїв без зняття напруги. Конкретний перелік таких робіт, які виконуються в період поточної експлуатації, регламентується старшим електромеханіком судна. На електрообладнанні, установленому в сирих, вибухо- і пожежонебезпечних приміщеннях, проводити роботи без повного зняття напруги категорично забороняється.

Обслуговування електричних машин та перетворювачів здійснюють вахтовий механік і, якщо це передбачено штатним розписом, вахтовий електрик. При обслуговуванні електричних машин необхідно дотримуватися запобіжних заходів від ураження електрострумом, рекомендовані інструкцією і правилами

При аварійних відключеннях обладнання необхідно твердо знати, що після зникнення напруги воно може бути подана знову без попередження про це персоналу.

Під час ремонту механізму без його розбирання, що працює від електродвигуна, цей механізм повинен бути зупинений, а на його пусковому пристрої повішений плакат з написом: «Не вмикати! Працюють люди». Всі від'єднані від електричної машини фази кабелю необхідно накоротко замкнути і заземлити.

Стан ізоляції електричних машин, проводів, кабелів і радіотехнічних пристроїв повинно систематично контролюватися. Зазвичай для перевірки рівнів опору ізоляції використовують мегомметри. Перевірка опору ізоляції повинна проводитися особами електротехнічного персоналу тільки при знятій

					141.4301з.ДР.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		67

напрузі не рідше одного разу на місяць. У разі виявлення пробою ізоляції, а також зниження її опору нижче допустимих норм необхідно відключити електротехнічний пристрій і з урахуванням умов плавання провести відновлення ізоляції. Опір ізоляції вимірюється відносно корпусу судна і між струмоведучими частинами установок, які перебувають в експлуатації. Згідно з Правилами Регістру опір ізоляції визначається в залежності від робочої напруги.

Головні розподільні щити, пульти і станції управління повинні бути постійно закриті на замок. Ключі від головного розподільного щита повинні перебувати у електромеханіка та біля посту управління головною машиною або в центральному посту управління. Входити за головні розподільні щити та щити управління особам, які не допущеним до їх обслуговування, забороняється. Перед початком робіт з розподільними пристроями, пультами управління, щитами, а також будь-комутаційної апаратурою необхідно переконатися в тому, що палуба біля них, а також в проходах у щитів по всій їх довжині покрита діелектричними килимками. Перед початком робіт з обслуговування комутаційних пристроїв з автоматичним приводом і дистанційним керуванням з метою попередження помилкового або випадкового їх включення необхідно зняти запобіжники всіх фаз ланцюгів управління і силових ланцюгів і вивісити плакати на ключах і кнопках дистанційного керування з написом: «Не вмикати! Працюють люди» . Робота зі встановлення і зняття запобіжників проводиться при знятій напрузі і відключеному навантаженні в діелектричних рукавичках і захисних окулярах. Роботу з очищення розподільних пристроїв без зняття напруги рекомендується проводити за допомогою спеціальних щіток або пілососів, забезпечених шлангом з ізолюючим наконечником. Робота виконується тільки в діелектричних рукавичках. Очищення ізоляції без зняття напруги проводиться не менш як двома особами електротехнічного персоналу. Включення і відключення на головному розподільному щиту, центральному

					141.4301з.ДР.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		68

посту управління суднової енергетичної установки повинні здійснюватися тільки вахтовим механіком або електромеханіком. У разі виявлення несправностей, які можуть призвести до нещасних випадків з людьми або великої аварії, вахтовий електрик або механік повинен самостійно провести необхідні відключення і включення з наступним повідомленням про це старшого механіка або електромеханіка.

Надаючи допомогу ураженому електрострумом, необхідно негайно зняти напругу з струмоведучих частин (без отримання на це дозволу), а потім доповісти про це старшому механіку і електромеханіку.

На рукоятках автоматів, рубильниках і кнопках управління, за допомогою яких може бути знову подана напруга до місця робіт, особа, яка провадить відключення, обов'язково має вивісити заборонний плакат з написом: «Не вмикати! Працюють люди».

Перевірку наявності в ланцюзі електричного потенціалу до 1000 В допускається виконувати за допомогою покажчика напруги або переносного вольтметра. Контрольні лампи допускається застосовувати при лінійній напрузі до 220 В. Всі роботи, що виконуються персоналом з поточної експлуатації, повинні бути зафіксовані в електротехнічному формулярі, регулярно перевіряється електромеханіком судна.

4.3. Розрахунок вібрації суднового дизель-генератора при його експлуатації

Дизель-генератор масою $m = 4000$ кг встановлений на шести гумово-металічних амортизаторах з сумарною жорсткістю $K_z = 18 \cdot 10^5$ Н·м і частотою обертання вала установки $n = 750$ об/хв. Порівнюється рівень вібрації дизель-генератора з допустимими значеннями.

Визначається кругова частота змусених коливань

$$\omega = 2\pi n / 60 = 2\pi \cdot 750 / 60 = 78,5 \text{ с}^{-1}.$$

Розраховується статична осадка амортизаторів установки

$$X_{\text{ст}} = mg / K_z = 4000 \cdot 9,81 / (18 \cdot 10^5) = 0,022 \text{ м}.$$

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

Кругова частота власних коливань установки на амортизаторах визначається за формулою

$$\omega_0 = 2\pi \frac{0,5}{\sqrt{X_{\text{ст}}}} = 2\pi \frac{0,5}{\sqrt{0,022}} = 21,2 \text{ с}^{-1}.$$

Визначається максимальна амплітуда коливань, якщо $\sin \omega t = 1$

$$a = X_{\text{ст}} \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{\omega^2}{\omega_0^2}}} = 0,022 \frac{0,5}{\sqrt{1 - \frac{78,5^2}{21,2^2}}} = 0,0017 \text{ м}.$$

Визначається частота змущених коливань з умови $\omega = 2\pi f$

$$f = \omega / 2\pi = 78,5 / 2\pi = 12,5 \text{ Гц}.$$

Найближча до частоти 12,5 Гц стандартна середньгеометрична частота $f_{\text{ср}} = 16 \text{ Гц}$.

Нижча гранична частота октави визначається за формулою

$$f_{\text{н}} = f_{\text{ср}} / 1,41 = 16 / 1,41 = 11,35 \text{ Гц}.$$

Верхня гранична частота

$$f_{\text{в}} = 2f_{\text{н}} = 2 \cdot 11,35 = 22,7 \text{ Гц}.$$

Оцінка вібрації, таким чином, буде виконуватися для октавної полоси з $f_{\text{ср}} = 16 \text{ Гц}$. Для цього знаходиться значення віброшвидкості

$$V = 2\pi f_{\text{н}} a = 2\pi \cdot 12,5 \cdot 0,0017 = 0,13 \text{ м/с}.$$

Рівень віброшвидкості визначається за формулою

$$\Delta L = 20 \lg(V/V_0) = 20 \lg(0,13 / 5 \cdot 10^{-8}) = 128 \text{ дБ}.$$

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,

					141.4301з.ДР.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		70

занулення і відключення корпусів електрообладнання, які можуть опинитися під напругою; застосування малої безпечної напруги 12-36 В; попереджувальні плакати, вивішені у небезпечних місцях; автоматичні повітряні вимикачі.

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

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

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

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

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

Захисні заземлення дозволяється суміщати з заземленнями, призначеними для захисту від перешкод радіоприйому і для зняття 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 суднах 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 блискавковідводної мережі, рекомендується всі великі металеві предмети на палубах з'єднувати з корпусом судна (заземлювати).

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

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

					141.4301з.ДР.ПЗ	Арк.
						72
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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 [12].

Одним з ефективних засобів захисту від вібрації робочих місць, устаткування є віброізоляція, що представляє собою пружні елементи, розміщені між віброуючої 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,

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

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 [12].

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

Правильно організоване освітлення позитивно впливає на діяльність центральної нервової системи, знижує енерговитрати організму на виконання певної роботи, що сприяє підвищенню працездатності людини, продуктивності праці і якості продукції, зниженню виробничого травматизму тощо. Так, наприклад, збільшення освітленості від 100 до 1000 люкс при напруженій зоровій роботі приводить до підвищення продуктивності праці на 10-20%, зменшення браку на 20%, зниження кількості нещасних випадків на 30%. Вважають, що 5% травм можуть спричинюватись такою професійною хворобою як робоча міопія (короткозорість).

Слід відмітити особливо важливу роль в життєдіяльності людини природного освітлення, його ультрафіолетової частини спектру. Природне

					141.43013.ДР.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		74

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.

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

					141.43013.ДР.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		75

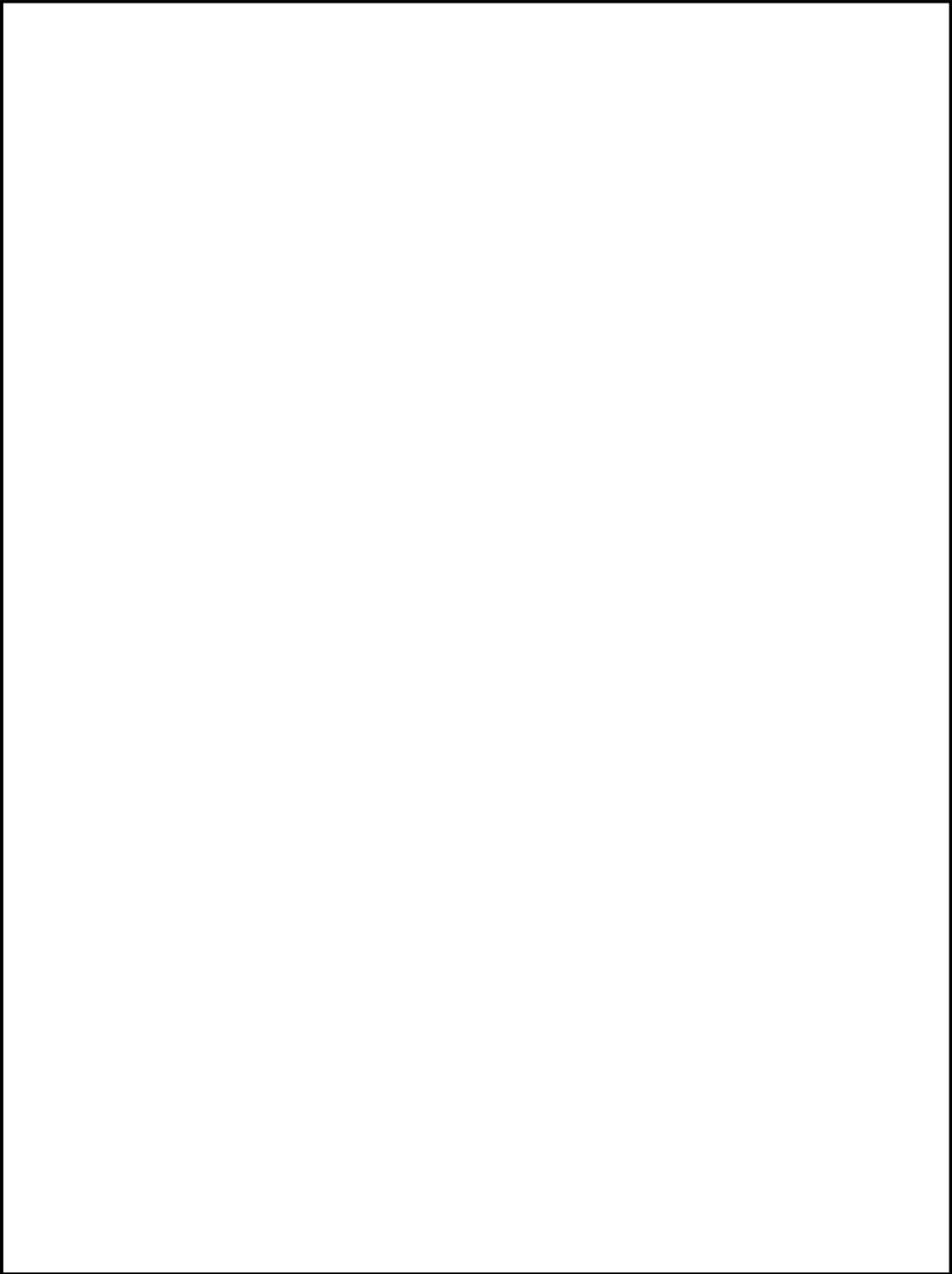
Отже підсумуючи вище зазначене можна сказати що основними причинами пожеж є:

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

У разі виявлення вогнища пожежі необхідно оповістити працюючих про пожежу, повідомити про нього в пожежну частину, зняти напругу з електроустаткування в зоні пожежі, відключити вентиляцію і приступити до ліквідації пожежі. Для цих цілей використовують стаціонарні і переносні вогнегасні засоби, штатні системи водяного, пінного, парового, вуглекислотного гасіння пожежі, ручні вогнегасники, пісок). 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.

					141.4301з.ДР.ПЗ	Арк.
						76
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



					141.4301з.ДР.ПЗ.В						
Зм.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата	ВИСНОВКИ			Лист.	Арк.	Аркцив	
Розробив	Акулов Р.Є.										
Перевірів	Пальчиков О.О.									77	2
								НУК			
Н. Контр.											
Затверд.	Обрубов А.В.										

В дипломній роботі вирішена задача розробки і технічної експлуатації магнітних пускачів змінного струму півзаглибного транспортного судна «Black Marlin». Узагальнюючи усе вищесказане можна висловити наступне:

1. Під час діагностики магнітних пускачів необхідно особливу увагу приділяти контактам, системі дугогасіння, пружинам, обмотці електромагніта. Ремонт полягає в заміні пружин, перемотці обмотки електромагніта, зачищенні контактів, заміні або очистці пристрою дугогасіння.

2. Струмоведучий контур комутаційного електричного апарату включає в себе струмопровідні частини, контактні і гнучкі з'єднання, комутуючі контакти.

3. Падіння напруги в контакті залежить від прижимної сили.

4. В якості пристрою дугогасіння обрано решітку дугогасіння без магнітного дуття.

5. Розрахункове протидіюче зусилля для кінцевого положення якоря – сума трьох робочих контактних натискань головних контактів, двох робочих натискань допоміжних контактів і робочого контактного натискання поворотної пружини.

6. При розрахунку тягової характеристики ми нехтували активним опором сталі і короткозамикаючих витків.

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

ЛІТЕРАТУРА

1. ДСТУ 7237:2011. Система стандартів безпеки праці. Електробезпека. Загальні вимоги та номенклатура видів захисту. – К.: Держстандарт України, 2011. – 10 с.
2. Клименко Б.В. Електричні апарати. Електромеханічна апаратура комутації, керування та захисту. Загальний курс: навчальний посібник. – Харків: Вид-во «Точка», 2012. – 340 с.
3. Бржезицький В.О., Зелінський В.Ц., Лежнюк П.Д., Рубаненко О.Є. Електричні апарати: підручник. – Херсон : ОЛДІ-ПЛЮС, 2017. – 602 с.
4. Електричні апарати : навч. посіб. / В.О. Лесько, В.О. Комар, С.В. Кравчук, О.В. Сікорська. – Вінниця : ВНТУ, 2018. – 102 с.
5. Електричні апарати станцій і підстанцій: підручник / І.В. Нездвезька, А.П. Войцицький, В.В. Мельничук. – Житомир: ЖАТФК, 2023. – 252 с.
6. Суднові автоматизовані електроенергетичні системи. Ч.1. Суднові електричні станції. – Навч.посібник /Чорний С.Г., Голіков С.П. – К.: Кондор, 2016. – 198 с.
7. Жорняк Л.Б. Електричні апарати автоматики та керування. – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2022. – 414 с.
8. Сірий О.М., Шестеренко В.Є. Розрахунки при проектуванні та реконструкції систем електропостачання промислових підприємств. Навчальний посібник. – К., ІСДО, 1993. 592 с.
9. Правила улаштування електроустановок. – К., 2010. – 736 с.
10. Буряк В.М., Дейнеко Н.А. Вибір електричних апаратів захисту в мережах до 1000 В. Навчально-методичний посібник.. – Харків, 2007. – 62 с.
11. Буряк В.М. Дейнеко Н.А. Визначення струмів короткого замикання в електричних мережах. – Харків, 2003 р. – 88 с.
12. Попович, М.Г. Теорія автоматичного керування. Підручник [Текст] / М.Г. Попович, О.В. Ковальчук. – К.: Либідь, 2007. – 656 с.
13. Гандзюк М.П., Желібо Є.П., Халімовський М.О. Основи охорони праці: Підручник. – К.: Каравела, 2011. – 384 с.

					141.4301з.ДР.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		79

14. Тубальцев, А.М. Виробниче освітлення та його розрахунок. Навч. посібник. – Миколаїв: УДМТУ. – 2001. – 84 с.

15. Правила класифікації та побудови морських суден. Частина 1. Класифікація. Том 1. – К.: Регістр судноплавства України, 2020. – 150 с.

16. Правила класифікації та побудови морських суден. Том 4. – К.: Регістр судноплавства України, 2020. – 360 с.

17. Українська електротехнічна продукція. АСКОУКРЕМ. Каталог. https://www.acko.ua/e-store/xml_catalog/

18. Tavrida Electric. Електророзподільна та контрольна апаратура. Каталог. <https://www.tavrida.com/tes/>

19. <https://www.kontakt.com.ua/>

					141.4301з.ДР.ПЗ	Арк.
						80
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		