View metadata, citation and similar papers at core.ac.uk
brought to you by CORE
provided by Electronic Institutional Repository of Admiral Makarov National University of Shipbuilding

Форма № Н-9.02

Міністерство освіти і науки України
Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова
Херсонська філія

Енерготехнічний факультет
кафедра автоматики та електроустаткування

Пояснювальна записка

кваліфікаційної роботи магістра

на тему: Електропривод суднової вантажної стріли та його модернізація

Здобувач **6** курсу, групи **6367зм**
спеціальності 141 "Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка"
(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)
Освітньо-професійна програма:
"Експлуатація суднових автоматизованих
(назва)
систем"

Здобувач Чернятін В.В.
(прізвище та ініціали)
Керівник Фролов О.М.
(прізвище та ініціали)
Рецензент Чудайкін І.І.
(прізвище та ініціали)

Херсон - 2020 рік

Форма № Н-9.01

Міністерство освіти та науки України

Національний університет кораблебудування ім. адмірала Макарова

Херсонська філія

(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет, відділення Енерготехнічний

Кафедра, циклова комісія Автоматики та електроустаткування

Освітньо-кваліфікаційний рівень другий (магістерський)

Галузь знань 14 Електрична інженерія

Спеціальність 141 "Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка"

(шифр і назва)

Освітньо-професійна програма "Експлуатація суднових автоматизованих систем "

(назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри автоматики

та електроустаткування

Михаліченко П.Є.

“____” _____2020 року

З А В Д А Н Н Я

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА

Чернятіну Василю Васильовичу

(прізвище, ім’я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) **Електропривод суднової вантажної стріли та його модернізація**

керівник проекту (роботи) Фролов Олександр Миколайович, к.т.н., доцент,

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від “ ” 2020 року №____

2. Строк подання студентом проекту (роботи) 05 грудня 2020 р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи): Вантажна стріла судна з потужністю 6 кВт .

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): Аналіз суднових підйомних механізмів. Характеристика судна. Особливості роботи вантажних стріл. Розрахунок електроприводу вантажної стріли. Розрахунок потужності та вибір типу двигуна. Розрахунок та побудова механічних характеристик електродвигуна. Визначення системи електропривода. Дослідження перехідних характеристик. Охорона праці та техніка безпеки. Висновки. Список використаних джерел

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов’язкових креслень)

Класифікація суднових вантажних пристроїв. Схеми вантажних стріл Кінематична схема лебідки стріли. Функціональна схема перетворювача частоти. Функціональні та структурні схеми систем керування електроприводом по струму та по швидкості. Механічні характеристики двигуна. Структурна схема системи ПЧ-АД при керуванні по швидкості.. Графіки перехідних процесів.

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1. Технічна частина	Фролов О.М.		
2. Охорона праці	Фролов О.М.		

7. Дата видачі завдання_____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1.	Аналіз вантажопідйомних механізмів на судні	05.10.2020 р.	
2.	Аналіз якірно-швартовного пристрою судна	10.10.2020 р.	
3.	Розрахунок параметрів електродвигуна	15.10.2020 р.	
4.	Розрахунок механічних характеристик	25.10.2020 р.	
5.	Побудова механічних характеристик	31.10.2020 р.	
6.	Визначення функціональних схем для керування	05.11.2020 р.	
	електроприводом установки		
7.	Визначення структурних схем для системи	10.11.2020 р.	
	керування електроприводом		
8.	Побудова та аналіз перехідних характеристик	20.11.2020 р.	
9.	Охорона праці	30.11.2020 р.	
10.	Оформлення ПЗ та графічного матеріалу	05.12.2020 р.	

Студент _____ Чернятін В.В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи) _____ Фролов О.М.
(підпис) (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна магістерська робота «Електропривод суднової вантажної стріли та його модернізація » складається з 5 розділів, містить 83 стор., та 23 посилання на джерела інформації. Рукопис.

В роботі розглянуто питання підвищення ефективності електроенергетичної системи керування роботою вантажних стріл науково-дослідного судна шляхом заміни двошвидкісного електродвигуна на одношвидкісний асинхронний двигун з короткозамкненим ротором та застосуванням сучасного перетворювача частоти Проведено розрахунок механічних характеристик двигуна для різних частот обертання, показано перехідні характеристики.

Також розглянуті питання охорони праці та техніки безпеки в надзвичайних ситуаціях.

Ключові слова: вантажна стріла, електропривод, механічні характеристики, схема керування.

ANNOTATION

The qualifying master's work "Modernization of the electric drive of ship cargo arrows" consists of 5 sections, contains 83 pages, and 23 links to information sources. Manuscript.

The paper considers the issues of increasing the efficiency of the electric power system for controlling the operation of the cargo arrows of a research vessel by replacing a two-speed electric motor with a single-speed asynchronous motor with a squirrel-cage rotor and using a modern frequency converter. The calculation of the mechanical characteristics of the engine for different speeds is carried out, the transient characteristics are shown.

Also reviewed. health and safety issues in emergency situations.

Key words: cargo boom, electric drive, mechanical characteristics, control scheme.

ЗМІСТ

		стор.
	Вступ	6
1	Електроприводи суднових підйомних механізмів та їх аналіз	8
1.1	Вимоги до електроприводів вантажопідйомних механізмів та типи електродвигунів для них	8
1.2	Класифікація суднових вантажопідйомних механізмів	11
2	Технічна характеристика судна та особливості роботи електроприводу вантажних стріл	17
2.1	Види та типи вантажних стріл суден	17
2.2	Характеристика судна	21
2.3	Характеристика електрообладнання судна	22
2.4	Характеристика об’єкта керування	25
2.5	Палубні вантажопідйомні механізми судна	29
2.6	Основні елементи автоматизованого електроприводу вантажних стріл	31
3	Розрахунок електроприводу повороту вантажної стріли	35
3.1	Вибір двигунів для електроприводів вантажних механізмів	35
3.2	Визначення моментів навантаження механізмів повороту стріли	38
3.3	Визначення типу електродвигуна для вантажної лебідки	41
4	Аналіз характерних електроприводів та вибір електроприводу для вантажних стріл	44
4.1	Електроприводи вантажних лебідок змінного струму та їх аналіз	44
4.2	Електропривод вантажної лебідки з живленням від регулюємого статичного перетворювача частоти	45

4.3	Робота схеми електроприводу зі статичним перетворювачем частоти	47
4.4	Аналіз сучасних перетворювачів частоти та їх використання	51
4.5	Розрахунок характеристик запропонованих двигунів	63
4.6	Дослідження перехідних процесів	69
5	Охорона праці та техніка безпеки в надзвичайних ситуаціях	72
5.1	Небезпечні і шкідливі виробничі фактори	73
5.2	Небезпечність електричного струму	74
5.3	Види уражень людини електричним струмом	76
5.4	Технічні засоби електробезпеки	77
5.5	Розрахунок приточно-витяжної вентиляції в машинно-котельному відділенні	78
	Висновки	81
	Список використаної літератури	82
	Додаток А. Презентація роботи	

ВСТУП

Для переробки різних вантажів сучасні судна оснащені різноманітними підйомними механізмами. Інтенсифікація суднових вантажно - розвантажувальних робіт, в якій велику роль відіграють вантажопідйомні механізми, може бути забезпечена лише шляхом підбору до суден таких механізмів, що забезпечують оптимальні умови для виконання цих робіт.

До електроприводів вантажопідйомних механізмів висувають різноманітні вимоги, одними із основних є:

1. Забезпечення високої продуктивності.
2. Велика надійність у роботі.
3. Легкість в управлінні та обслуговуванні.
4. Максимальна економічність.

В процесі виконання вантажних операцій є недоліки, що впливають на роботу комплексу в цілому.

Актуальність роботи. Для забезпечення вищенаведених вимог актуальною постає задача встановлення комплексу вантажних стріл с використанням сучасних електродвигунів та сучасних комутаційних пристроїв.

Мета роботи. У зв’язку з цим мета даної дипломної роботи – провести теоретичні розрахунки та визначити пропозиції для усунення значної частини визначених недоліків та дослідити можливість використання сучасних методів керування електроприводом на основі промислових перетворювачів частоти – ПЧ.

Об’єкт дослідження – електропривод спареної вантажної стріли судна.

Впровадження на морських судах засобів автоматизації дозволяє підвищити експлуатаційну надійність і безпеку плавання, підвищити продуктивність і поліпшити умови праці, сприяє вдосконаленню форм технічного обслуговування. Останнім часом морський транспортний флот

поповнюється великим числом судів, обладнаних засобами автоматизації, яка стала одним з головних напрямів технічного прогресу у всіх галузях промисловості.

Предмет дослідження – характеристики електропривода при використанні для керування сучасних перетворювачів частоти.

Основною особливістю автоматизації морських судів на даному етапі є комплексна автоматизація роботи енергетичної установки, палубних механізмів, вантажних операцій і процесів навігації.

Практичне значення отриманих результатів. Впровадження електроприводів з сучасними перетворювачами частоти дозволяє: спрощувати керування електроприводами, зменшити фізичне навантаження на людину, що керує електроприводом, підвищити надійність роботи вантажопідйомних механізмів, використати більш дешевий та більш надійний одношвидкісний асинхронний електродвигун.

1. ЕЛЕКТРОПРИВОДИ СУДНОВИХ ПІДЙОМНИХ МЕХАНІЗМІВ ТА ЇХ АНАЛІЗ

1.1. Вимоги до електроприводів вантажопідйомних механізмів та типи електродвигунів для них

До електроприводів вантажопідйомних механізмів висувають наступні вимоги:

- мінімальна тривалість перехідних процесів;

- надійне електричне гальмування в режимі спуска повного вантажу;

- точна зупинка при гальмуванні;

- забезпечення заданої продуктивності та регулювання частоти обертання в діапазоні 20-100% у руховому режимі при повному навантаженні;

- стійка робота на малих посадкових швидкостях;

- забезпечення значних швидкостей операцій з порожніми захватами (до 300% від номінальної);

- забезпечення збільшених швидкостей спуска вантажів при роботі в генераторному режимі (до 200% від номінальної).

При виборі типу двигуна вантажопідйомних механізмів необхідно враховувати особливості роботи їхніх електроприводів:

- велику частоту пусків і гальмувань;

- пуск під повним навантаженням;

- роботу зі змінним навантаженням від 10 до 100%, а також з короткочасним перевантаженням;

- наявність значних механічних перевантажень на вал і на підшипники електродвигуна;

- можливість обливання водою електроустаткування палубних вантажопідйомних механізмів. У зв'язку із цим для вантажопідйомних механізмів була створена спеціальна серія кранових електродвигунів

короткочасного та повторно-короткочасного режиму, бризкозахищеного та водозахищеного виконання, посиленої механічної конструкції, з високими перевантажувальними властивостями.

Умови роботи вантажопідйомних механізмів вимагають приводів від реверсивного електродвигуна з електричним регулюванням швидкості при підйомі та спуску вантажів, з електричним і механічним гальмуванням.

Механічне гальмо застосовується для утримання вантажу у висячому положенні та для зупинки електродвигуна наприкінці періоду електричного гальмування.

На постійному струмі для малої та середньої потужностей найбільше застосування мають двигуни послідовного і змішаного збудження. Працюючи на природній характеристиці, вони повільно розганяються до сталої частоти обертання при малих навантаженнях, тому при обмеженій висоті підйому на судах максимальна швидкість не використовується, що приводить до втрати продуктивності лебідки. Збільшення швидкості підйому легких вантажів і холостого гака досягається ослабленням потоку електродвигуна за допомогою вантажних реле.

При спуску вантажів послідовна обмотка збудження підключається паралельно якорю. Посадкові швидкості забезпечуються складними схемами вмикання двигуна.

У двигунів потужністю понад 6 кВт при інтенсивній роботі частоту операцій обмежує механічний гальмовий пристрій. Тому виникає необхідність у його розвантаженні, що досягається перенесенням функцій гальмування на двигун. Із цією метою в схемі керування передбачають додатковий контактор, що створює контур електричного гальмування з виключенням з нього послідовної обмотки.

Схема керування повинна забезпечувати надійність роботи при наявності рекуперації енергії в електричну мережу під час спуску вантажу. Якщо в цей час більшість споживачів відключена від суднової мережі, то в ній можуть виникнути небезпечні перенапруги. Для їхнього усунення

застосовують реле максимальної напруги, що забороняє роботу при напрузі мережі, яка дорівнює (1,3—1,4)$U_н$.

Повне використання властивостей двигунів змішаного збудження і разом з тим більша економічність у витраті енергії на регулювання досягаються завдяки глибокому багатоступінчастому регулюванню намагнічувальної сили, незалежної обмотки двигуна та застосуванню таких схем, при яких в елементах силового ланцюга витрачається мінімум енергії.

Для привода ліфтів і транспортерів використовують двигуни постійного і змінного струму із жорсткими механічними характеристиками.

Системи Г - Д найпоширеніші в схемах керування приводами:

- лебідок великої потужності та спеціальних (буксирні, рятувальні, технічного флоту);

- кранів відповідального призначення (монтажні або для перевантаження відповідальних вантажів), де особливо потрібна мала посадкова швидкість, що диктується технологією установки вантажу;

- високопродуктивних вантажних лебідок, де система Г - Д дозволяє різко підняти термін служби електропривода.

Застосування системи Г - Д дає, з одного боку, зменшення пускових і гальмових втрат, виключення силових комутаційної апаратури, а з іншого боку, - підвищення експлуатаційних якостей вантажної лебідки (зокрема, продуктивності) у результаті скорочення часу розгону та гальмування двигуна при операціях з малими вантажами.

Використання для вантажопідйомних механізмів електропривода змінного струму зустрічає ряд ускладнень, викликаних невідповідністю механічних характеристик асинхронних двигунів вимогам, запропонованим до електропривода цих механізмів.

Сучасні електроприводи високопродуктивних вантажних лебідок на змінному струмі в абсолютній більшості мають трьохшвидкісні асинхронні короткозамкнені двигуни. Останнім часом такі двигуни створені із застосуванням трьох окремих незалежних обмоток на одному статорі, що

забезпечує найбільш вигідне регулювання, оскільки можна вибирати довільне число пар полюсів кожної з обмоток. Керування такими лебідками здійснюється винятково за допомогою магнітних контролерів (автоматизують процеси пуску та гальмування, забезпечується висока зносостійкість комутаційної апаратури).

1.2. Класифікація суднових вантажопідйомних механізмів

Суднові вантажопідйомні механізми (лебідки, крани, ліфти, стріли, транспортери, тельфери) по призначенню підрозділяються на вантажні, пасажирські, шлюпкові, буксирні і спеціальні (на судах технічного флоту).

По режиму роботи ці механізми поділяються на дві групи,- короткочасного та повторно-короткочасного режиму. Вантажопідйомні механізми можуть бути з одним, двома та трьома електродвигунами. У механізмах з двома двигунами один із двигунів служить для підйому та спуску вантажів, другий забезпечує операції з порожніми захватами; у тих, що мають три двигуни один призначений для підйому - спуску вантажів, другий - для повороту, третій - для зміни вильоту стріли. Крім того, вантажопідйомні механізми можуть мати додаткові електродвигуни для приводу вентилятора незалежного охолодження або електрогідравлічного гальма.

У світовому суднобудуванні випускаються суднові піднімальні механізми на наступне максимальне навантаження: 0,5; 1,5; 3; 5 та 10т. Механізми вантажопідйомністю 0,5 й 1,5т, як правило, встановлюються на річкових судах. На спеціальних судах можуть бути встановлені вантажопідйомні механізми на інше навантаження.

Всю сукупність вантажних операцій, зроблених за допомогою суднових вантажопідйомних механізмів, можна розбити на три основні групи:

1. Переробка сипучих вантажів грейферами або за допомогою заздалегідь підготовленої тари, переробка вантажів у контейнерах і пакетах;

2. Переробка генеральних вантажів у сітках або на вантажних площадках;

3. Переробка довгомірних великогабаритних вантажів або вантажів, що вимагають обережного обігу.

Для першої групи операцій застосовуються максимальні експлуатаційні швидкості механізмів, час пауз при завантаженні та розвантаженні мінімальний.

Для другої групи - експлуатаційні швидкості максимальні, відносна тривалість включення на малій швидкості ПВ =10 - 15% машинного часу.

Для третьої групи найбільш характерним є рух з вантажем на середній (ПВ=50%) і малої (ПВ=30%) швидкостях. Швидкості операцій, що рекомендують, для вантажних лебідок і механізмів підйому кранів при переробці масових вантажів дані в табл. 1.1

Таблиця 1.1

Вантажопідйомність механізму, т	Постійний струм		Змінний струм
	Швидкість, м/хв.		
	Номінальна	Максимальна	Максимальна
До 0,5	20	40-50	15-20
1-1,5	30	60-70	30
2-3	40-45	90-100	50-70
3/1,5-2	-	-	40/65-70
5	25	55-60	25-36
8-10	12-20	22-25	15-18

Електропривод вантажопідйомних механізмів поряд із забезпеченням необхідної їхньої продуктивності повинен гарантувати безпеку й схоронність вантажу. Тут важливу роль грає мінімальна швидкість опускання вантажу,

так називана «посадкова».

При перевантаженні спеціальних вантажів і виконанні монтажних операцій посадкова швидкість повинна бути $v_{пос}$ = 1,5 - 3 м/хв. виходячи з умов особливо точної й плавної посадки, наприклад суднових секцій і вузлів механізмів та машин.

Для вантажопідйомних механізмів великої продуктивності доводиться погоджувати протилежні вимоги безпеки продуктивності, у силу чого посадкова швидкість приймається в межах $v_{пос}$ = 6 - 15 м/хв.

Проміжні швидкості між v_{max} та $v_{пос}$ вибираються з таким розрахунком, щоб забезпечувався постійний коефіцієнт наростання швидкості, що дозволяє мати найбільш високу середню швидкість за цикл. Так, наприклад, для тришвидкісних систем рекомендують співвідношення швидкостей 1:2:4 або 1:3:6, для чорирьохшвидкостних-1:2:4:6.

Для звичайних вантажопідйомних механізмів значення прискорень у процесі вантажних операцій лежать у межах 1,8-3,5 м/с^2 , а уповільнень - до 5 м/с^2. До вантажного устаткування судна відноситься комплекс обладнання, механізмів і конструкцій, які забезпечують навантаження та розвантаження судна, а також переміщення вантажів всередині його. Класифікація судових пристроїв приведена на рис. 1.1. По принципу дії розрізняють вантажні пристрої безперервної та періодичної дії. Вантажні пристрої безперервної дії (стрічкові та ланцюгові транспортери, пневматичні та шнекові перевантажники, елеватори) забезпечують безперервний потік вантажів. Функціонування вантажних пристроїв періодичної дії характеризується робочим циклом, що включає робочий хід (перенос вантажу) і холостий хід (повернення вантажопідйомного елементу за черговою партією вантажу). Основні види вантажних пристроїв періодичної дії – суднові стріли і крани. В якості внутрішньосудових вантажних засобів, що забезпечують переніс вантажів з одної палуби на іншу, використовують ліфти та підіймачі.

КЛАСИФІКАЦІЯ СУДОВИХ ВАНТАЖНИХ ПРИСТРОЇВ

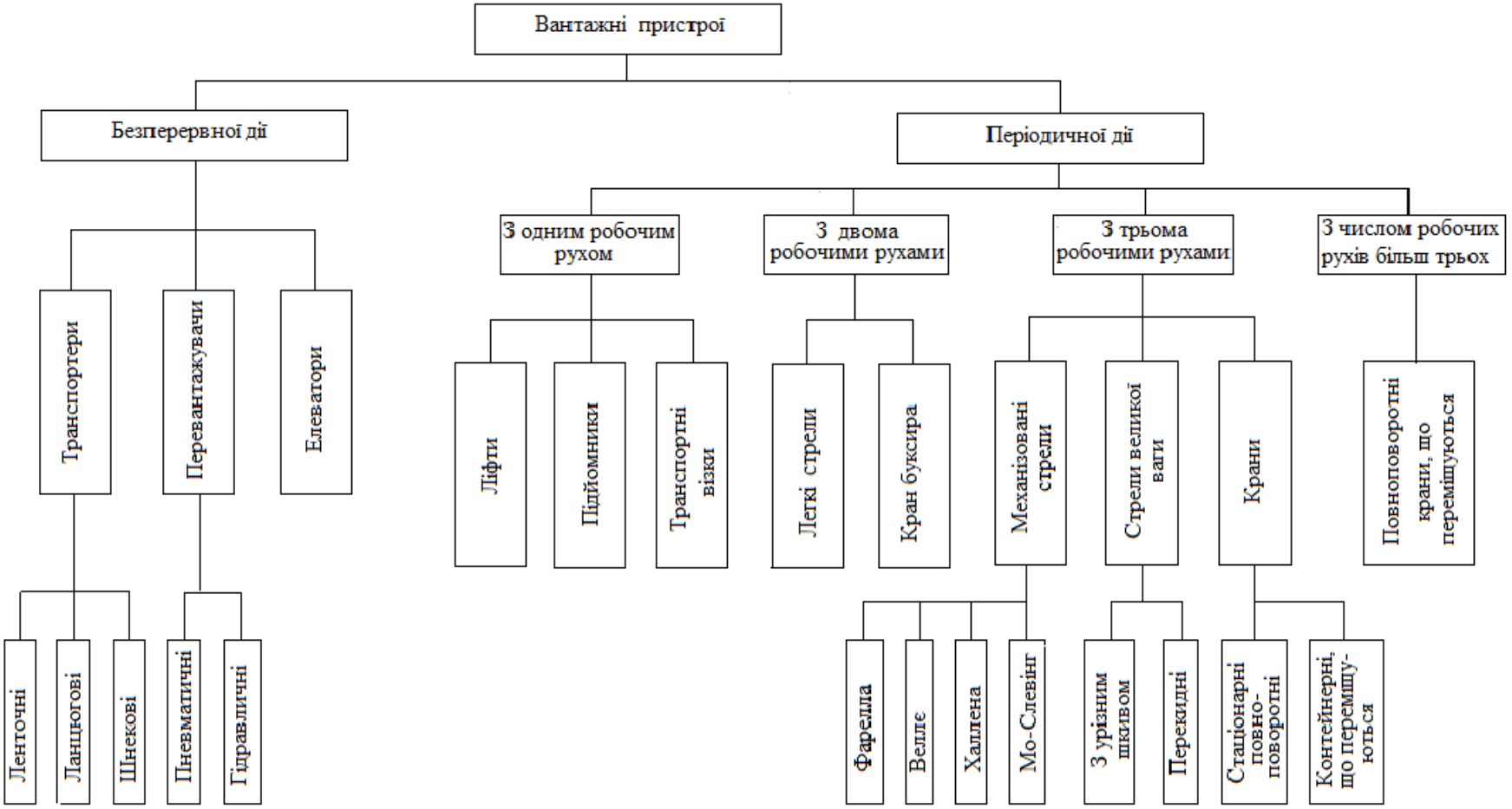


Рисунок 1.1

Основні характеристики вантажних засобів періодичної дії наступні:

- Вантажопідйомність – максимальна вага вантажу, що піднімається безпечно.

- Продуктивність - вага вантажу, що передається в заданий проміжок часу;

- Розподільча здатність – відношення площі, на яку може доставити вантаж даний вантажний пристрій без перерви в робочому циклі для переобладнання, до всієї площі, що обслуговується цим пристроєм.

Розподільча здатність вантажного пристрою залежить від числа робочих рухів. Робочий рух є напрямок зміни положення вантажу при роботі тільки одного із пристроїв, що забезпечує переміщення вантажу. Для пристрою, стаціонарно закріпленого на судні, максимальне число робочих рухів – три. У кранів, що рухаються – чотири (додається переніс вантажу при переміщенні крана).

Вантажні пристрої зі стрілами відрізняються високим положенням точок кріплення, облаштування, що тримає стрілу у робочому положенні. Для цієї мети використовуються щогли та надбудови.

В залежності від вантажопідйомності розрізняють легкі стріли – вантажопідйомність до 10т і стріли великої ваги – вантажопідйомність – більше 10т. Ці два типа стріл розрізняються конструкцією рухомого такелажу та числом робочих рухів. Два робочих рухи мають легкі стріли, при одноразовій роботі (переміщення ваги по вертикалі на вантажному шкентелі та переніс при повороті стріли відтяжками) та легкі стріли, оснащені для спареної роботи (переніс вантажу по вертикалі і горизонталі на шкентелях). Деякі стріли великої ваги та деякі легкі стріли мають три робочих рухи. Вони можуть змінювати кут нахилу маючи вантаж на гаку.

В залежності від забезпечення стріли механізмами (лебідками, що входять до комплекту обладнання саме цієї стріли) для виконання робочих рухів розрізняють звичайні та механізовані стріли. Так, звичайна легка стріла не може змінювати виліт, маючи вантаж на гаку. Іноді поворот стріли великої

ваги здійснюється відтяжками, ходові кінці яких обслуговують допоміжні барабани вантажних лебідок легких стріл. Механізовані стріли, як легкі, так і великої ваги, мають три робочі рухи.

Суднові вантажні крани на відміну від стріл зв'язані з корпусом судна тільки своїми опорними конструкціями. Шківи для запасу тросу рухомого такелажу розміщуються на стрілі та на корпусі крану. По засобу кріплення розрізняють стаціонарні та рухомі крани. По принципу роботи – повноповоротні, портальні з консолями, портальні з вантажозахоплювальним елементом в межах порталу. Практично всі варіанти кранового обладнання зводяться до одного з приведених вище або до їх комбінацій.

У порівнянні з кранами, перевагою пристроїв з вантажними стрілами є простота і відносно мала вартість конструкцій, велика надійність в експлуатації, менша чутливість до перевантажень, збереження працездатності при великих кутах крену.

2. ТЕХНІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА СУДНА ТА ОСОБЛИВОСТІ РОБОТИ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ВАНТАЖНИХ СТРІЛ

2.1. Види та типи вантажних стріл суден

Прообразом судових ватажних стріл є рангоут вітрильних суден. Вантажні стріли розрізняються за вантажопідйомністю та видами оснастки.

Легкі стріли. Такі стріли с оснасткою використовують для одиночної роботи. Вони мають обмежене використання в якості допоміжного вантажного пристрою. Причиною цього є необхідність здійснювати поворот стріли відтяжками вручну.

Стріли з оснасткою для спареної роботи. Вони використовуються на судах до теперішнього часу. Вантажні шкентелі двох стріл поєднуються на загальному тризвеніку, до якого закріплюється гак. Нок одної зі стріл (люкової) встановлюється над люком, а іншої (бортової) – виноситься за борт. Стріли закріплюються нерухомо за допомогою топенантів, відтяжок та топрику. Тривалість повного вантажного циклу при спареної роботі стріл приблизно 30с, що дає високу продуктивність вантажних операцій. До недоліків слід віднести зменшення вантажопідйомності порівняно з вантажопідйомністю кожній зі стріл.

Стріли з оснасткою Фарелла. Це більш удосконалена оснастка , яка використовується для спареної роботи стріл. В цей оснастці відтяжки закріплюються на стійках у бортів так, що точки кріплення виявляються на одної лінії зі шпорами стріл. Топенанти обох стріл оснащаються талями, а ходові кінці подаються на топенантні лебідки, що дозволяє змінювати виліт стріл без їх повної переоснастки.

Схему стріл з оснасткою Фарелла приведено на рисунку 2.1.

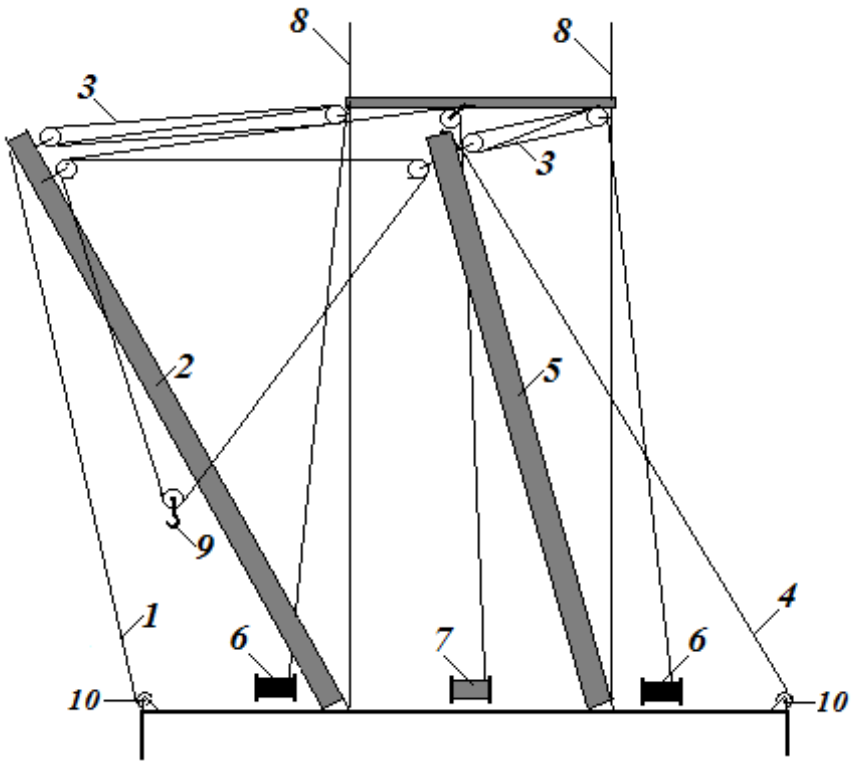


Рис. 2.1. Схема вантажних стріл з оснасткою для спареної роботи.

1- відтяжка бортової стріли;

2- бортова стріла;

3- топенант талі;

4- відтяжка люкової стріли;

5- люкова стріла;

6- топенантна лебідка (в'юшка);

7- топрикова лебідка (в'юшка);

8- шпори стріл;

9 – гак ;

10 – відтяжна в'юшка.

Одиночна стріла з великоваговою оснасткою. Таки стріли використовують для вантажів до 20 т. Топенант-талі забезпечують зміну вильоту стріли під вантажем. На практиці часто використовують оснастку з урізним шківом. Урізний шків встановлюється на відстані 1,5-2 м від нока стріли. Вантажний шкентель через урізний шків йде на відвідній блок на

салінгах. Така оснастка дозволяє декілька розвантажити топенант талі.

Одиночна стріла з оснасткою Мо-Слевінг. Схему одиночної стріли з оснасткою Мо-Слевінг приведено на рисунку 2.2.

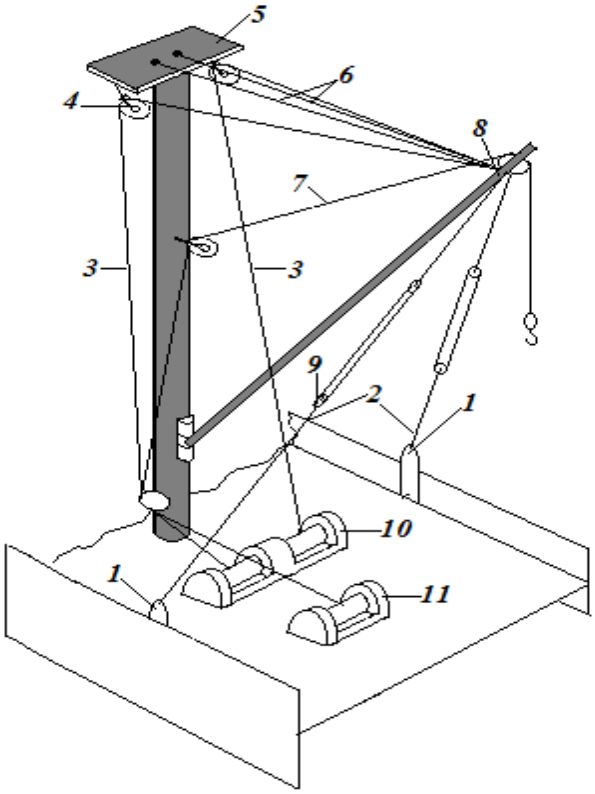


Рис. 2.2. Схема одиночної вантажної стріли з оснасткою Мо-Слевінг.

1- колонка;

2- мантиль відтяжки;

3- ходовий кінець топенанта;

4- блок топенанту;

5- салінг;

6- корінний кінець топенанту;

7- вантажний шкентель;

8- верхній блок відтяжки;

9- нижній блок відтяжки;

10 - двобарабанна лебідка топенанту;

11 - вантажна лебідка.

Таки стріли є варіантом механізованих стріл. В даної оснастці, яка

дозволяє короткий салінг, подвійний топенант суміщений з відтяжками. Корінній кінець кожного топенанта закріплюється на салінгу. Трос проходить через блок на ноке стріли, йде до нижнього блоку відтяжки, повертається на другій блок на ноке і через топенант ний блок на салінгі прямує до одного з барабанів спеціальної двобарабанної лебідки топенанту. Виліт стріли змінюється при обертанні барабанів лебідки топенанту в один бік з однаковою швидкістю. Обертання барабанів в різні боки забезпечують поворот стріли. Вантажний шкентель обслуговується звичайною вантажною лебідкою.

Стріли з оснасткою Веллє. Таки стріли мають дві гілки подвійного топенанту, оснащеного одним безперервним тросом. Вони виконують функції відтяжок. Обидва кінця топенантного троса закріплюються на лебідці зміни вильоту та навиваються в один бік. При обертанні барабана лебідки повороту довжина одної гілки топенанту зменшується, що визиває поворот стріли. Зміна вильоту виконується за рахунок збільшення або зменшення довжини обох гілок топенанту одночасно. Переваги оснастки Веллє – простота керування, - тому всі лебідки можуть працювати незалежно друг від друга. Стріла може одночасно повертатися, змінювати виліт, переміщати вантажі по вертикалі на шкентелі.

Стріли з оснасткою Халлена. Таки стріли мають Т- образні або Y – образні щогли. Це дозволяє отримати велике віддалення нерухомих блоків талів топенанту від вісі щогли. Кожен топенант обслуговується своєю лебідкою. При обертанні барабанів лебідки в один бік стріла змінює виліт, при роботі барабанів в різні боки – повертається. Підвищення вантажопідйомності досягається за рахунок введення вантажних талів та підвищення кратності талів топенанту.

Стріли з оснасткою по системі Штюлькена. Таки стріли мають вантажопідйомність до 300 т. Її особливість – подвійні топенанти,що об'єднують функції топенанту та відтяжок. Переніс стріли на інший люк відбувається за рахунок узгодженого вибирання вантажного шкентеля та

топенанта. Встановлюють стрілу на палубний фундамент між колонами V-образної щогли.

Стріли з оснасткою типу подвійний маятник. Таки стріли також мають вантажопідйомність до 300 т. Для стріл з меншою вантажопідйомністю використовується система Штюлькен типа маятник, в який нерухомі блоки вантажних талів закріплюються на бічної стороні стріли. В цей схемі нема необхідності від'єднувати гак та сумісні з ним деталі при переводі стріли з одного люку на іншій.

2.2. Характеристика судна

Науково-дослідне судно спеціальної побудови призначено для проведення різноманітних наукових досліджень акваторії та дна морів і океанів, метеорологічних досліджень над цими акваторіями та інших досліджень, яки мають державне, наукове та промислове значення. На борту судна розміщено 21 лабораторію.

Наприклад, за температурою та тиском повітря, формуванням та випаданням осадків спостерігають метеорологи, прилади яких розміщено на промірної палубі. На шлюпкової палубі розміщено гідрологічна, гідрохімічна, гідрооптична, ізотопна та радіохімічна лабораторії. В них вивчають властивості морської води, її хімічний склад, наявність різних домішок та інші параметри. На верхній палубі знаходяться лабораторії, персонал яких займається мешканцами морів та океанів.

Геологи вивчають структуру морського дна, осадочних порід, мінеральних утворень на дні з метою промислового використання.

Геофізики вивчають особливості магнітного, гравітаційного та електричного полів планети і їх аномалії. Це необхідно для внесення поправок в навігаційні мапи та для більш чіткого поняття о побудові земної кори під дном океанів.

Відмінність науково-дослідного судна спеціальної побудови в тому, що це судно має спеціальний гіпербаріческий комплекс, призначений для

безпосереднього спостереження глибин дослідниками. В цей комплекс входять:

- безлюдний апарат «Звук»;
- керований апарат типу «Аргус»;
- водолазний дзвін, за допомогою якого аквалангісти можуть погружатися на глибину до 165 м.

Крім того, на судні є можливість використовувати глибоководні апарати типу «Мир».

Район плавання судна – необмежений (північні та тропічні широти).

Архітектурно – конструктивний тип судна – самохідне, стальне, двопалубне, двогвинтове. Основні характеристики науково-дослідного судна:

- найбільша довжина, м 111,0;
- ширина найбільша, м 16,6;
- висота борта до верхньої палуби, м 9,5;
- осадка середня, м 5,5;
- водотоннажність, 6358;
- швидкість, вузлів 18;
- потужність силової установки, к.с. 7200;
- дальність плавання при швидкості 13 вузлів, милі 30000;
- автономність плавання, діб 50;
- екіпаж, чол. 66;
- науковий персонал, чол. 59.

2.3. Характеристика електрообладнання судна

Основним родом струму на судні прийнято змінний струм частотою 50 Гц. Електроенергія розподіляється при таких величинах напруги:

- 380 В трьохфазного струму для силових споживачів;
- 230 В трьохфазного і однофазного струму для основного та аварійного освітлення, сигнально – розпізнавальних вогнів, камбузного та побутового обладнання;

- 24 В однофазного струму для підключення переносного низьковольтного освітлення;

- 12 В однофазного струму для підключення переносного низьковольтного освітлення;

- 24 В постійного струму для тимчасового акумуляторного освітлення.

В якості джерела електроенергії у складі судової електростанції встановлені:

- три генератора трьохфазного струму, синхронні, типу МСК500-1000, номінальною потужністю 440 кВт, при напрузі 380 В, частотою 50 Гц, швидкістю обертання 1000 об/хв., коефіцієнт потужності – 0,92, з автоматичним регулюванням напруги та системою самозбудження з приводом від дизелю.

- один аварійний дизель – генератор з автоматичним запуском при зникненні напруги на шинах головного розподільчого щиту (ГРЩ), встановлений у спеціальному приміщенні, з генератором трьохфазного струму, синхронним типу МСС-202-4, номінальною потужністю 100 кВт, при напрузі 380 В, швидкістю обертання 1500 об/хв., частотою 50 Гц, при коефіцієнті потужності 0,8 та з автоматичним регулюванням напруги і системою самозбудження.

Для живлення споживачів електроенергією напругою, що відрізняється від 380 В на судні встановлені трансформатори, перетворювачі частоти, випрямні пристрої.

На судні встановлені дві лужні акумуляторні батареї типу 5НК-125, напругою 24 В для живлення тимчасового аварійного освітлення, магнітного компасу, магнітного телеграфу, сигналізації о запуску вогнегасного составу. Також встановлені дві лужні батареї типу 5НК-55, для живлення аврального сигналізації і вісім кислотних батарей типу 6СТК-128, для стандартного запуску аварійного дизель-генератору.

Розподіл електроенергії проводиться по фідерно – груповій системі. Для розподілу електроенергії і контролю за роботою генераторів на судні встановлені:

- на центральному посту керування – головні розподільчі щити;
- у приміщенні аварійного дизель – генератору – аварійний розподільчий щит (АРЩ).

Дистанційне керування і контроль за роботою електростанції здійснюється із щита керування типу, розташованого на центральному посту керування.

В якості електроприводів допоміжних та побутових механізмів використані асинхронні двигуни з короткозамкненим ротором та з прямими пуском за допомогою магнітних пускачів.

Рульовий електропривод керується із румпельного відділення (місцеве керування) та з навігаційної рубки, і оснащений звуковою сигналізацією при виходу із норми робочих параметрів.

В якості електроприводів брашпиля, вантажних лебідок і швартових шпилів використані багатошвидкісні асинхронні електродвигуни с переключенням числа пар полюсів, з керуванням за допомогою контролерів і командоконтролерів.

Для приводу холодильних установок кондиціювання і провізійних комор, загальносуднових вентиляторів та інших механізмів систем передбачені коротко замкнуті асинхронні двигуни.

В якості електроприводів механізмів машинного відділення використані коротко замкнуті асинхронні двигуни з прямим пуском за допомогою магнітних пускачів.

Загальне освітлення виконане на напругу 220 В змінного струму з живленням від секції напругою 230 В головного розподільчого щита, через районі групові щити освітлення.

Аварійне освітлення виконане на напругу 220 В змінного струму і є

частиною основного освітлення, що получає живлення від секції напруги 220 В АРЩ через групові щити освітлення.

2.4. Характеристика об’єкта керування

Підйомні механізми як об’єкти керування характеризуються багато режимністю роботи.

Підйомні механізми працюють при циклічних знакозмінних навантаженнях та швидкостях. Тривалість одного циклу складається із тривалості машинного часу підйомного механізму і тривалості пауз. Тривалість пауз визначається швидкістю стропування вантажу. За абсолютною величиною тривалість пауз міняється в дуже широких межах.

Машинний час підйомного механізму складається із тривалості його роботи на окремих швидкостях. Тривалість використання тієї чи іншої швидкості за цикл залежить від абсолютних значень швидкостей руху вантажо - захватувального пристрою, від типу вантажу, що оброблюється, та організації вантажних операцій. „Повзуча” швидкість при великій циклічності вантажних операцій використовується в основному для підтаскування вантажів. При низькій циклічності роль „посадочної” швидкості зростає. Належний підбір „посадочної” швидкості значною мірою впливає на загальну тривалість машинного часу підйомного механізму за цикл.

Таким чином, діапазон змін швидкостей підйомного механізму при навантажувально-розвантажувальних роботах повинен бути широким. Підйомний механізм тривалий час без перерв повинен забезпечувати вантажні операції з різною циклічністю і з більшим значенням машинного часу.

Проведені досліди дозволяють зробити висновок, що тривалість використання тієї чи іншої швидкості підйомного механізму знаходиться в залежності від максимального значення швидкості руху вантажозахватного пристрою без вантажу.

Аналіз дослідних даних, отриманих при роботі підйомних механізмів з високою циклічністю, показує, що останні забезпечуються скороченою тривалістю пауз в кожному циклі, зменшенням часу роботи на малих швидкостях та більш повним використанням високих швидкостей.

Маючи дані режимів роботи підйомних механізмів, можна визначити оптимальні швидкісні характеристики підйомних механізмів і параметри режимів, на які повинен бути розрахований електричний привод.

Комплекс в'юшок топенантних, відтяжних і топрикових призначений для обслуговування двох пар вантажних стріл.

Робота в'юшок забезпечується в одиночному режимі (роздільна робота приводів з ручним, індивідуальним керуванням) та в груповому (сумісна робота декількох приводів, з автоматичним набором схеми в залежності від виконуваної операції).

Живлення комплексу здійснюється від судового змінного струму, напругою 380 В (живлення системи керування, приводів гідроштовхачів і в'юшок, гальма) та від мережі змінного струму 220 В (формування заниженої напруги, звукова сигналізація).

В одиночному режимі на кожну із працюючих в'юшок подається номінальна напруга 380 В. В груповому режимі – на один із сумісно працюючих приводів подається номінальна напруга, а на інший занижена.

Всі приводи включені на вибирання. Привод, на який подається занижена напруга працює у режимі противмикання, створюючи момент гальмування, що виключає вільне звисання канатів з барабанів та в'юшок.

До складу комплексу входять десять в'юшок електричних типу ВЕТ-1, правого та лівого виконання, що за призначенням розділяються на: топенантні,- для зміни вильоту стріли (чотири штуки); відтяжні – для повороту стріли (чотири штуки); топрикові – для зміни взаємного положення стріл (дві штуки).

До складу електроприводу в'юшки входять:

- один електродвигун з прибудованими гальмами змінного струму (електродвигун в'юшки);
- один електродвигун приводу гідроштовхача;
- два кінцевих вимикача;
- схема електрична принципова представлена на рис. 2.3.

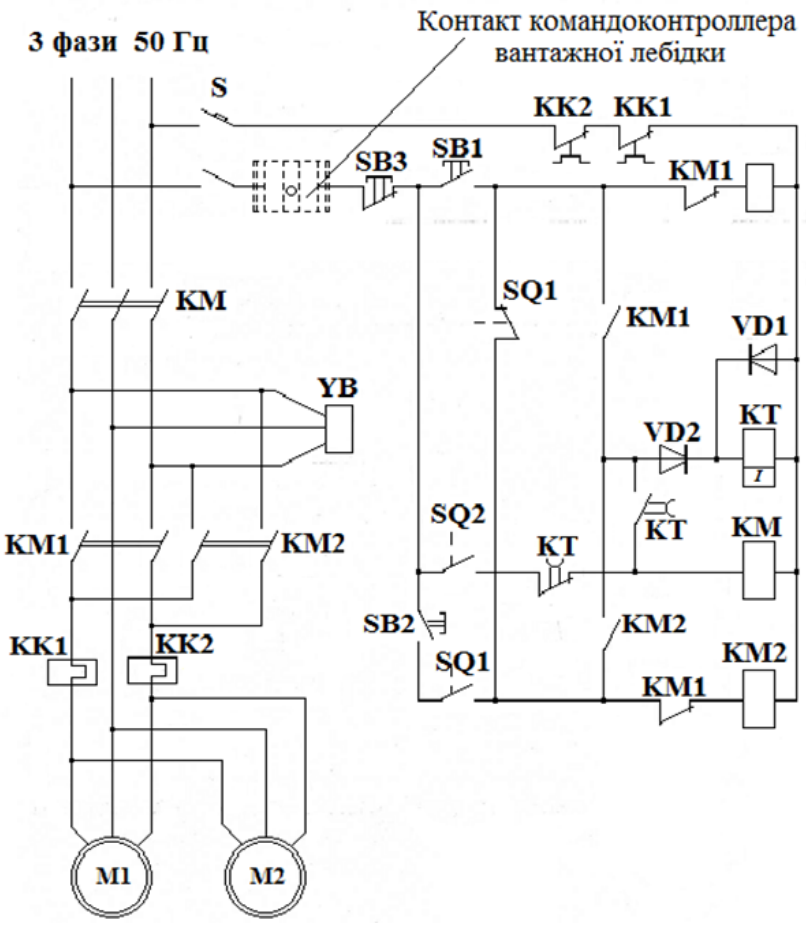


Рис.2.3. Схема електрична принципова електроприводу в'юшки

Гідроштовхач, що входе до складу стопорного пристрою, забезпечує постановку в'юшки на стопор чи зняття її з нього.

Кінцевими вимикачами здійснюється блокування. Кінцевий вимикач SQ1 (рис.2.3.) виключає роботу на травлення в'юшки, що стоїть на стопорі. Кінцевий вимикач SQ2 забезпечує короткочасне вмикання дискових гальм, якщо при вимиканні в'юшки стопор не зайшов у зціплення з храповиком.

Роботу електроприводу розглянемо по схемі (рис. 2.3). В початковому стані автоматичний вимикач SF увімкнутий.

Перед початком роботи подається напруга у схему, увімкнувши судновий автомат. Ручка командоконтролеру вантажної лебідки повинна знаходитися в нульовому положенні.Завдяки натисканню кнопки "Підйом" подається живлення на котушку контактору напрямку КМ1, який силовими контактами готує мережу двигуна до пуску, а замикаючим блок контактом вмикає реле КТ, після чого вмикається контактор КМ. Контактор КМ, замкнувши силові контакти підключає приводний електродвигун М1, гальмовий електромагніт YB та двигун М2 електроштовхача до мережі. При цьому в'юшка розгальмовується, барабан обертається у бік підйому вантажної стріли, стопор виходе із зачеплення з барабаном.

При натисканні кнопки "Спуск" получає живлення контактор КМ1, реле КТ1 і контактор КМ. Електродвигун, получивши живлення, починає обертатися у бік підйому, при цьому зі стопору знімаються зусилля і електродвигун виводе його із зачеплення з храповим колесом. При виходу із зачеплення стопор впливає на блокувальні (кінцеві) вимикачі SQ1, SQ2. Розмикаючий контакт SQ1 при цьому розмикається. А замикаючі контакти SQ1 та SQ2 замикаються, у результаті відключається контактор КМ1 і вмикається контактор КМ2, електродвигун реверсується. В'юшка працює на спуск.

Для зупинки в'юшки достатньо відпустити кнопку "Підйом" або "Спуск". При цьому втрачають живлення контактор напруги КМ1 чи КМ2, лінійний контактор КМ, рече часу КТ, двигуни М1, М2 та гальма YB. Лебідка зупиняється з накладанням гальма YB на витримку часу реле КТ. Якщо при зупинці в'юшки стопор не знайшов у зачеплення із храповиком, то контролюючий положення стопору контакт кінцевого вимикача SQ2 буде замкнутий, та по скінченню витримки часу реле КТ своїм контактом вимкне лінійний контактор КМ. Контактор КМ силовими контактами підключає гальмовий електромагніт до мережі. Двигун розгальмовується, та під дією сили тяжіння стріли в'юшка починає обертатися у бік спуску, забезпечуючи

тим самим, постановку в'юшки у стопор. У застопореному стані в'юшки кінцевий вимикач SQ2 розімкне свій контакт в мережі контактора КМ, останній відключиться, знеструмив гальмовий електромагніт YB.

Блокування, що виключає можливість одночасної роботи в'юшки та вантажної лебідки, досягається введенням в мережу вантажної лебідки розмикаючого контакту лінійного контактору КМ, а в мережу керування в'юшки – нульового контакту командоконтролеру вантажної лебідки.

Електрична схема передбачає наступні види захисту:

- теплових захист, здійснюється тепловими реле КК1 та КК2, контакти яких у випадку перевантаження електродвигуна, розмикаються та вимикають електропривод від мережі.
- захист від коротких замикань в мережі керування, здійснюється автоматичним вимикачем SF.

Розглянемо роботу електроприводу зміни вильоту стріли. Робота решти аналогічна, але при роботі в комплексі є деякі відмінні риси, а саме: при підйомі стріли топенантна в'юшка працює на вибирання, а відтяжна та топрикова в режимі травлення, забезпечуючи звисання канатів з барабанів. При спуску стріли – навпаки. При повороті на борт відтяжна в'юшка працює на вибирання, топрикова – на травлення. При повороті стріли на люк, навпаки. Також можливою є одиночна та групова робота стріл. В першому випадку стріли рухомі, у другому – нерухомі. Необхідно відмітити, що зміна вильоту стріли робиться без вантажу.

2.5. Палубні вантажопідйомні механізми судна

Розміщення вантажопідйомних механізмів на палубі судна показано на рисунку 2.2. На баку судна перед надбудовою в 4 поверхи побудовано дві щогли з вантажними стрілами, яки приводяться від лебідок – приводних в'юшок та обслуговує кожна свій борт. За надбудовою розміщено дві димові труби. За димовими трубами також побудовано подвійну щоглу зі вантажопідйомними стрілами. Біля зрізу транцевої корми побудовано слип, подібний слипам рибопромислових судів та П – образний кран.

РОЗМІЩЕННЯ ВАНТАЖОПІДЙОМНИХ МЕХАНИЗМІВ НА ПАЛУБІ СУДНА

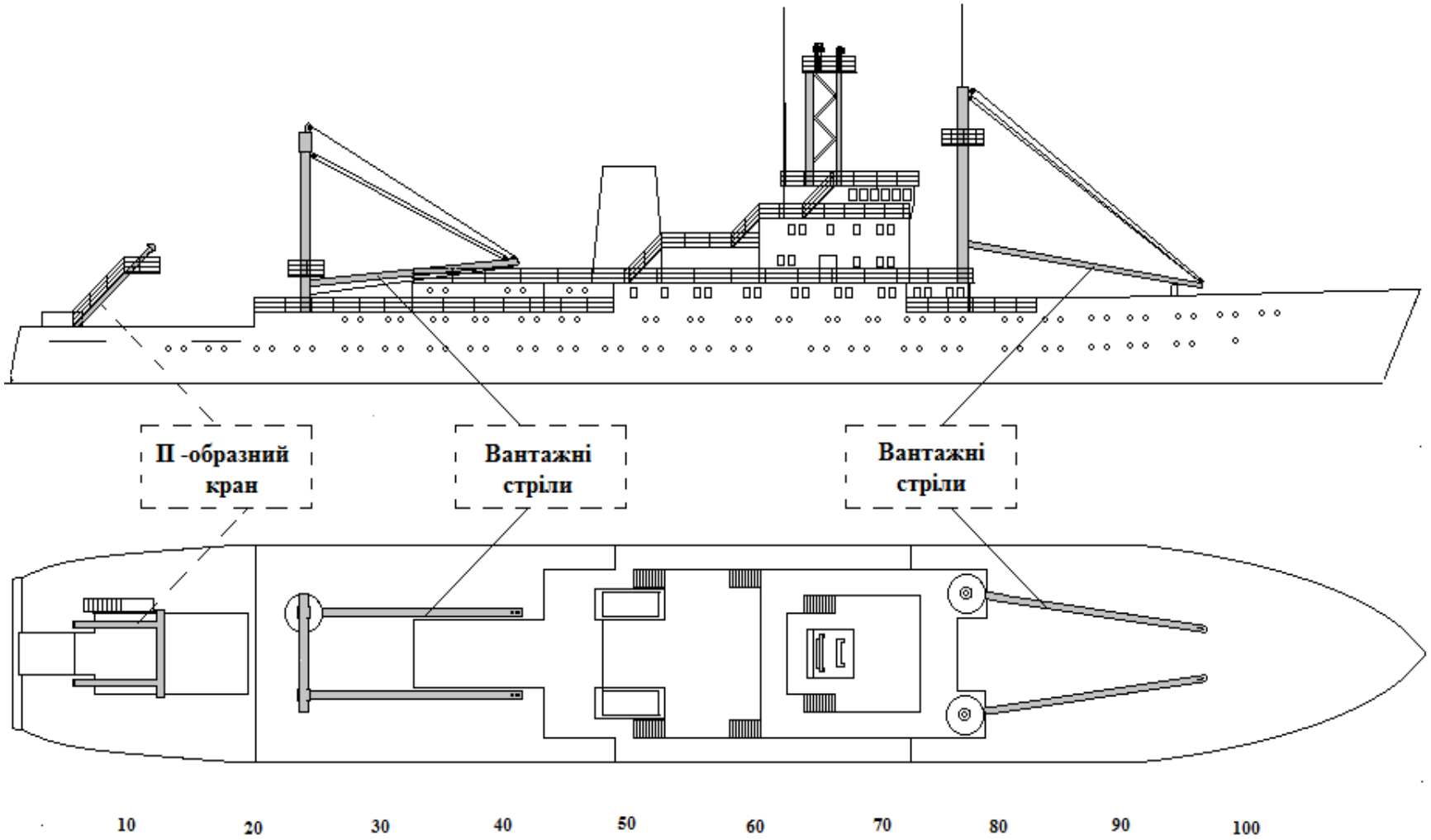


Рисунок 2.2.

2.6. Основні елементи автоматизованого електроприводу вантажних стріл

Автоматизований електропривод піднімальних механізмів за аналогією з електроприводами інших суднових пристроїв являє собою сукупність електродвигуна, передавального механізму та схеми керування.

Для приводу піднімальних механізмів застосовуються електродвигуни постійного або змінного струму, оснащені гальмовими пристроями. За правилами Морського Регістра всі електроприводи вантажних механізмів повинні мати кінцеві вимикачі. Гальмовий вибіг піднімальних механізмів при накладанні гальма не повинен перевершувати $\frac{V}{100}$ м, де V — швидкість вантажу на початку гальмування в м/сек. Передавальні механізми вантажних лебідок і кранів можуть бути виконані у вигляді гідравлічних або механічних передач.

Як правило, схеми керування автоматизованими електроприводами піднімальних механізмів є розімкнутими. Для одержання необхідних статичних характеристик деякі елементи автоматизованого електропривода охоплюються зворотними зв'язками.

Гідравлічні передачі одержали обмежене поширення через їхню високу вартість і подорожчання експлуатації. Однак у періодичній пресі останніх років з'явилися повідомлення про те, що проектуються й будуються гідравлічні приводи для суднових кранів і лебідок, але широкого розповсюдження вони не набули.

Тому розглянемо вантажні лебідки з механічною передачею. Механічні передачі вантажних лебідок виконуються у вигляді зубчастої, черв'ячної, планетарної або змішаної передачі. Кінематична схема лебідки із зубчастою передачею зображена на рис. 2.5. Лебідка цього типу складається з вантажного барабана *1*, щільно насадженого на вал *2*, швартовного барабана *3*, насадженого на той же вал, зубчастого редуктора *4*, гальма з електромагнітом *5* та електродвигуна *6*.

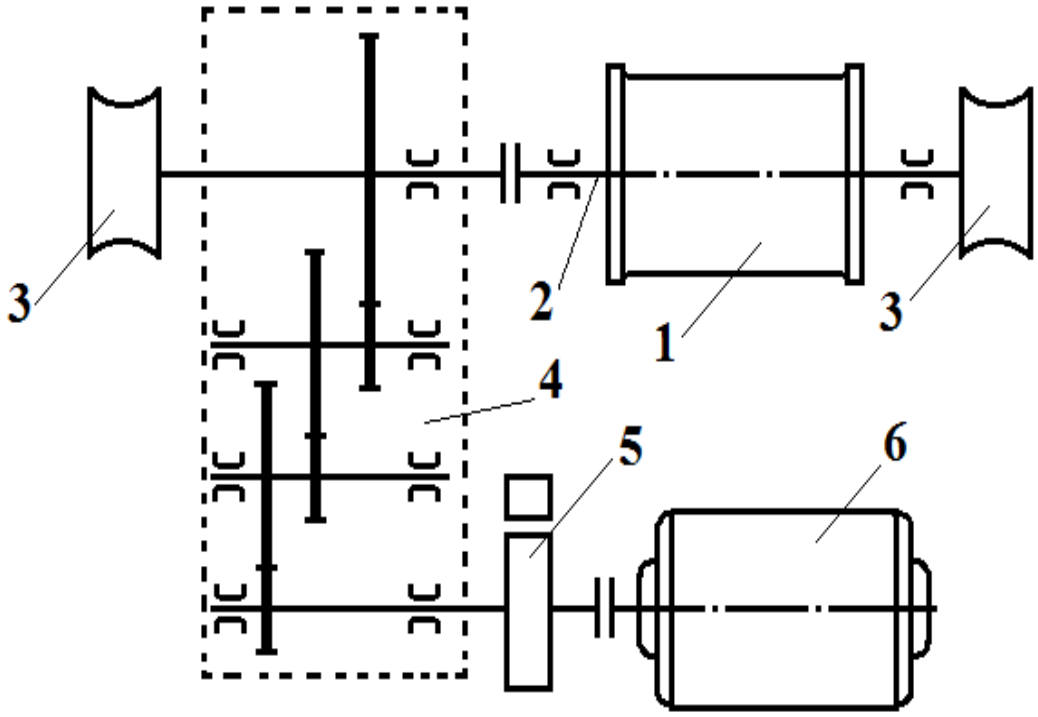


Рис. 2.5. Кінематична схема лебідки з зубчатою передачею

Одним з основних достоїнств зубчастих передач є високий ККД і малий пусковий момент. Загальний ККД механічної передачі лебідки становить 0,8-0,85.

Все устаткування змонтоване на загальній фундаментній плиті, включаючи і пост керування.

Лебідки, що випускають вітчизняною промисловістю, мають зубчасту передачу, а подальше виготовлення лебідок передбачається з горизонтальним електродвигуном на лабетах і з горизонтальним фланцевим електродвигуном. В останньому випадку габарити лебідки на 15% менше. Наведений маховий момент передавального механізму лежить у межах 0,5-0,8 махового моменту двигуна.

Електропривод лебідок забезпечує роботу в режимі ПВ 40% при номінальному моменті двигуна.

Структурна схема механізованого комплексу для постановки вантажних стріл показана на рис. 2.6.

До складу комплексу входять:

1. Щит з перемикачем ЩПЛ. До його складу входять п’ять перемикачів УП53, за допомогою яких відбувається вибір пари стріл для постановки;

2. Щити керування п’ятьма в’юшками (двома топенантними, двома відтяжними і топриковою), що обслуговують одну пару вантажних стріл. До складу комплексу входять два щита.

3. До складу щита входять:

- індикатор одиночного режиму роботи;
- індикатор групового режиму роботи;
- п’ять індикаторів робочого стану в’юшок;
- п’ятнадцять кнопок керування в’юшками при одиночній роботі;
- вісім кнопок вибору режиму групової роботи;
- вісім запобіжників для захисту ланцюгів від коротких замикань;
- перемикач типу роботи.

4. Щит з двома контакторами ЩКЛ. Служить для формування заниженої напруги 75 В та 130 В. До складу щита входять:

- контактор формування напруги 75 В;
- контактор формування напруги 130 В;
- два індикатори вмикання контакторів;
- вісім запобіжників для захисту ланцюгів від коротких замикань;

5. Щити з контакторами. Призначені для подачі напруги 380 В, 130 В, 75 В на станції керування та вмикання котушок дискових гальм і двигунів гідроштовхачів, відтяжних та топрикових в’юшок. До складу входять:

- контактор вмикання напруги 380 В;
- два контактори вмикання пониженої напруги 130 В або 75 В;
- контактор вмикання двигуна гідроштовхача;
- контактор вмикання гальм;
- індикатор наявності напруги на щиту;
- два запобіжника для захисту індикатора від коротких замикань;

6. Щит пониженої напруги. Призначений для розподілу напруги 220 В, 130 В, 75 В. До складу щита входять вісім автоматичних вимикачів.

7. Станції керування. Вони постачаються комплектно з в’юшками: одна станція на дві в’юшки. Призначені для комутації силових ланцюжків в’юшок.

8. До складу станції входять:

- лінійний контактор;
- реверсивний пускач;
- два теплових реле для захисту електродвигуна від перегріву;
- реле часу для створення витримки часу при постановці в’юшки на стопор;
- автоматичний вимикач для захисту ланцюгів від коротких замикань;
- два випрямних елементи для живлення котушки реле часу.

9. Шити з реле ЩРЛ. Призначені для використання в системі керування, захисту та сигналізації. До складу комплексу входять: два щита, що містять у собі по п’ятнадцять реле.

10. Дзвоники. Призначені для подачі звукового сигналу при роботі в’юшок комплексу.

11. Обмежувачі натягу. Призначені для захисту канату топрику від недопустимих натягів. В обмежувачі вбудовані путьові вимикачі, типу ВП15, які спрацьовують при досяганні натягом встановленого значення.

12. Трансформатор типу ТСЗМ-6,3-74, 440/230-135В призначений для отримання понижених напруг 130 В та 75 В.

Схема розташування в’юшок для роботи спарених стріл на судні представлена на рис. 2.6.

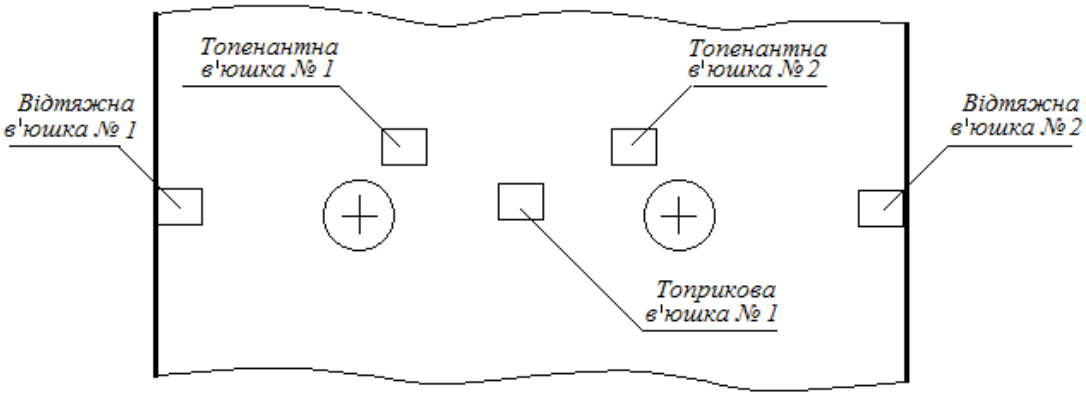


Рис. 2.6. Схема розташування в’юшок на один комплект вантажних стріл для спареної роботи

3. РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРОПРИВОДА ПОВОРОТУ ВАНТАЖНОЇ СТРІЛИ

3.1. Вибір двигунів для електроприводів вантажних механізмів

Основою для попереднього вибору приводного двигуна, як правило є навантажувальна діаграма виконавчого механізму, під якою розуміють залежність потужності, що споживається механізмом, або моменту від часу, -тобто $P = f_1(t)$ або $M = f_2(t)$.

Навантажувальні діаграми можуть виражати незмінне або циклічно непостійне в часі навантаження. Так як більшість електрифікованих механізмів працює з циклічно непостійним навантаженням, розрахунок потужності двигуна роблять методом послідовних наближень, у два етапи. Навантажувальна діаграма виконуючого механізму, при навантаженні, що циклічно змінюється, представлена на рис. 3.1.

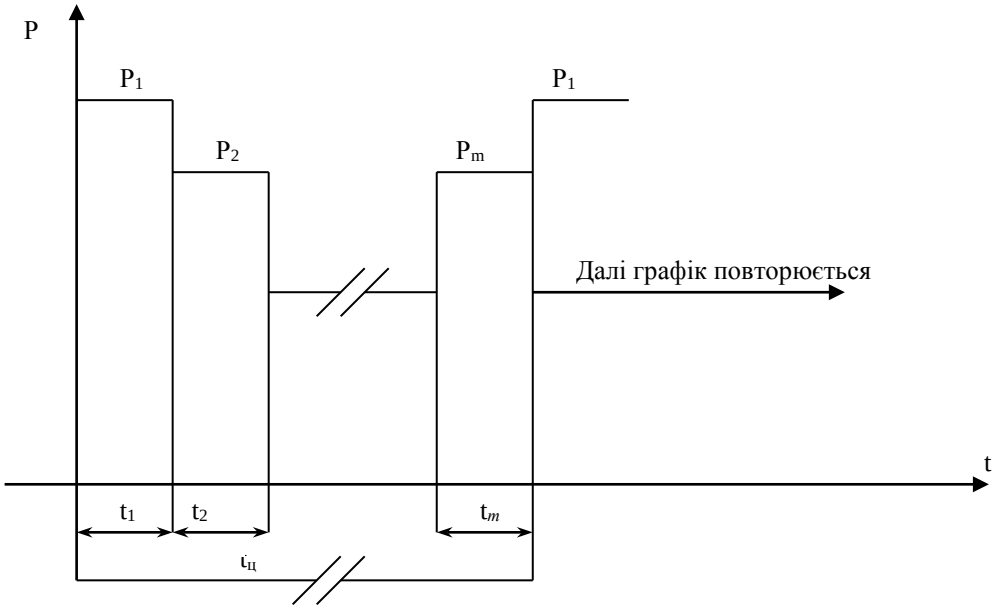


Рис. 3.1. Навантажувальна діаграма виконавчого механізму при навантаженні, що циклічно змінюється

На першому етапі здійснюється попередній вибір двигуна, на другому -

перевірка його на відповідність заданому графіку навантаження (режиму роботи). Такий порядок розрахунку пояснюється тим, що вибір двигуна для конкретних умов роботи можливий лише на основі навантажувальної діаграми самого двигуна, яку можна побудувати лише після розрахунку перехідних процесів, у приводі із цим електродвигуном. Тому виникає необхідність у попередньому орієнтовному виборі двигуна, що здійснюється по статичному номінальному навантаженню, або по середньостатистичній потужності заданого, або побудованого графіка навантаження робочої машини.

Розрахункову потужність робочого органу електрифікованого механізму можна визначити за середнім значенням моменту механізму $M_{мех}$ за формулою:

$$P_{мех} = M_{мех} \cdot \omega_{мех} \cdot 10^{-3},\ кВт \tag{3.1}$$

де $\omega_{мех}$ - кутова швидкість робочого органу, яка може бути визначена з рівняння:

$$\omega_{мех} = 2V / D_б,\ рад/с \tag{3.2}$$

де $D_б$ - діаметр вантажного барабана, м;

V – задана швидкість лінійного переміщення робочого органу або навивки троса на барабан, м/с.

Орієнтовно визначивши коефіцієнт корисної дії η обраної передачі, можна знайти потужність на валу двигуна за виразом:

$$P_{дв} = P_{мех} / \eta \tag{3.3}$$

Для механізму із заданою робочою швидкістю можна вибирати двигуни необхідної конструкції та типу $P_н \approx P_{дв}$, але з різними кутовими

швидкостями, з'єднуючи їх з виконавчим механізмом-редуктором, що має відповідне передатне відношення. Якщо електропривод працює з частими пусками та зупинками, то критеріями при виборі оптимального передаточного числа передачі є:

- найменша тривалість розгону і гальмування робочого органу механізму;

- мінімальний час переміщення робочого органу на заданій ділянці шляху;

- найменші втрати енергії в електроприводі за цикл.

Загального рішення для вибору оптимального передаточного числа, що задовольняє всім перерахованим умовам, поки не дано. Найбільш істотним часто є скорочення часу перехідних процесів.

Щоб розрахувати потужність і вибрати електродвигун, необхідно, також, мати у своєму розпорядженні технічні дані механізму. Вихідні дані наведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1. Вихідні дані до розрахунку

Параметри	Значення
1. Номінальна вантажопідйомність, т	5
2. Маса стріли, кг	1486
3. Діаметр вантажного барабана, м	0,36
4. Швидкість підйому (повороту) стріли, м/хв.	32
5. Загальний ККД передачі від двигуна до стріли	0,8
6. Максимальний виліт стріли, м	16
7. Мінімальний виліт стріли, м	9,5
8. Рід струму та напруги суднової мережі, В	Змінний, 380

3.2. Визначення моментів навантаження механізмів вильоту та повороту стріли

Для розрахунку електропривода механізму зміни вильоту стріли та механізму повороту стріли визначаємо необхідну довжину стріли:

$$L_c = \frac{b + (B/2) - y}{\cos\alpha \cdot \sin\varphi} \tag{3.4}$$

де b – відстань від поки виваленої за борт стріли до площини борта, м.

Приймаємо b =*4м*;

B – ширина судна, м;

у– відстань шпора стріли від діаметральної площини судна, м. Приймаємо

у=3,5м;

α - кут повороту стріли; щоб висота стріли над рівнем фальшборту становила 5-6 м, кут приймаємо 55°.

φ - кут повороту стріли щодо діаметральної площини, приймаємо 75°.

Після підстановки значень у формулу (3.4) одержуємо:

$$L_c = \frac{4 + (16{,}6/2) - 3{,}5}{\cos 55 \sin 75} = \frac{4 + 8{,}3 - 3{,}5}{0{,}5736 \cdot 0{,}9659} = 16 \ \ м$$

Приймаємо кут підйому стріли α_1, при найбільшому вильоті, рівним 15°. А кут підйому стріли при найменшому вильоті визначаємо по формулі:

$$\alpha_2 = \arccos\frac{L_{\min}}{L_c} \tag{3.5}$$

де $L_{\min}$ - мінімальний виліт стріли.

Після підстановки одержуємо:

$$\alpha_2 = \arccos\frac{9}{16} = \arccos 0{,}559 = 55^\circ$$

Визначаємо навантаження на блок:

- при максимальному вильоті стріли:

$$S_1 = \frac{m_c}{2} g \frac{L_c}{h_1}\cos\alpha_1; \tag{3.6}$$

$$S_1 = \frac{1486}{2} 9{,}81 \frac{16}{10}\cos 15^\circ = 11258{,}0H.$$

- при мінімальному вильоті стріли:

$$S_2 = \frac{m_c}{2} g \frac{L_c}{h_2}\cos\alpha_2; \tag{3.7}$$

$$S_2 = \frac{1486}{2} 9{,}81 \frac{16}{14{,}2}\cos 55^\circ = 4681{,}3H.$$

де m_c - маса стріли, кг;

g - прискорення вільного падіння, м/с^2;

h - довжина перпендикуляра до осі блоку опущеного з нижнього шарніра стріли, яка згідно конструкції дорівнює h_1=10м, h_2 =14,2 м.

Зусилля в блоці S_1 та S_2 створюють різні моменти на вантажному барабані залежно від виконуваної двигуном операції: підйом або опускання стріли.

Для вибору електродвигуна, мабуть, варто взяти, як найбільш важкий режим підйому, коли зі зменшенням вильоту стріли кут її збільшується від α_1 до α_2. Момент на валу вантажного барабана при цьому постійно зменшується від M_1 при максимальному вильоті стріли, який дорівнює:

$$M_1 = \frac{S_1 D_б}{2\eta_{бл}} = \frac{11258{,}0 \cdot 0{,}36}{2 \cdot 0{,}94} = 2155{,}8 \ \ Н \cdot м \tag{3.8}$$

до значення при M_2 при мінімальному вильоті стріли:

$$M_2 = \frac{S_2 D_б}{2\eta_{бл}} = \frac{4681{,}3 \cdot 0{,}36}{2 \cdot 0{,}94} = 896{,}4 \;\; Н \cdot м \qquad (3{,}9)$$

де $\eta_{бл}$ - коефіцієнт корисної дії блоку [3].

Середнє значення моменту визначається як середньо арифметичне:

$$M_{ср} = \frac{M_1 + M_2}{2} = \frac{2155{,}8 + 896{,}4}{2} = 1633{,}9 \;\; Н \cdot м \qquad (3.10)$$

і для вибору двигуна топенантної в'юшки:

$$M_{МЕХ} = kM_{ср} \qquad (3.11)$$

$$M_{МЕХ.1} = 1{,}15 \cdot 2155{,}4 = 2478{,}7 \;\; Н \cdot м$$

$$M_{МЕХ.2} = 1{,}15 \cdot 896{,}4 = 1076{,}4 \;\; Н \cdot м$$

$$M_{МЕХ.СР} = 1{,}15 \cdot 1633{,}9 = 1839{,}6 \;\; Н \cdot м$$

де k = 1,15±0,1 – коефіцієнт, що враховує необхідність подолання динамічних навантажень.

Розрахункове зусилля в топриках, що з'єднує ноки спарених стріл, повинне прийматися не менш 10% їхньої вантажопідйомності. А розрахункове зусилля в поворотних відтяжках стріл приймається не менш 25% їхньої вантажопідйомності.

З обліком цього, для зручності та простоти обслуговування, для всіх в'юшок необхідно вибирати однакові двигуни.

Електродвигун вибираємо як зазначено в п.3.1.

Величина $\omega_{мех}$ згідно формули (3.2) дорівнює:

$$\omega_{мех} = \frac{2 \cdot 18}{0{,}36 \cdot 60} = 1{,}66 рад/с$$

Розрахункову потужність робочого органа згідно формули (3.1):

$$P_{мех.1} = 2478{,}7 \cdot 1{,}66 \cdot 10^{-3} = 4{,}139 кВт$$

$$P_{мех.2} = 1076{,}4 \cdot 1{,}66 \cdot 10^{-3} = 1{,}829 кВт$$

Потужність на валу двигуна по формулі (3.3) дорівнює:

$$P_{\max.1} = 4{,}139 / 0{,}76 = 5{,}447 кВт$$
$$P_{\max.2} = 1{,}829 / 0{,}6 = 3{,}057 кВт$$

3.3. Визначення типу електродвигуна для вантажної лебідки

Для забезпечення таких вимог можливо використати двошвидкісний електродвигун типа МАП421-4/12 ОМ1, дані якого наведено в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2. Основні параметри двошвидкісний електродвигун типа МАП421-4/12 ОМ1

Параметри	Значення	
Число полюсів	4	12
Потужність, кВт	6	3,5
Частота обертання, об/хв.	1420	460
Номінальний струм, А	13,5	16
Пусковий струм, А	95	103,5
Максимальний момент, $Н \cdot м$	145	170
Пусковий момент, $Н \cdot м$	130	165
Коефіцієнт потужності, $\cos\varphi$	0,82	0,62
Режим роботи, одногодинний	40%	15%
Маховий момент, $кг \cdot м^2$	0,05	0,05
Напруга, В	380	380

Крім двошвидкісних двигунів для електроприводів лебідок вантажних стріл можливо використання одношвидкісних асинхронних двигунів з короткозамкненим (КЗ) ротором. Керування електроприводом при цьому виконують або зміною напруги на статорі, або за допомогою перетворювача частоти (ПЧ).

Можливі ще два способу керування частотою обертання асинхронного двигуна з КЗ ротором, - зміною активного опору в колі ротора, або порушенням несиметрії напруги, що підводиться до статора.

Однак, при зміні активного опору треба додатковий реостат, що

приводить до втрат енергії. А при порушенні симетрії напруги потрібен автотрансформатор в одній фазі, що також приводить то додаткових втрат енергії.

В якості одношвидкісного асинхронного двигуна, який забезпечує розрахункові дані по довіднику - каталогу вибираємо електродвигун типу МАП 421-4 ОМ1 для вантажопідйомних механізмів із прибудованим дисковим гальмом ТМТ-12. Основні параметри такого двигуна наведено в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3. Основні параметри двигуна МАП 421-4 ОМ1 для вантажопідйомних механізмів

Параметри	Значення
Число полюсів	4
Потужність, кВт	6
Частота обертання, об/хв.	1445
Номінальний струм, А	16,5
Пусковий струм, А	109
Максимальний момент, $Н \cdot м$	180
Пусковий момент, $Н \cdot м$	140
Коефіцієнт потужності, $\cos\varphi$	0,76
Режим роботи, одногодинний	40%
Маховий момент, $кг \cdot м^2$	0,05
Напруга, В	380

Проведемо розрахунок робочих моментів для одношвидкісного двигуна МАП 421-4 ОМ1. Визначимо кутову швидкість двигуна по формулі:

$$\omega_{дв} = \frac{\pi \cdot n_H}{30}; \qquad (3.12)$$

$$\omega_{дв} = \frac{3{,}14 \cdot 925}{30} = 96{,}86\, рад/с;$$

Тепер можна визначити загальне передатне відношення від двигуна до робочого органа виконавчого механізму (передаточний коефіцієнт):

$$i = \frac{\omega_{дв}}{\omega_{мех}}; \qquad (3.13)$$

$$i = \frac{96{,}86}{1{,}666} = 58;$$

Визначимо статичні моменти на валу двигуна в кінцевих точках шляху при підйомі та опусканні стріли:

- на початку підйому (при максимальному вильоті стріли):

$$M_{1ст} = \frac{S_1 \cdot D_б}{2i\eta} = \frac{11258{,}0 \cdot 0{,}36}{2 \cdot 58 \cdot 0{,}76} = 46{,}0 Н \cdot м \qquad (3.14)$$

- наприкінці підйому (при мінімальному вильоті стріли):

$$M_{2ст} = \frac{S_2 \cdot D_б}{2i\eta} = \frac{4681{,}3 \cdot 0{,}36}{2 \cdot 58 \cdot 0{,}76} = 19{,}1 Н \cdot м \qquad (3.15)$$

- на початку опускання (при мінімальному вильоті стріли):

$$M_{3ст} = \frac{S_2 \cdot D_б}{2i}(2 - \frac{1}{\eta}) = \frac{4681{,}3 \cdot 0{,}36}{2 \cdot 58}(2 - \frac{1}{0{,}76}) = 9{,}9 Н \cdot м \qquad (3.16)$$

- наприкінці опускання (при максимальному вильоті стріли):

$$M_{4ст} = \frac{S_1 \cdot D_б}{2i}(2 - \frac{1}{\eta}) = \frac{11258{,}0 \cdot 0{,}36}{2 \cdot 58}(2 - \frac{1}{0{,}76}) = 23{,}8 Н \cdot м \qquad (3.17)$$

У формулах (3.14)-(3.17) прийняті наступні позначення:

i – передатне відношення передачі від двигуна до вантажного барабана;

η – загальний ККД передачі від двигуна до стріли.

Для відтяжної в'юшки момент на валу барабана при одиночній роботі стріли дорівнює моменту $M_{2ст}$, а при груповій роботі стріл - моменту $M_{1ст.}$

Для топрикової в'юшки момент на валу в одиночній і груповій роботі

стріл дорівнює $M_{2ст.}$

4. АНАЛІЗ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ ТА ВИБІР ЕЛЕКТРОПРИВОДА ДЛЯ ВАНТАЖНОЇ СТРІЛИ

4.1. Електроприводи вантажних лебідок змінного струму та їх аналіз

Вантажна лебідкам – найбільш розповсюджений та універсальний вантажопідйомний механізм. В даний час найбільш розповсюдженою системою електроприводу вантажних лебідок є контакторна система з виконуючим богатошвидкісним короткозамкненим двигуном, яка багато в чому відповідає експлуатаційним вимогам до вантажних механізмів.

Електропривод вантажної лебідки на основі тришвидкісного короткозамкненого двигуна використовується для електроприводів потужністю до 40 кВт. Тришвидкісні двигуни мають діапазони регулювання 1:2:4 та 1:2:6. Виконуючий двигун має три відокремлені незалежні обмотки, що розміщені на одному статорі.

Це дає можливість вибирати найліпші співвідношення чисел полюсів кожної із обмоток та отримати найбільш вигідне регулювання. Однак для таких приводів високопродуктивних механізмів, яки розраховані на ступеневий пуск та гальмування, є вельми небезпечні відкази реле прискорення та гальмування, виходу яких зі строю оператор не помічає, а безступеневі пуски можуть привести до недопустимого перевантаження двигуна. Тому в схему вводять додатково блокуючи вузли, яки контролюють реле та відповідні контактори. В результаті будь-яка відмова приводить до припинення роботи електроприводу.

Також використовують схеми електроприводів вантажних механізмів, лебідок або кранів, які виконані по системі Г-Д (генератор – двигун). В такої

схемі живлення обмоток збудження генератора та двигуна відбувається від магнітних підсилювачів. Єдиним комутаційним оперативним апаратом є лише командо – контролер, контакти якого комутують в основному ланцюги управляючих обмоток магнітних підсилювачів. Струми обмоток управлення магнітних підсилювачів маленькі і тому командо – контролер практично комутує практично безструмові ланцюги, що приводить до підвищення стійкості до зношення.

Швидкість двигуна регулюється зміною підводимої напруги шляхом управління струмом збудження генератора та зміною поля виконуючого двигуна. Діапазон регулювання швидкості дорівнює 20. Цей діапазон визначається максимальної швидкістю при підйомі та опусканні порожнього крюка, що дорівнює 200% номінальної швидкості, та величиною посадкової швидкості при спуску вантажу, яка дорівнює 10% від номінальної. Система забезпечує наступні вимоги до динаміки:

- час розгону двигуна вхолосту до найбільшої швидкості – не більш 2,5 с;
- час розгону двигуна при номінальному статичному навантаженні – не більш 1 с;
- пусковий момент на першому положенні підйому – не менш 120% при підйомі номінального навантаження.

Електроприводи, виконані за системою Г – Д мають значні габарити та високу установочну вартість. Однак вимоги до судових вантажопідйомних механізмів постійно ростуть, тому є потреба до нових рішень при проектуванні електроприводів вантажних пристроїв.

4.2. Електропривод вантажної лебідки з живленням від регулюємого статичного перетворювача частоти

Поєднання надійного та економічного статичного перетворювача

частоти на напівпровідникових приладах з асинхронним короткозамкненим двигуном відкриває великі перспективи для електроприводів судових вантажопідйомних механізмів.

Структурну схему силової частини статичного перетворювача частоти приведено на рисунку 4.1.

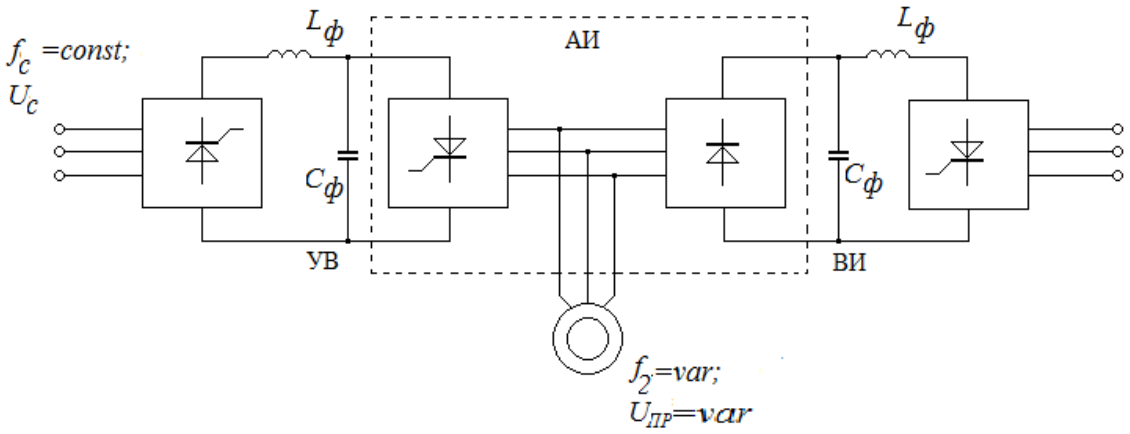


Рис. 4.1. Структурна схема силової частини статичного перетворювача частоти

- УВ – керуємий вентиль;
- АИ – автономний інвертор;
- ВИ – відомий інвертор;
- $L_Ф$ – індуктивність фільтру;
- $C_Ф$ – ємність фільтру.

На відміну від системи з багато швидкісним електродвигуном частотно –регулюємий електропривод дозволяє на 20-25% звеличити продуктивність вантажного механізму за рахунок вибору оптимального діапазону регулювання швидкості та підвищення швидкості переміщення порожнього крюка. При цьому зменшуються втрати при статичних та перехідних режимах, маса двигуна зменшується в 1,5 разу, а момент зменшується в 2 рази. Струм при перехідних режимах складає 2-2,5 номінального струму, а зменшення махового моменту скорочує втрати енергії на розганяння махових мас. Тому для плавного регулювання швидкості з забезпеченням режиму

генераторного гальмування в діапазоні робочих швидкостей вибрано систему частотного регулювання з проміжною ланкою постійного струму та зворотним інвертором.

4.3. Робота схеми електроприводу зі статичним перетворювачем частоти

Функціональну схему електроприводу зі статичним регулюємим перетворювачем частоти з проміжною ланкою постійного струму приведено на рисунку 4.2.

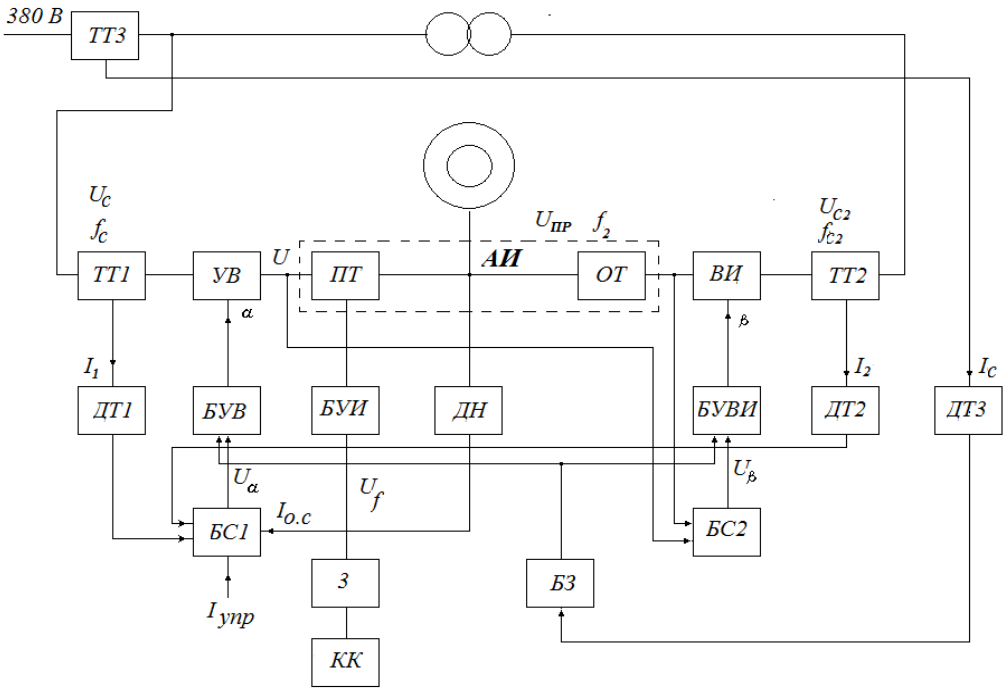


Рис. 4.2. Функціональна схема електроприводу

Регулювання частоти здійснюється автономним інвертором ***АИ***, який складається з групи вентилів прямого *ПТ* та зворотного *ОТ* струмів, з кутовим інтервалом включення тиристорів $\lambda = 2\pi/3$ та одноступеневої між фазної комутацією, а регулювання напруги – амплітудним методом за допомогою керує мого випрямляча *УВ*.

Рекуперація енергії в мережу при спуску вантажу проводиться за допомогою відомого інвертора *ВИ*. Поділяючий трансформатор

підключений на відомий інвертор та відділяє ланцюг живлення *ВИ* від кола живлення *УВ*. Реверсування виконуючого двигуна проводиться схемою керування перетворювача частоти *ПЧ* шляхом зміни порядку відкривання вентилів ***АИ***.

Схема управління системою забезпечує плавний спуск та гальмування двигуна, реверс при нульової швидкості двигуна з наступним плавним розганянням двигуна в зворотний бік, автоматичний плавний перехід на підвищену швидкість переміщення порожнього крюка. Для зменшення втрат в схему введено зворотний зв'язок по струму в головному ланцюзі, яка забезпечує форсування напруги при великих навантаженнях та зменшує напругу и потік двигуна на малих навантаженнях.

Керування вихідною частиною здійснюється від сельсинного командо – контролера КК, який має шість положень на підйом та спуск вантажу. Напруга з виходу сельсина командо – контролера, який працює в трансформаторному режимі, подається на вхід задатчика частоти *З*, в якому напруга сельсину *КК* перетворюється в напругу керування задаваючим генератором блоку керування інвертора *БУИ*.

Схема задатчика забезпечує лінійну зміну вихідної напруги при миттєвої зміні вхідної напруги. Час підвищення та зменшення вихідної напруги задатчика визначає потрібний темп регулювання частоти на виході ПЧ.

Безпосереднє керування автономним інвертором призводить блок управлення БУИ, який в визначеної послідовності подає сигнали на управляючі електроди тиристорів автономного інвертора. Принципову схему БУИ наведено на рисунку 4.3.

При переводі рукоятки командо – контролера з положення підйому в положення спуску вантажу або навпаки *БУИ* змінює порядок відкривання вентилів ***АИ***.

Керування напругою двигуна при зміні частоти здійснюється по каналу, - датчик напруги *ДН*, блок порівняння *БС1*, блок керування

випрямлячем, керуємий випрямляч *УВ*.

Напруга на виході автономного інвертору з кутовим інтервалом включення тиристорів $\lambda=2\pi/3$ та одноступеневій міжфазної комутацією залежить від параметрів навантаження. Тому напруга повинна регулюватися по першої гармоніці за допомогою замкненої системи автоматичного регулювання. Призначення датчика напруги – виділити з кривої вихідної напруги ***АИ*** величину, яка пропорційна першої гармоніці, що досягається за допомогою фільтра.

Блок порівняння *БС1* виконаний на базі диференційного магнітного підсилювача з внутрішнім позитивним зв'язком та виходом на постійному струмі. На вхід магнітного підсилювача поступає задаваючий сигнал керування, сигнал від датчика напруги та сигнали від датчиків струму *ДТ1* та *ДТ2*.

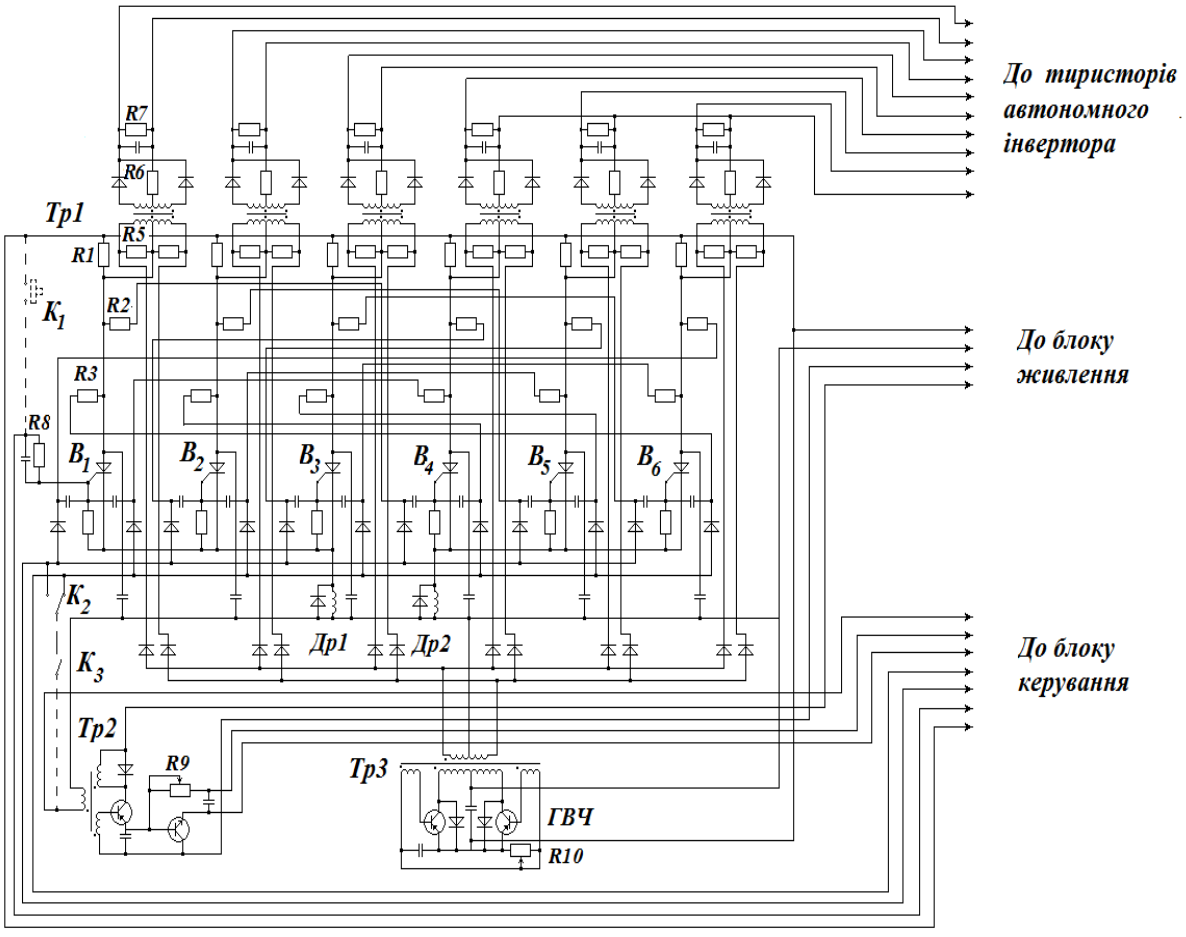


Рис. 4.3. Схема блоку керування інвертором

К1-К3 - контакти керування;

ГВЧ – генератор високої частоти.

В результаті при навантаженні на валу двигуна, яке відповідає підйому номінального вантажу, на вхід *БУВ* подається сигнал, що забезпечує роботу двигуна в режимі мінімуму втрат. Датчики *ДТ1* та *ДТ2* встановлені відповідно на вході керованого випрямляча та відомого інвертора *ВИ*.

Дякуючи сумарної дії *ДТ1* і *ДТ2* при постійної частоті напруги на виході *ПЧ* змінюється в залежності від активного струму двигуна. При постійному навантаженні та зміненні частоти вихідна напруга *ПЧ* регулюється в схемі по відхиленню струму на виході *ДН* (обмотки керування магнітного підсилювача, яка підключена через додатковий опір) от завданої величини. В результаті струм намагнічування і потік двигуна при постійному навантаженні від частоти не залежать.

Замкнута система регулювання напруги *ПЧ* забезпечує необхідну залежність між частотою та напругою живлення двигуна також при коливаннях напруги судової мережі.

Безпосереднє керування випрямлячем відбувається блоком *БУВ* шляхом зміни кута замикання α вентилів *УВ*.

Перехід на підвищену швидкість переміщення порожнього крюка виконується в залежності від сигналу, який поступає з датчика струму *ДТ*, сигнал на який подається від трансформаторів струму *ТТ*, після розгону двигуна до швидкості, яка відповідає частоті 50Гц, та зменшення сигналу на виході *ДТ* до величини, пропорційної струму двигуна при переміщенні порожнього крюка. При цьому відбувається переключення в ланцюзі задаваючого генератору *БУИ* та в обмотці керування магнітного підсилювача блоку порівняння БС1. В результаті на виході *ПЧ* встановлюється частота 75 Гц та напруга, що забезпечує роботу виконуючого двигуна в режимі мінімальних втрат на частоті 75 Гц при навантаженні, яке відповідає переносу легких вантажів.

Керування інвертором *ВИ* здійснюється по каналу, - блок порівняння *БС2*, блок керування відомим інвертором *БУВИ*, відомий інвертор *ВИ*.

Блок порівняння *БС2* керує блоком *БУВИ* по відхиленню напруги в групі вентилів зворотного струму ***АИ*** від напруги на виході *УВ*, завдяки чому витримуються необхідні співвідношення між кутами відкривання α тиристорів *УВ* та кутами випередження відкривання β тиристорів *ВИ*, що необхідно для нормальної роботи *ПЧ* в режимі, що установився та в перехідних режимах, а також для забезпечення режиму рекуперативного гальмування.

Блок *БС2* в основному аналогічний блоку *БС1*. Незалежність режиму роботи вентильних ланок перетворювача частоти та відсутність змінення напрямку потоку енергії через ці ланки забезпечують високу швидкодію в перехідних процесах. Система управління вентильного перетворювача частоти стає також відносно простою із-за відсутності пристроїв заборони та дискретного змінення керуючих імпульсів.

В схемі *ПЧ* передбачений захист від струмів короткого замикання та перевантаження двигуна, яка здійснюється блоком захисту *БЗ* в функції від сумарного струму, який споживається перетворювачем. При перевищуванні струмом відповідної величини сигнал на виході блока захисту поступає на блоки *БУВ* та *БУВИ* і одночасно знімає керуючи імпульси з керованого випрямляча та залежного інвертора.

Крім того, в схемі електроприводу є спеціальний блок запуску перетворювача частоти та керування електродвигуном гідроштовхача гальма лебідки. В цьому блоці передбачений вузол, який виконує нульовий захист та контролює правильну роботу системи керування частотного перетворювача.

4.4. Аналіз сучасних перетворювачів частоти та їх використання

Частотний перетворювач служить для плавного регулювання швидкості асинхронного електродвигуна або синхронного двигуна за рахунок створення на виході перетворювача електричної напруги заданої частоти. У

найпростіших випадках регулювання частоти та напруги відбувається відповідно до заданої характеристики V/*f*, у найбільш звісних перетворювачах реалізоване так зване векторне керування. Частотний перетворювач — це пристрій, що складається з випрямляча (моста постійного струму), що перетворить змінний струм промислової частоти в постійний, і інвертора (перетворювача), що перетворить (іноді із ШІМ) постійний струм, у змінний необхідних частоти та амплітуди. Вихідні тиристори (GTO) або транзистори (IGBT) забезпечують необхідний струм для живлення електродвигуна.

Для поліпшення форми вихідної напруги між перетворювачем і двигуном іноді ставлять дросель, а для зменшення електромагнітних перешкод — Emc-Фільтр.

Перетворювач частоти складається з електричного привода і керуючої частини. Електричний привод частотного перетворювача складається зі схем, до складу яких входить тиристор і або транзистори, які працюють у режимі електронних ключів. В основі керуючої частини перебуває мікропроцесор, який забезпечує керування силовими електронними ключами, а також розв'язок великої кількості допоміжних завдань (контроль, діагностика, захист).

Залежно від структури та принципу роботи електричного привода виділяють два класи перетворювачів частоти:

1. З безпосереднім зв'язком.
2. З явно вираженим проміжною ланкою постійного струму.

Кожний з існуючих класів перетворювачів має свої гідності та недоліки, які визначають область раціонального застосування кожного з них.

У перетворювачах з безпосереднім зв'язком електричний привод являє собою керований випрямляч. Система керування по черзі відмикає групи тиристорів і підключає статорні обмотки двигуна до живильної мережі.

Таким чином, вихідна напруга перетворювача формується з «вирізаних» ділянок синусоїд вхідної напруги.

Частота вихідної напруги не може бути рівна або вище частоти живильної мережі. Вона перебуває в діапазоні від 0 до 30 Гц. Як наслідок - малий діапазон керування частотою обертання двигуна (не більш 1:10). Це обмеження не дозволяє застосовувати такі перетворювачі в сучасні частотне регульованих приводах із широким діапазоном регулювання технологічних параметрів.

Використання тиристорів, що незапираються, потребує відносно складних систем управління, які збільшують «різану» синусоїду на виході перетворювача з безпосереднім зв'язком є джерелом вищих гармонік, які викликають додаткові втрати в електричному двигуні, перегріви електричної машини, зниження моменту, дуже сильні перешкоди в живильній мережі. Застосування пристроїв, що компенсують, приводить до підвищення вартості, маси, габаритів, зниженню ККД системи в цілому.

Найбільш широке застосування в сучасні частотне регульованих приводах знаходять перетворювачі з явно вираженим ланкою постійного струму.

У перетворювачах цього класу використовується подвійне перетворення електричної енергії: вхідна синусоїдальна напруга з постійною амплітудою та частотою випрямлюється у випрямлячі, фільтрується фільтром, згладжується, а потім знову перетвориться інвертором у змінну напругу змінюваної частоти та амплітуди.

Подвійне перетворення енергії приводить до зниження ККД і до деякого погіршення массо-габарітних показників стосовно перетворювачів з безпосереднім зв'язком.

Для формування синусоїдальної змінної напруги використовують автономний інвертор, який формує електричну напругу заданої форми на

обмотках електродвигуна (як правило, методом широтно-імпульсної модуляції).

У якості електронних ключів в інверторах застосовуються тиристори, що GTO і їхні вдосконалені модифікації GCT, IGCT, SGCT, та біполярні транзистори з ізольованим затвором IGBT.

Головною перевагою тиристорних перетворювачів частоти, як і в схемі з безпосереднім зв'язком, є здатність працювати з більшими струмами та напругами, витримуючи при цьому тривале навантаження та імпульсні впливи. Вони мають більш високий ККД (до 98 %) стосовно перетворювачів на IGBT транзисторах.

Перетворювачі частоти є нелінійним навантаженням, що створює струми вищих гармонік у живильній мережі, що приводить до погіршення якості електроенергії.

Більшість сучасних перетворювачів частоти побудоване за схемою подвійного перетворення. Вони складаються з наступних основних частин: ланки постійного струму (некерованого випрямляча), силового імпульсного інвертора та системи керування.

Ланка постійного струму складається з некерованого випрямляча та фільтра. Змінна напруга живильної мережі перетвориться в ньому в напругу постійного струму.

Силовий трифазний імпульсний інвертор складається із шести транзисторних ключів. Кожна обмотка електродвигуна підключається через відповідний ключ до позитивного та негативного виводів випрямляча. Інвертор здійснює перетворення випрямленої напруги в трифазну змінну напругу потрібної частоти та амплітуди, яке прикладається до обмоток статора електродвигуна.

У вихідних каскадах інвертора як ключів використовуються силові IGBT-транзистори.

У порівнянні з тиристорами вони мають більш високу частоту перемикання, що дозволяє виробляти вихідний сигнал синусоїдальної форми з мінімальними викривленнями.

Типова схема підключення перетворювача частоти приведена на рисунку 4.4.

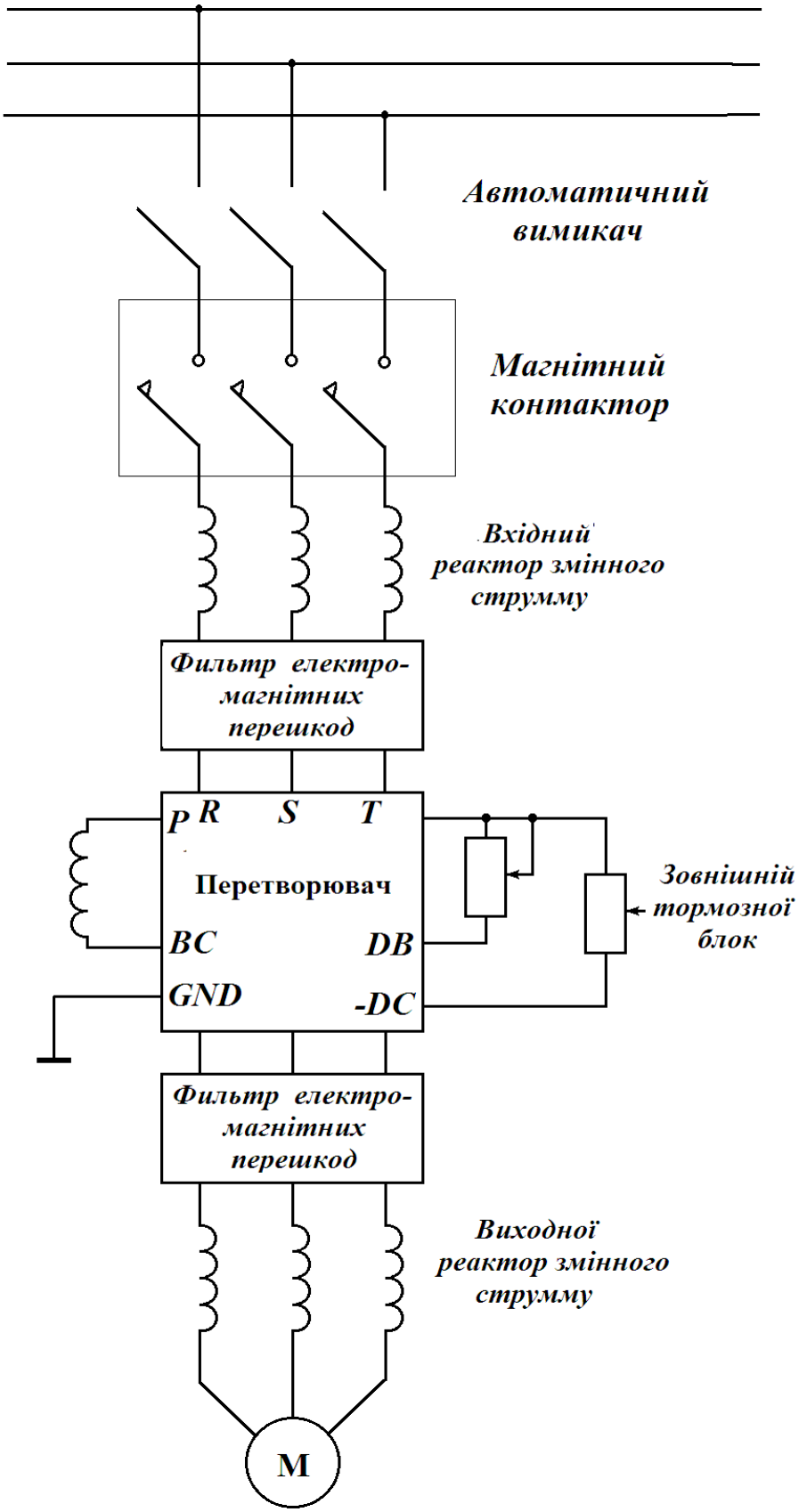


Рис. 4.4. Рекомендована схема підключення перетворювача частоти до двигуна змінного струму

Перетворювачі частоти по побудові можуть бути розбиті на два типа:

- а) дволанкові перетворювачі частоти (ДПЧ);
- б) безпосередні перетворювачі частоти (БПЧ).

У ДПЧ перша ланка являє собою випрямляч (керований або некерований) з фільтром на виході, а друге − автономний інвертор. Таким чином, навантаження пов'язана з мережею через дві ланки, і відбувається дворазове перетворення енергії. Друга ланка в ДПЧ може бути виготовлена як на основі автономного інвертора напруги (АІН), так і на основі автономного інвертора струму (АІТ). ДПЧ дозволяють одержати на виході частоти як менші, так і більші вхідних. Їхній недолік – подвійне перетворення енергії, провідне до збільшення втрат. НПЧ виконуються на основі реверсивних перетворювачів. Однофазний НПЧ являє собою двокомплектний реверсивний перетворювач, на виході якого підключено навантаження. Кожний комплект вентилів пропускає одну півхвилю струму. Трифазний НПЧ являє собою три реверсивних перетворювача, кожний з яких живить одну фазу.

Автоматичний перемикач має функцію захисту от перенапруги, яка запобігає відмові зовнішнього устаткування. При установці автоматичного вимикача ураховуйте його навантажувальну здатність.

Магнітний контактор для від’єднання от головного джерела живлення у випадку відмови перетворювача та запобігання перезапуску після вимикання живлення і відмови перетворювача. Вхідний реактор змінного струму може знизити вплив нестійкого джерела трифазного живлення змінного струму, поліпшити коефіцієнт потужності на стороні входу перетворювача, знизити навантаження на перетворювач при його підключенні до двигуна великої потужності, яка може привести до ушкодження ланцюга випрямляча. Реактор змінного струму необхідно встановлювати в кожному з наступних випадків:

1. Нестійкість живлення вище 3%.
2. Навантажувальна здатність по потужності як мінімум 500 кВа і

більш ніж в 10 раз перевищує навантажувальну здатність перетворювача.

Промисловістю різних держав виготовляються перетворювачі частоти на широкий діапазон потужностей, напруги, робочої частоти. Наприклад, перетворювачі серії PR6000 діляться по напрузі на два класи: 220 В и 380 В.

Відповідний діапазон потужностей електродвигунів складає 0,75 кВт ~ 315 кВт.

Моделі трифазних і однофазних перетворювачів серії PR6000 представлено в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1. Параметри трифазних перетворювачів серії PR6000

Модель	Номінальна потужність, кВА	Номінальний струм на виході, А	Припустима потужність двигуна, (кВт)
PR6000-0022T3G	4,7	5,0	2,2
PR6000-0040T3G	6,1	8,5	4,0
PR6000-0055T3G	11	13	5,5
PR6000-0075T3G	14	17	7,5
PR6000-0110T3G	21	25	11

Параметри перетворювачів частоти іншої фірми приведено в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2. Параметри перетворювачів частоти типів C200/C100

Марка перетворювача	Напруга на вході, В	Номінальний струм на виході, А	Допустима потужність (кВт)
C200-2T/2S-0022	220	10,0	2,2
C200-2T/2S-0037	220	16,5	3,7
C200-2T-0055	220	25	5,5
C200-2T-0075	220	33	7,5
C200-2T-0110	220	49	11

Промисловістю України (м. Нова Каховка) і Росії (м. Санкт - Петербург) також налагоджений випуск регульованих перетворювачів частоти для асинхронних двигунів. Модельний ряд IS5-RUS розроблений для керування трифазними загальнопромисловими асинхронними двигунами потужністю від 0,75 до 22 кВт.

Оскільки рівень гармонійних струмів знижується в міру зростання їх кратності, рекомендується сконцентруватися на більш низьких частотах. Найпростішим способом є збільшення повного опору ланцюга за допомогою дроселя. Приводи без дроселя викликають суттєво більш високі гармонійні струми в порівнянні із пристроями, постаченими дроселем. Крім того, дросель, розміщений на стороні змінного струму, демпфірує піки перенапруг у мережі. Усі перетворювачі частоти ЗАТ «ЭЛЕКТРОТЕКС» можуть комплектуватися вбудованим дроселем змінного струму. Гармонійні струми за допомогою дроселів можна зменшувати, але не можна повністю усунути

Силова частина схеми перетворювача частоти (див. рис.4.5) містить у собі наступні пристрої.

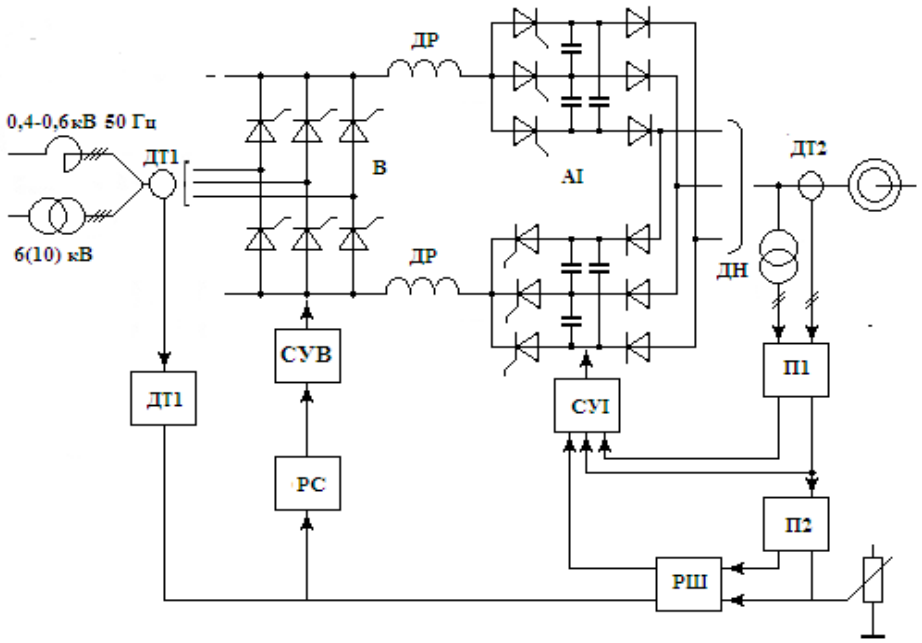


Рис. 4.5. Схема силової частини перетворювача частоти

- керований трифазний мостовий випрямляч В. Випрямляч В підключається до мережі 50 Гц через струмоограничивающий реактор або погоджувальний трансформатор. На стороні змінного струму керованого випрямляча встановлені датчики струму ДТ1;

- трифазний мостовий автономний інвертор струму АІ з діодами, що відтинають комутуючі конденсатори, та призначені для примусового вимикання тиристорів інвертора. На виході АІ встановлені датчики напруги ДН і струму ДТ2;

- Дросель, що згладжує, ДР у ланці постійного струму між В и АІ.

Принцип функціонування: змінний струм частоти 50 Гц випрямлюється за допомогою керованого випрямляча, а потім перетвориться в змінний струм регульованої частоти за допомогою автономного інвертора струму. Частота змінного струму визначається частотою подачі керуючих імпульсів на тиристори інвертора, а амплітуда змінного струму регулюється зміною кута керування імпульсів випрямляча. І частота керуючих імпульсів АІ, і кут керування імпульсів В встановлюються автоматично системою керування та регулювання, що містить наступні функціональні вузли.

- Регулятор швидкості РШ. На вході РШ рівняються сигнали завдання частоти обертання та сигнал фактичної частоти обертання. На виході регулятора швидкості одержуємо сигнал завдання амплітуди струму та завдання кута збудження між вектором струму та вектором потоку двигуна.

- Перетворювач (пристрій) П1 виміру векторів струму та потоку двигуна. За миттєвими значенням фазних струмів і напруги виміряються амплітуда та просторовий кут векторів струму *I* і напруги *U*.

- Перетворювач (пристрій) П2 виміру амплітуди Ф и частоти обертання вектора потоку.

Момент, що розвивається двигуном, визначається амплітудами, Ф и кутом зсуву між векторами *I* і *U*. Призначення регулятора швидкості змінювати момент двигуна таким чином, щоб фактична швидкість була рівна заданої . Саме тому на виході РШ одержуємо два сигнали: завдання / і кут /.

Зміною співвідношень між *I* і *U* можна одержати різні закони керування асинхронним двигуном, наприклад, режим ослаблення потоку двигуна, режим керування двигуном за законом М.П. Костенко та ін.

Система автоматичного регулювання величини струму двигуна (він же вихідний струм інвертора, він же вхідний струм випрямляча), включає в себе:

- регулятор струму РС, на вході якого рівняються сигнали завдання / і фактичного струму;

- система керування випрямлячем СУВ, що формує керуючі імпульси тиристорів випрямляча, кут керування яких визначається вихідним сигналом РТ;

- керований випрямляч як силовий регулятор.

Система керування інвертором СУІ формує керуючі імпульси тиристорів інвертора. Вихідна частота змінного струму (або частота обертання вектора) визначається частотою подачі керуючих імпульсів на тиристори інвертора. Остання формується в СУІ таким чином, щоб фактичний кут зрушення між векторами та був рівний заданому.

Система керування ПЧИТ реалізована у вигляді програми, установленої в мікроконтроллері в складі перетворювача.

ПЧ мають високу завадостійкість і невелике випромінювання електромагнітних перешкод. Це досягнуте за рахунок спеціального корпуса, дроселя змінного струму, фільтра радіочастотних перешкод, а також інших технічних розв'язків. Вхідний дросель знижує також рівень вищих гармонік, яки генеруються перетворювачем частоти в живильну мережу.

Сучасна технологія із застосуванням датчиків зворотному зв'язка, а також безпосередній вимір струму по трьом фазам гарантують якісне керування електродвигуном, високу надійність виробу та адаптованість перетворювача частоти навіть до самих складних умов застосування.

З іншого боку, завдяки зручним панелям керування та спеціалізованим програмним продуктам, робота з перетворювачами частоти ЗАТ

«ЭЛЕКТРОТЕКС» у всіх випадках застосування не представляє складностей. Є також широкий асортимент додаткових опцій і приладдя.

Аналогичні перетворювачі доцільно застосувати для живлення і керування механізмом підйому та для двигуна поворотної колонки. Для живлення зазначених механізмів вибираємо перетворювачі, що забезпечують частотне регулювання електродвигуна. Як відомо в цьому випадку можливі наступні основні випадки регулювання швидкості :

- при постійному моменті, тобто при M=const;
- при постійній потужності, тобто при P_2 = const., коли момент пропорційний квадрату частоти, тобто $M = f_1^2$.

Дослідження цього питання, показує, що якщо треба, щоб двигун працював при різних частотах із практично постійними значеннями ККД, коефіцієнта потужності, перевантажувальної здатності та з постійним абсолютним ковзанням, то при ненасиченій сталі необхідно одночасно зі зміною частоти регулювати також напругу U_1 залежно від частоти та моменту за наступним законом:

$$\frac{U_1'}{U_1} = \frac{f'}{f_1}\sqrt{\frac{M'}{M}} \quad ; \tag{4.1}$$

Тут U_1 і M — напруга та момент, відповідні до частоти f_1, а U'_1 і M$'$ — відповідні до частоті f'_1 .

При M = const маємо:

$$\frac{U_1'}{U_1} = \frac{f'}{f_1} \tag{4.2}$$

Тобто напруга, що підведена до двигуна, повинна змінюватися пропорційно частоті.

При постійній потужності момент двигуна змінюється пропорційно швидкості і, отже, частоті, тобто:

$$\frac{M'}{M} = \frac{f_1}{f_1'} \tag{4.3}$$

звідки

$$\frac{U_1^{/}}{U_1} = \sqrt{\frac{M_1^{/}}{M_1}} \qquad (4.4)$$

Якщо $M \equiv f$, то:

$$\frac{U_1^{/}}{U_1} = \left(\frac{f_1^{/}}{f_1}\right)^2 \qquad (4.5)$$

Тобто напруга, що підводиться до двигуна повинна змінюватися пропорційно квадрату частоти.

У нашім випадку для управління механізму підйому необхідно застосувати регулювання M=const. Тобто регулювання при постійному моменті навантаження. Для поворотної колонки перетворювач повинен забезпечувати регулювання моменту навантаження пропорційне квадрату частоти.

При цьому в першому та другому випадку напруга повинна змінюватися з наведеними вираженнями.

У перетворювачі, що забезпечує живлення механізму підйому, може бути передбачене забезпечення роботи механізму в режимі гальмового спуска, для цього можливо забезпечення динамічного гальмування двигунів механізму підйому з живленням двох фаз двигунів постійним струмом тобто в цьому випадку клеми тільки двох фаз статорної обмотки двигуна підключаються на живлення від випрямляча, принципова електрична схема такого перетворювача наведена на рисунку 4.6.

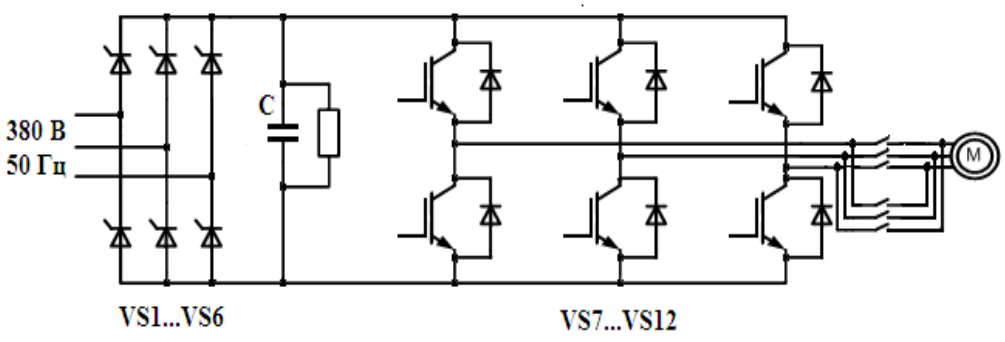


Рисунок. 4.6. Схема перетворювача частоти з інвертором на IGBT транзисторах

Перетворювач для живлення двигунів вибираємо потужністю 5,5 кВт серії PR6000-0055T3G або C200-4T-0055/C100-4T-0055.

4.5. Розрахунок характеристик запропонованих двигунів

При удосконаленні енергоелектричної системи керування вантажної лебідки судна запропоновано змінити двошвидкісний двигун марки МАП421-4/12 на більш надійний та дешевий асинхронний двигун з короткозамкненим ротором марки МАП421-6 ОМ1 з керуванням швидкостями від перетворювача частоти. Параметри обох електродвигунів для порівняння приведено в таблицях 3.2 та 3.3.

Швидкість всіх електродвигунів, є функцією електромагнітного моменту та, отже, моменту навантаження на валу, що у сталому режимі роботи привода, урівноважують один одного. Тому задана швидкість робочого органу електрифікованого механізму використовується лише на перших етапах проектування, для попереднього вибору двигуна.

Надалі для кожного режиму швидкість електропривода повинна бути взята з механічної характеристики обраного двигуна. Механічною характеристикою двигуна називають залежність швидкості двигуна від створюваного їм моменту: $\omega = f(M)$.

Таким чином, слідом за вибором двигуна необхідно розрахувати та побудувати природну механічну характеристику цього двигуна, тобто зняту при нормальних умовах роботи двигуна.

В асинхронних машинах швидкість ω однозначно пов'язана з ковзанням S:

$$\omega = \frac{2\pi f}{p}(1 - S) = \omega_c(1 - S) \qquad (4.6)$$

де - ω_c - синхронна кутова швидкість поля статора;

- f – частота струму живильної мережі;

- p – число пар полюсів двигуна.

Синхронна частота визначається за формулою:

$$\omega_c = \frac{2\pi f}{p} \tag{4.7}$$

Механічну характеристику асинхронних двигунів часто виражають у вигляді залежності між моментом і ковзанням, тобто *M=f(S)*, що є більш зручною при виконанні багатьох розрахунків.

Природну механічну характеристику будують по формулі Клосса:

$$M = \frac{2M_{кр}(1 + aS_{кр})}{\frac{S}{S_{кр}} + \frac{S_{кр}}{S} + 2aS_{кр}}, \tag{4.8}$$

де - M та S – поточні значення моменту та ковзання;

- $S_{кр}$ – критичне ковзання, що відповідає критичному моменту $M_{кр}$;
- (a- r_1/ r_2)- коефіцієнт, що виражає відношення активного опору фази статора r_1 до наведеного значення активного опору фази ротора r_2`.

У багатьох інженерних розрахунках, до результатів яких не пред'являють підвищених вимог відносно точності зневажають значенням активного опору обмотки статора ($r_1 \approx 0$), і одержують спрощену формулу Клосса:

$$M = \frac{2M_{кр}}{\frac{S}{S_{кр}} + \frac{S_{кр}}{S}}, \tag{4.9}$$

Критичне ковзання знаходимо по формулі:

$$S_{кр} = \frac{S_H\left(k_м + \sqrt{k_м^2 + 2S_H(k_м - 1) - 1}\right)}{1 - 2S_H(k_м - 1)}, \tag{4.10}$$

де S_H – номінальне ковзання двигуна, яке визначають по формулі:

$$S_H = \frac{\omega_c - \omega_n}{\omega_c}, \tag{4.11}$$

де - ω_c визначається з формули (4.7);

- $k_м$ - перевантажувальна здатність двигуна, яка визначається по формулі:

$$k_м = \frac{M_{кр}}{M_H}, \tag{4.12}$$

де M_H - номінальний момент двигуна.

$$M_H = \frac{P_H}{\omega_H} \cdot 10^3, \tag{4.13}$$

Для розрахунку та побудови пускової ділянки механічної характеристики асинхронного двигуна використаємо формулу (5.14):

$$M = \sqrt{M_n^2 + \frac{0{,}93M_{кр}^2 - M_n^2}{(1-1{,}3S_{кр})^2}(1-S)^2} \tag{4.14}$$

де M_n - пусковий момент двигуна.

Використовуючи формули (4.6)-(4.13), визначимо дані для побудови механічної характеристики параметри, яки заносімо в таблицю 4.3.

Таблиця 4.3. Дані розрахунку для побудови механічної характеристики двошвидкісного двигуна МАП421-4/12

Кількість полюсов, *2p*	Частота обертання, об/хв., n_1		Ковзання		Максимальний момент, Н·м, $M_{КР}$
	Синхронна	Номінальна	Номінальне S_H	Критичне $S_{КР}$	
4	1500	1420	0,0535	0,573	145
12	500	460	0,08	0,55	170

Формула Клосса дозволяє з достатньою точністю побудувати механічну характеристику асинхронного двигуна в межах ковзання від 0 до $S_{кр}$ (робітнича ділянка характеристики), а при ковзаннях $S_{кр}<S<1$ формула дає неприпустимі похибки.

Для побудови механічної характеристики використаємо формулу Клосса (4.9), а дані занесемо в таблицю 4.4.

Таблиця 4.4. Механічна характеристика двигунів

p	Значення параметрів від величині ковзання для двошвидкісного двигуна МАП421-4/12										
	Значення *S*	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,55	0,573	0,6	0,7	0,8
	2	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**
	M, Н·м	49	90	119	136	143	-	145	144	142	136
	M/M_{KP}	0,337	0,62	0,82	0,937	0,99	-	1,0	0,983	0,98	094
	n_1, об/хв.,	1350	1200	1050	900	750	-	640	600	450	300
	M, Н·м	60	109	143	162	169	170	-	168	166	158
	M/M_{KP}	0,353	0.641	0,84	0.953	0,994	1,0	-	0,988	0,976	0,929
2	n_1, об/хв.,	450	400	350	300	250	225	-	200	150	100
Значення параметрів від величині ковзання для двошвидкісного двигуна МАП421-4/12											
	Значення *S*	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,838	1.0
	M, Н·м	47	90	127	155	176	190	197	199	200	195
	M/M_{KP}	0,235	0,450	0,635	0,775	0,88	0,95	0,985	0,995	1,0	0,975
	n_1, об/хв.,	900	800	700	600	500	400	300	200	162	0

За розрахунковими даними, приведеними в таблиці 4.4 побудовані механічні характеристики двошвидкісного двигуна типу МАП421-4/12, яки приведено на рисунках 4.7 та 4.8.

Також за подібними розрахунками проведено розрахунок механічних характеристик двигуна МАП421-6 (при умові *M*=const) з керуванням від перетворювача частоти для частот 50 Гц, 40 Гц та 25 Гц, яки приведено на рисунку 4.9.

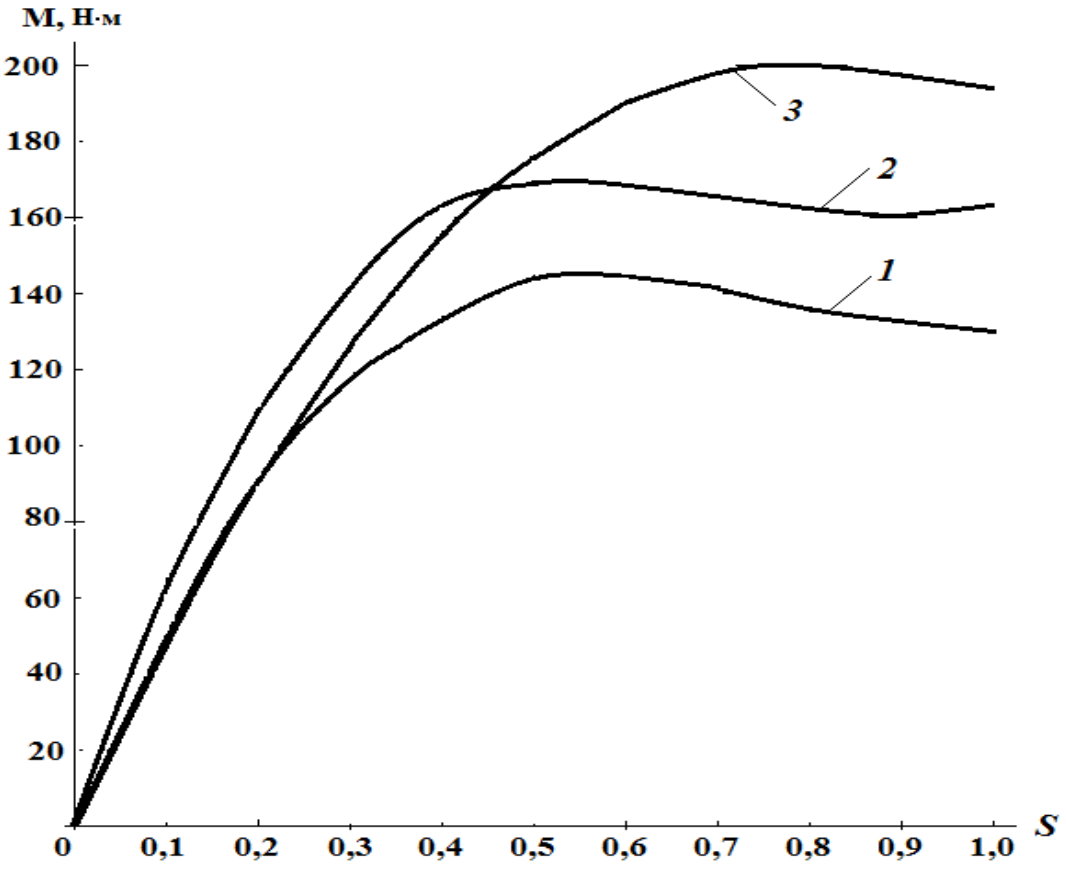


Рис. 4.7. Механічні характеристики (залежність моменту від ковзання) для двигунів:
МАП421-4/12 (***1***-для *2p*=4; ***2***-для *2p*=12)
та МАП421-4ОМ1 (***3***-для 2p=4)

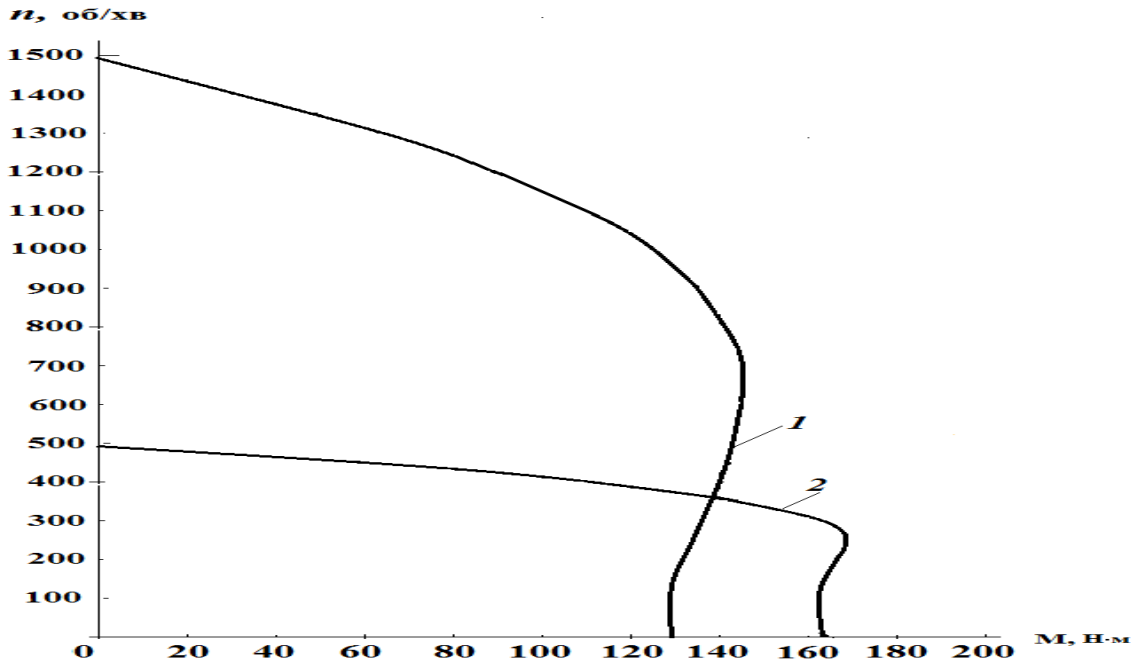


Рис.4.8. Механічні характеристики (залежність моменту від ковзання) для двошвидкісного двигуна МАП421-4/12:

1-для *2p*=4; ***2***- для *2p*=12;

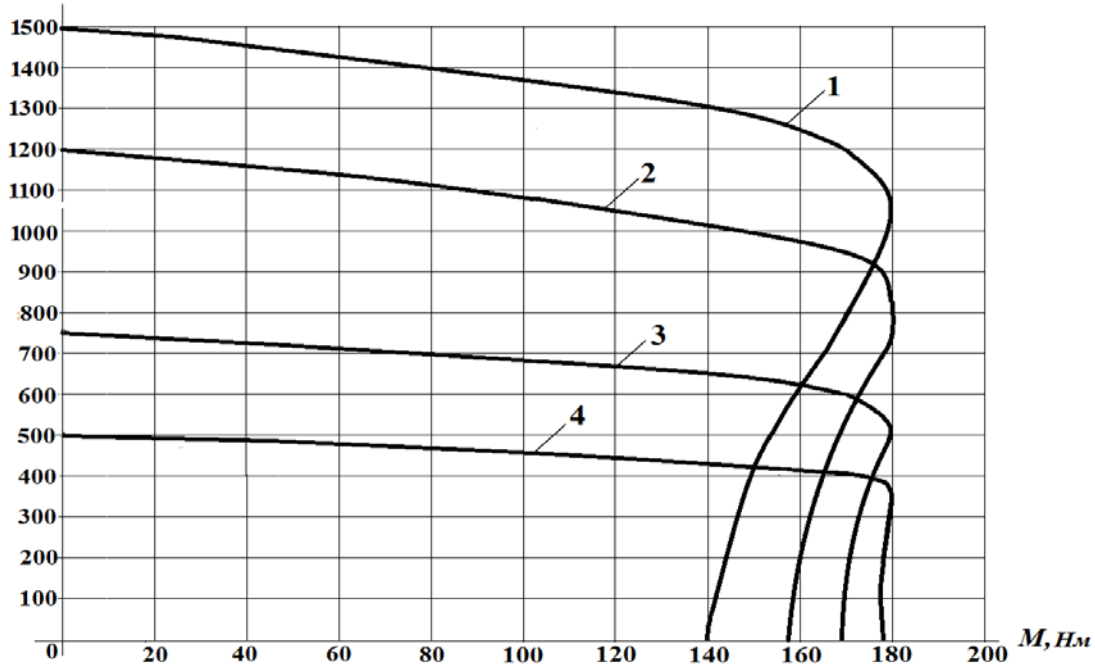


Рис.4.9. Приведені до моменту механічні характеристики (для електродвигуна МАП421-4 ОМ1 при регулюванні перетворювачем частоти

1- при частоте 50Гц;

2- при частоте 40 Гц;

3- при частоте 25 Гц;

4- при частоте 16,6 Гц;

4.6. Дослідження перехідніх процесів

Використання сучасних перетворювачів частоти (ПЧ) для керування асинхронними двигунами (АД) – це сучасний метод, який дає гарні результати керування електроприводами, дозволяє використовувати більш надійні асинхронні двигуни з короткозамкненим ротором, які меньш коштують, та мають меньші масо-габаритні показники. Система керування на основі перетворювача частоти працює по сигналам зворотнього звязку по частоті обертання ротора (по швидкості) та по струму статора, який напряму зв'язаний з моментом на валу дигуна.

Сигнал зворотного зв'язка по швидкості видає тахогенератор – ТГ. Тахогенератор, в даному випадку – тахогенератор постійного струму розміщують на валу двигуна. Головна особливість тахогенератора у тому, що на його виході формується напруга постійного струму, яка прямо-пропорційна частоті обертання.

Функціональна схема системи ПЧ-АД зі зворотним зв'язком по швидкості показана на рисунку 4.10.

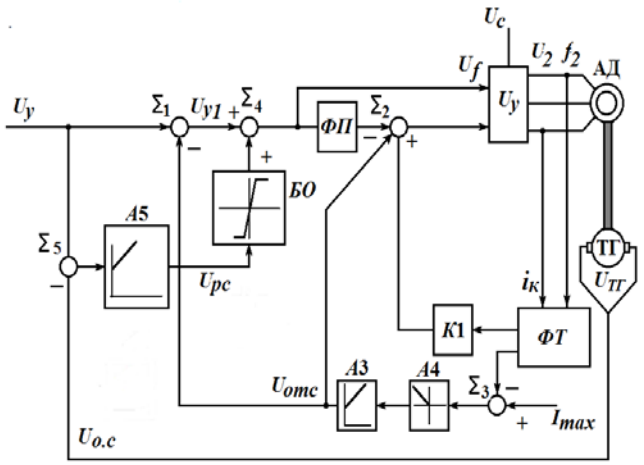


Рис.4.10. Функціональна схема системи ПЧ-АД зі зворотним зв'язком по швидкості

Сигнал зворотного зв'язку від тахогенератора йде на суматор сигналів керування з негативним значенням. При необхідності його амплітуда масштабується спеціальним підсилювачем. На суматор сигналів також

подається сигнал напруги, який завдає основної режим роботи електродвигуна по частоті обертання та по величині струму статора асинхронного двигуна.

Функціональна схема ПЧ-АД зі зворотним зв'язком по струму статора (для керування моментом) показана на рисунку 4.11 та вона подібна схемі, що показана на рисунку 4.10.

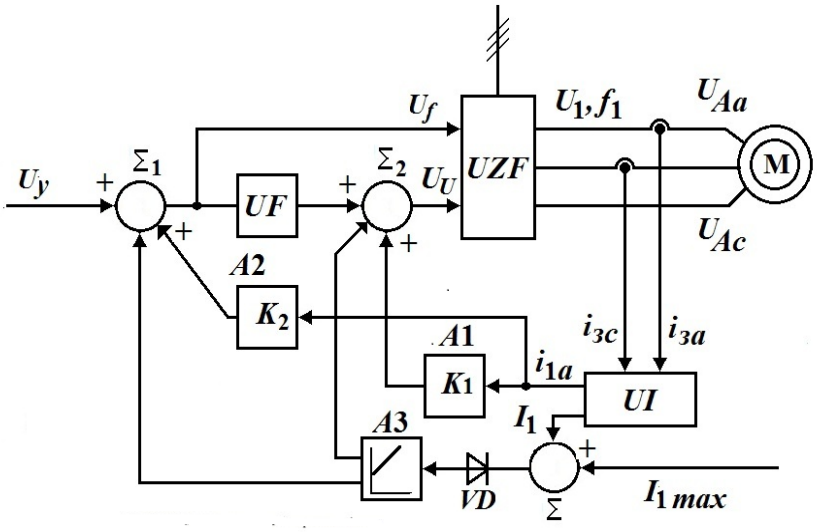


Рис.4.10. Функціональна схема системи ПЧ-АД зі зворотним зв'язком по струму статора для керування моментом на валу.

На основі функціональних схем будують структурні схеми системи.

Структурна схема системи ПЧ-АД зі зворотним зв'язком по швидкості показана на рисунку 4.12.

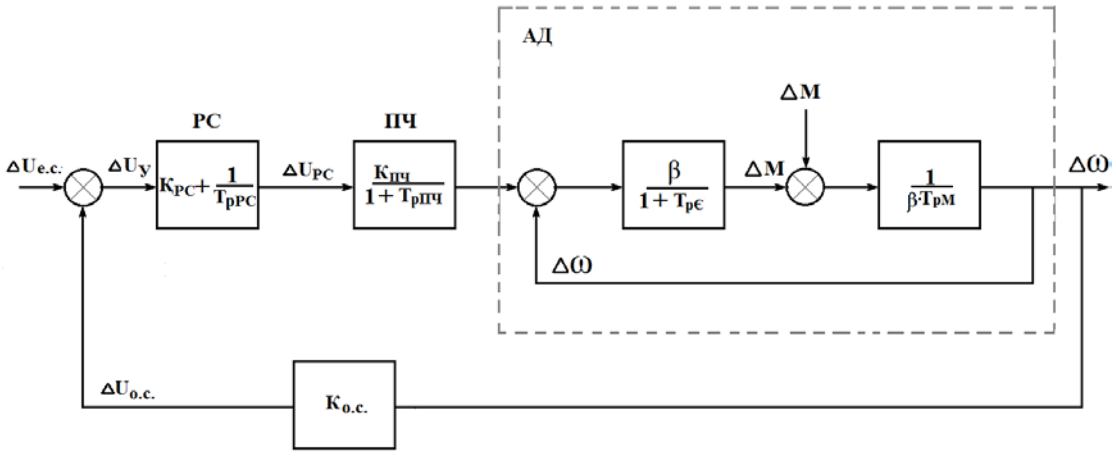
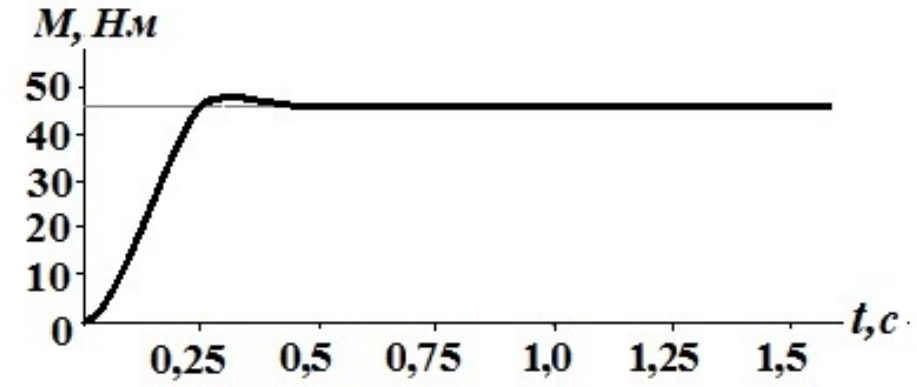
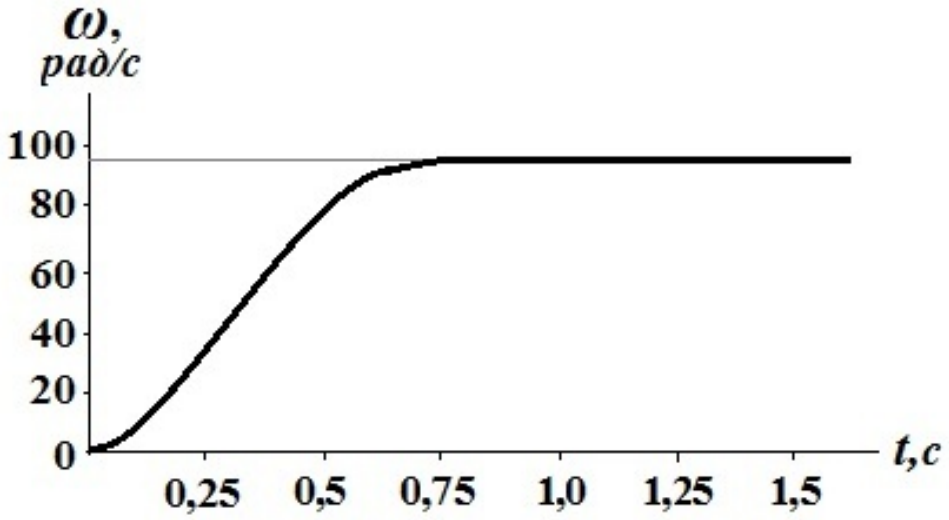


Рис.4.12. Структурна схема системи ПЧ-АД зі зворотним зв'язком по швидкості





5.ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Охорона праці - система збереження життя і здоров'я працівників у процесі трудової діяльності, що включає в себе правові, соціально-економічні, організаційно-технічні, санітарно-гігієнічні, лікувально-профілактичні, реабілітаційні та інші заходи.

Елементи системи:

Необхідно відзначити, що охорону праці не можна ототожнювати з технікою безпеки, виробничої санітарії, гігієни праці, бо вони є елементами охорони праці, її складовими частинами. Таким чином до складу системи охорони праці входять такі елементи:

Техніка безпеки - звіт правил і положень, спрямований на забезпечення умов безпечної праці та / або проведення будь-яких інших робіт; заходи, спрямовані на усунення чинників, що заподіюють шкоду здоров'ю.

Виробнича санітарія визначається як система організаційних заходів і технічних засобів, що запобігають або зменшують вплив на працюючих шкідливих виробничих факторів.

Гігієна праці характеризується як профілактична медицина, вивчає умови і характер праці, їх вплив на здоров'я і функціональний стан людини і розробляє наукові основи і практичні заходи, спрямовані на профілактику шкідливої і небезпечної дії факторів виробничого середовища і трудового процесу на працюючих.

Електробезпека - стан захищеності працівника від шкідливого і небезпечного впливу електроструму, електродуги, електромагнітного поля і статичної електрики.

Пожежна безпека - стан захищеності особистості, майна суспільства і держави від пожеж.

Промислова безпека - стан захищеності життєво важливих інтересів особистості і суспільства від аварій на небезпечних виробничих об'єктах і наслідків зазначених аварій. У свою чергу охорона праці, електробезпека, промислова безпека, пожежна безпека є складовими частинами

Безпека життєдіяльності - наука про комфортному і безпечному взаємодії людини з техносферою.

Керування безпекою праці - організація роботи по забезпеченню безпеки, зниженню травматизму і аварійності, професійних захворювань, поліпшення умов праці на основі комплексу задач по створенню безпечних і нешкідливих умов праці. Заснована на застосуванні законодавчих нормативних актів в галузі охорони праці [8,5].

5.1. Небезпечні і шкідливі виробничі фактори

На людину в процесі його трудової діяльності можуть впливати небезпечні (викликають травми) і шкідливі (викликають захворювання) виробничі фактори.

Шкідливий виробничий фактор - виробничий фактор, вплив якого на працюючого, в певних умовах, призводить до захворювання або зниження працездатності.

Небезпечний виробничий фактор - виробничий фактор, вплив якого на працюючого, в певних умовах, призводить до травми або іншого раптового погіршення здоров'я.

Шкідливий виробничий фактор, залежно від інтенсивності та тривалості впливу, може стати небезпечним .

Небезпечні і шкідливі виробничі фактори поділяються за природою дії на наступні групи:

До потенційно-небезпечних та шкідливих факторів відносяться:

- можливість ураження електричним струмом;
- відхилення параметрів мікроклімату від існуючих норм;
- недостатнє освітлення робочої зони;

- небезпечні випромінювання;
- шум та вібрації;
- пожежна небезпека;
- небезпечні речовини в повітрі робочої зони.

Захист від електромагнітних полів. Для цих цілей застосовують у відповідності з ГОСТ 12.1.006-84 „ССБТ. Електромагнітні поля радіочастот. Припустимі рівні на робочих місцях і вимоги до проведення контролю (СТСЕВ 5801-86)" при допустимих значеннях відповідні види заходів:

1. Зменшення напруги від джерела випромінювання до мінімально допустимого.
2. Екранування установки.
3. Видалення робочого місця від джерела випромінювання.
4. Застосування засобів індивідуального захисту.

5.2. Небезпечність електричного струму

Ступінь травми, тобто ушкодження, яке завдає електричний струм людині, визначається силою струму, що протікає через його тіло. Встановлено, що струм в 0,1 А є в більшості випадків для людини смертельним, а струми в межах 0,03 - 0,1 А, хоча і не викликають смертельного результату, але все ж заподіюють серйозної шкоди організму людини.

У всякому електричному колі, а отже, і в ланцюзі, в якому може опинитися тіло людини, сила струму визначається за законом Ома.

Електричний опір звичайної людини за умови, що шкіра в нього чиста, суха і неушкоджена (виміряний напругою 15-20 Вольт) лежить в межах 3 - 100 кОм (1кОм = 1000 Ом), в деяких випадках і більше. Опір тіла людини, а саме провідність між двох електродів, які торкаються поверхні шкіри, можна розглядати як 3 опору включених послідовно: зовнішні шари (епідермісу) представляють собою перше опір, і внутрішні шари є другим і третім опором, що включає в себе опору внутрішнього шару шкіри і опір внутрішніх тканин.

В цілому, значення повного опору тіла людини залежить від ряду факторів:

– стану шкіри (суха або волога шкіри, жорсткість шківи);

– від параметрів електричного кола - місця докладання електродів до тіла людини, значень струму і прикладеної напруги, роду і частоти струму, площі електродів, тривалості проходження струму;

– фізіологічних факторів і навколишнього середовища.

Розрахунковий електричний опір тіла людини змінному струму частотою 50 Гц при аналізі небезпеки ураження людини струмом приймається рівним 1000 Ом.

Можна відмітити, що ступінь небезпеки ураження електричним струмом залежить, з одного боку, від напруги, при якому працює дана електроустановка, і, з іншого боку, від умов, при яких людина виявилася під напругою. Якщо людина замикає своїм тілом два фазних дроту діючої установки, взявшись, наприклад, за них руками, він ставить своє тіло під повну лінійну напругу мережі.

Опір ланцюга полягає в даному разі з опору переходу струму через шкіру в місці зіткнення її з струмоведучими частинами і з опору тіла людини, тобто його тканин і судин.

Коли людина торкається одного проводу трифазної мережі, що перебуває під напругою, то він ставить себе під напругу, діючу між даними проводом і землею. В цьому випадку в електричний ланцюг, по якому проходить струм через тіло людини, включено зазвичай ще опір ізоляції (щодо землі), взуття, статі і проводів двох інших фаз, яких людина не торкається. При роботі в сухому приміщенні, на сухому дерев'яній підлозі або на дерев'яних підмести, небезпека ураження людини струмом менше, ніж при роботі в сирому приміщенні, на провідному електричний струм земляній підлозі і т. п. Робота на дерев'яних опорах в суху погоду менш небезпечна, ніж в дощову погоду, коли мокре дерево проводить електричний струм. Особливо велика небезпека ураження електричним струмом при роботі на не

заземлених металевих конструкціях і на сирій землі.

При обслуговуванні електрообладнання, що має заземлення на корпус, велику небезпеку становить одночасний дотик до струмоведучих частин і до заземленого корпусу. Електромонтеру часто доводиться працювати на висоті - на сходах, підмостки, опорах повітряних ліній і т. д. У цих випадках небезпека ураження електричним струмом посилюється, тому що навіть при незначних ураженнях електромонтер може впасти з висоти і отримати при цьому важке каліцтво.

Всі електротехнічні установки щодо заходів безпеки поділяються на установки напругою до 1000 В і на установки напругою понад 1000 В. У відношенні ж правил пристрою електротехнічні установки діляться на установки низького і високого напруги. До установок низької напруги відносяться тільки ті, в яких напруга між будь-яким проводом і землею не перевищує 250 В. Решта відносяться до установок високої напруги .

5.3. Види уражень людини електричним струмом

Електричний струм, що протікає через організм людини, впливає на нього термічно, електролітично і біологічно. Термічна дія характеризується нагріванням тканин, аж до опіків; електролітичне - розкладанням органічних рідин, у тому числі і крові; біологічну дію електричного струму проявляється в порушенні біоелектричних процесів і супроводжується роздратуванням і порушенням живих тканин і скороченням м'язів.

Розрізняють два види ураження організму електричним струмом: електричні травми та електричні удари.

Електричні травми - це місцеві ураження тканин і органів: електричні опіки, електричні знаки і електрометаллізація шкіри

Електричні опіки виникають в результаті нагрівання тканин людини при протіканні через них електричного струма силою понад 1 А. Опіки можуть бути поверхневі, коли уражаються шкірні покриви, і внутрішні - при ураженні глубоколежащих тканин тіла. За умовами виникнення розрізняють

контактні, дугові і змішані опіки.

Електричні знаки являють собою плями сірого чи блідо-жовтого кольору у вигляді мозолі на поверхні шкіри в місці контакту з струмоведучими частинами. Електричні знаки, як правило, болючі і з протягом часу сходять.

Електрометалізація шкіри - це просочування поверхні шкіри частками металу при його розбризкуванні або випаровуванні під дією електричного струму. Уражена ділянка шкіри має шорстку поверхню, забарвлення якої визначається кольором сполук металу, що потрапив на шкіру. Електрометалізація шкіри не являє собою небезпеки і протягом часу зникає, як і електричні знаки. Велику небезпеку становить металізація очей.

Електричний удар являє собою збудження живих тканин електричним струмом, що супроводжується мимовільним судомним скороченням м'язів. За результату електричні удари умовно поділяють на п'ять груп: без втрати свідомості; з втратою свідомості, але без порушення серцевої діяльності та дихання; з втратою свідомості і порушенням серцевої діяльності або дихання; клінічна смерть і електричний шок.

5.4. Технічні засоби електробезпеки

Для захисту від ураження електричним струмом обслуговуючого персоналу на електроустановці застосовуються як індивідуальні, так і загальні заходи захисту. Найбільш простими і досить ефективними засобами захисту є заземлення або занулення. У будинках система запиту електроустановок здійснюється через трифазну напругу з глухо-заземленою нейтраллю, також існує контур заземлення. В якості міри захисту персоналу від ураження електричним струмом від корпусів електроустаткування використовується заземлення. До заходів та засобів індивідуального захисту відносяться інструменти контролю, налагодження та ремонту. Можна виділити наступні групи засобів: ізоляційний інструмент широкої номенклатури (викрутки, плоскогубці, кусачки тощо); прилади для

електричних вимірювань (ампервольтметри, мегометри) .

5.5 Розрахунок приточно - витяжної вентиляції в машинно - котельному відділенні

В процесі експлуатації судна в повітря виробничих і житлових приміщень виділяються шкідливі гази і пари палива і масел, надлишкове тепло, волога і пил. Забруднене повітря представляє серйозну небезпеку для здоров'я моряків і часто є також причиною пожеж і вибухів на судах. Основними санітарно-технічними засобами поліпшення і оздоровлення повітряного середовища на судах і підприємствах морського транспорту є вентиляція і кондиціонування повітря. Призначення суднової вентиляції – забезпечення заданих властивостей повітряного середовища в житлових і виробничих приміщеннях відповідно до вимог Санітарних правил. За допомогою системи вентиляції регулюється повітрообмін у всіх приміщеннях, віддаляється з них забруднене і перегріте повітря і забезпечується приплив свіжого повітря. Досконалішими є системи кондиціонування повітря, завдяки яким спільно з вентиляцією створюються комфортні умови повітряного середовища в житлових, суспільних і службових приміщеннях, забезпечується термоволога обробка повітря і очищення від забруднень. Система загально суднової вентиляції включає комплекс механізмів і вентиляційних пристроїв, розгалужену мережу повітроводів, , пуско-регулюючу і контрольно-вимірювальну апаратуру. Вибір вигляду вентиляції залежить від типа і призначення судна, району його плавання, а також від потужності суднової енергетичної установки. Тип вентиляції і кратність повітрообміну залежать від призначення обслуговуваних вентиляцією приміщень і визначаються часом перебування в них людей, а також рівнем загазованості і надлишкових тепловиділень.

Розрахунок необхідної кількості зовнішнього повітря, що подається в приміщення системою загально-обмінної вентиляції необхідна для підтримки метеорологічних умов на оптимальному рівні, припускаючи, що у

виробничому приміщенні є надлишок явного тепла. При цьому необхідно користуватися наступною формулою:

$$V_T = V_0 + \frac{Q_я - 0{,}29 \cdot V_0 \cdot (t_0 - t_н)}{0{,}29 \cdot (t_{ух} - t_н)} \qquad (5.1)$$

де V_T – об'єм зовнішнього повітря, що подається в приміщення при розрахунку по надлишку явного тепла, м^3/годину;

V_0 - об'єм повітря, що видаляється з робочої зони приміщення місцевими повітродувками на технологічні потреби, м^3/годину (V_0 = 14000 м^3/год.);

$Q_я$ – надлишок явного тепла, ккал/м^3·годину ($Q_я$ = 0,05·10^6 ккал/м^3·год.);

t_0 – температура повітря, що видаляється з робочої зони приміщення, °С (t_0=$t_{норм}$);

$t_н$ – температура зовнішнього повітря, що подається в приміщення, °С;

$t_{ух}$ – температура повітря, що видаляється із приміщення за межами робочої зони, °С ($t_{ух}$=t_0).

Улітку:

$$V_T = 14000 + \frac{0{,}05 \cdot 10^6 - 0{,}29 \cdot 14000 \cdot (36 - 28)}{0{,}29 \cdot (36 - 30)} = 24069 \text{ м}^3 \text{/год.}$$

Узимку:

$$V_T = 14000 + \frac{0{,}05 \cdot 10^6 - 0{,}29 \cdot 14000 \cdot (18 - 15)}{0{,}29 \cdot (15 + 9)} = 19434 \text{ м}^3 \text{/год.}$$

Для подальшого розрахунку необхідно мати значення загального об’єму робочих приміщень (трюми) судну Vорп, м^3, якщо розміри судна становлять:

- довжина судна L=190 м;

- ширина В=34 м;
- висота борту Н=4 м.

При цьому об'єм трюму приблизно складе:

$$V_{орп} = 30 \cdot 16,3 \cdot 8,5 = 4156,5 \text{ м}^3$$

Визначимо коефіцієнт повітрообміну $К_{ц,}$ год$^{-1}$:

Улітку:

$$К_{ц} = \frac{V_{T}}{V_{орп}} = \frac{24069}{4156,5} = 5,8 \text{ год}^{-1},$$

Узимку:

$$К_{ц} = \frac{V_{T}}{V_{орп}} = \frac{19434}{4156,5} = 4,7 \text{ год}^{-1},$$

Згідно загальних санітарно-гігієнічних умов до повітря робочої середовища дано кількості повітря, що пропускається системою загальної суднової вентиляції, вистачає для підтримки метеорологічних умов на оптимальному рівні і встановленої потужності вентиляторів досить для підтримання дозволених вимог.

ВИСНОВКИ

1. В роботі розглянуто класифікацію вантажопідйомних механізмів та показано, що вантажні стріли мають ряд переваг перед кранами.

2. Розглянуто схеми деяких типів вантажних стріл та визначено їх склад та розміщення на науково-дослідному судні.

3. Згідно завдання проведено розрахунок необхідних параметрів, за якими визначено типи електродвигунів для електроприводів вантажних стріл.

4. Замість двошвидкісного електродвигуна запропоновано використовувати одношвидкісний асинхронний електродвигун з керуванням від перетворювачів частоти. Проведено аналіз сучасних типів перетворювачів частоти (ПЧ), їх складові частини та визначено тип ПЧ для керування запропонованим електродвигуном.

5. Проведено необхідні розрахунки та побудовані механічні характеристики двошвидкісного та одношвидкісного електродвигунів, за якими визначено, що використання одношвидкісного двигуна з керуванням від ПЧ дозволяє мати більший момент на валу та більший діапазон регулювання.

6. Розглянуто функціональні та структурні схеми електроприводів з перетворювачами частоти та побудовано перехідні характеристики.

Список використаної літератури

1. Кацман М.М. Электрические машины. – М.: Высш.школа, Видавничий центр ”Академия”, 2001. – 463с.
2. Терехов В.М., Системи керування електроприводів: підручник для студ. вищих навчальних закладів / В.М. Терехов, О.И. Осипов; під ред. В.М. Терехора. – 2-е видання, стер. – М.: Видавничий центр ”Академия”, 2006. – 304с.
3. Копылов И.П. Электрические машины. – М.: Высш.школа, ”Логос”, 2000. – 607с.
4. Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи: Навч. посібник / М.Г. Попович, О.Ю. Лозовський, В.Б. Клепіков та ін.; За ред.. М.Г. Поповича, О.Ю. Лозовського – К.: Либідь, 2005. – 680с.
5. Силові напівпровідникові прилади. Довідник. Замятин В.А., Кондратьев Б.В. і ін. -М.: Радио и связь, 1987
6. Башарин А.В., Новиков В.А., Соколовский Г.Г. Управление электроприводами: Учебное пособие для вузов. – Л.: Энергоиздат, 1982-392 с.
7. Иванченко Ф.К. и др. - Расчеты грузоподъемных и транспортирующих машин. – К.: Издательское объединение ”Вища школа” 1978 – 576 с.
8. Копылов И.П., Справочник по электрическим машинам: В 2 т. / Под общ. Редакцией И.П. Копылова и Б.К. Клокова. Т. 1.-М.: Энергоатомиздат, 1988 – 456 с.
9. Эксплуатация судового электрооборудования. Под редакцией А.А. Власенко. – М.: Энергия, 1991. – 247 с.
10. А.Н. Пипченко . Расчет судовых электроэнергетических систем. - М.: Транспорт, 1981. – 212 с.
11. Л.А. Лёмин и др. Судовые автоматизированные электрознергетические системы. ГМА им. С.О. Макарова. Санкт-Петербург, 2004.

12. www.morelectro.ru/eletktrodvigateli –map.
13. www. Privod.su/Prostar PR6000.
14. Терехов *В. М.*, Элементы автоматизированного электропривода : учебник для студ. вузов / В. М. Терехов, Осипов О. И. — М.: Энергоатомиздат, 1987. — 296 с.
15. Закон України «Про охорону праці» від 14.10.92 №2694-XII.
16. Винокурова Л.Е., Васильчук М.В., Гаман М.В. Основи охорони праці. Підручник. – К.: Вища школа, 2001**. –** 187 с.
17. Білявський Г. О., Падун М. М., Фурдуй Р. С. Основи загальної екології. — К.: Либідь. 1995 — 368 с.
18. Владимиров А.М., Ляхин Ю.И. Охрана окружающей среды. – Л.: 1991. – 423с.
19. Иванов Б.Н. Охрана труда на морском транспорте: Учебник – М.: Транспорт, 1981. – 192 с.
20. Санитарные правила для морских судов. – М.: В/О «Мортехинформреклама»,1984. – 188 с.
21. Международная Конференция по предотвращению загрязнения с судов 1973 г.; изменённая протоколом 1978 г. к ней; МАРПОЛ 73/78. – СПб.: АОЗТ ЦНИИМФ, 1994. – 310 с.
22. Зубрилов С.П., Ищук Ю.Г., Косовский В.И. Охрана окружающей среды при эксплуатации судов. – Л.: Судостроение, 1989. – 256 с.
23. Боград В.М., Ляшенко В.В. Судовые средства защиты биосферы: Учебное пособие. – Николаев: НКИ, 1980. – 56 с.