



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
Навчально-науковий інститут автоматики і електротехніки
Кафедра СЕЕС

«Допущений до захисту»
Завідувач кафедри, д.т.н., доц.
 А.В.Обрубов
«17» 06 2026 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
на здобуття ступеня вищої освіти «бакалавр»
на тему Розробка суднового вантажопідйомного привода

Виконав: студент групи 43013



(підпис)

Лисенко М.С.

Керівник роботи старший викладач



(підпис)

Чекунов В.К.

Миколаїв – 2026 р.



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
Навчально-науковий інститут автоматики і електротехніки

Кафедра СЕЕС
Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка
Освітня програма Електромеханіка та електроенергетика

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Гарант освітньої програми, д.т.н., проф.

 Я.Б.Волянська
«___» _____ 2026 року

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ ВИПУСКНУ РОБОТУ на здобуття ступеня вищої освіти «бакалавр» студенту Лисенко Максим Сергійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розробка суднового вантажопідйомного привода

керівник роботи Чекунов Володимир Костянтинович

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від 22.04.2026 року № 286-уч

2. Термін подання роботи: _____

3. Вихідні дані до роботи: основні параметри привода: вантажопідйомність, висота підйому; швидкість пересування вантажу.

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

вибір приводного двигуна та розрахунок характеристик; вибір і розрахунок статичного перетворювача частоти; аналіз роботи автономного інвертора напруги; охорона праці.

5. Перелік презентаційних матеріалів

судновий козловий кран з висувною рамою; креслення електродвигуна серії А; механічні характеристики природні та штучні; схема перетворювача; схема автономного інвертора струму.



Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Вибір приводного двигуна	15.03.26	
2	Розрахунок параметрів і характеристик двигуна	15.04.26	
3	Розрахунок характеристик при частотному керуванні	30.04.26	
4	Розрахунок статичного перетворювача частоти	15.05.26	
5	Охорона праці	01.06.26	
6	Оформлення роботи	10.06.26	

Студент

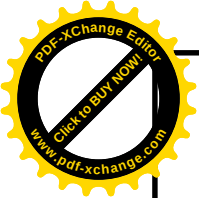
Керівник роботи


(підпис)


(підпис)

Лисенко М.С.
(прізвище та ініціали)

Чекунов В.К.
(прізвище та ініціали)



АНОТАЦІЯ

У роботі розглядаються питання розрахунку суднового привода підйому стандартних контейнерів, максимальна вага яких становить 34 тонни. По режиму роботи привода обраний виконавчий двигун – асинхронний короткозамкнений. Розраховані й побудовані статичні характеристики двигуна, перевірена можливість експлуатації двигуна по нагріванню.

Для пуску двигуна й зміни швидкості підйому й опускання запропонована система частотного керування асинхронним двигуном. Розраховані й побудовані механічні характеристики двигуна в режимі частотного керування.

Для регулювання частоти живлячої напруги розглядається інвертор з ланкою постійного струму. Розраховані елементи інвертора.

Також у роботі розглянуті питання охорони праці.

Ключові слова: розрахун суднового привода підйому, інвертор з ланкою постійного струму.

ANNOTATION

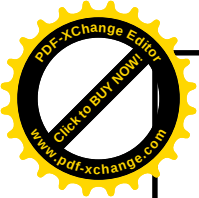
The paper deals with the design of a ship drive for lifting standard containers, the maximum weight of which is 34 tons. According to the operating mode of the drive, the executive motor is selected - asynchronous short-circuited. The static characteristics of the engine were calculated and built, the possibility of operating the engine by heating was checked.

A frequency control system for an asynchronous motor is proposed to start the engine and change the speed of lifting and lowering. The mechanical characteristics of the motor in the frequency control mode are calculated and built.

To adjust the frequency of the supply voltage, an inverter with a DC link is considered. The elements of the inverter are calculated.

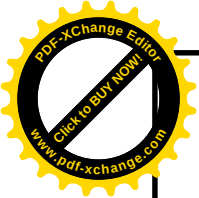
Also, the work deals with the issues of labor protection.

						Лист
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	141.43013.КРБ.ПЗ	



ЗМІСТ

ВСТУП	6
1. СУДНОВІ ВАНТАЖОПІДЙОМНІ МЕХАНІЗМИ	9
1.1. Класифікація режимів роботи кранів й їх механізмів.....	10
1.2. Класифікація вантажопідйомних механізмів.....	13
1.3. Загальна характеристика суднових козлових кранів	15
1.4. Кранові асинхронні електродвигуни	20
2. РОЗРАХУНОК ПОТУЖНОСТІ І ВИБІР ДВИГУНА МЕХАНІЗМУ ПІДЙОМУ	25
2.1. Завдання для проектування	26
2.2. Розрахунок потужності механізму підйому.....	27
2.3. Перевірка вибраного двигуна на відповідність заданого режиму роботи	36
2.4. Побудова характеристик двигуна	37
3. РЕГУЛЮВАННЯ ШВИДКОСТІ АД З КОРОТКОЗАМКНУТИМ РОТОРОМ ЗМІНОЮ ЧАСТОТИ НАПРУГИ.....	41
4. РОЗРАХУНОК ІНВЕРТОРА	46
4.1. Вибір схеми	47
4.2. Розрахунок і вибір кутів випередження і комутуючих конденсаторів	48
4.3. Визначення вихідних даних для проектування згладжувачого реактора.....	50
4.4. Вибір вентилів.....	51
4.5. Розрахунок і проектування пристрою, що компенсує	54
5. ОХОРОНА ПРАЦІ.....	57
ВИСНОВОК.....	72
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	73
ДОДАТКИ.....	75



ВСТУП

До великої групи вантажопідйомних пристроїв відносяться електроприводи суднових вантажопідйомних механізмів загального призначення (лебідки, крани), електроприводи ліфтів, шлюпкових і буксирних лебідок , електроприводи плавучих кранів, тралових лебідок і рибпромислових механізмів.

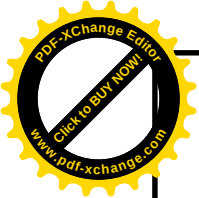
Електроприводи лебідок і кранів працюють у напруженому повторно-короткочасному режимі. Навантаження електропривода змінюється в широких межах (від холостого ходу до номінальної величини), причому можливі також перевантаження.

Основна вимога, запропонована до електроприводів вантажних лебідок і кранів, забезпечити високу продуктивність. Чим вище продуктивність суднових вантажопідйомних механізмів, тим менше тривалість вантажних операцій, коротше стоянки суден у портах й економічна їх експлуатація.

У цей час застосовують швидкохідні лебідки з порівняно високими швидкостями підйому повного вантажу (40...50 м/хв). Подальше збільшення швидкості підйому повного вантажу через невелику висоту підйому скорочення часу циклу майже не дає. У той же час потрібно мати більше високі швидкості для роботи з порожнім гаком і вантажами масою, меншої номінальної. Крім того, для плавного рушання, опускання й переміщення вантажу потрібні низькі швидкості.

Таким чином, для безпечної й високопродуктивної роботи електропривод вантажної лебідки або крана повинен допускати регулювання частоти обертання в 3...3,5 рази більше й в 5...6 разів менше номінальної.

Великий вплив на продуктивність вантажопідйомного механізму робить час розгону й гальмування. Потрібний великий пусковий момент, але в той же час він не повинен бути занадто більшим, тому що при великому прискоренні



можна розірвати такелаж. Система гальмування повинна бути ефективною й надійною.

Електроприводи лебідок і кранів повинні забезпечувати надійну роботу при кренах судна й диферентах, бути надійними і безпечними, мати просту й зручну систему керування, бути компактними, недорогими й економічними.

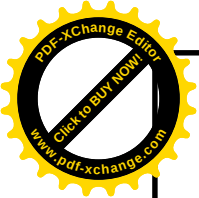
Найбільш пристосованим для роботи як електропривод вантажопідйомного пристрою є компаундний електродвигун постійного струму. Він забезпечує плавний пуск із достатнім пусковим моментом, добре пристосований для роботи в повторно-короткочасному режимі із частими пусками й гальмуваннями, має необхідне число швидкостей і гарні гальмові характеристики.

Однак загальновідомі переваги змінного струму незаперечні. На морському флоті 86% електроприводів вантажопідйомних пристроїв працюють на змінному струмі. Особливо надійний асинхронний короткозамкнений електродвигун змінного струму. Для електроприводів вантажних лебідок і піднімальних механізмів вантажних кранів раціональний привод із трьохшвидкісним асинхронним електродвигуном, а для механізмів повороту крана й зміни вильоту стріли із двохшвидкісним. Перехід з однієї швидкості на іншу здійснюється перемиканням обмотки статора (змінюю числа пар полюсів).

Значно рідше застосовують асинхронні електродвигуни спеціальних конструкцій (з фазним ротором), які дають трохи поліпшені робочі характеристики, але вимагають в експлуатації ретельного підходу.

Схему електропривода вантажопідйомного пристрою звичайно виконують контакторной; вона має гарну автоматизацію, щоб виключати небезпечні режими роботи. Наприклад, при перекладі рукоятки керування з нульового положення в третє електродвигун однаково працює спочатку на першій швидкості, потім автоматично переходить на другу й третю.

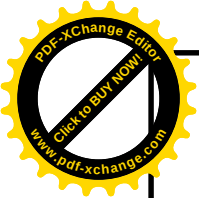
					141.4301з.КРБ.ПЗ.В	Лист 7
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		



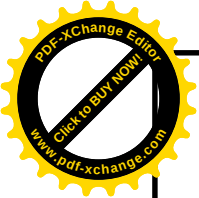
Тривала робота контакторів схеми в режимах частих включень і вимикань приводить до їхніх неполадок, через що застосовують безконтактний електропривод на базі тиристорів.

Подальший розвиток електропривода вантажопідйомних пристроїв іде по шляху вдосконалювання електроустаткування із багатошвидкісними асинхронними двигунами, а також впровадження тиристорних електроприводів постійного і змінного струму.

					141.4301з.КРБ.ПЗ.В	Лист
						8
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		



					14.1.4301з.КРБ.ПЗ.Р1			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Студент		Лисенко М.С.			1. Суднові вантажопідйомні механізми	Літ.	Арк.	Аркушів
Консультант							9	
Керівник		Чекунов В.К.				НН ІАЕ НУК		
Зав. каф.		Обрубов А.В.						



1. СУДНОВІ ВАНТАЖОПІДЙОМНІ МЕХАНІЗМИ

1.1. Класифікація режимів роботи кранів й їх механізмів

Вантажопідйомні крани є масовими загальпромисловими механізмами, вони застосовуються практично у всіх галузях промисловості, транспорту, будівництва й на судах.

Оскільки, залежно від області застосування інтенсивність роботи кранів може бути різної, режими роботи кранів і кранових механізмів регламентуються.

Для визначення режиму роботи кранових механізмів діє ДСТУ 25835-83, для визначення групи режиму роботи крана – ДСТУ 25546-82. У значній мірі ці стандарти ув'язані з міжнародним стандартом ISO 4301/1-86.

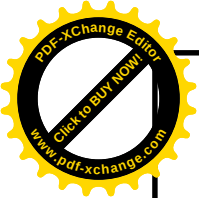
Режим роботи крана враховується при розрахунку потужності й виборі типу двигуна й апаратури керування.

ДСТУ 25835-83 передбачає шість груп режиму роботи, кожна з яких характеризується певним сполученням класів використання й навантаження. Класи використання встановлюють залежно від норми часу роботи механізму.

Орієнтовна характеристика класу використання механізму представлена в таблиці 1.1, орієнтовна характеристика класів навантаження в таблиці 1.2.

Таблиця 1.1. Орієнтовні класи використання кранових механізмів

Клас використання	Використання в часі
A0	Рідке
A1	Нерегулярне
A2	Регулярне малої інтенсивності
A3	Регулярне середньої інтенсивності
A4	Нерегулярне інтенсивне (двозмінна робота)
A5	Інтенсивне при трьохзмінній роботі
A6	Досить інтенсивне при трьохзмінній роботі



Таблиця 1.2. Орієнтовні класи навантаження кранових механізмів

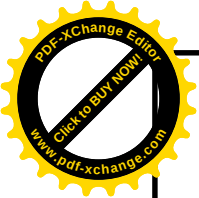
Клас навантаження	Характеристика діючих навантажень	
	Механізм підйому крана	Механізм горизонтального переміщення
B1	Переважають мінімальні навантаження; максимальні навантаження рідкі, наприклад, при монтажних і ремонтних роботах	Рідкі пуски й гальмування, значні робочі й холості пробіги; малі маси вантажів; виробництва з малою інтенсивністю роботи й більших площ обслуговування
B2	Переважають середні й мінімальні навантаження; максимальні навантаження відносно рідкі	Рідкі, але регулярні пуски й гальмування; невеликі робочі й холості пробіги; незначні маси вантажів; виробництва з постійною, але обмеженою інтенсивністю роботи й площами обслуговування
B3	Переважають середні й мінімальні навантаження; мінімальні навантаження носять епізодичний характер; характерно для виробництв із різноманітними масами вантажів	Регулярні пуски й гальмування; малі робочі й холості пробіги; порівняно більші маси вантажів; виробництва з високою інтенсивністю роботи й малих площ обслуговування
B4	Переважають максимальні навантаження й близькі до максимального; середні навантаження носять епізодичний характер; характерно для виробництв із відносно постійною масою вантажу	Часті пуски й гальмування з дуже рідким виходом на сталий режим; більші маси вантажів; виробництва з високою інтенсивністю роботи й обмежених площ обслуговування

Групи режимів роботи механізмів представлені в таблиці 1.3.

Таблиця 1.3. Групи режимів роботи кранових механізмів

Клас використання	Норма часу роботи механізму, г.	Клас навантаження			
		B1	B2	B3	B4
A0	До 800	1М	1М	1М	1М
A1	Від 800 до 1600	1М	1М	2М	3М
A4	Від 6300 до 12500	3М	4М	5М	6М

					141.4301з.КРБ.ПЗ.Р1	Лист
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		11

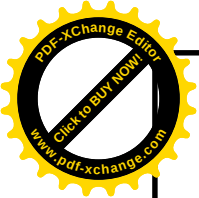


A5	Від 12500 до 25000	4М	5М	6М	—
A6	Від 25000 до 50000	5М	6М	—	—

На практиці групу режиму роботи механізмів часто встановлюють по групі режиму роботи крана. Орієнтовна відповідність груп режиму роботи крана й механізмів представлено в таблиці 1.4.

Таблиця 1.4. Орієнтовна відповідність груп режимів роботи кранів і механізмів

Група режиму крана	Група режиму механізму	
	Механізми, що діють при кожному циклі роботи крана	Механізми для настановних операцій або використовувані не при кожному циклі роботи крана
1К	1М	1М
2К	1М	1М
3К	1М – 2М	1М
4К	2М – 3М	1М – 2М
5К	3М – 4М	1М – 2М
6К	4М – 5М	2М – 3М
7К	5М – 6М	3М – 4М
8К	6М	5М – 6М



1.2. Класифікація вантажопідйомних механізмів

Вантажні пристрої призначені для виконання вантажно - розвантажувальних робіт судновими засобами.

К складу вантажних пристроїв на суховантажних судах входять вантажністріли або крани, закриття вантажних люків та засоби всередині трюмні механізації. На судах типу «ро-ро» К вантажних пристроїв відносять вантажні ліфти, апарелі (внутрішні та забортні рампи); наліхтеровозу типу «Леш» (козлові крани). На наливних судах роль вантажних пристроїв виконують насоси та трубопроводи, за допомогою яких занурюють і вивантажують рідкий вантаж. На суднах, що перевозять сипучі вантажі, деревну тріску і т. п., до складу вантажних пристроїв входять стрічкові транспортери, пневмопогрузчики та інші спеціальні пристрої.

На пасажирських суднах до числа вантажних пристроїв можуть бути віднесені всілякі ліфти (для пасажирів, команди і багажу), а також пристрої для навантаження на судно автомашин, багажу та провізії.

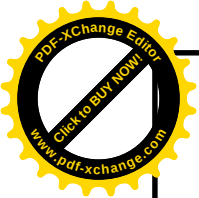
Вантажні стріли бувають легкі, вантажопідйомністю 1, 3, 5, рідше 8...10 т, і важкі, вантажопідйомністю більше 10 т. Вантажопідйомність великовагових стріл може досягати 200...300 т, однак найбільш поширеними є важкі стріли на 40...60 т. Вантажні стріли встановлюють на щоглах або вантажних колонах.

Головною класифікаційною ознакою машин є спільність конструкцій і методів їх розрахунку. Основні типи вантажопідйомних машин залежно від призначення, області застосування й виконуваної функції: підйомні механізми; крани; підйомники; промислові роботи.

К підйомних механізмів відносяться механізми, що виконують один рух – підйом: домкрати, талі і лебідки.

Домкрати призначені для підйому вантажу на велику висоту в основному при монтажі і ремонтних роботах. По конструкції їх розділяють на рейкові, гвинтові, гідравлічні і пневматичні.

					141.4301з.КРБ.ПЗ.Р1	Лист 13
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		



Талі бувають з ручним і машинним приводом.

Лебідки (з ручним і електроприводом) служать для підйому вантажу або переміщення його в горизонтальному напрямі.

Крани переміщують вантаж в різних напрямках в просторі. Їх можна розділити на два основні класи: з вільним підвісом вантажу і з жорстким підвісом і керованим захопленням вантажу. Залежно від області обслуговування і конструкції крани ділять на дві групи: пролітні і стріловидні.

Крани першої групи перекривають проліт і обслуговують зону уздовж цього прольоту. Пролітні крани встановлюють на підкранових балках в будівлях або на відкритих майданчиках. Вони обслуговують прямокутну територію по ширині і довжині прольоту.

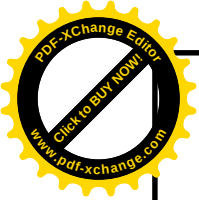
Крани другої групи забезпечені стрілою і виконуються в основному пересувними на великі і обмежені відстані і стаціонарними (значно рідше).

Для виконання різних технологічних операцій, механізації складських робіт застосовують спеціальні мостові крани. Мостовий кран з візком, що обертається, і керованими кліщами вантажопідйомністю 50 т призначений для транспортування і складування довгомірних вантажів – прокату, у тому числі і при високій температурі (до 900°C). Сталеплавильні цехи для розливання стали з ковшів обладнані ливарними кранами великої вантажопідйомності (450 і 630 т) з двома візками.

Подальший розвиток і широке застосування одержать крани з жорстким підвісом керованим захопленням – крани-маніпулятори. Вони мають ту особливість, що наведення, захоплення і зняття вантажу здійснюються автоматично без участі робітників.

Стріловидні крани є найпоширенішим типом кранів. Їх можна розділити на дві основні групи: пересувні (основний тип кранів) і стаціонарні. По конструктивних особливостях ходової частини і зоні обслуговування стріловидні крани діляться на крани, що пересуваються на великі відстані – мобільні крани (залізничні, пневмоколісні, автомобільні, гусеничні), і крани ,

					141.4301з.КРБ.ПЗ.Р1	Лист
						14
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		



що пересуваються на порівняно невеликі відстані відповідно до фронту робіт на обслуговуваному майданчику (баштові, порталні, пересувні, настінні і ін.).

Для обслуговування робіт в цехових прольотах і на інших порівняно вузьких і довгих майданчиках застосовують пересувні консольні крани, що рухаються по рейках, укладених уздовж прольоту.

Широке застосування у всіх галузях господарства знайшли автомобільні крани різної вантажопідйомності. У житловому і промисловому будівництві основним типом кранів є баштовий кран.

Стаціонарні поворотні крани можна розділити на крани із зовнішніми опорами й крани, встановлені на фундаменті. Вони застосовуються для обслуговування порівняно невеликих площ секторної й кільцевої форм.

Для навантажувально-розвантажувальних робіт в морських і річкових портах, на гідротехнічних спорудах установлюють порталні крани, змонтовані на потужних самохідних порталах.

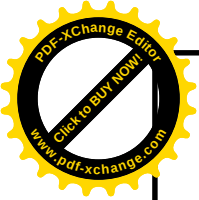
При ремонті і будівництві кораблів, для монтажу бурових установок в морі, для усунення наслідків аварій, підйому затонулих кораблів і інших робіт застосовують плавучі крани.

Окремим класом спеціальних кранів є крани-вертольоти, широко вживані для доставки вантажів, монтажних і будівельних робіт (бурові установки, лінії електропередач, магістральні трубопроводи, залізничні магістралі й інші об'єкти), у гірських районах і інших труднодоступних місцях. Для монтажних робіт знаходять застосування також вертостати й дирижаблі.

Підйомники на відміну від кранів мають направляючі для руху підйомної судини. Вони діляться на клітьові, скіпові і спеціальні. Застосовуються в гірничій і металургійній промисловості (шахтні підйомники, доменні підйомники) у будівництві (ліфти, струнні, щоглові підйомники) і інших галузях.

У зв'язку з комплексною механізацією і автоматизацією майже всіх видів праці в народному господарстві і, зокрема, для обслуговування технологічних

					141.4301з.КРБ.ПЗ.Р1	Лист 15
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		



ліній, навантажувально-розвантажувальних операції без конвеєрної збирання машин вельми перспективним є застосування спеціальних роботів, які можна виділити в окремий клас підйомних машин.

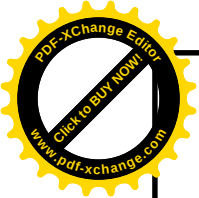
1.3. Загальна характеристика суднових козлових кранів

Незалежно від наявності в морських і річкових портах досить потужного підйомно-транспортного устаткування судна повинні бути забезпечені вантажопідйомними пристроями, кранами або вантажними стрілами. При цьому забезпечується незалежність суден від наявності в порту вільних вантажопідйомних машин, скорочуються терміни навантаження та розвантаження судна, а відповідно, і час їх оборотності. Крім того, в морських портах нерідко проводиться перевалка вантажів з морських суден на річкові, і навпаки. Але портові крани не завжди мають достатній виліт для забезпечення таких операцій. У цих умовах використовуються суднові крани. Суднові крани встановлюють в більшості випадків стаціонарно на палубі транспортних суден і суден технічного флоту (наприклад, на палубі важких плавучих кранів) для роботи зі штучними (рідше - сипучими) вантажами, які перевозяться на судах, і для допоміжних операцій.

В даний час на судах застосовують вантажні стріли, стріли поворотні, козлові, підпалубні крани, підйомники і вантажозахоплювальні пристрої.

Підйомник – вантажопідйомний пристрій спрощеної конструкції типу кран-балок, тельферів, талей (гіней) і горденів з машинним або ручним приводом, стаціонарно встановлене на судні. Вантажозахоплювальні пристрої – все пристосування, за допомогою яких вантаж можна надійно закріпити до складського пристрою, але які не є складовою частиною вантажопідйомного пристрою або вантажу, наприклад, спредери для контейнерів, підйомні траверси, рами та інші пристосування, що є приналежністю судна. За відсутності іншої домовленості, вантажозахоплювальні пристрої слід розглядати як знімні деталі.

					141.4301з.КРБ.ПЗ.Р1	Лист
						16
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		



Маса крана повинна бути по можливості мінімальною. Замість важких суднових кранів можна використовувати суднові вантажні стріли – вантажопідйомні пристрої, які здійснюють утримання та переміщення вантажу системою тросів і блоків, що закріплюються на власних конструкціях стріл і поза ними (на щоглах, колонах, палубах і лебідках). Розрізняють легкі і важкі стріли – суднові вантажні стріли вантажопідйомністю одиночної стріли менше 10 т і більше, а також механізовані стріли, у яких передбачається можливість зміни їх положення під вантажем за допомогою поворотних відтяжок і лебідок, є невід'ємною частиною стріли.

Управління судновими кранами повинно бути досить простим, так як його часто виконують портові робітники, які не мають спеціальної підготовки. Електродвигуни, механізми і електропроводка суднових кранів повинні бути виконані у вологозахищеному виконанні.

Вантажопідйомність (найбільша маса допустимого до підйому вантажу, включаючи масу допоміжних пристроїв, що застосовуються для кріплення вантажу: стропів, траверс, платформ, сіток і т.п., а також грейферів, вантажопідйомних електромагнітів, кюбеля і цебер) суднових кранів, згідно ДСТУ 25002, становить 1...320 тонн, максимальний виліт 8...15 м, мінімальний виліт 3...6 м, швидкість підйому вантажу 4,4...40 м/хв, швидкість зміни вильоту 25...30 м/хв, частота обертання 1...1,15 об/хв. Виліт стріли – відстань між центром ваги піднятого вантажу і вертикальною віссю обертання. Корисний виліт стріли – відстань від центра ваги піднятого вантажу до площини борту або транця понтона при горизонтальній посадці останнього.

Козлові суднові крани. Ці крани пересуваються по рейкових шляхах, прокладених по палубі над кришками трюмних люків. Головні балки моста жорстко прикріплені до опор. Стійки кожної з опор з'єднані між собою стяжкою. Таким чином, кран являє собою жорстку просторову конструкцію. При відсутності консолей кран неможливо використовувати для вантажно-розвантажувальних робіт. Однак в похідному положенні консолі необхідно

					141.4301з.КРБ.ПЗ.Р1	Лист
						17
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

прибирати, так як вони створюють аеродинамічний опір і заважають маневруванню судна (особливо в порту). Тому їх роблять висувними або складними. У похідному положенні кран зрушують до кормової надбудови судна, консолі прибирають і кран міцно кріплять до палубі. На деяких судах застосовують також однобалочні козлові крани.

Цікавим є судновий кран вантажопідйомністю 30 тонн, що випускається японською фірмою «Міцубісі» (рис. 1.1). Кран має проліт 15,2 м, консолі довжиною по 6,7 м кожна, повну висоту підйому 18,3 м, швидкості: підйому 60...30 м/хв., пересування візка 50 м/хв., пересування крана 10 м/хв. Між двома головними балками крана в напрямних роликах може переміщатися рама, довжина якої дорівнює довжині головних балок. Ця рама, будучи висунутої на правий або лівий борт судна, утворює консоль. Вантажний візок рухається всередині рами, до якої прикріплено кабіна кранівника.

Рис. 1.1. Судновий козловий кран з висувною рамою:
1 – корпус судна; 2 – опора крана; 3 – міст крана; 4 – ролики; 5 – рама;
6 – візок

На рис. 1.2. представлений козловий кран фірми «КОНЕ» для обробки барж на судах-баржевозах (типу LASH або ліхтеровозах).

					141.4301з.КРБ.ПЗ.Р1	Лист 18
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

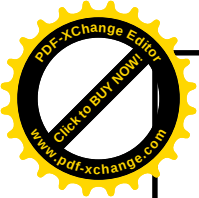


Рис. 1.2. Козловий кран фірми «КОНЕ» для суден-баржевозів

На рис. 1.3 представлена схема технологічного процесу. Кран виїжджає на консолі, яка виконана в кормовій частині судна, захоплює баржу, яку буксир доставив в місце завантаження (I), піднімає (II) її і транспортує на місце уздовж судна (III). Кран сконструйований таким чином, що є можливість встановлювати баржі по висоті в чотири або більше ярусів (IV).

Рис. 1.3. Схема технологічного процесу обробки барж на судах-баржевозах: 1 – судно; 2 – козловий кран; 3 – баржі

					141.4301з.КРБ.ПЗ.Р1	Лист
						19
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Крани, призначені для перевантаження контейнерів (рис. 1.4), також мають деякі відмінності від козлових кранів загального призначення, зв'язані, насамперед з наявністю спеціального вантажозахватного органа – спредера.

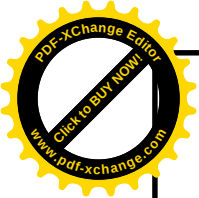


Рис. 1.4. Козловий контейнерний кран зі спредером

1.4. Кранові асинхронні електродвигуни

Традиційно для кранового електропривода застосовуються спеціально розроблені серії електродвигунів змінного і постійного струму. По геометрії магнітопровода, ступеня використання електротехнічних матеріалів, електромеханічним характеристикам і конструктивному виконанню такі електродвигуни істотно відрізняються від двигунів загальпромислового виконання.

					141.4301з.КРБ.ПЗ.Р1	Лист 20
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		



Режим роботи електродвигунів у крановому електроприводі характеризується широкою зміною навантажень, частими пусками й гальмуваннями, широким діапазоном зміни швидкості нижче й вище номінальної.

Кранові двигуни розраховані для роботи в повторно-короткочасному режимі, що характеризується тривалістю включення (ПВ) 15, 25, 40 й 60% при тривалості циклу не більше 10 хв. Основним номінальним режимом кранових двигунів змінного струму є $PВ=40\%$.

Через високі вимоги до динаміки двигунів у перехідних процесах пуску й гальмування й для зниження витрати енергії при цьому двигуни конструюються таким чином, щоб момент інерції ротора був, по можливості, мінімальним. Зниження моменту інерції досягається шляхом зменшення висоти осі обертання при заданій потужності двигуна.

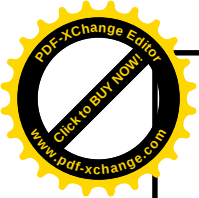
Електродвигуни мають підвищений (у порівнянні з електродвигунами загальпромислового виконання) запас міцності механічних вузлів і деталей. Кріплення пакета ротора на валу завжди виконується за допомогою шпонки.

Традиційно, основне застосування в кранових електроприводах знаходять асинхронні двигуни з фазним ротором. Регулювання швидкості й моменту в електроприводах з такими двигунами виконується включенням у ланцюг ротора пускорегулюючих резисторів. Для одержання знижених (посадкових) швидкостей опускання вантажу застосовується режим противключення або різні спеціальні схеми включення (наприклад – динамічного гальмування).

Існують також модифікації кранових асинхронних двигунів з короткозамкненим ротором (при потужності до 30 кВт) для застосування в електроприводах, що мають, як правило, низькі номінальні швидкості й не потребуючі регулювання. Крім того, існують модифікації кранових електродвигунів у двох- і трьохшвидкісному виконанні.

Всі ці двигуни розраховані на живлення від промислової мережі стандартної напруги 220/ 380 В при частоті 50 Гц. Хоча це не означає, що вони

					141.4301з.КРБ.ПЗ.Р1	Лист 21
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		



не можуть працювати в складі частотнорегульованих електроприводів, проте, останнім часом розробляються спеціальні серії асинхронних двигунів, у тому числі й кранових, для роботи в системах частотного регулювання.

Таким чином, кранові асинхронні двигуни в цей час умовно можна розділити на електродвигуни з фазним і короткозамкненим ротором, призначені для живлення від промислової мережі, і короткозамкнені електродвигуни для частотно-регульованих електроприводів.

Частотно-регульовані кранові електродвигуни

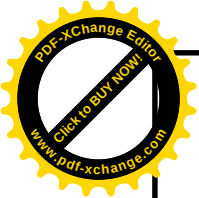
Робота асинхронних двигунів у системах частотного регулювання має свої особливості. Насамперед, при частотному керуванні значно знижуються втрати енергії у двигунах у пускових і гальмових режимах. Це дозволяє переходити на більше високооборотні електроприводи, і при проектуванні двигунів основна увага приділяти зниженню втрат в обмотках двигуна в номінальному режимі. При проектуванні двигунів для системи частотного регулювання враховується наступне:

1. Основні співвідношення між геометричними розмірами, прийняті для кранових асинхронних двигунів, зберігаються, оскільки визначальної тут є режим роботи, а не система регулювання.

2. У сучасні частотно-регульованих електроприводах з векторним керуванням механічні характеристики формується системою керування перетворювача. Тому при проектуванні електродвигунів, призначених для роботи тільки з перетворювачами частоти, можна не вживати спеціальних заходів для підвищення перевантажувальної здатності й пускового моменту.

3. Оптимальні частоти обертання двигунів у системах регулювання, як уже було сказано, вище, ніж у звичайних системах, і становлять 1900...1800 об/хв для легкого й середнього режимів роботи й до 1000...800 об/хв - для важкого режиму. Однак при проектуванні варто погоджувати максимальну частоту обертання розроблювального електропривода й максимальну припустиму частоту обертання редуктора.

					141.4301з.КРБ.ПЗ.Р1	Лист 22
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		



4. Двигуни повинні бути працездатні при підвищенні частоти вихідної напруги перетворювача в 1,5...2 рази стосовно номінальної частоти.

5. З метою зниження втрат обмотка ротора двигуна заливається чистим алюмінієм або виконується мідною, ковзання при цьому – мінімальне. Регулювання вихідної напруги й частоти двигуна дозволяє оптимізувати використання його активних частин і забезпечити роботу двигуна в режимі мінімальних втрат.

6. Можливе виконання двигунів на нестандартну напругу, що відповідає вихідній напрузі перетворювача частоти.

Всі ці заходи, а також оптимальне розмежування зон регулювання, дозволяють при однаковому навантаженні знизити в 1,5...1,8 рази потужність двигуна в частотно-частотно-регульованому приводі.

Спеціальна серія кранових двигунів для частотно-регульованих електроприводів випускається вітчизняною промисловістю. Ця серія містить у собі двигуни типу АД2КД потужністю від 4 до 11 кВт із прибудованими дисковими гальмами й двигуни 4МТКД потужністю від 22 до 110 кВт з вентиляцією, не залежної від зовнішнього вентилятора з електроприводом.

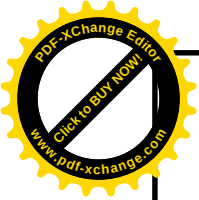
Для цих двигунів розроблені автономні гальмові пристрої з гідроштовхачами.

Застосування асинхронних двигунів загального призначення в крановому електроприводі

Асинхронні короткозамкнені двигуни загального призначення відрізняються від кранових двигунів, як електричними параметрами, так і конструктивним виконанням.

Двигуни загального призначення в порівнянні із крановими двигунами мають менший пусковий і максимальний моменти, більше значення пускового струму, менше номінальне ковзання. Вал, підшипникові щити, станина мають менший запас міцності. Пакет ротора на валу часто кріпиться посадкою з натягом без шпонкового з'єднання, що зовсім неприпустимо для кранових

					141.4301з.КРБ.ПЗ.Р1	Лист
						23
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		



електродвигунів. Тому область застосування таких двигунів у крановому електроприводі обмежувалася механізмами пересування кранів з низькими номінальними швидкостями. Для цього, як правило, використалася модифікація двигунів загального призначення з підвищеним ковзанням.

У цей час поширилося думку, що з появою перетворювачів частоти з векторним керуванням, необхідність у кранових двигунах відпала.

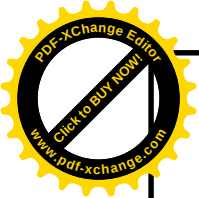
Дійсно, високий пусковий момент таких двигунів у системах частотного регулювання виявляється незатребуваним, тому що перетворювач із векторним керуванням формує механічні характеристики з незмінною перевантажувальною здатністю, що не залежить від напруги мережі у всьому діапазоні регулювання швидкості. Двигуни загального призначення мають при однаковій із крановими двигунами потужності менший номінальний струм статора, менше номінальне ковзання, більше високий ККД, коефіцієнт потужності.

Таким чином, по електричних параметрах двигуни загального призначення більше придатні для роботи в складі частотно-регульованого електропривода, чим традиційні кранові двигуни. Крім того, вони мають меншу масу й, як наслідок, більше низьку вартість.

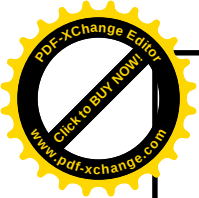
Проте, менший запас міцності механічних деталей, посадка пакета ротора без шпонкового з'єднання, часто більше низький клас ізоляції двигунів загального призначення вимагає обережності при їхньому застосуванні в електроприводі механізмів підйому, особливо на кранах інтенсивного режиму роботи.

По всій імовірності доцільно обмежити застосування таких двигунів у частотно-регульованому електроприводі режимів до 5К.

					141.4301з.КРБ.ПЗ.Р1	Лист 24
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		



					14.1.4.301з.КРБ.ПЗ.Р2			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Студент		Лисенко М.С.			2. Розрахунок потужності і видір двигуна механізму підйому	Літ.	Арк.	Аркушів
Консультант							25	
Керівник		Чекунов В.К.				НН ІАЕ НУК		
Зав. каф.		Обрубов А.В.						



2. РОЗРАХУНОК ПОТУЖНОСТІ І ВИБІР ДВИГУНА МЕХАНІЗМУ ПІДЙОМУ

2.1. Завдання для проектування

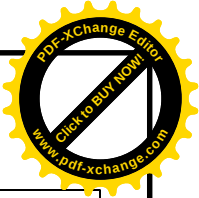
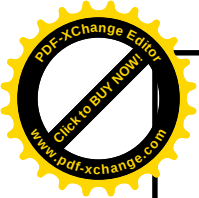
При виконанні роботи треба розробити привід механізму підйому морських контейнерів міжнародного зразка.

ISO-контейнер – стандартизована багатооборотна тара, призначена для перевезення вантажів автомобільним, залізничним, морським і повітряним транспортом і пристосована для механізованого перевантаження з одного транспортного засобу на інше. Може бути виконаний з різних матеріалів і мати різноманітні форми. На транспорті найбільше застосування одержали так називані універсальні контейнери. Основні параметри морських контейнерів надані у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1. Основні параметри морських контейнерів

Параметри	Од. вим.	20 - футовий стандартний (Dry Cube)	40 - футовий стандарт- ний (Dry Van)	40 - футовий Високий контейнер (High Cube)	45- футовий широкий (High Cube Pallet Wide)	45- футовий високий широкий (High Cube Pallet Wide)
РОЗМІРИ ЗОВНІШНІ						
Довжина	мм	6058	12192	12192	13716	13716
Ширина	мм	2438	2438	2438	2500	2500
Висота	мм	2591	2591	2896	2750	2896
РОЗМІРИ ВНУТРІШНІ						
Довжина	мм	5905	12039	12039	13513	13513
Ширина	мм	2350	2350	2350	2444	2444

					141.4301з.КРБ.ПЗ.Р2	Лист
						26
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		



Висота	мм	2381	2372	2693	2549	2642
ХАРАКТЕРИСТИКА ПАРАМЕТРІВ І МАСИ ТА ОБ'ЄМУ						
Максимальна маса брутто	кг	24000-30480	28800-30480	30480-32500	34000	34000
Маса тари	кг	2145 - 2370	3640 - 4000	3740 - 4200	4180	4250 - 5080
Корисне навантаження	кг	21630-28335	24800-26840	26280-28650	29820	28920-29750
Об'єм	м. куб.	33-33,2	67,3-67,8	75,6-76,5	85,1	88,7-89.5

Максимальна можлива вага контейнера 34 тонни. Для підйому таких контейнерів проектуємо привід.

2.2. Розрахунок потужності механізму підйому

У таблиці 2.2 наведені вхідні дані для проектування

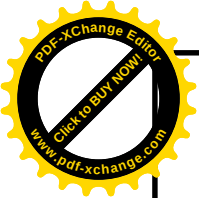
Таблиця 2.2. Вхідні дані для проектування

Номинальна вантажопідйомність m_n , т	34
Маса спредера m_0 , кг	250
Діаметр вантажного барабана D_6 , м	0.5
Передавальне число редуктора i	50
Загальний ККД приводу	0.9
Швидкість підйому номінального вантажу V , м/хв	50
Посадочна швидкість $V_{\text{пос}}$, м/хв	8
Частота мережі f , Гц	50
Напруга U , В	380
Висота підйому H , м	15

Попередній вибір електродвигуна

Момент на валу електродвигуна при підйомі номінального вантажу

					141.4301з.КРБ.ПЗ.Р2	Лист 27
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		



$$M_{1ct} := \frac{g \cdot [(G_n + G_0) \cdot D_b]}{2 \cdot i \cdot \eta} = 1867 \text{ Н м.}$$

Момент на валу електродвигуна при спуску номінального вантажу

$$M_{2ct} := \frac{g \cdot [(G_n + G_0) \cdot D_b]}{2 \cdot i} \cdot \left(2 - \frac{1}{\eta}\right) = 1493 \text{ Нм.}$$

Швидкість електродвигуна, необхідна для забезпечення заданої швидкості підйому номінального вантажу

$$\omega := \frac{(v \cdot i)}{30 \cdot D_b} = 154,4 \text{ рад/с,}$$

або частоти обертання

$$n := \frac{\omega \cdot 30}{\pi} = 1475 \text{ об/хв.}$$

Швидкість електродвигуна, необхідна для забезпечення посадкової швидкості вантажу

$$\omega_{pos} := \frac{(v_{pos} \cdot i)}{30 \cdot D_b} = 26,7 \text{ рад/с;}$$

або частоти обертання

$$n_{pos} := \frac{(\omega_{pos} \cdot 30)}{\pi}, = 254,8 \text{ об/хв.}$$

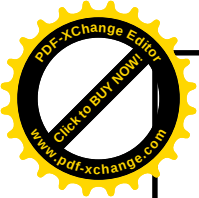
Потужність електродвигуна при підйомі номінального вантажу

$$P_{1ct} := M_{1ct} \cdot \omega \cdot 10^{-3} = 311,1 \text{ кВт.}$$

Потужність електродвигуна при посадці вантажу

$$P_{2ct} := M_{2ct} \cdot \omega_{pos} \cdot 10^{-3} = 39,8 \text{ кВт.}$$

					141.4301з.КРБ.ПЗ.Р2	Лист 28
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		



Вибираємо електродвигун типу А-400ХК-4У3 з параметрами, які надані у таблиці 2.3.

Таблиця 2.3. Параметри електродвигуна А-400ХК-4У3

Число полюсів	4
Потужність P , кВт	315
Частота обертання n_n , об/хв	1475
Кутова швидкість ω_n , рад/с	155
Номінальний струм I_n , А	47
Пусковий струм I_p , А	267.9
Максимальний момент $M_{кр}$, Нм	5200
Пусковий момент M_p , Нм	2581
Коефіцієнт потужності	0.87
Режим роботи (ПВ, %)	40
Момент інерції $j_{дв}$, кг·м ²	15.2
Напруга U , В	380

Визначаємо номінальний момент двигуна

$$M_n := \frac{P_n}{\omega_n} \cdot 10^3 = 2046 \text{ Н·м.}$$

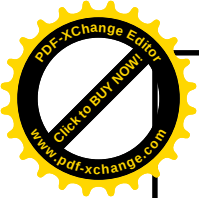
Таким чином, працюючи з моментом $M_{лст} = 2046 \text{ Н·м}$ двигун не буде перевантажуватись.

1. Підйом номінального вантажу.

Зведений до валу двигуна момент інерції

$$j_{pr} := k \cdot j_{дв} + \frac{(G \cdot v^2)}{(G_0)^2 \cdot \omega^2},$$

$$j_{pr} = 1.2 \cdot 15.2 + \frac{30250 \cdot 45^2}{250^2 \cdot 150^2} = 18.3 \text{ кг·м}^2.$$



Динамічний момент при спуску на обмотці середньої швидкості

$$M_{1\text{din}} := M_p - M_{1\text{ct}}$$
$$M_{1\text{din}} = 2581 - 1855 = 726 \text{ , Нм.}$$

Час розгону

$$t_{1p} := \frac{(j_{\text{pr}} \cdot \omega_1)}{M_{1\text{din}}}$$
$$t_{1p} = \frac{18.3 \cdot 149}{726} = 3.76 \text{ , с.}$$

де кутова швидкість ω_1 визначена по механічній характеристиці двигуна і відповідає $M_{1\text{ct}}$.

Розрахунковий гальмівний момент

$$M_{\text{tr}} := \frac{(P_n \cdot \eta^2)}{\omega_n} \cdot 10^3$$
$$M_{\text{tr}} = \frac{400 \cdot 0.8^2}{155} \cdot 10^3 = 1652 \text{ , Нм.}$$

де P_n та ω_n – номінальні значення потужності і швидкості механізму

Момент гальма

$$M_t := k_1 \cdot M_{\text{tr}}$$
$$M_t = 1.8 \cdot 1652 = 2974 \text{ , Нм.}$$

де k – коефіцієнт запасу; вибирається в межах 1,5...2,0.

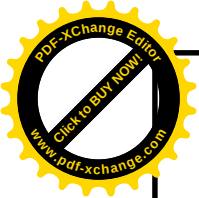
ККД двигуна при номінальному навантаженню

$$\eta_n := \frac{P_n \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot U \cdot I_n \cdot \cos \varphi}$$

Постійні втрати в електродвигуні

$$\Delta P_{\text{post}} := \frac{P_n}{2} \cdot \left(\frac{1}{\eta_n} - 1 \right)$$
$$\Delta P_{\text{post}} = \frac{400}{2} \cdot \left(\frac{1}{0.94} - 1 \right) = 12.77 \text{ , кВт.}$$

					141.4301з.КРБ.ПЗ.Р2	Лист 30
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		



Гальмівний момент, обумовлений постійними втратами в електродвигуні

$$M_{t.dv} := \frac{\Delta P_{post} \cdot 10^3}{\omega_1}$$
$$M_{t.dv} = \frac{12.77 \cdot 10^3}{149} = 85.7 \text{ , Нм.}$$

Сумарний гальмівний момент

$$M_{1t} := M_{1ct} + M_t + M_{t.dv}$$
$$M_{1t} = 1855 + 2974 + 85.7 = 4915 \text{ , Нм.}$$

Час зупинки підйомного вантажу при відключенні двигуна

$$t_{1t} := j_{pr} \cdot \frac{\omega_1}{M_{1t}}$$
$$t_{1t} = 18.3 \cdot \frac{149}{4915} = 0.55 \text{ , с.}$$

Установлена швидкість підйому номінального вантажу

$$v_1 := \frac{(30 \cdot D_b \cdot \omega_1)}{i}$$
$$v_1 = \frac{30 \cdot 0.5 \cdot 149}{50} = 44.7 \text{ , м/хв.}$$

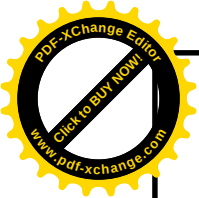
Шлях, пройдений вантажем при розгоні та гальмуванні

$$H_1 := \frac{v_1}{2 \cdot 60} \cdot (t_{1p} + t_{1t})$$
$$H_1 = \frac{44.7}{2 \cdot 60} \cdot (3.76 + 0.55) = 1.61 \text{ , м.}$$

Час підйому вантажу при сталому режимі

$$t_{1y} := \frac{(H - H_1) \cdot 60}{v_1} = 17.97 \text{ с.}$$

					141.4301з.КРБ.ПЗ.Р2	Лист
						31
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		



Струм, споживаний двигуном

$$I_1 := I_n \cdot \left(\frac{M_{1ct}}{M_n} \right)$$
$$I_1 = 47 \cdot \frac{1855}{2581} = 33.78 \text{ , А.}$$

2. Гальмівний спуск вантажу.

Швидкість рекуперативного гальмування

$$\omega_2 := 2 \cdot \omega_c - \omega_{2ct}$$
$$\omega_2 = 2 \cdot 157 - 152 = 162 \text{ , рад/с,}$$

де $\omega_{2ct} = 152$ рад/с – швидкість двигуневого режиму, відповідна значенню M_{2ct} .

Якщо струм гальмівного режиму I_2 прийняти рівним струму двигуна, працюючого з моментом M_{2ct}

$$I_2 := I_n \cdot \left(\frac{M_{2ct}}{M_n} \right)$$
$$I_2 = 47 \cdot \frac{1113}{2581} = 20.27 \text{ , А.}$$

Час розгону при опусканні вантажу з включеним двигуном

$$t_{2p} := j_{pr} \cdot \frac{\omega_2}{M_p + M_{2ct}}$$
$$t_{2p} = 18.3 \cdot \frac{162}{2581 + 1113} = 0.8 \text{ , с.}$$

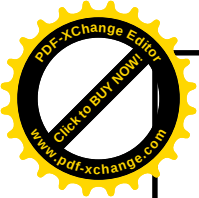
Гальмівний момент при відключенні двигуна від мережі

$$M_{2t} := M_t + M_{t.dv} - M_{2ct}$$
$$M_{2t} = 2974 + 85.7 - 1113 = 1947 \text{ , Нм.}$$

Час зупинки опускаємого вантажу

$$t_{2t} := j_{pr} \cdot \frac{\omega_2}{M_{2t}} = 1.52 \text{ с.}$$

					141.4301з.КРБ.ПЗ.Р2	Лист 32
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		



Швидкість опускає мого вантажу

$$v_2 := \frac{(30 \cdot D_b \cdot \omega_2)}{i}$$
$$v_2 = \frac{30 \cdot 0.5 \cdot 162}{50} = 48.6 \text{ , м/хв.}$$

Шлях, пройдений вантажем при розгоні та гальмуванні

$$H_2 := \frac{v_2}{2 \cdot 60} \cdot (t_{2p} + t_{2t})$$
$$H_2 = \frac{48.6}{2 \cdot 60} \cdot (0.8 + 1.52) = 0.94 \text{ , м.}$$

Час опускання вантажу при сталому режимі

$$t_{2y} := \frac{(H - H_2) \cdot 60}{v_2}$$
$$t_{2y} = \frac{(15 - 0.94) \cdot 60}{48.6} = 17.36 \text{ , с.}$$

3. Підйом холостого гаку.

Момент на валу електродвигуна при підйомі холостого гаку

$$M_{3ct} := \frac{(G_0 \cdot g \cdot D_b)}{2 \cdot i \cdot \eta_0}$$
$$M_{3ct} = \frac{250 \cdot 9.81 \cdot 0.5}{2 \cdot 50 \cdot 0.1} = 122.63 \text{ , Нм.}$$

де η_0 – ККД при G_0/G_H .

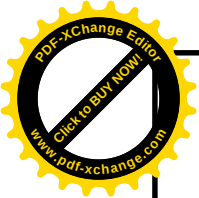
Моменту $M_{3ct}=122,63$ Н·м відповідає швидкість

$\omega_3=156$ рад/с;

Зведений до валу двигуна момент інерції електродвигуна (без вантажу)

$$j_{o.pr} := k \cdot j_{dv}$$
$$j_{o.pr} = 1.2 \cdot 15.2 = 18.24 \text{ , кг·м}^2.$$

					141.4301з.КРБ.ПЗ.Р2	Лист 33
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		



Час розгону при підйомі холостого гаку

$$t_{3p} := j_{o.pr} \cdot \frac{\omega_3}{M_p - M_{3ct}}$$
$$t_{3p} = 18.24 \cdot \frac{156}{2581 - 122.63} = 1.16 \text{ , с.}$$

Гальмівний момент при відключенні двигуна в кінці підйому гака

$$M_{3t} := M_{3ct} + M_t - M_{t.dv}$$
$$M_{3t} = 122.63 + 2974 - 85.7 = 3011 \text{ , Н·м.}$$

Час зупинки підйомного гака

$$t_{3t} := j_{o.pr} \cdot \frac{\omega_3}{M_{3t}}$$
$$t_{3t} = 18.24 \cdot \frac{156}{3011} = 0.95 \text{ , с.}$$

Швидкість підйому холостого гаку

$$v_3 := \frac{(30 \cdot D_b \cdot \omega_3)}{i}$$
$$v_3 = \frac{30 \cdot 0.5 \cdot 156}{50} = 46.8 \text{ , м/хв.}$$

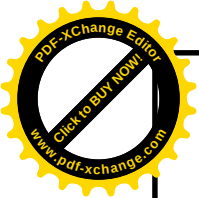
Шлях, пройдений вантажем при розгоні та гальмуванні

$$H_3 := \frac{v_3}{2 \cdot 60} \cdot (t_{3p} + t_{3t})$$
$$H_3 = \frac{46.8}{2 \cdot 60} \cdot (1.16 + 0.95) = 0.82 \text{ , м.}$$

Час сталого руху при підйомі холостого гаку

$$t_{3y} := \frac{(H - H_3) \cdot 60}{v_3}$$
$$t_{3y} = \frac{(15 - 0.82) \cdot 60}{46.8} = 18.18 \text{ , с.}$$

					141.4301з.КРБ.ПЗ.Р2	Лист
						34
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		



4. Силовий спуск холостого гаку

Момент на валу електродвигуна при спуску холостого гаку

$$M_4 := \frac{(g \cdot G_0 \cdot D_b)}{2 \cdot i} \cdot \left(2 - \frac{1}{\eta_0} \right)$$
$$M_4 = \frac{9.81 \cdot 250 \cdot 0.5}{2 \cdot 50} \cdot \left(2 - \frac{1}{0.1} \right) = -98.1 \text{ , Нм.}$$

Моменту $M_4=98,1$ Н·м відповідає швидкість двигуна $\omega_4=156,5$ рад/с

Час розгону при спуску холостого гаку

$$t_{4p} := j_{o.pr} \cdot \frac{\omega_4}{M_p - M_4}$$
$$t_{4p} = 18.24 \cdot \frac{156.5}{2581 - 98.1} = 1.15 \text{ , с.}$$

Гальмівний момент при відключенні двигуна

$$M_{4t} := M_4 + M_t + M_{t.dv}$$
$$M_{4t} = 98.1 + 2974 + 85.7 = 3158 \text{ , Нм.}$$

Час зупинки спускового гаку

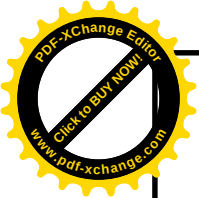
$$t_{4t} := j_{o.pr} \cdot \frac{\omega_4}{M_{4t}}$$
$$t_{4t} = 18.24 \cdot \frac{156.5}{3158} = 0.9 \text{ , с.}$$

Швидкість спуску холостого гаку

$$v_4 := \frac{(30 \cdot D_b \cdot \omega_4)}{i}$$
$$v_4 = \frac{30 \cdot 0.5 \cdot 156.5}{50} = 46.95 \text{ , м/хв.}$$

Шлях пройдений гаком при розгоні та гальмуванні

					141.4301з.КРБ.ПЗ.Р2	Лист 35
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		



$$H_4 := \frac{v_4}{2 \cdot 60} \cdot (t_{4p} + t_{4t})$$
$$H_4 = \frac{46.95}{2 \cdot 60} \cdot (1.15 + 0.9) = 0.8 \text{ , м.}$$

Час сталого руху при спуску холостого гаку

$$t_{4y} := \frac{(H - H_4) \cdot 60}{v_4}$$
$$t_{4y} = \frac{(15 - 0.8) \cdot 60}{46.95} = 18.15 \text{ , с.}$$

2.3. Перевірка вибраного двигуна на відповідність заданого режиму роботи

Повна тривалість циклу

$$T := \Delta t_{\text{rab}} + \Delta t_0$$
$$T = 78.53 + 163.92 = 242.45$$

Число циклів в годину

$$Z_{\text{rasch}} := \frac{3600}{T}$$
$$Z_{\text{rasch}} = \frac{3600}{242.45} = 14.85$$

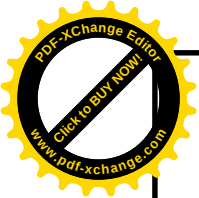
Перевірка вибраного двигуна на нагрів

Розрахункова тривалість включення

$$PV_{\text{rasch}} := \frac{\Delta t_{\text{rab}}}{T} \cdot 100$$
$$PV_{\text{rasch}} = \frac{78.53}{242.45} \cdot 100 = 32.39 \text{ , \%}$$

Еквівалентний струм при повторно-короткочасному режимі, відповідний розрахунковій ПВ %

$$I_b = \sqrt{\frac{\left(\frac{I_n + I_1}{2}\right)^2 \cdot t_{1n} + I_1^2 \cdot t_{1y} + \left(\frac{I_n + I_2}{2}\right)^2 \cdot t_{2n} + I_2^2 \cdot t_{2y} + \left(\frac{I_n + I_3}{2}\right)^2 \cdot t_{3n} + I_3^2 \cdot t_{3y} + \left(\frac{I_n + I_4}{2}\right)^2 \cdot t_{4n} + I_4^2 \cdot t_{4y}}{a(t_{1n} + t_{2n} + t_{3n} + t_{4n}) + t_{1y} + t_{2y} + t_{3y} + t_{4y}}}$$



$$I_{\varepsilon} = 474,3 \text{ A.}$$

Еквівалентний струм при повторно-короткочасному режимі, перерахований на стандартну ПВ% вибраного двигуна:

$$I_{\varepsilon n} := I_{\varepsilon} \cdot \sqrt{\frac{\varepsilon}{\varepsilon_n}}$$
$$I_{\varepsilon n} = 47.43 \cdot \sqrt{\frac{0.32395}{0.4}} = 426,8 \text{ A.}$$

Таким чином $I_{\varepsilon n} = 426.8 \text{ A} < I_H = 590 \text{ A}$, тобто в заданому режимі роботи електродвигун перегріватися не буде.

2.4. Побудова характеристик двигуна

Для побудови природної механічної характеристики скористаємося формулою Клоса:

$$M_1 = \frac{2M_{KP}(1 + aS_{KP})}{\frac{S}{S_{KP}} + \frac{S_{KP}}{S} + 2aS_{KP}},$$

де $a = \frac{r_1}{r'_2}$ - коефіцієнт, що виражає відношення активного опору фази статора r_1 до приведенного значення опору фази ротора r'_2 .

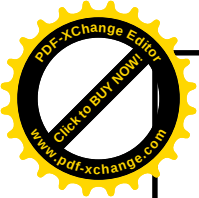
$$a = \frac{0.046}{0.028} = 1.643.$$

Приведемо приклад розрахунку однієї крапки механічної характеристики при $S = 1$:

$$M_{11} = \frac{2 \cdot 4297.1 \cdot (1 + 1.643 \cdot 0.12)}{\frac{1}{0.12} + \frac{0.12}{1} + 2 \cdot 1.643 \cdot 0.12} = 1163, \text{ Н м.}$$

Результати розрахунку інших крапок представлені в таблиці 2.4, а сама характеристика побудована на рис.2.1.

					141.4301з.КРБ.ПЗ.Р2	Лист 37
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		



Приведена механічна характеристика близька до експериментальної на робочій ділянці і має значні погрішності на пусковій ділянці. Тому пускову ділянку характеристики побудуємо по формулі:

$$M = M_{KP} \frac{2 + (S^2 - S_{KP}^2) \cdot \kappa}{\frac{S}{S_{KP}} + \frac{S_{KP}}{S}},$$

де $\kappa = \frac{\alpha(\frac{1}{S_{KP}} + S_{KP})}{1 - S_{KP}^2}$ – розрахунковий коефіцієнт;

$$\alpha = \frac{M_{II}}{M_{KP}} = \frac{m_K}{m_{II}} = \frac{1.6}{2.4} = 0.414 ;$$

$$\kappa = \frac{0.414 \cdot (\frac{1}{0.12} + 0.12)}{1 - 0.12^2} = 2.392.$$

Надалі для розрахунків будемо використовувати механічну характеристику $M(S)$, побудовану по останній формулі. Вона представлена на рис.2.1.

Для побудови природної електромеханічної характеристики скористаємося формулою В.А. Шубенко:

$$I_1 = \sqrt{(I_H^2 - I_0^2) \frac{SM}{SM_H} + I_0^2},$$

де $I_0 = I_H (\sin \varphi_H - \frac{S_H}{S_{KP}} \cos \varphi_H)$ – струм холостого ходу двигуна А;

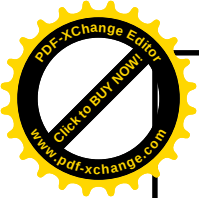
$$I_H = \frac{P_{2H} \cdot 1000}{\sqrt{3} U_H \eta_H \cos \varphi_H} \text{ – номінальний фазний струм двигуна А;}$$

$$I_H = \frac{315 \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0.89 \cdot 0.91} = 591 \text{ А;}$$

$$I_0 = 591 \cdot (0.475 - \frac{0.02}{0.12} \cdot 0.89) = 193 \text{ А}$$

Результати розрахунку електромеханічної характеристики представлені в таблиці 2.4, а характеристика побудована на рис.2.1.

					141.4301з.КРБ.ПЗ.Р2	Лист 38
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		



Розрахунок і побудова характеристик зроблена в середовищі MATHCAD і представлена у додатку В.

Таблиця 2.4. Результати розрахунку механічної і електромеханічної характеристики

$M_1 (S) =$	$M (S) =$	$I_1 (S) =$	$S =$
$1.163 \cdot 10^3$	$4.093 \cdot 10^3$	$5.588 \cdot 10^3$	1
$1.174 \cdot 10^3$	$4.07 \cdot 10^3$	$5.545 \cdot 10^3$	0.99
$1.185 \cdot 10^3$	$4.048 \cdot 10^3$	$5.502 \cdot 10^3$	0.98
$1.196 \cdot 10^3$	$4.025 \cdot 10^3$	$5.459 \cdot 10^3$	0.97
$1.208 \cdot 10^3$	$4.003 \cdot 10^3$	$5.416 \cdot 10^3$	0.96
$1.219 \cdot 10^3$	$3.982 \cdot 10^3$	$5.373 \cdot 10^3$	0.95
$1.231 \cdot 10^3$	$3.96 \cdot 10^3$	$5.33 \cdot 10^3$	0.94
$1.244 \cdot 10^3$	$3.939 \cdot 10^3$	$5.287 \cdot 10^3$	0.93
$1.256 \cdot 10^3$	$3.917 \cdot 10^3$	$5.245 \cdot 10^3$	0.92
$1.269 \cdot 10^3$	$3.896 \cdot 10^3$	$5.202 \cdot 10^3$	0.91
$1.282 \cdot 10^3$	$3.876 \cdot 10^3$	$5.16 \cdot 10^3$	0.9
$1.295 \cdot 10^3$	$3.855 \cdot 10^3$	$5.117 \cdot 10^3$	0.89
$1.308 \cdot 10^3$	$3.835 \cdot 10^3$	$5.075 \cdot 10^3$	0.88
$1.322 \cdot 10^3$	$3.815 \cdot 10^3$	$5.033 \cdot 10^3$	0.87
$1.336 \cdot 10^3$	$3.795 \cdot 10^3$	$4.991 \cdot 10^3$	0.86
$1.35 \cdot 10^3$	$3.775 \cdot 10^3$	$4.949 \cdot 10^3$	...
$1.365 \cdot 10^3$	$3.756 \cdot 10^3$	$4.908 \cdot 10^3$	
$1.38 \cdot 10^3$	$3.737 \cdot 10^3$	$4.866 \cdot 10^3$	
$1.395 \cdot 10^3$	$3.718 \cdot 10^3$	$4.825 \cdot 10^3$	
...	...	...	

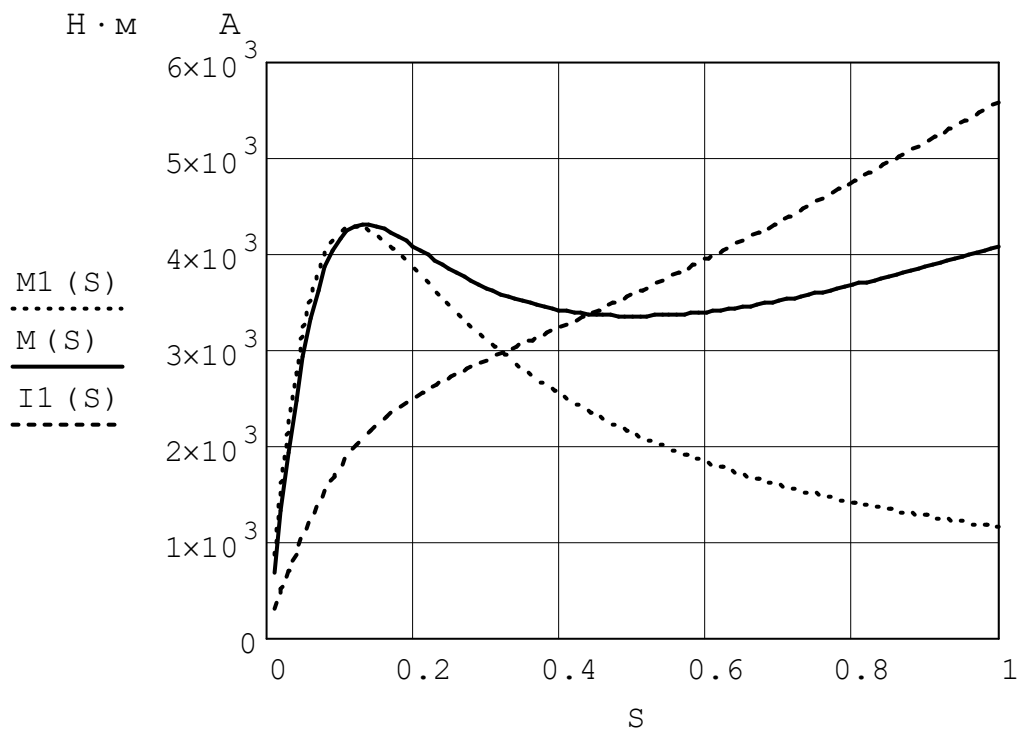
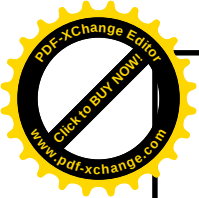
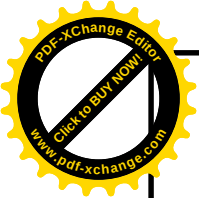


Рис.2.1. Механічна і електро механічна характеристики двигуна

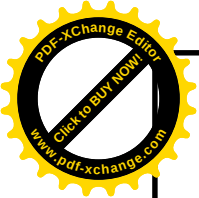
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

141.4301з.КРБ.ПЗ.Р2

Лист
40



					14.1.4.301з.КРБ.ПЗ.РЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	З. Регулювання швидкості АД з короткозамкнутим ротором зміною частоти напруги	Літ.	Арк.	Аркушів
Студент		Лисенко М.С.						41
Консультант						НН ІАЕ НУК		
Керівник		Чекунов В.К.						
Зав. каф.		Обрубов А.В.						



3. РЕГУЛЮВАННЯ ШВИДКОСТІ АД З КОРОТКОЗАМКНУТИМ РОТОРОМ ЗМІНОЮ ЧАСТОТИ НАПРУГИ

Для зміни швидкості підйому вантажу з приводом від асинхронного двигуна з короткозамкнутим ротором використовується частотне регулювання.

Як джерело змінної частоти використовується статичний перетворювач на тиристорах (інвертор).

Для обмеження струмів ротора і статора АД, а також збереження незмінної перевантажувальної здатності двигуна, для забезпечення стійкої роботи приводу, зі зміною частоти необхідно відповідним чином змінювати амплітуду підведеної до двигуна напруги.

Перевантажувальна здатність залишиться незмінною, якщо відношення критичних моментів двигуна у всіх режимах буде дорівнює відношенню відповідних статичних моментів, тобто

$$\frac{M_{CT.i}}{M_{CT.u}} = \frac{M_{KP.i}}{M_{KP.u}}.$$

Якщо підставити в цю формулу значення критичних моментів, то одержимо формулу Костенко

$$\frac{u_i}{u_u} = \frac{f_{li}}{f_{lu}} \cdot \sqrt{\frac{M_{CT.i}}{M_{CT.u}}}.$$

З цієї формули випливає, що зі зміною частоти потрібно змінювати і підведену до двигуна напругу, причому закон зміни напруги визначається характером залежності статичного моменту від швидкості.

Закон зміни напруги можна записати так

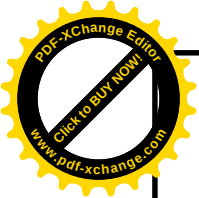
$$u_i = u_u \cdot \varphi_i^{\alpha_1},$$

де $\varphi_i = \frac{f_{li}}{f_{lu}}$ – відносна частота напруги, прикладеної до затисків двигуна;

$\alpha_1 = \frac{2+\alpha}{2}$ – показник ступеня, що визначає закон зміни напруги зі

зміною частоти живильного струму.

					141.4301з.КРБ.ПЗ.РЗ	Лист 42
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		



Зі зміною частоти буде змінюватися синхронна швидкість

$$\omega_{cf} = \frac{2\pi \cdot f_1}{p} \cdot \frac{f_{1i}}{f_{1u}} = \omega_c \cdot \varphi ,$$

а також буде змінюватися індуктивний опір обмоток двигуна

$$x_{kf} = x_K \cdot \varphi .$$

При цьому рівняння механічної характеристики прийме вид

$$M_f = \frac{m \cdot u_H^2 \cdot \varphi^{2\alpha_1-2} \cdot r_2'' \cdot S}{\omega_c (r_2'' + S^2 \cdot \kappa_H \cdot \varphi^2)} .$$

Якщо досліджувати отримане рівняння на максимум, то знайдемо:

$$S_{Kpf} = \frac{r_2''}{x_K \cdot \varphi} = \frac{S_{KP}}{\varphi} ;$$
$$M_{Kpf} = \frac{m \cdot u_H^2 \cdot \varphi^{2\alpha_1-2}}{2 \cdot \omega_c \cdot x_K} .$$

На підставі цих рівнянь можна побудувати механічні характеристики двигуна для будь-яких значень частоти і напруги.

Але побудову механічних характеристик двигуна можна спростити, якщо скористатися формулою Клоса, записаною для даних умов

$$M_f = \frac{2M_{KP} \cdot \varphi^\alpha}{\frac{S \cdot \varphi}{S_{KP}} + \frac{S_{KP}}{S \cdot \varphi}} .$$

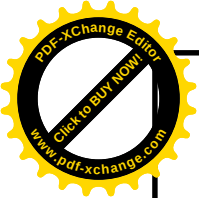
Так як статичний момент навантаження не змінюється ($\alpha = 1$), то підведену напругу треба змінювати пропорційно частоти. При цьому:

$$\kappa_M = \frac{M_{KP}}{M_{CT}} = const .$$

По приведених формулах виконаємо розрахунок механічних характеристик асинхронного двигуна для частот:

$$f_1 = 50 \text{ Гц}; \quad \varphi_1 = 1; \quad \omega_{c1} = 157 \text{ с}^{-1}; \quad M_{KP1} = 4297 \text{ Н} \cdot \text{м};$$
$$f_2 = 40 \text{ Гц}; \quad \varphi_2 = 0.8; \quad \omega_{c2} = 125.6 \text{ с}^{-1}; \quad M_{KP2} = 2750 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

					141.43013.КРБ.ПЗ.РЗ	Лист
						43
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		



$$f_3 = 30 \text{ Гц}; \quad \varphi_3 = 0.6; \quad \omega_{c3} = 94.2 \text{ с}^{-1}; \quad M_{\text{кр}3} = 1547 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$f_4 = 20 \text{ Гц}; \quad \varphi_4 = 0.4; \quad \omega_{c4} = 62.8 \text{ с}^{-1}; \quad M_{\text{кр}4} = 687 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Приклад розрахунку однієї крапки механічної характеристики при

$$f_1 = 50 \text{ Гц і } \omega_1 = 0 \text{ с}^{-1}:$$

$$M_{f1} = \frac{2 \cdot 4297 \cdot 1^2}{\frac{1 \cdot 1}{0.12} + \frac{0.12}{1 \cdot 1}} = 1793.9, \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Результати подальших розрахунків зведені в таблицю 3.1, а характеристики побудовані на рис.3.1. Розрахунок і побудова графіків також зроблений у середовищі MATHCAD і представлений у додатку Г.

Таблиця 3.1. Результати розрахунків моменту при зміні частоти

Mf1 (ω) =

1.18·10 ³
1.217·10 ³
1.257·10 ³
1.299·10 ³
1.344·10 ³
1.392·10 ³
1.444·10 ³
1.5·10 ³
1.559·10 ³
1.624·10 ³
1.694·10 ³
1.77·10 ³
1.852·10 ³
1.942·10 ³
2.041·10 ³
2.149·10 ³
...

Mf2 (ω) =

1.167·10 ³
1.213·10 ³
1.262·10 ³
1.314·10 ³
1.372·10 ³
1.434·10 ³
1.501·10 ³
1.575·10 ³
1.656·10 ³
1.745·10 ³
1.843·10 ³
1.951·10 ³
2.071·10 ³
2.204·10 ³
2.351·10 ³
2.512·10 ³
...

Mf3 (ω) =

1.141·10 ³
1.198·10 ³
1.26·10 ³
1.329·10 ³
1.404·10 ³
1.488·10 ³
1.58·10 ³
1.683·10 ³
1.796·10 ³
1.92·10 ³
2.056·10 ³
2.2·10 ³
2.345·10 ³
2.478·10 ³
2.566·10 ³
2.555·10 ³
...

Mf4 (ω) =

1.072·10 ³
1.142·10 ³
1.22·10 ³
1.305·10 ³
1.397·10 ³
1.494·10 ³
1.59·10 ³
1.672·10 ³
1.718·10 ³
1.681·10 ³
1.495·10 ³
1.083·10 ³
430.918
-340.66
-1.017·10 ³
-1.459·10 ³
...

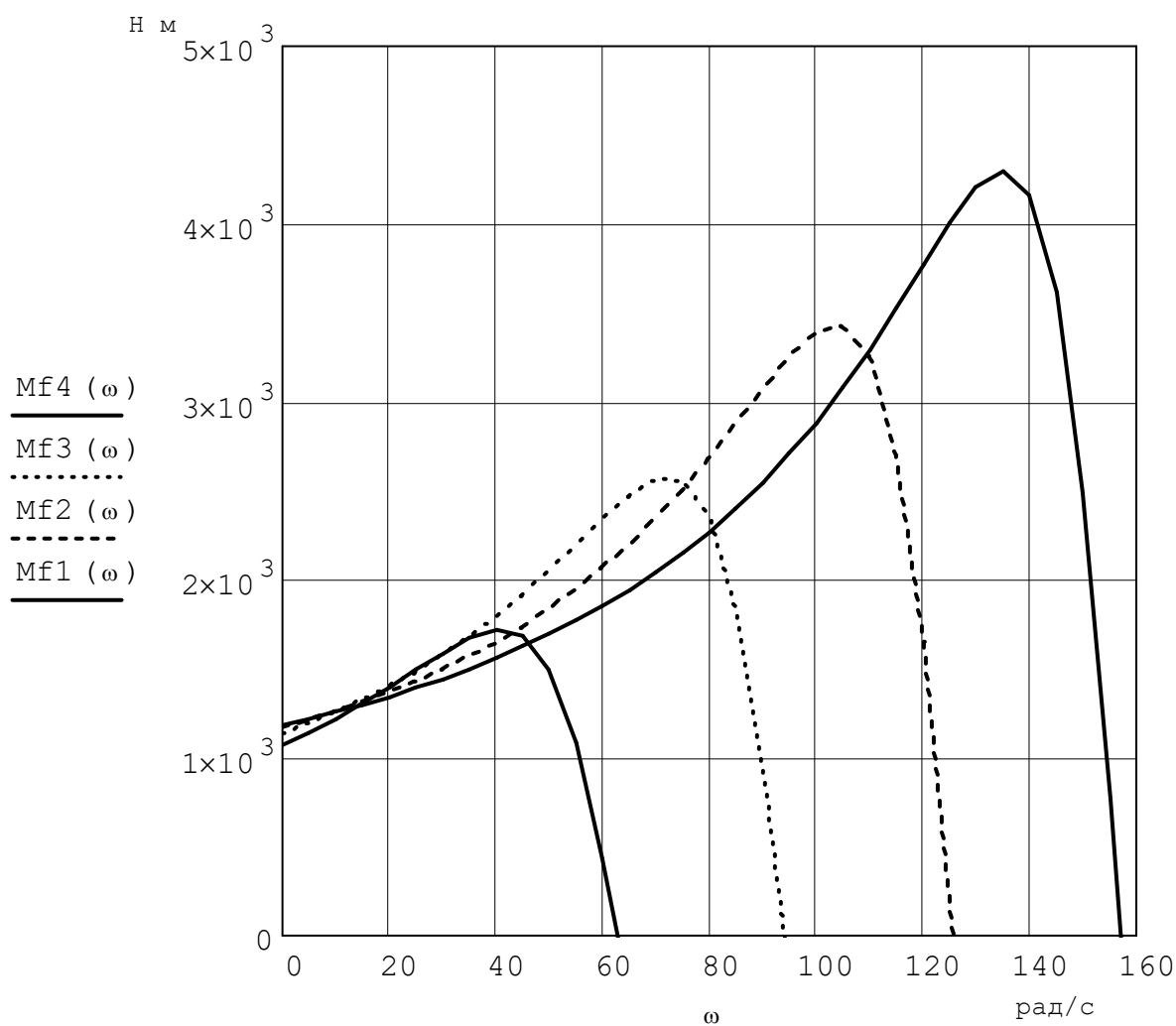
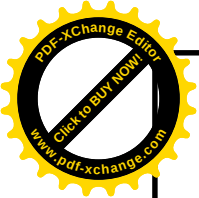


Рис.3.1. Механічні характеристики двигуна при частотному регулюванні (50, 40, 30 і 20 Гц)



					14.1.4.301з.КРБ.ПЗ.Р4			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Студент		Лисенко М.С.			4. Розрахунок інвертора	Літ.	Арк.	Аркушів
Консультант							46	
Керівник		Чекунов В.К				НН ІАЕ НУК		
Зав. каф.		Обрубов А.В.						

4. РОЗРАХУНОК ІНВЕРТОРА

4.1. Вибір схеми

Вибираємо схему трифазного мостового автономного інвертора струму (AIC) з пристроєм, який компенсує і застосуємо спосіб комбінованого збудження. У схемі немає силового трансформатора. Схема інвертора представлена на рис.4.1.

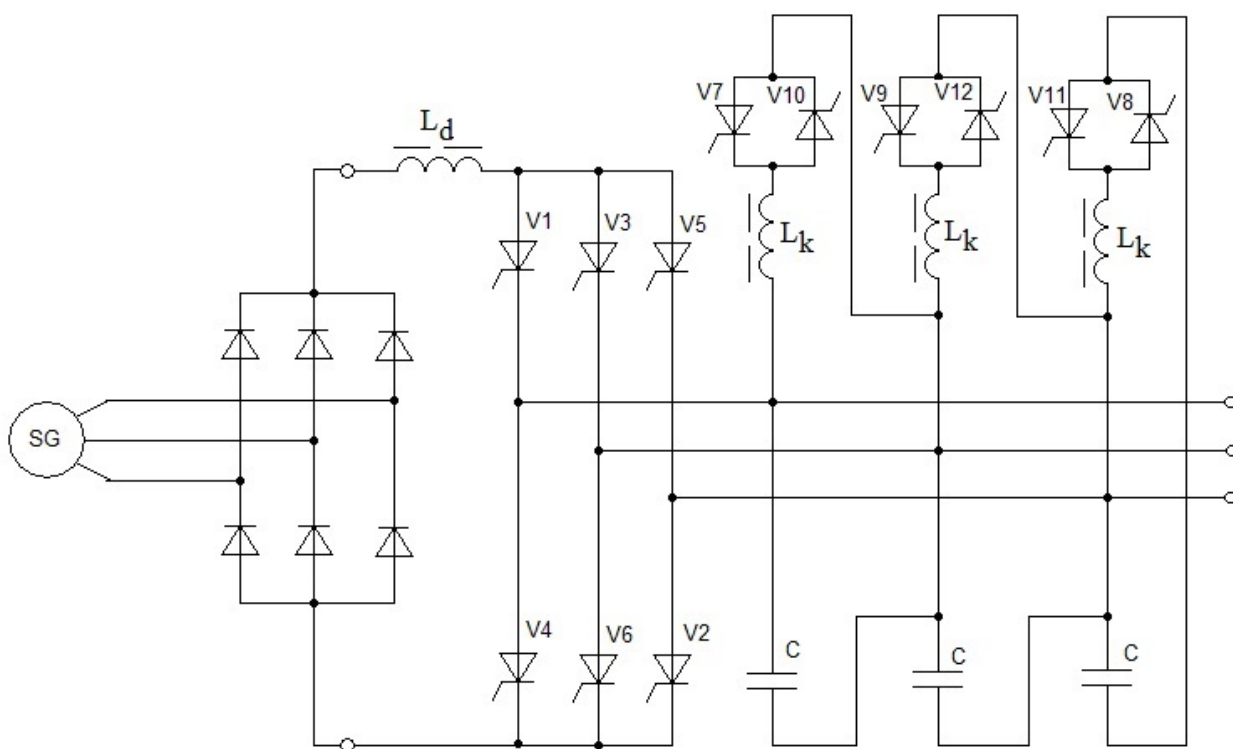


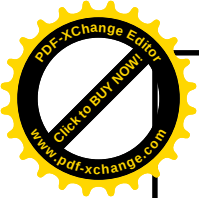
Рис. 4.1. Схема автономного інвертора струму

1. Призначення інвертора – застосовуватися буде в стандартних установках; потрібні мінімальні габарити і площа.
- 2 Діапазон температур навколишнього середовища $-50^0 \dots +40^0$ С.
3. Номінальна потужність $S_n = \frac{P_n}{\cos \varphi} = \frac{315}{0,85} = 370$ кВА.
4. Максимальна активна потужність $P_n = 315 \cdot 1,2 = 387,0$, кВт.
5. Коефіцієнт потужності $\cos \varphi = 0,85$.

Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

141.4301з.КРБ.ПЗ.Р4

Лист
47



6. Мінімальна активна потужність $P_{\min} = 0,124$, кВт.
7. Число фаз $m = 3$.
8. Номінальна частота $f = 50$ Гц.
9. Номінальна лінійна напруга $U = 380$ В.
10. Допустиме відхилення напруги $\Delta U = \pm 3\%$.
11. Коефіцієнт несинусоїдальності вихідної напруги $\leq 10\%$.
12. Діапазон напруг джерела живлення $E = 200 \dots 280$ В. Внутрішній опір приймаємо рівним нулю.
13. Коефіцієнт пульсацій вхідного струму при номінальному навантаженні $k_t < 20\%$.
14. Сплески і провали вихідної напруги при скидах і накидах навантаження від номінального до холостого ходу і назад – не вище -10% , $+15\%$ номінальної напруги.

4.2. Розрахунок кутів випередження і комутуючих конденсаторів

Діюче значення вихідної напруги

$$U = v \cdot \frac{U_d}{\cos \beta} = v \cdot \frac{E - \Delta U}{\cos \beta}$$

Коефіцієнт трифазної мостової схеми $v = 0,427$.

Середнє значення падіння напруги в колі постійного струму $\Delta U = 4,5$ В.

Діюче значення лінійної напруги $U_{\text{л}} = 380$ В.

Максимальне і мінімальне значення напруги джерела постійного струму $E_{\max} = 280$ В и $E_{\min} = 200$ В .

Коефіцієнт схеми лінійної напруги $v_{\text{л}} = \sqrt{3} \cdot v = \sqrt{3} \cdot 0,427 = 0,74$.

Максимальне і мінімальне значення косинуса кута випередження

					141.4301з.КРБ.ПЗ.Р4	Лист 48
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\cos \beta_{\min} = v_{\text{л}} \cdot \frac{E_{\max} - \Delta U}{U_{\text{л}}} = 0,74 \cdot \frac{280 - 4,5}{380} = 0,536$$

$$\cos \beta_{\max} = v_{\text{л}} \cdot \frac{E_{\min} - \Delta U}{U_{\text{л}}} = 0,74 \cdot \frac{200 - 4,5}{380} = 0,38$$

$$\beta_{\min} = 57^{\circ}35' \quad \beta_{\max} = 67^{\circ}40'$$

Якщо $\beta_{\min} = 20^{\circ}$, то лінійна напруга на виході вентиляного блоку:

$$U_1 = v_{\text{л}} \cdot \frac{E_{\max} - \Delta U}{\cos \beta_{\min}} = 0,74 \cdot \frac{280 - 4,5}{\cos 20^{\circ}} = 216,8 \text{ В.}$$

Вибираємо, згідно з призначенням агрегату і лінійному напрузі на виході вентиляного блоку, конденсатори К75-10-250В-10мкФ і з'єднуємо їх в трикутник.

На виході агрегату діюче значення лінійної напруги повинно бути $U_2 = 380 \text{ В}$ при номінальному навантаженні. Напруга під навантаженням менше, ніж на холостому ходу, то при $W_1 = W_2$ напруга $U_1 = 220 \text{ В}$ недостатня для отримання $U_2 = 380 \text{ В}$. Щоб компенсувати втрату напруги в трансформаторі, треба збільшити U_1 на величину напруги короткого замикання.

Активна и реактивна напруги $u_a = 2\%$ и $u_p = 3\%$.

Напруга короткого замикання

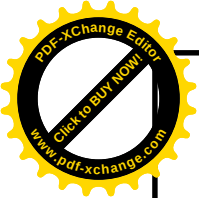
$$u_k = \sqrt{u_a^2 + u_p^2} = \sqrt{2^2 + 3^2} = 3,6\%$$

$$U_1 = 220 \cdot (1 + u_k) = 220 \cdot (1 + 0,036) = 228 \text{ В.}$$

Коефіцієнт використання конденсаторів по напрузі

$$k_{cu} = \frac{U_1}{U_{\text{сн}}} = \frac{228}{250} = 0,912, \text{ що прийнято.}$$

Остаточню при $U_1 = 228 \text{ В}$



$$\cos \beta_{\min} = v_{\text{л}} \cdot \frac{E_{\max} - \Delta U}{U_1} = 0,74 \cdot \frac{280 - 4,5}{228} = 0,894$$

$$\cos \beta_{\max} = v_{\text{л}} \cdot \frac{E_{\min} - \Delta U}{U_1} = 0,74 \cdot \frac{200 - 4,5}{228} = 0,634$$

$$\beta_{\min} = 26^{\circ}37' \quad \beta_{\max} = 50^{\circ}40'$$

$$\operatorname{tg} \beta_{\max} = 1,22$$

Реактивна потужність конденсаторів

$$Q_{\text{с}} = k_{\text{зап}} \cdot P_{\text{н}} \cdot (\operatorname{tg} \beta_{\max} + \operatorname{tg} \varphi_{\max}) = 1,3 \cdot 480 \cdot (1,22 + 0,75) = 1229 \text{ квар},$$

де $k_{\text{зап}} = 1,3$ коефіцієнт запасу;

$$\operatorname{tg} \varphi_{\max} = 0,75 \text{ при } \cos \varphi_{\max} = 0,8$$

Реактивна потужність конденсаторів на фазу

$$Q_{\text{сф}} = \frac{Q_{\text{с}}}{3} = \frac{1229}{3} = 410 \text{ квар}.$$

Ємність конденсаторів на фазу

$$C = \frac{Q_{\text{сф}}}{U_1^2 \cdot \omega} = \frac{410 \cdot 10^3}{228^2 \cdot 314} = 0,025 \text{ Ф}.$$

$$\text{де } \omega = 2\pi \cdot f = 2\pi \cdot 50 = 314 \text{ с}^{-1}; \quad f = 50 \text{ Гц}.$$

Кількість банків К75-10-250В-10 мкФ в фазі

$$n_{\text{бф}} = \frac{C}{10} = \frac{25000}{10} = 2500$$

4.3. Визначення вихідних даних для проектування реактора

При $k_i \leq 20\%$ (при номінальному навантаженню) угол $\beta_{\max} = 50^{\circ}40'$.

Розрахунковим буде режим $\beta = 45^{\circ}$.

Напруга джерела постійного струму

$$E = \frac{U_1 \cdot \cos \beta}{v_{\text{л}}} + \Delta U = \frac{228 \cdot \cos 45^{\circ}}{0,74} + 4,5 = 222,4 \text{ В}.$$

Середнє значення вхідного струму

					141.4301з.КРБ.ПЗ.Р4	Лист 50
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

$$I_d = \frac{P_d}{E} = \frac{P_{\max}}{\eta \cdot E} = \frac{480 \cdot 10^3}{0,9 \cdot 222,4} = 2,4 \cdot 10^3 \text{ А.}$$

де $\eta = 0,9$ – ККД інвертора струму.

Амплітуда основної гармоніки пульсації вхідного струму

$$I_{6m} \leq k_i \cdot I_d = 0,2 \cdot 2,4 \cdot 10^3 = 480 \text{ А.}$$

Амплітуда основної гармоніки проти-ЕРС для трифазної схеми

$$U_{6m} = \frac{U_{\text{лм}}}{2} \cdot \sin \beta = \frac{322,4}{2} \cdot \sin 45^\circ = 114 \text{ В,}$$

$$\text{де } U_{\text{лм}} = \sqrt{2} \cdot U_1 = \sqrt{2} \cdot 228 = 322,4 \text{ , В.}$$

Величина індуктивності

$$L_d \geq \frac{U_{6m}}{6 \cdot \omega \cdot I_{6m}} = \frac{114}{6 \cdot 314 \cdot 480} = 0,13 \cdot 10^{-3} \text{ Г} = 0,13 \text{ мГ}$$

Максимальне середнє значення вхідного струму

$$I_{d \max} = \frac{P_{\max}}{\eta \cdot E_{\min}} = \frac{480 \cdot 10^3}{0,9 \cdot 200} = 2,68 \cdot 10^3 \text{ А.}$$

Максимальне діюче значення вхідного струму

$$I_{\max} = \sqrt{I_{d \max}^2 + \left(\frac{I_{6m}}{\sqrt{2}} \right)^2} = I_{d \max} \cdot \sqrt{1 + \frac{k_i^2}{2}} = 2,68 \cdot 10^3 \cdot \sqrt{1 + \frac{0,2^2}{2}} = 2,71 \cdot 10^3 \text{ А.}$$

Отримані вихідні дані для проектування реактора: його індуктивність $L_d = 0,13 \text{ мГ}$, діюче значення струму $I_{\max} = 2,71 \cdot 10^3 \text{ А}$. Амплітуда прикладеної до нього напруги може досягати величини

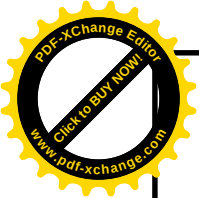
$$U_{6m \max} = \frac{U_{\text{лм}}}{2} \cdot \sin \beta_{\max} = \frac{322,4}{2} \cdot \sin 50^\circ 40' = 127,7 \text{ В.}$$

Типова потужність реакторів

$$P_{\text{тд}} = L_d \cdot I_{\max}^2 = 0,13 \cdot 10^{-3} \cdot 2,71^2 \cdot 10^6 = 955 \text{ Дж} = 0,95 \text{ , кДж.}$$

4.4. Вибір вентилів

Середнє значення струму плеча в трьохфазній мостовій схемі



$$I_{\text{пл}} = \frac{I_{d \max}}{3} = \frac{2,68 \cdot 10^3}{3} = 0,87 \cdot 10^3 \text{ А.}$$

Форму струму при коефіцієнті пульсації $k_i \leq 20\%$ можна вважати приблизно прямокутною. Коефіцієнт форми $k_\phi = \sqrt{3}$.

Вибираємо два паралельні тиристори АТ720НТ у плечі при повітряному охолодженні зі швидкістю обдування $V = 6 \text{ м/с}$.

Дані тиристора:

порогова напруга $U_0 = 1 \text{ В}$;

динамічний опір $R_d = 14 \cdot 10^{-5} \text{ Ом}$;

сталий тепловий опір при $V = 6 \text{ м/с}$, $R_T = 0,044^0 \text{ С/Вт}$,

максимально допустима температура структури $\theta_{\text{pn}} = 125^0 \text{ С}$.

Визначаємо температуру структури в самому напруженому тривалому режимі, тобто при $I_d = I_{d \max}$.

Втрати у вентилі від прямого струму

$$\Delta P_{\text{пр}} = I_v \cdot U_0 + k_\phi^2 \cdot I_v^2 \cdot R_d = 0,87 \cdot 10^3 \cdot 1 + 3 \cdot 0,87^2 \cdot 10^6 \cdot 14 \cdot 10^{-5} = 4050 \text{ Вт.}$$

де $I_v = I_{\text{пл}} = 0,87 \cdot 10^3 \text{ А}$ – середнє значення струму через вентиль.

Повні втрати в вентилі інверторного блока

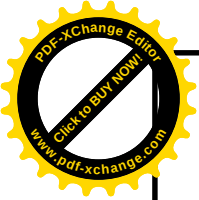
$$\Delta P_{\text{вн}} = 1,03 \cdot \Delta P_{\text{пр}} = 1,03 \cdot 4050 = 4170 \text{ Вт.}$$

Максимальна можлива температура навколишнього середовища (температура повітря навколо агрегату) $\theta_{\text{cp}} = +40^0 \text{ С}$. Навколо блоку вентилів температура вище на $10 \dots 20^0 \text{ С}$. Більший перепад при природній конвекції повітря і менший – при великій швидкості обдування. Приймаємо перепад $\Delta \theta_a = 15^0 \text{ С}$.

Перепад температур від рп – структури вентиля до навколишнього повітря визначається тепловим законом Ома

$$\Delta \theta_v = \Delta P_v \cdot R_T.$$

					141.4301з.КРБ.ПЗ.Р4	Лист 52
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		



Максимальна температура структури

$$\Delta\theta_{\text{pn}} = \Delta\theta_{\text{cp}} + \Delta\theta_{\text{a}} + \Delta P_{\text{vh}} \cdot R_{\text{T}} = 40 + 15 + 111 \cdot 0,044 = 60^{\circ}\text{C} < \theta_{\text{pn}}.$$

Запас температури 18° достатній. Занадто великий запас означає недовикористання вентилів по струму, занадто малий ускладнює захист і знижує надійність. Оптимальним можна вважати запас $\theta = 10 \dots 20^{\circ}\text{C}$.

Повторювальна напруга

$$U_{\text{п}} = 1,35 \cdot \sqrt{2} \cdot U_1 = 1,35 \cdot \sqrt{2} \cdot 228 = 435,3 \text{ В.}$$

Вибираємо тиристори п'ятого класу ($U_{\text{п}} = 500\text{В}$; $U_{\text{р}} = 400\text{В}$) та групу АТ720НТ ($t_{\text{в}} = 70 \text{ мкс}$).

Значення кута запирання

$$\delta = \omega \cdot t_{\text{в}} = 360^{\circ} \cdot 50 \cdot 70 \cdot 10^{-6} = 1,26^{\circ}.$$

Мінімально допустимий кут запирання

$$\delta = 1^{\circ}15'.$$

Цілком прийнятний з точки зору комутаційної стійкості при розрахунковому $\beta_{\text{min}} = 26^{\circ}37'$.

Комутуючі конденсатори встановлені на первинній стороні трансформатора, в контур комутації входять тільки індуктивності двох шин. Конструктивно в інверторі такої потужності блок конденсаторів буде віддалений від блоку вентилів на довжину шин 1,5 м і можна очікувати, що індуктивність однієї шини буде не менше 2,5...3 мкГн. Приймаємо індуктивність контуру комутації $L_{\text{к}} = 5 \text{ мкГн}$.

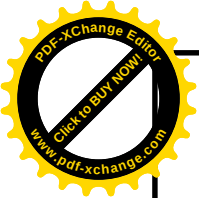
Максимальна комутуюча напруга

$$U_{\text{к}} = \sqrt{2} \cdot U_1 \cdot \sin \beta_{\text{max}} = \sqrt{2} \cdot 228 \cdot \sin 50^{\circ}40' = 250 \text{ В.}$$

Максимальна швидкість наростання прямого струму

$$\left(\frac{di}{dt} \right)_{\text{max}} = \frac{U_{\text{к}}}{L_{\text{к}}} = \frac{250}{5} = 50 \text{ А/мкс.}$$

					141.4301з.КРБ.ПЗ.Р4	Лист 53
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		



Вибираємо групу 3 по критичної швидкості наростання прямого струму.
У цієї групи

$$\left(\frac{di}{dt}\right)_{\text{кр}} = 70 \text{ А/мкс} > \left(\frac{di}{dt}\right)_{\text{max}}$$

Лінійна напруга

$$u = \sqrt{2} \cdot U_1 \cdot \sin \omega t = \sqrt{2} \cdot 228 \cdot \sin 314t$$

При $t = 0$

$$\left(\frac{du}{dt}\right)_{t=0} = \sqrt{2} \cdot 228 \cdot 314 \cdot \cos 0^0 = 101250 \text{ В/с} \cong 0,1 \text{ В/мкс}$$

В інверторному блоці можна використати тиристори АТ720НТ ГОСТ 14069-72.

4.5. Розрахунок і проектування пристрою, що компенсує

Реактивна потужність пристрою

$$Q_{\text{ку}} \cong Q_{\text{с}} = 11680 \text{ квар.}$$

Величина еквівалентної індуктивності реактора для трифазних схем

$$L_{\text{кзо}} = \frac{3 \cdot U_{\text{лк}}^2}{\omega \cdot Q_{\text{ку}}} = \frac{3 \cdot 228^2}{314 \cdot 11229} = 0,404 \text{ мкГн.}$$

де $U_{\text{лк}} = U_1 = 228 \text{ В}$ – діюче значення напруги на фазі КУ

Величина індуктивності компенсуючого пристрою

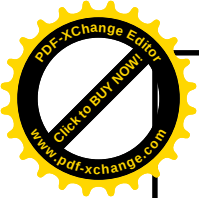
$$L_{\text{к}} = L_{\text{кзо}} \cdot \left(1 - \frac{2 \cdot \alpha_0}{\pi} - \frac{\sin 2\alpha_0}{\pi}\right) = 0,404 \cdot \left(1 - \frac{2 \cdot 20}{180} - \frac{\sin 40^0}{\pi}\right) = 0,23 \text{ мкГн.}$$

де $\alpha_0 = 20^0$ – початковий кут регулювання.

Чинне значення струму в обмотці реактора

$$\begin{aligned} I_{\text{лк}} &= \frac{\sqrt{2} \cdot U_{\text{лк}}}{\omega \cdot L_{\text{к}}} \cdot \sqrt{\frac{1}{2} - \frac{\alpha_0}{\pi} - \frac{3}{2 \cdot \pi} \cdot \sin 2\alpha_0 + \left(1 - \frac{2\alpha_0}{\pi}\right) \cdot \sin^2 \alpha_0} = \\ &= \frac{\sqrt{2} \cdot 228}{314 \cdot 0,23 \cdot 10^{-3}} \cdot \sqrt{\frac{1}{2} - \frac{20}{180} - \frac{3}{2 \cdot \pi} \cdot \sin 40^0 + \left(1 - \frac{40}{180}\right) \cdot \sin^2 20} = 1860 \text{ А} \end{aligned}$$

					141.43013.КРБ.ПЗ.Р4	Лист 54
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		



Типова потужність реактора

$$P_{\text{тк}} = L_{\text{к}} \cdot I_{\text{лк}}^2 = 0,23 \cdot 10^{-3} \cdot 1860^2 = 787,2 \text{ Дж.}$$

Максимальна амплітуда напруги на обмотці реактора

$$U_{\text{лкм}} = \sqrt{2} \cdot U_{\text{лк}} \cdot \cos \alpha_0 = \sqrt{2} \cdot 228 \cdot \cos 20^\circ = 303 \text{ В.}$$

Струм компенсатора максимальний при $\alpha = \alpha_0$. Його середнє значення

$$\begin{aligned} I_{\text{нлк}} &= \frac{\sqrt{2} \cdot U_{\text{лк}}}{\omega \cdot L_{\text{к}}} \cdot \left(\frac{\cos \alpha_0}{\pi} + \frac{\alpha_0}{\pi} \cdot \sin \alpha_0 - \frac{1}{2} \cdot \sin \alpha_0 \right) = \\ &= \frac{\sqrt{2} \cdot 228}{314 \cdot 0,2310^{-3}} \cdot \left(\frac{\cos 20^\circ}{\pi} + \frac{20}{180} \cdot \sin 20^\circ - \frac{1}{2} \cdot \sin 20^\circ \right) = 742,8 \text{ А} \end{aligned}$$

Втрати в КУ

$$\Delta P_{\text{пр}} = I_{\text{в}} \cdot U_0 + I_{\text{в}\partial}^2 \cdot R_{\partial}$$

де середнє значення струму тиристора КУ $I_{\text{в}} = I_{\text{нлк}} = 742,8 \text{ А}$;

діюче значення цього струму

$$I_{\text{в}\partial} = \frac{I_{\text{лк}}}{\sqrt{2}} = \frac{742,8}{\sqrt{2}} = 525,2 \text{ А.}$$

Тоді

$$\Delta P_{\text{пр}} = 742,8 \cdot 1 + 525,2^2 \cdot 44 \cdot 10^{-5} = 863,9 \text{ Вт.}$$

Імпульси струму КУ мають форму верхівок синусоїди

$$i_{\text{кпр}} = \frac{\sqrt{2} \cdot U_{\text{лк}}}{\omega \cdot L_{\text{к}}} \cdot \sin \omega t$$

Максимальна швидкість наростання струму

$$\frac{di_{\text{к}}}{dt} = \frac{\sqrt{2} \cdot U_{\text{лк}}}{L_{\text{к}}} \cdot \cos \alpha_0 = \frac{\sqrt{2} \cdot 228}{0,23 \cdot 10^{-3}} \cdot \cos 20^\circ = 1317391,3 \text{ А/с} = 1,317 \text{ А/мкс}$$

Повні втрати в вентилях КУ

$$\Delta P_{\text{вк}} = \Delta P_{\text{пр}} = 863,9 \text{ Вт.}$$

Повторювана напруга на вентилях рівна амплітуді лінійного із запасом на перенапругу

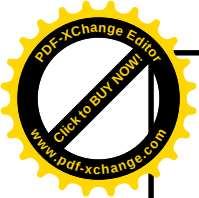
$$U_{\text{н}} = 1,25 \cdot \sqrt{2} \cdot U_1 = 1,25 \cdot \sqrt{2} \cdot 228 = 403 \text{ , В.}$$

					141.4301з.КРБ.ПЗ.Р4	Лист 55
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

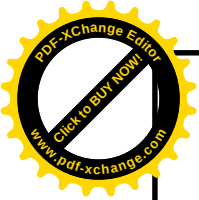


Висновок: обрані елементи перетворювача частоти задовольняють вимогам до них.

					141.4301з.КРБ.ПЗ.Р4	Лист
						56
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		



					14.1.4.301з.КРБ.ПЗ.Р5			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Студент		Лисенко М.С.			5. Охорона праці	Літ.	Арк.	Аркушів
Консультант							57	
Керівник		Чекунов В.К.				НН ІАЕ НУК		
Зав. каф.		Обрубов А.В.						



5. ОХОРОНА ПРАЦІ

Небезпечні і шкідливі виробничі фактори.

До числа типових небезпечних і шкідливих виробничих факторів у суднобудуванні можна віднести:

роботу на відкритих будівельних місцях і в добудовчих набережних, не захищених від метеорологічних умов, у результаті чого виникають перегрівання і переохолодження тіла, простудні і легеневі захворювання;

роботу на значній висоті з лісів при формуванні корпусу судна, монтажі надбудов і устаткування, а також агрегуванні машин і механізмів і інших робіт, що може привести до падінь і одержання важких травм;

роботу в замкнутому і важкодоступному судновому відсіках і приміщеннях — подвійному дні, бортових цистернах, виконувану в незручних робочих позах, що викликає додаткові фізичні навантаження і передчасну утому.

У суднобудуванні робітники великого числа професій піддаються одночасному впливу цих і інших небезпечних і шкідливих виробничих факторів (фізичних, хімічних, біологічних і психологічних).

До небезпечних *фізичних факторів* відносяться:

машини, що рухаються, і механізми, рухливі частини виробничого устаткування, переміщувані вироби і заготівлі;

підвищена запиленість і загазованість повітря робочої зони від зварювання, газового різання, фарбувальних робіт;

підвищена чи знижена температура конструкцій корпусу і поверхонь устаткування;

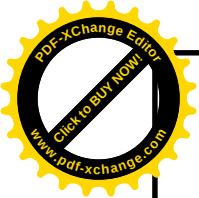
підвищена чи знижена температура повітря робочої зони;

підвищені рівні шуму і вібрацій на робочому місці;

підвищені чи знижені вологість і рухливість повітря;

підвищений рівень іонізуючих і електромагнітних випромінювань у

					141.4301з.КРБ.ПЗ.Р5	Лист
						58
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		



робочій зоні;

підвищені напруги в електричному ланцюзі;

підвищений рівень статичної електрики;

недостатня освітленість робочої зони;

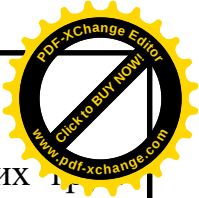
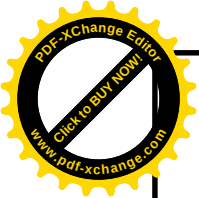
гострі краї, шорсткість на поверхнях деталей і конструкцій.

У число *небезпечних хімічних* і шкідливих виробничих *факторів* входять токсичні, подразнювальні і канцерогенні (що викликають рак) речовини. Вони проникають в організм через органи подиху, шлунково-кишковий тракт, слизову оболонку і шкірні покриви. Відносно шкідливі при цьому очисні, фарбувальні й ізоляційні роботи, зв'язані з застосуванням різних розчинників, клеїв і інших синтетичних матеріалів і смол. З небезпечних виробничих операцій тут потрібно відзначити нанесення різних покриттів пульверизацією, у тому числі напилювання (при будівлі суден із пластмас).

Біологічні небезпечні фактори — мікроорганізми і продукти їхньої життєдіяльності — не типові для суднобудівного виробництва, однак їх теж варто враховувати при оцінці умов праці.

Психофізіологічні фактори трудової діяльності (фізичні і нервово-психічні перевантаження) виявляються як шкідливі і небезпечні по-різному в різних груп працюючих. Фізичні перевантаження характерні для суднових збирачів, що працюють із пневматичним інструментом, для електрозварювачів і малярів. До важкої фізичної праці додаються навантаження від змушеної незручної робочої пози при роботі на судах: похилої, на колінах, лежачи. Деяким легше працювати при монтажі на судах механічного електроустаткування, суднових систем. Малі обсяги робочого простору, скрутність у русі і волі переміщення, одночасна робота кількох людей у невеликих суднових приміщеннях викликають також нервово-психічну напругу і перевантаження нервової системи. Необхідно сказати і про статичні перевантаження верстатників і робітників інших спеціальностей, зайнятих на постійних робочих місцях. У цих працівників рухаються тільки кисті рук і передпліччя, а все тіло

					141.4301з.КРБ.ПЗ.Р5	Лист 59
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

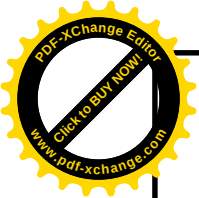


статичне. Від подібного нерівномірного завантаження різних м'язових груп погіршується робота серцево-судинної і дихальної систем, виникає атеросклероз у молодих людей. Нервово-психічні перевантаження (розумові, емоційні перевантаження) притаманні працівникам розумової праці — інженерам і технікам, співробітникам проектно-конструкторських і науково-дослідних організацій. Серед них часті випадки захворювання інфарктом міокарда. Основними причинами цього є важкий психологічний клімат у колективах, а також неправильний режим праці і відпочинку.

Комплексний вплив небезпечних і шкідливих виробничих факторів веде до загальної і професійної захворюваності, а також до виробничого травматизму працюючих. З загальних захворювань найбільші втрати робочого часу приходяться на гострі респіраторні і серцево-судинні захворювання, а найбільш розповсюдженими професійними хворобами є пневмокониози (захворювання легень). Деякі небезпечні і шкідливі фактори сприяють розвитку і загостренню ряду інших захворювань. Так, встановлено, що з впливом шуму зв'язаний розвиток гіпертонічної хвороби, а перевищення припустимого рівня шуму на 10...20 дБ викликає додаткову втрату працездатності майже на три дні в році в одного працюючого. Перевищення припустимої температури на 1 °С приводить до збільшення втрат робочого часу одного працюючого через серцево-судинні захворювання більш ніж на чотири дні в році.

Серйозний негативний наслідок несприятливих умов праці – плинність робочої сили. Незадоволеність організацією й умовами праці, відсутність перспектив для росту кваліфікації викликають майже одну третину звільнень.

При цьому залишають роботу, як правило, найбільш досвідчені і кваліфіковані робітники, яким легше влаштуватися на новому місці. Збиток від плинності робочої сили росте. При переході на іншу роботу продуктивність праці знижується, з'являється необхідність у професійному навчанні.



5.1. Безпека праці при суднових електромонтажних роботах

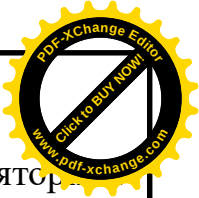
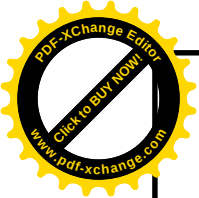
Суднові електромонтажні роботи включають: монтаж і ремонт електро- і радіоустаткування; роботи в діючих електротехнічних установках; іспити й обслуговування електричних машин, електророзподільних пристроїв і мереж напругою до 1000В; обслуговування акумуляторів; іспит і застосування в електрорадіотехнічних установках захисних засобів; настроювально-регулювальні роботи і складальні роботи з виробами під напругою.

До основних небезпечних і шкідливих виробничих факторів при електро- і радіомонтажних роботах відносяться:

- підвищена напруга електричного струму;
- підвищена напруженість електричних і електромагнітних полів;
- розташування робочих місць на висоті;
- несприятливі метеорологічні умови при роботах на відкритому повітрі при добудуванні суден;
- необхідність у ряді випадків вести монтаж електроустановок у тісних суднових приміщеннях у незручній робочій позі;
- забруднене повітряне середовище, шум і вібрація, шкідливі випромінювання на робочих місцях.

Допуск до робіт. Працівники, що обслуговують електроустановки, зобов'язані знати правила техніки безпеки при експлуатації електроустановок. У залежності від мінімального стажу роботи з електроустановками їм привласнюється одна з п'яти кваліфікаційних груп: група I – при відсутності стажу; група II – стаж 1 місяць; група III – стаж 2 місяці в попередній групі; група IV – стаж 3 місяці в попередній групі; група V – стаж 1 рік у попередній групі.

Усі, що пройшли перевірку знання Правил, одержують посвідчення. У посвідченні також робиться запис про дозвіл на спеціальні роботи, до яких відносяться: верхолазні роботи; роботи під напругою (чищення, заміна



ізоляторів, ремонт проводів, контроль вимірювальною штангою ізоляторів, сполучних затисків, змащення тросів); іспиту устаткування підвищеною напругою.

Обслуговуючі електроустановку напругою до 1000В повинні мати кваліфікаційну групу III; огляд електроустановок здійснюється черговим і оперативно-ремонтним персоналом із групою III і адміністративно-технічним персоналом із групою V.

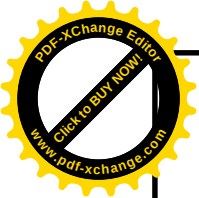
Роботи в електроустановках можуть проводитися зі зняттям напруги; під напругою на струмоведучих частинах; без зняття напруги на не струмоведучих частинах. Роботи в електроустановках під напругою виконують не менш двох чоловік, причому керівник повинний мати групу IV, а інші учасники – групу III. Напруга на електроустановку не повинне подаватися без попередження.

Засоби захисту в електроустановках. По характеру застосування розрізняють засоби колективного й індивідуального захисту.

Індивідуальні електрозахисні засоби можуть бути ізолюючі, що обгороджують і допоміжні. Ізолюючі призначені для ізоляції працюючих від електроустановок під напругою, а також для ізоляції від землі. За забезпечення персоналу перевіреними і випробуваними засобами захисту, організацію їхнього правильного збереження і своєчасні періодичні огляди відповідають начальники цехових служб і майстра.

Всі ізолюючі засоби, що знаходяться в експлуатації, (за винятком підставок, плакатів і знаків безпеки) повинні бути пронумеровані і зареєстровані в журналі (зазначена дата видачі електрозахисного засобу і підпис особи, що одержала його). Засоби захисту необхідно піддавати періодичним і позачерговим (після ремонту) іспитам. Використовувані на відкритому повітрі в сиру погоду засоби захисту повинні відповідати саме цим умовам.

					141.4301з.КРБ.ПЗ.Р5	Лист
						62
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		



Перед тим як використовувати захисний засіб, варто перевірити клейму, в установках якої напруги допускається його застосування, а також чи не закінчився термін його періодичного іспиту.

Не можна перевіряти відсутність напруги за допомогою контрольних ламп (патрон з лампою накаливання і двома провідниками), тому що при включенні на міжфазну напругу вони можуть вибухнути. Показчики напруги можна застосовувати двох типів: двополюсні, що працюють при активному струмі, і однополюсні, працюючі при ємнісному перемінному струмі.

Переносні заземлення призначені для захисту людей, що працюють на відключених струмоведучих частинах, від помилково поданої чи наведеної напруги.

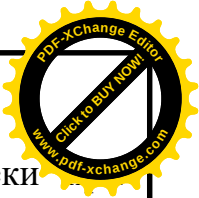
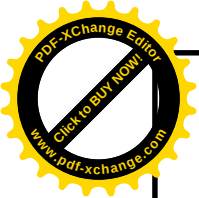
Дерев'яні пристрої, щити, що обгороджують - використовують для запобігання випадкового наближення людей до струмоведучих частин, що знаходиться під напругою, а також для перекриття входу на ділянки розподільних пристроїв.

До допоміжних засобів відносяться плакати і знаки безпеки. Їх застосовують для заборони дій з комутаційними апаратами (рубильниками, вимикачами), при помилковому включенні яких може бути поданий струм на місце робіт. Крім того, плакати і знаки попереджають про небезпеку наближення до струмоведучих частин, що знаходиться під напругою.

Обов'язки керівника. В обов'язки керівника по забезпеченню безпеки робіт входять: видача убрانی і розпоряджень; видача дозволів на підготовку робочих місць; допуск до роботи; нагляд під час роботи.

Наряд-допуск до роботи з підвищеною небезпекою — це складене на спеціальному бланку завдання на безпечне виробництво роботи. Воно визначає зміст роботи, місце, час її початку і закінчення, склад бригади. В убранні приведені також необхідні міри безпеки і прізвища, відповідальних за безпеку виконання роботи. Форма наряду-допуску і вказівки по його заповненню приведені в Правилах техніки безпеки при експлуатації установок.

					141.43013.КРБ.ПЗ.Р5	Лист
						63
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		



Розпорядження разового характеру про необхідні міри безпеки виконанні роботи, що доручається, віддаються щодня. В електроустановках з місцевим черговим персоналом убрання і розпорядження враховують у спеціально призначеному для цього журналі. Право видачі убрень і розпоряджень надано адміністративно-технічним працівникам, що мають групу V.

До початку електромонтажних, радіомонтажних і електро- радіо-монтажних робіт на судні вводяться в дію тимчасові системи електропостачання, і забезпечується телефонний зв'язок з берегом. До моменту прийняття напруги на головний розподільний щит судно повинне бути забезпечене передбаченими захисними засобами.

До робіт у діючих електроустановках на судах допускаються особи не молодше 18 років, що пройшли медичний огляд, навчання і перевірку знань по охороні праці а також мають посвідчення на право виконання робіт в електроустановках із указівкою кваліфікаційної групи.

Безпека робіт зі зняттям напруги. При підготовці робочих місць необхідно:

відключити комутаційну апаратуру (автомати, рубильники, вимикачі) і вжити заходів, що перешкоджають помилковому чи мимовільному її включенню;

на приводах ручного і на ключах дистанційного керування комутаційною апаратурою вивісити забороняючі плакати;

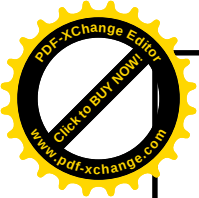
перевірити відсутність напруги на струмоведучих частинах;

накласти заземлення, у тому числі установити переносні заземлення;

вивісити застережливі плакати і відгородити струмоведучі частини, що залишилися під напругою.

В електроустановках напругою до 1000В с струмоведучих частин, на яких буде вироблятися робота, знімають напругу, відключаючи комутаційні апарати з ручним приводом. Якщо в схемі є запобіжники, їх знімають, якщо немає — для запобігання помилкового включення комутаційних апаратів замикають чи

					141.4301з.КРБ.ПЗ.Р5	Лист
						64
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		



рукоятки двері шафи, або встановлюють ізолюючі прокладки між контактами. На відключених автоматах, рубильниках, вимикачах повинні бути вивішені плакати «Не включати — працюють люди». На приєднаннях, що не мають комутаційної апаратури, плакати поміщають у знятих запобіжників. При використанні тимчасових огорожень вивішують плакати «Стій! Небезпечно для життя». Підготовлене робоче місце постачають плакатом «Працювати тут».

Навколо головних розподільних щитів, пультів, приладів суднової електроавтоматики в робочій зоні (зоні обслуговування) чи палубу настили покривають діелектричними ковдрами з рифленої маслостійкої гуми. Якщо підлога слизька, необхідно посипати її. Одяг, взуття і руки працюючого повинні бути сухими; носити каску обов'язково.

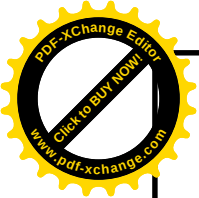
У безпосередній близькості від пультів і щитів в обладнаних місцях повинні зберігатися необхідні захисні засоби й інструменти — діелектричні рукавички, індикатори напруги з не минулим терміном придатності. Робота допускається тільки справним інструментом з ізолюючими рукоятками. Потрібно перевірити достатність загального і місцевого освітлення, наявність і справність розеток для включення переносних світильників, трансформаторів і електроінструмента. Не допускається робота в приміщеннях судна, повітря яких насичений пилом, шкідливими парами і газами.

Безпека електромонтажних робіт. При розмотуванні кабелю небезпечно ставити ноги під барабан. Кабель варто кріпити на підвісках, а кінці панцирних кабелів — зашпаровувати ізоляційною стрічкою.

При затягуванні кабелю через отвори не можна братися за кабель рукою поблизу сальника; затягування панцирних кабелів потрібно робити в рукавицях.

При роботі можна користатися паяльною лампою, якщо вона має запобіжний клапан і немає витоку пального. Гасову лампу варто заправляти тільки гасом. Не можна додавати пальне в палаючу чи не цілком остиглу лампу і залишати палаючу лампу без нагляду. При роботі з паяльною лампою в

					141.4301з.КРБ.ПЗ.Р5	Лист
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		65



пофарбованих суднових приміщеннях необхідно установити місцевий витяжний вентилятор.

Перед початком роботи потрібно зробити необхідні відключення, накласти захисне заземлення і відгородити ізоляційним матеріалом відкриті струмоведучі частини, не призначені для роботи. Апаратуру дистанційного керування відключають, знімаючи запобіжники.

Відсутність напруги необхідно перевіряти між фазами і на кожній фазі стосовно корпусу. Перевірку проводять переносним вольтметром або індикатором напруги, розрахованими на номінальну напругу мережі.

При роботі з електроапаратурою, що має конденсатори, потрібно спочатку розрядити їх на корпус: заземлювач приєднати до корпусу, а потім до висновку конденсатора.

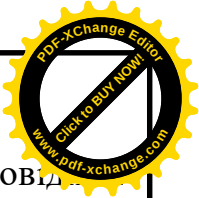
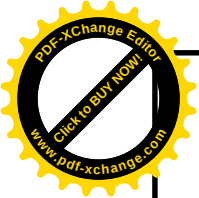
Під час роботи електроустаткування не можна знімати захисні кожухи й огороження; запобіжники можна замінювати тільки при знятому навантаженні в захисних окулярах і діелектричних рукавичках.

Особливої обережності вимагає робота на не відключених струмоведучих частинах. Така робота виконується тільки в аварійних випадках під спостереженням чи майстра бригадира, що має кваліфікаційну групу не нижче IV; кваліфікаційна група виконавця повинна бути не нижче III. Ці роботи не можна проводити в сирих приміщеннях, у приміщеннях зі струмопровідним пилом і хімічно активними парами, а також у пожежно - і вибухонебезпечних приміщеннях.

Виконуючи роботу на струмоведучих частинах однієї фази (полюса), не можна стосуватися струмоведучих частин інших фаз, для чого останні повинні бути обгороджені. Потрібно уникати доторкань до навколишнього предметам і людям, що стоять на неізольованих поверхнях.

Обов'язкове застосування електромонтажниками гумових ізолюючих ковдр чи ізолюючих підставок, а також інструментів з ізолюючими рукоятками. Забороняється робота на не відключених струмоведучих частинах з

					141.4301з.КРБ.ПЗ.Р5	Лист 66
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		



використанням ножівок, напилків, металевих лінійок, інших струмопровідних інструментів.

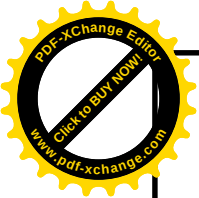
Вимоги безпеки на швартовних іспитах. До початку іспитів електричних машин, електророзподільних пристроїв і мереж на судах спеціальна комісія оформляє акт про готовність до прийому електроенергії на головний розподільний щит. Увесь час, поки щит знаходиться під напругою, біля нього несуть безупинну вахту працівники з кваліфікаційною групою III. Цей же персонал забезпечує огляд електричних машин і пристроїв, обслуговування і відхід за ними. Акумуляторні батареї обслуговують працівники з кваліфікаційною групою не нижче III, що мають спеціальну підготовку. В акумуляторних приміщеннях не можна курити і користатися електронагрівальними приладами.

Обслуговуючий персонал веде акумуляторний журнал по кожній батареї. Акумуляторна батарея забезпечується: ареометрами і термометрами для виміру щільності і температури електроліту; переносним вольтметром постійного струму; переносною герметичною електролампю з запобіжною сіткою або акумуляторним ліхтарем; скляним кухлем і гумовою грушею для долівки й відсосу електроліту; запобіжним склом для покриття елементів.

Усі роботи із сірчаною кислотою і її збереження необхідно здійснювати у відповідності зі спеціальною інструкцією. Кислота повинна зберігатися в окремих приміщеннях тільки в щільно закупорених скляних суліях з чи латами в плетених кошиках з ручками для підйому сулій. При складанні розчину забороняється уливати воду в кислоту; кислоту потрібно вливати з кухля місткістю 1...2 л. у судину з водою тонким струменем. Працювати з кислотою й електролітом потрібно в захисній масці, гумових чоботях і рукавичках, костюмі з кислотостійкого матеріалу. У випадку влучення електроліту на чи руки обличчя їх потрібно відразу ж промити содовим розчином і потім прісною водою. Для цього поблизу повинна знаходитися ємність з 5 %-м розчином соди.

Вентиляція акумуляторних приміщень включається за 15 хв. до початку

					141.4301з.КРБ.ПЗ.Р5	Лист 67
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		



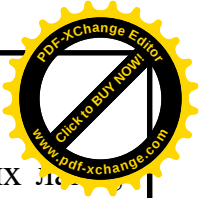
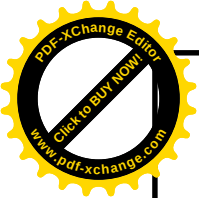
зарядки і виключається через 2...4 г. послуги її закінчення.

Перед початком іспитів електричних машин (генераторів і двигунів) необхідно установити огороження на обертові частини; установити всі передбачені кресленнями запобіжники; перевірити і відрегулювати захист (максимальну, мінімальну, зворотного струму, потужності, перевантаження) і дія блокування. Пуск електродвигунів, з'єднаних з механічним устаткуванням (насосами, компресорами і т.п.), варто робити в присутності і з дозволу особи, що монтує устаткування.

При іспиті електророзподільних пристроїв вивішують попереджувальні плакати. Пристрої оглядають удвох на випадок аварійного відключення і надання допомоги потерпілим при нещасливому випадку.

Виміри переносними приладами в судових установках роблять з дотриманням правил безпеки. Якщо вимірювальні прилади (наприклад, амперметри) приєднують і від'єднують з розривом первинного ланцюга, то напругу знімають цілком. Приєднання приладів, не потребуючого розриву первинного ланцюга, роблять в окулярах з використанням захисних діелектричних засобів. Металеві корпуси приладів повинні бути заземлені, а корпус з діелектричного матеріалу— надійно ізольовані. Опір ізоляції потрібно вимірювати, коли призначена для виміру частина електроустановки відключена від джерел напруги.

Специфічні вимоги безпеки пред'являють при ходових іспитах суден. Керівникам робіт – майстрам, бригадирам – потрібно ще раз перевірити знання персоналом правил техніки безпеки й інструкцій з обслуговування електроустаткування, установок і мереж. Крім того, на ходу судна виникають небезпечні додаткові і шкідливі фактори: вітер і хвилювання моря, дощ і зледеніння палуб і трапів, особливо небезпечні при хитавиці судна. Категорично заборонені монтажні і настроювально-регулювальні роботи з електро- і радіоустаткування на щоглах, роботи на висоті. На ходу судна не можна готувати і переливати електроліт для акумуляторів, сірчану кислоту й



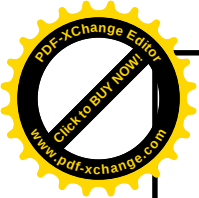
інші їдкі матеріали. Не допускаються роботи з використанням паяльних і електротиглей, усіх вогнебезпечних і легкозаймистих матеріалів. Устаткування і монтаж судових радіостанцій. При проектуванні судових засобів зовнішнього і внутрішнього зв'язку передбачають обмеження і контроль електромагнітних випромінювань, а також захисту від них.

Електромагнітна енергія високих, ультра – і надвисоких частот застосовується для радіозв'язку, радіомовлення і телебачення. При експлуатації високочастотного устаткування в робочих приміщеннях (радіорубках, агрегатних) і на робочих місцях можуть виникнути небезпечні електромагнітні полючи. Причиною цього є неякісне екранування високочастотних елементів у блоках передавачів, у розділових фільтрах, хвилеводах і фідерах. Установлені на судах головні і резервні (аварійні) антени підключаються до радіопередавачів і радіоприймачів, а для забезпечення живлення всіх радіозасобів зв'язку й одночасної зарядки акумуляторів на кожному судні передбачена подача електричної енергії від судової електростанції.

Для попередження професійної захворюваності електро- і радіомонтажників уживають наступних заходів: ретельно перевіряють, як виконане екранування джерел випромінювання усередині робітників приміщень, а також усувають усі нещільності у фланцевих з'єднаннях хвилеводного тракту і фідерів. Як засоби індивідуального захисту працюючих на нестационарних робочих місцях рекомендуються спецодяг з радіотехнічної тканини з металізованою ниткою й окуляри, скла яких покриті світлопрозорою плівкою, що відбиває.

Небезпека для людини представляє також наведена електрорушійна сила (ЕРС) чи наведений заряд унаслідок різниці потенціалів, що виникає на кінцях провідника, поміщеного в перемінне електромагнітне поле. Зі збільшенням частоти електромагнітного поля наведена ЕРС зростає, і небезпечні потенціали можуть виникнути на металевих конструкціях, що знаходяться в зоні дії радіо -, радіолокаційних антен і інших випромінювачів електромагнітних полів: на

					141.4301з.КРБ.ПЗ.Р5	Лист 69
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		



пілерсах, трапах, щоглах, вантажних стрілах і шлюпбалках. Найбільш небезпечні наведені заряди при роботах на висоті, вони можуть викликати важкі травми. Наведені заряди зменшують електричним з'єднанням і заземленням усіх металевих конструкцій судна, розташованих у зоні електромагнітних полів.

Настроювання апаратури засобів зовнішнього зв'язку і спостереження як роботу з підвищеною небезпекою виконують по наряду-допуску. Настроювання апаратури роблять два працюючих: фахівці, які знають схему апаратури, і електромонтажник із кваліфікаційною групою не нижче II. При регулюванні і перевірці апаратури, що знаходиться під струмом, жоден із працюючих не повинний виходити з чи приміщення відволікатися на сторонню роботу.

Перед настроюванням бригадир перевіряє, як відключаються елементи апаратури від джерел живлення і є чи на робочому місці індивідуальні захисні діелектричні засоби. Безпосередньо перед подачею напруги на апаратуру настроювачі ще раз вивчають схему живлення апаратури, схему блокування і сигналізації. Оглядом і вимірами перевіряють правильність підключення кабелів, надійність захисного заземлення корпусів устаткування й оболонок кабелів, що підходять до апаратури.

У місцях, де за схемою має бути висока напруга, до початку настроювання повинні бути повішені спеціальні розрядники у виді мідних гачків, закріплених на ізольованих стрижнях з ебоніту чи гетинаксу. Розрядника надійно заземлюють неізольованим гнучким проводом. Заземлення встановлюють на деталі схеми чи передавача після вимикання напруги перед дотиком до них руками, а також для розрядки конденсаторів.

Усі роботи під напругою роблять на ізолюючих підставках, а підлогу покривають гумовими ковдрами. Робота за огороженням допускається тільки у виняткових випадках. Рішення про неї може прийняти тільки старший настроювач – керівник настроювальних робіт з даної установки.

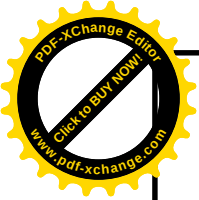
Після вимикання апаратури конденсатори розряджають, замикаючи на

					141.4301з.КРБ.ПЗ.Р5	Лист
						70
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		



землю струмоведучі частини спеціальним розрядником. Не можна розрядляти конденсатори, з'єднуючи їхні виводи металевими предметами без ізолюючих рукояток.

					141.4301з.КРБ.ПЗ.Р5	Лист
						71
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		



ВИСНОВКИ

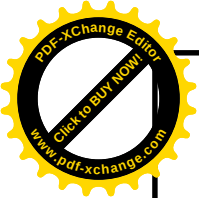
У роботі розглянуті питання проектування суднового привода підйому стандартних контейнерів, максимальна вага яких становить 34 тонни. По режиму роботи привода обраний виконавчий двигун – асинхронний короткозамкнений. Розраховані й побудовані статичні характеристики двигуна, перевірена можливість експлуатації двигуна по нагріванню.

Для пуску двигуна й зміни швидкості підйому й опускання запропонована система частотного керування асинхронним двигуном. Розраховані й побудовані механічні характеристики двигуна в режимі частотного керування.

Для регулювання частоти живлячої напруги розглядається інвертор з ланкою постійного струму. Розраховані елементи інвертора.

Також у роботі розглянуті питання охорони праці.

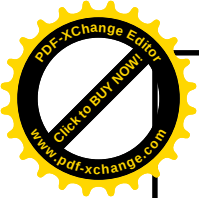
					141.4301з.КРБ.ПЗ	Лист
						72
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		



СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бондаренко Є. М., Сотник В. О. Автоматизований електропривод загальнопромислових механізмів : навч. посіб. Харків : Факт, 2012. 312 с.
1. Браславський І. Я., Кузнецов В. В., Ніконов О. Я. Електропривод : навч. посіб. Київ : Кондор, 2009. 496 с.
2. Бушер В., Хайдер Р. Регульований електропривод змінного струму / пер. з англ. Київ : Техніка, 2007. 398 с.
3. Жуйков В. Я., Денисюк С. П. Силова електроніка : підручник. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. 432 с.
4. Зінченко О. П. Основи силової електроніки : навч. посіб. Київ : Каравела, 2013. 384 с.
5. Козярук А. Є. Енергоефективні частотно-регульовані електроприводи : монографія. Харків : ХНУРЕ, 2017. 288 с.
6. Кузьо І. В., Мартинюк В. В. Електропривод виробничих машин : навч. посіб. Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2015. 268 с.
7. Лисенко О. М., Рудаков В. В. Асинхронний електропривод з частотним керуванням : навч. посіб. Дніпро : НГУ, 2013. 240 с.
8. Пересада С. М., Ковбаса С. М. Силова електроніка та мікропроцесорна техніка : навч. посіб. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. 350 с.
9. Пересада С. М., Ковбаса С. М., Бовкун В. П. Частотно-керований асинхронний електропривод : монографія. Київ : Ліра-К, 2016. 420 с.
10. Попович М. Г., Лозинський О. Ю. Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи : навч. посіб. Київ : Либідь, 2005. 680 с.
11. Садовий О. В. Системи керування асинхронними електроприводами : навч. посіб. Кременчук : КрНУ, 2014. 310 с.
12. Садовий О. В., Сохіна Ю. В. Теорія електропривода : навч. посіб. Кременчук : КрНУ, 2011. 296 с.

					141.43013.КРБ.ПЗ	Лист 73
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		



- 13.Ткаченко В. І. Напівпровідникові перетворювачі електроенергії : підручник. Харків : НТУ «ХПІ», 2010. 420 с.
- 14.Чумаченко В. П. Основи напівпровідникової техніки : навч. посіб. Одеса : Астропринт, 2008. 276 с.
- 15.Баранов Г. Л., Кузьменко В. В. Суднові допоміжні механізми та системи : навч. посіб. Миколаїв : НУК, 2016. 320 с.
- 16.Бугаєнко Б. О., Онищенко С. П., Шумський В. В. Суднові перевантажувальні комплекси та вантажні операції : навч. посіб. Одеса : Фенікс, 2013. 284 с.
- 17.Данько М. І., Малахов В. В. Суднові вантажопідйомні машини та механізми : навч. посіб. Миколаїв : НУК, 2014. 256 с.
- 18.Кузнецов В. Г., Белов О. В. Суднові палубні механізми : підручник. Херсон : Олді-Плюс, 2012. 348 с.
- 19.Шумський В. В., Бугаєнко Б. О. Технологія та механізація вантажних робіт на морському транспорті : навч. посіб. Одеса : Фенікс, 2015. 296 с.

					141.4301з.КРБ.ПЗ	Лист
						74
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		



					14.1.4.301з.КРБ.ПЗ.Д			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Студент		Лисенко М.С.			Додатки	Літ.	Арк.	Аркушів
Консультант							75	
Керівник		Чекунов В.К.				НН ІАЕ НУК		
Зав. каф.		Обрубов А.В.						



Додаток А

ПАРАМЕТРИ АСИНХРОННОГО ДВИГУНА

$$P_{2n} := 315.0 \quad \eta_n := 0.91 \quad \cos \phi := 0.89 \quad U_n := 380$$

$$f := 50 \quad p := 2 \quad m_k := 2.1$$

$$S_n := 0.02 \quad S_{кр} := 0.12 \quad \underline{i_n} := 5.7$$

$$j := 0.01 \quad n_1 := 1500 \quad n_n := n_1 \cdot (1 - S_n)$$

$$n_n = 1.47 \times 10^3 \quad \omega_n := \pi \cdot \left(\frac{n_n}{30} \right) \quad \omega_n = 153.938 \quad \omega_c := \frac{2 \cdot \pi \cdot f}{p}$$

$$\omega_c = 157.08 \quad M_n := \frac{P_{2n} \cdot 10^3}{\omega_n} \quad M_n = 2.046 \times 10^3$$

$$M_{кр} := m_k \cdot M_n \quad M_{кр} = 4.297 \times 10^3$$

$$\underline{I_n} := \frac{P_{2n} \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \eta_n \cdot \cos \phi} \quad I_n = 590.928 \quad \phi := \arccos(0.88)$$

$$I_{\pi} := i_n \cdot I_n \quad I_{\pi} = 3.368 \times 10^3$$

$$I_0 := I_n \cdot \left(\sin(\phi) - \frac{S_n \cdot \cos \phi}{S_{кр}} \right) \quad I_0 = 193.021$$



Додаток В

ПОБУДОВА МЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДВИГУНА

$$S := 1, 0.99 \dots 0.001 \quad \alpha = 0.952$$

$$k := \frac{\alpha \cdot \left(\frac{1}{S_{кр}} + S_{кр} \right) - 2}{1 - S_{кр}^2} \quad k = 6.139$$

$$M1(S) := \frac{2 \cdot M_{кр} \cdot (1 + a \cdot S_{кр})}{\left(\frac{S}{S_{кр}} \right) + \left(\frac{S_{кр}}{S} \right) + 2 \cdot a \cdot S_{кр}}$$

$$M(S) := \frac{2 \cdot M_{кр} + (S^2 - S_{кр}^2) \cdot k \cdot M_{кр}}{\left(\frac{S}{S_{кр}} \right) + \left(\frac{S_{кр}}{S} \right)}$$

$$I1(S) := \sqrt{\left[I_n^2 - (I_0)^2 \right] \cdot \frac{S \cdot M(S)}{S_n \cdot M_n}} + (I_0)^2$$



$M1 (S) =$

$1.163 \cdot 10^3$
$1.174 \cdot 10^3$
$1.185 \cdot 10^3$
$1.196 \cdot 10^3$
$1.208 \cdot 10^3$
$1.219 \cdot 10^3$
$1.231 \cdot 10^3$
$1.244 \cdot 10^3$
$1.256 \cdot 10^3$
$1.269 \cdot 10^3$
$1.282 \cdot 10^3$
$1.295 \cdot 10^3$
$1.308 \cdot 10^3$
$1.322 \cdot 10^3$
$1.336 \cdot 10^3$
$1.35 \cdot 10^3$
$1.365 \cdot 10^3$
$1.38 \cdot 10^3$
$1.395 \cdot 10^3$
...

$M (S) =$

$4.093 \cdot 10^3$
$4.07 \cdot 10^3$
$4.048 \cdot 10^3$
$4.025 \cdot 10^3$
$4.003 \cdot 10^3$
$3.982 \cdot 10^3$
$3.96 \cdot 10^3$
$3.939 \cdot 10^3$
$3.917 \cdot 10^3$
$3.896 \cdot 10^3$
$3.876 \cdot 10^3$
$3.855 \cdot 10^3$
$3.835 \cdot 10^3$
$3.815 \cdot 10^3$
$3.795 \cdot 10^3$
$3.775 \cdot 10^3$
$3.756 \cdot 10^3$
$3.737 \cdot 10^3$
$3.718 \cdot 10^3$
...

$I1 (S) =$

$5.588 \cdot 10^3$
$5.545 \cdot 10^3$
$5.502 \cdot 10^3$
$5.459 \cdot 10^3$
$5.416 \cdot 10^3$
$5.373 \cdot 10^3$
$5.33 \cdot 10^3$
$5.287 \cdot 10^3$
$5.245 \cdot 10^3$
$5.202 \cdot 10^3$
$5.16 \cdot 10^3$
$5.117 \cdot 10^3$
$5.075 \cdot 10^3$
$5.033 \cdot 10^3$
$4.991 \cdot 10^3$
$4.949 \cdot 10^3$
$4.908 \cdot 10^3$
$4.866 \cdot 10^3$
$4.825 \cdot 10^3$
...

$S =$

1
0.99
0.98
0.97
0.96
0.95
0.94
0.93
0.92
0.91
0.9
0.89
0.88
0.87
0.86
...

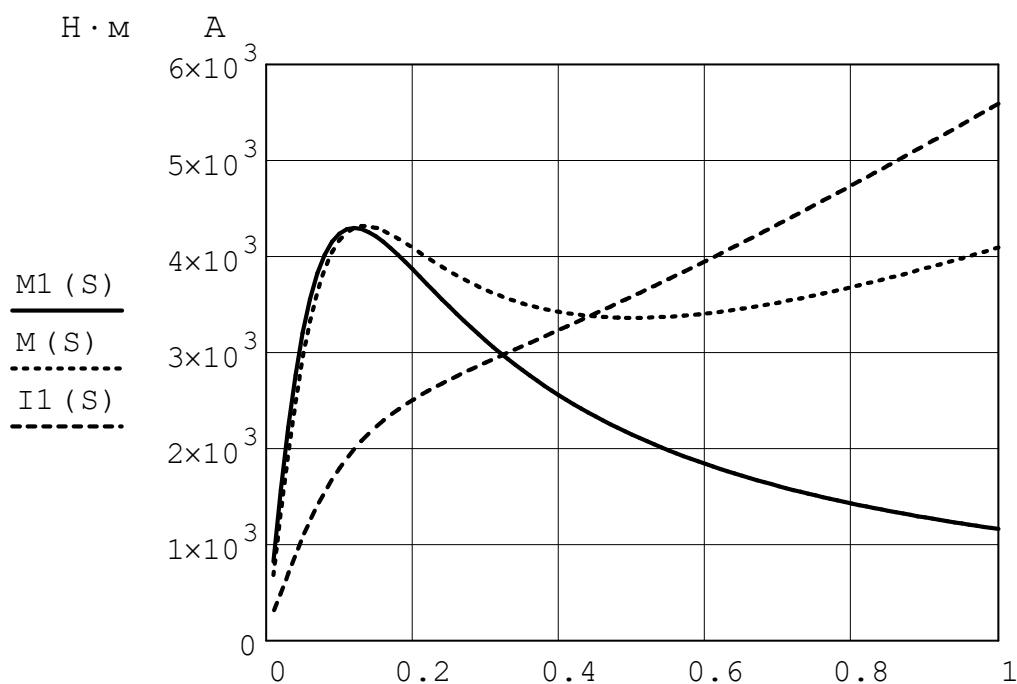


РИС.Д.1. ХАРАКТЕРИСТИКИ АСИНХРОННОГО ДВИГУНА:

1 - МЕХАНИЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА;

2 - ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА.



Додаток Г

ПОБУДОВА ХАРАКТЕРИСТИК ДВИГУНА ПРИ ЧАСТОТНОМУ РЕГУЛЮВАННІ

$$\alpha := 2$$

$$M_{кр} := 4297$$

$$M_{кр i}(\phi) := M_{кр} \cdot \phi$$

$$\omega_c := 157$$

$$S_{кр} := 0.12$$

$$\phi := 1, 0.8 \dots 0.4$$

$$\omega := 0, 5 \dots 160$$

$$M_{кр i}(\phi) =$$

$4.297 \cdot 10^3$
$3.438 \cdot 10^3$
$2.578 \cdot 10^3$
$1.719 \cdot 10^3$

$$\phi := 1$$

$$\omega_{c1} := \omega_c \cdot \phi$$

$$S(\omega) := \frac{\omega_{c1} - \omega}{\omega_{c1}}$$



$$Mf1(\omega) := \frac{2 \cdot M_{кр} \cdot \phi^2}{\frac{S(\omega) \cdot \phi}{S_{кр}} + \frac{S_{кр}}{S(\omega) \cdot \phi}}$$

$$\phi := 0.8$$

$$\omega_{c2} := \omega_c \cdot \phi$$

$$S(\omega) := \frac{\omega_{c2} - \omega}{\omega_{c2}}$$

$$Mf2(\omega) := \frac{2 \cdot M_{кр} \cdot \phi}{\frac{S(\omega) \cdot \phi}{S_{кр}} + \frac{S_{кр}}{S(\omega) \cdot \phi}}$$

$$\phi := 0.6$$

$$\omega_{c3} := \omega_c \cdot \phi$$

$$S(\omega) := \frac{\omega_{c3} - \omega}{\omega_{c3}}$$

$$Mf3(\omega) := \frac{2 \cdot M_{кр} \cdot \phi}{\frac{S(\omega) \cdot \phi}{S_{кр}} + \frac{S_{кр}}{S(\omega) \cdot \phi}}$$

$$\phi := 0.4$$

$$\omega_{c4} := \omega_c \cdot \phi$$

$$S(\omega) := \frac{\omega_{c4} - \omega}{\omega_{c4}}$$

$$Mf4(\omega) := \frac{2 \cdot M_{кр} \cdot \phi}{\frac{S(\omega) \cdot \phi}{S_{кр}} + \frac{S_{кр}}{S(\omega) \cdot \phi}}$$

$$Mf1(\omega) = Mf2(\omega) = Mf3(\omega) = Mf4(\omega) =$$

1.18·10 ³	1.167·10 ³	1.141·10 ³	1.072·10 ³
1.217·10 ³	1.213·10 ³	1.198·10 ³	1.142·10 ³
1.257·10 ³	1.262·10 ³	1.26·10 ³	1.22·10 ³
1.299·10 ³	1.314·10 ³	1.329·10 ³	1.305·10 ³
1.344·10 ³	1.372·10 ³	1.404·10 ³	1.397·10 ³
1.392·10 ³	1.434·10 ³	1.488·10 ³	1.494·10 ³
1.444·10 ³	1.501·10 ³	1.58·10 ³	1.59·10 ³
1.5·10 ³	1.575·10 ³	1.683·10 ³	1.672·10 ³
1.559·10 ³	1.656·10 ³	1.796·10 ³	1.718·10 ³
1.624·10 ³	1.745·10 ³	1.92·10 ³	1.681·10 ³
1.694·10 ³	1.843·10 ³	2.056·10 ³	1.495·10 ³
1.77·10 ³	1.951·10 ³	2.2·10 ³	1.083·10 ³



$1.852 \cdot 10^3$	$2.071 \cdot 10^3$	$2.345 \cdot 10^3$	430.918
$1.942 \cdot 10^3$	$2.204 \cdot 10^3$	$2.478 \cdot 10^3$	-340.66
$2.041 \cdot 10^3$	$2.351 \cdot 10^3$	$2.566 \cdot 10^3$	$-1.017 \cdot 10^3$
$2.149 \cdot 10^3$	$2.512 \cdot 10^3$	$2.555 \cdot 10^3$	$-1.459 \cdot 10^3$
...	...	...	...

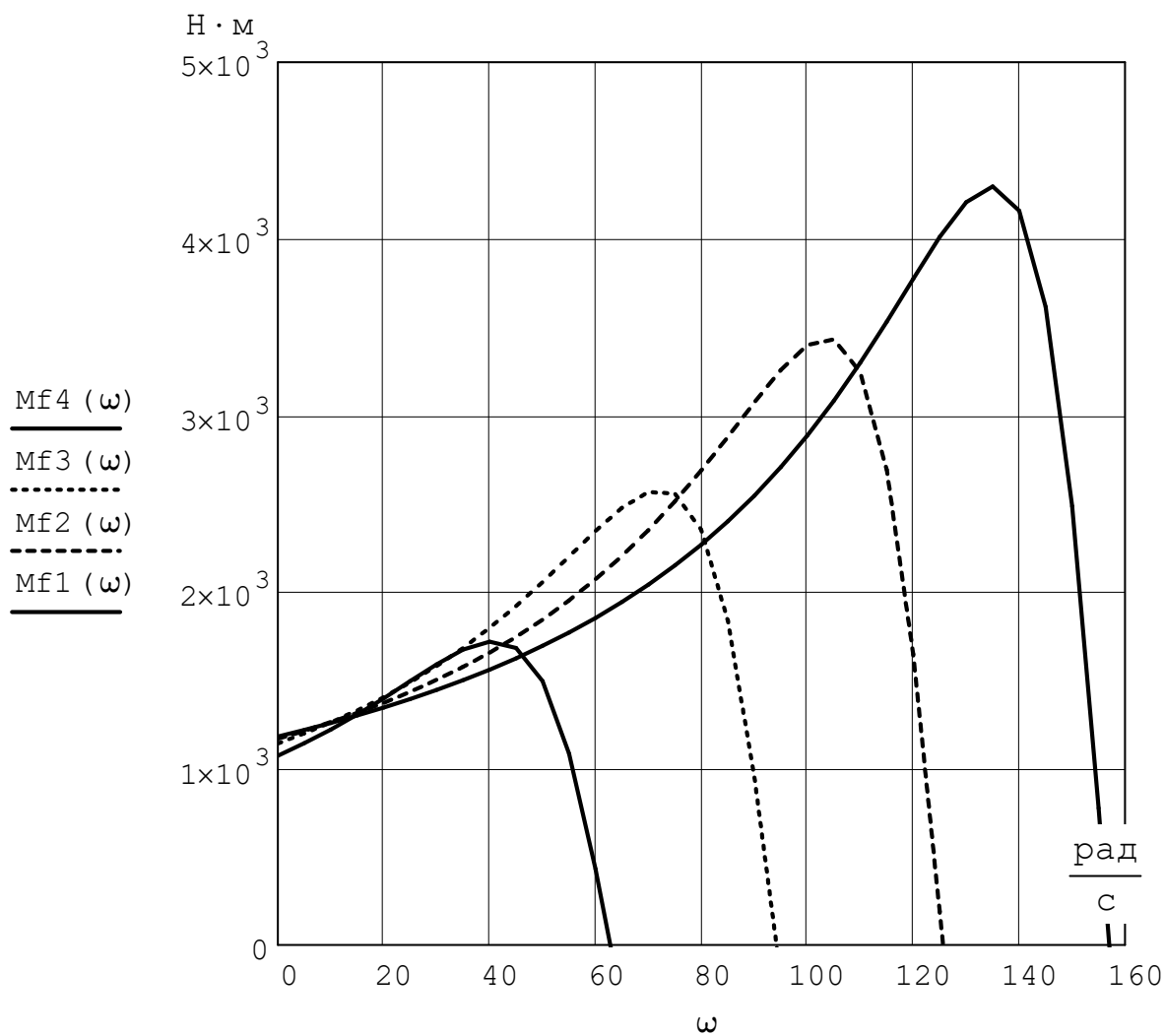


РИС.Д.2.МЕХАНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ
ДВИГУНА ПРИ ЧАСТОТНОМУ РЕГУЛЮВАННІ