

Національний університет кораблебудування ім. адмірала Макарова

Херсонська філія

(повне найменування вищого навчального закладу)

Інститут, факультет, відділення Енерготехнічний

Кафедра, циклова комісія Автоматики та електроустаткування

Освітньо-кваліфікаційний рівень другий, (магістерський)

Галузь знань 14 «Електрична інженерія»

(шифр)

Спеціальність 141 «Електроенергетика електротехніка, та електромеханіка»

(шифр і назва)

Освітньо-професійна програма «Експлуатація суднових автоматизованих

(назва)

систем»

(назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

**Завідувач кафедри автоматки
та електроустаткування**

Михаліченко П.Є.

“ ___ ” _____ 20__ року

З А В Д А Н Н Я НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА

Брусенцев Максим Сергійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Розробка системи керування електропривода якірно-швартовного пристрою

Керівник роботи: Кириченко О.С., к.т.н., доцент

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

затвержені наказом вищого навчального закладу від “ ___ ” _____ 20__ року № ___

2. Строк подання здобувачем роботи _____

3. Вихідні дані до роботи: були отримані в ході проходження науково-педагогічної практики та експлуатаційної, переддипломної практик

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): 1) Характеристика якірно-швартовних пристроїв; 2) Виклад загальних підходів і основних методів дослідження; 3) Розрахункова частина, аналіз динаміки системи; 4) Запобігання забруднення з суден за конвенцією МАРПОЛ 73/78.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): презентація в електронному вигляді

6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Характеристика якірно-швартовних пристроїв		
2	Виклад загальних підходів і основних методів дослідження		
3	Вибір елементів і аналіз динаміки системи		
4	Запобігання забруднення з суден за конвенцією МАРПОЛ 73/78		

Здобувач _____
(підпис)Брусенцев М.С.
(прізвище та ініціали)Керівник роботи _____
(підпис)Кириченко О.С.
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Об'єм пояснювальної записки становить 90 аркушів, вона містить 4 розділи, 20 рисунків, 5 таблиць, 19 найменувань в списку використаної літератури. Мультимедійна презентація представлена на 12 слайдах.

Об'єктом дослідження є перехідні процеси в розробленій системі керування електропривода якірно-швартовного пристрою.

Предметом дослідження є показники якості керування в розробленій системі керування електропривода якірно-швартовного пристрою.

Метою роботи є розробка системи керування електропривода якірно-швартовного пристрою.

В роботі розроблено систему керування електропривода якірно-швартовного пристрою. В результаті огляду систем керування електроприводів подібних виконавчих механізмів, обрано систему векторного керування, проаналізовано її функціональну та структурну схеми. В якості основного електрообладнання електропривода якірно-швартовного пристрою використано новий асинхронний двигун 5A200L6 потужністю 30 кВт з частотою обертів 980 об/хв, перетворювач частоти Mitsubishi FR-A741-37K потужністю 37 кВт.

В роботі розраховано параметри регуляторів розробленої системи, проведено аналіз динаміки системи. Отримано наступні показники якості керування: перерегулювання – 0 %, час перехідного процесу 1,7 с.

Також, розглянуто положення міжнародної конвенції МАРПОЛ 73/78 по запобіганню забруднення з суден.

Ключові слова: система керування, автоматизований електропривод, якірно-швартовний пристрій, перехідні процеси, динаміка системи, показники якості керування.

ЗМІСТ

ВСТУП	6
1 ХАРАКТЕРИСТИКА ЯКІРНО-ШВАРТОВНИХ ПРИСТРОЇВ	8
1.1 Будова та принцип дії якірно-швартовних механізмів	8
1.2 Режими роботи якірно-швартовних пристроїв	15
1.3 Навантажувальна діаграма електропривода якірно-швартовного пристрою	19
1.4 Базова система керування електропривода якірно-швартовного пристрою на змінному струмі	21
2 ВИКЛАД ЗАГАЛЬНИХ ПІДХОДІВ І ОСНОВНИХ МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕННЯ	26
2.1 Структурно-логічна схема дослідження з розробки системи керування електропривода якірного-швартовного пристрою	26
2.2 Математичний опис асинхронного двигуна	29
2.3 Функціональна схема системи векторного керування електропривода якірно-швартовного пристрою	31
2.4 Структурна схема системи векторного керування електропривода якірно-швартовного пристрою	36
2.5 Канал керування модулем головного потокозчеплення	37
2.6 Канал керування швидкістю обертання ротора	38
2.7 Використання перетворювачів частоти в електроприводах якірно-швартовних пристроїв	42
3 ВИБІР ЕЛЕМЕНТІВ І АНАЛІЗ ДИНАМІКИ СИСТЕМИ	46
3.1 Розрахунок параметрів приводного асинхронного двигуна якірно-швартовного пристрою	46
3.2 Вибір перетворювача частоти	49
3.3 Схема підключення перетворювача Mitsubishi FR-A741	52
3.4 Розрахунок параметрів структурної схеми електропривода якірно-швартовного пристрою	58

3.5 Розрахунок регуляторів векторної системи керування електропривода якірно-швартовного пристрою	61
3.6 Побудова та аналіз перехідних процесів автоматизованої системи керування	62
3.7 Побудова перехідних процесів за швидкістю	67
4 АНАЛІЗ ПИТАНЬ ПО ЗАПОБІГАННЮ ЗАБРУДНЕННЯ З СУДЕН ЗА КОНВЕНЦІЄЮ МАРПОЛ 73/78	69
4.1 Система контролю скидання нафти та обладнання для фільтрації нафти	69
4.2 Загальні правила та визначення конвенції МАРПОЛ 73/78	71
4.3 Обмеження забруднень при експлуатації суден	76
4.4 Суднові інсинератори	78
4.4.1 Принцип роботи суднових інсинераторів	80
4.4.2 Типи суднових інсинераторів	82
ВИСНОВКИ	88
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРА	89

ВСТУП

Якірно-швартовні механізми поділяються на дві основні групи: якірно-швартовні та якірні шпилі, що мають вертикальне розташування вантажного валу та одну зірочку; брашпилі, що мають горизонтальне розташування вантажного валу та дві зірочки.

Характерними особливостями електроприводів якірно-швартовних механізмів є:

- короткочасний режим роботи (20-40 хв); стандартна тривалість одного циклу прийнята рівної 30 хв;
- широка зміна навантаження на валу електродвигуна (30-200% від номінального);
- можливість стоянки двигуна під струмом (0,5-1,0 хв);
- часті пуски електродвигуна (до 120 пусків і гальмувань протягом години) та можливі реверси;
- сумарна тривалість вмикання двигуна швартовного механізму за добу 40-50 хв;
- необхідність саморегулювання частоти обертань електродвигуна при зміні моменту опору на його валу.

Саморегулювання частоти обертань електродвигуна при зміні моменту опору на його валу можна забезпечити системою керування електропривода якірно-швартовного пристрою.

Об'єктом дослідження є перехідні процеси в розробленій системі керування електропривода якірно-швартовного пристрою.

Предметом дослідження є показники якості керування в розробленій системі керування електропривода якірно-швартовного пристрою.

Метою роботи є розробка системи керування електропривода якірно-швартовного пристрою.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

1. Провести огляд і аналіз літератури з питань дослідження. Виконати аналіз характеристик якірно-швартовних пристроїв та систем керування їх електроприводами.
2. Розробити систему керування електропривода якірно-швартовного пристрою, виконати аналіз її функціональної та структурної схем.
3. Виконати вибір елементів і проаналізувати основні показники якості керування електропривода якірно-швартовного пристрою.
4. Розглянути положення міжнародної конвенції МАРПОЛ 73/78 по запобіганню забруднення з суден.

РОЗДІЛ 1

ХАРАКТЕРИСТИКА ЯКІРНО-ШВАРТОВНИХ ПРИСТРОЇВ

1.1 Будова та принцип дії якірно-швартовних механізмів

Якірно-швартовні механізми призначені для переміщення якірного ланцюга при віддачі (вибиранні) якоря і забезпечення його стоянки на якорі, а також для підтягування та утримання судна біля причалу.

Робочим елементом якірних механізмів є ланцюгова зірка (або зірочка) (рис. 1.1), що має по колу 5-6 западин 5 з кулачками 7 по формі ланки ланцюга. З западинами чергуються канавки-струмки, в яких розташовані ланки 2 перпендикулярно ланкам 6. Під час роботи кулачки 7 передають зусилля механізму ланкам ланцюга, що по черзі лягають в западини 5. Ланцюгова зірочка виконується заодно зі шківом 3 стрічкового гальма і кулачковою напівмуфтою 4 для зчеплення з вантажним валом.

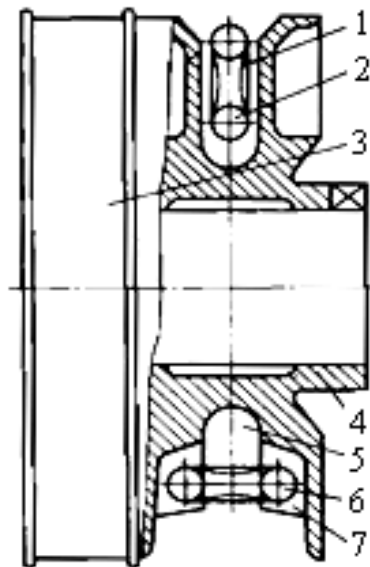


Рисунок 1.1 – Ланцюгова зірка

Стрічкове гальмо брашпіля (шпиля) використовують в якості основного стопора при стоянці судна на якорі. Таке стопоріння має ряд

переваг, серед яких найважливішим є можливість протравлювання ланцюга за рахунок прослизання гальмівного шківів відносно гальмівної стрічки при ривках.

Основними робочими елементами швартових механізмів, призначених для підтягування і утримання судна біля причалу, є гладкий циліндричний барабан і турачка.

Механізми, які мають поряд з ланцюговою зіркою турачку, а в деяких випадках і барабан, називаються якірно-швартовними і поділяють на брашпілі з горизонтальною віссю обертання зірочок і турачок та на шпиль з вертикальною віссю обертання зірочки і турачки.

У деяких випадках на швартових лебідках передбачається можливість заміни турачки якірної приставкою з ланцюговою зіркою. Всі перераховані механізми розташовуються на верхній палубі разом з приводом і передачею.

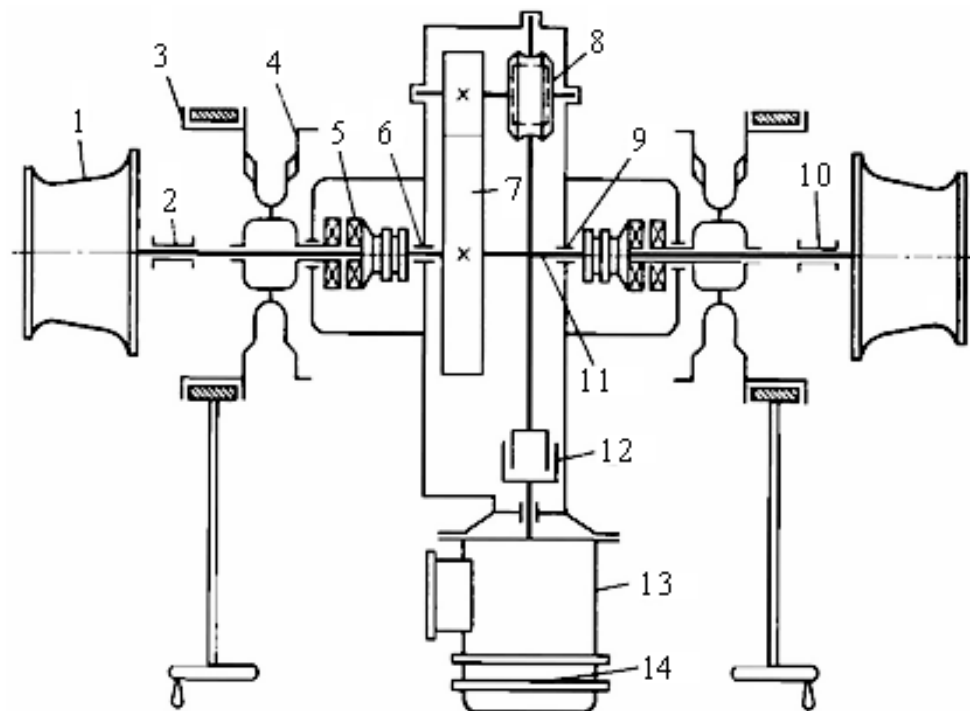


Рисунок 1.2 – Кінематична схема брашпіля

У носовій частині судна (найчастіше на вантажних суднах) для спуску і підйому станових якорів встановлюють брашпіль, що має дві зірочки і дві

турачки (рис. 1.2). Брашпілем можна піднімати одночасно два якоря з половини розрахункової глибини стоянки, яка для різних моделей якірно-швартовних механізмів становить 65-100 м.

На судах з бульбоподібними обводами носових країв, де клюзи широко рознесені по бортах, встановлюються напівбрашпілі або шпиль правого і лівого виконання, що мають по одній зірочці і турачку та індивідуальний привод.

На малих судах може встановлюватися один якірно-швартовний шпиль для почергової віддачі і вибирання якорів правого і лівого борту. При наявності на судні стоп-анкера його вибирають кормовим якірно-швартовним шпилем, вантажною або буксирною лебідкою.

Якірно-швартовні механізми виконують наступні операції:

1. Віддачу якоря за допомогою привода або вільним травленням якір-ланцюга з підгальмовуванням гальма ланцюгової зірочки. У ряду моделей механізмів передбачається дистанційне керування гальмами ланцюгових зірочок та автоматичне пригальмовування якірного ланцюга. Для контролю за виконанням операції встановлюються покажчики швидкості і лічильники довжини витравленого ланцюга.

2. Зняття з якоря, що складається з підтягування судна до якоря, відриву якоря від ґрунту, підйому якоря і втягування його в клюз. Для виконання даних операцій можлива установка елементів автоматики, що забезпечують автоматичну зупинку механізму при витравлення всієї довжини якір-ланцюга, автоматичне зниження швидкості при підході якоря до клюза, автоматичну зупинку при вході якоря в клюз. Обраний якір утримується затягнутим стрічковим гальмом зірочки і включеними палубними стопорами.

3. Стоянку судна на якорі на гальмі ланцюгової зірочки. В цьому випадку гальмо виконує роль запобіжного пристрою. При ривках на

хвилюванні гальмівний шків прослизає відносно стрічки, зменшуючи навантаження на ланцюг.

4. Підтягування судна до причалу за допомогою турачки.

Державні стандарти встановлюють 14 моделей якірно-швартовних механізмів в залежності від їх типу і технічних характеристик. За швидкістю вибирання якірного ланцюга механізми діляться на три групи:

- з нормальною швидкістю 0,17 м/с, встановлюються на морських судах загального призначення;

- з підвищеною швидкістю 0,4 м/с, встановлюються на кораблях і пасажирських лайнерах. Механізми цієї групи виконуються двошвидкісними і мають знижену швидкість 0,17 м/с для втягування якоря в клюз;

- зі зниженою швидкістю 0,12 м/с для суден внутрішнього плавання.

Якірно-швартовні механізми виконуються:

- з електричним приводом (переважно змінного струму напругою 380 В, частотою 50 Гц, з можливістю перемикання числа пар полюсів);

- з гідравлічним приводом.

Приводні двигуни якірно-швартовних механізмів забезпечуються автоматичним нормально замкнутим гальмом, що замикається при припиненні подачі енергії до двигуна. При відсутності електроживлення або тиску робочої рідини в гідросистемі двигун може бути розгальмований спеціально передбаченим ручним пристроєм. Гальма повинні утримувати в нерухомому стані зірочку при дії в якірному ланцюзі статичного зусилля, що перевищує номінальну не менше ніж в 1,3; 1,6 і 2,0 рази відповідно для механізмів першої, другої і третьої груп. У швартових шпилів гальмо повинно утримувати турачку в нерухомому стані при дії в канаті статичного зусилля, що перевищує номінальне тягове зусилля не менше ніж в 1,5 рази.

Приводні двигуни якірно-швартовних механізмів повинні забезпечувати наступні режими роботи:

1. Номінальний основний режим, що забезпечує розрахункове тягове зусилля і швидкість вибирання якірного ланцюга при підтягуванні судна до якоря під час його підйому. Ця частина операції відбувається при найбільшому навантаженні і розрахована на 30 хв у механізмів першої та третьої груп і на 15 хв у механізмів другої групи.

Граничне зусилля в якірному ланцюзі виникає при відриві якоря від ґрунту. У цей період електродвигун повинен розвивати пусковий момент, а гідродвигун – крутний момент, який не менше ніж вдвічі перевищує номінальний. Електродвигун при цьому зупиняється і знаходиться під струмом, а при зупинці гідродвигун відбувається перепуск робочої рідини через запобіжний клапан. Двигуни розраховуються на роботу в цьому режимі протягом не менше 30 с.

2. Вибирання якірного ланцюга з малою швидкістю і зниженим тяговим зусиллям при втягуванні якоря в клюз. Час роботи на цьому режимі не менше 3 хв.

3. Вибирання швартовного каната з номінальним тяговим зусиллям і номінальною швидкістю до 0,3 м/с у більшості моделей якірно-швартовних механізмів розраховане на 30 хв. Номінальне тягове зусилля у різних моделей коливається від 8 до 140 кН.

4. Вибирання швартовного каната з малою швидкістю, що не перевищує 0,15 м/с, при роботі поблизу причалу з тяговим зусиллям на турачку не менше 0,75 номінального протягом 3-5 хв.

5. Вибирання ненавантаженого каната при умовному розрахунковому тяговому зусиллі, рівному 0,2 номінального, з підвищеною швидкістю 0,40-0,67 м/с протягом 10 хв.

Для деяких моделей механізмів другий, четвертий і п'ятий режими не передбачається.

Здійснення операцій за допомогою якірно-швартовних механізмів і вибір необхідного режиму виконуються поворотом маховиків і

переміщенням рукояток на посту керування. Напрямок їх руху регламентовано вимогами Регістру і державних стандартів. Вибірання якірного ланцюга або швартовного каната здійснюється поворотом маховика керування за годинниковою стрілкою або переміщенням рукоятки на себе. Для травлення якірного ланцюга або швартовного каната органи керування переміщують в протилежному напрямку. Загальмування механізму здійснюється обертанням маховика за годинниковою стрілкою, при цьому зусилля на маховику ручного гальма не повинно перевищувати 0,65 кН для механізмів першої і другої груп та 0,5 кН – для механізмів третьої групи.

За конструктивними особливостями привода і передачі брашпілі поділяються на три типи:

- з редуктором, що складається з черв'ячної і циліндричної ступенів, турачки на вантажному валу і одним приводним двигуном;
- з редуктором, що складається з конічної і циліндричних ступенів, турачки на проміжному валу і одним приводним двигуном;
- з редуктором, що відрізняється від попереднього тим, що замість конічної перша ступінь виконана циліндричною з підведенням потужності від двох електродвигунів.

Розглянемо конструкцію і принцип дії якірно-швартовного механізму брашпіля першого типу, який достатньо широко застосовується на морських судах. Брашпиль першого типу (рис. 1.2) складається з вантажного валу 11 (рис. 1.3), двоступеневого редуктора і електродвигуна 13, що має вбудовані нормально замкнуті дискові гальма 14. Електродвигун приєднаний фланцем до корпусу редуктора.

Вантажний вал обертається в чотирьох підшипниках кочення, два з яких 2 і 10 встановлені в стійках фундаментної рами і два 6 і 9 – в корпусі редуктора. Вал отримує обертання через еластичну муфту 12, черв'ячну передачу 8 і циліндричну передачу 7 з приводним колесом, що розташоване на вантажному валу 11. Зірочки 4 посаджені на валу вільно на підшипниках

ковзання і з'єднуються з ним кулачковими муфтами 5. Стрічкове гальмо 3 утримує зірочку від обертання при виключених муфтах 5, турачки 1 встановлені на шпонках і обертаються на всіх режимах роботи електродвигуна. Позначення позицій на рис. 1.3 такі ж, як на рис. 1.2.

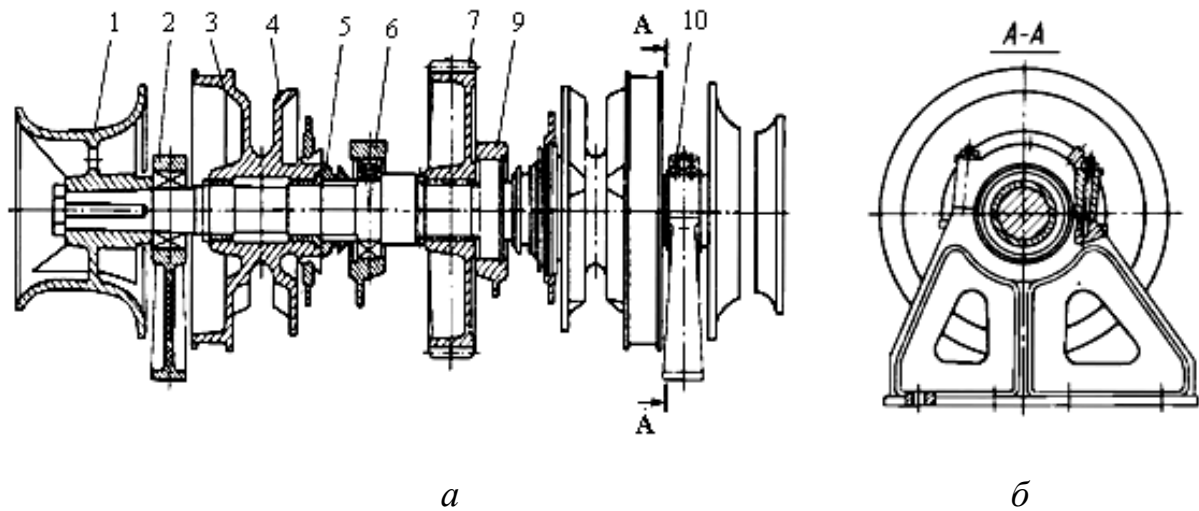


Рисунок 1.3 – Вантажний вал брашпіля (а) та його розріз (б)

Гальма і муфти мають ручне керування. Муфта вмикається поворотом маховика керування вліво до відмови. Якщо при цьому кулачки провідної напівмуфти не ввійшли в западини напівмуфти зірочки (через їх розбіжності), вантажний вал слід зрушити електродвигуном в будь-яку сторону і муфта вмикається під дією пружин досилання. На зірочках встановлені відбійники, що призначені для відбивання ланок ланцюга, який заклинило між кулачками, і приводи покажчиків довжини витравленої частини ланцюга.

Для видавання якоря електродвигуном знімають палубні стопори, вмикають муфту і розгальмовують стрічкове гальмо зірочки, яке тепер утримується дисковим гальмом електродвигуна до моменту його вмикання. Інша муфта залишається роз'єднаною, а стрічкове гальмо утримує її зірочку щодо обертового валу. Аналогічно роблять віддачу другого якоря. Вибирання якоря виконується при такому ж положенні органів керування.

Після його завершення затягується стрічкове гальмо зірочки і роз'єднується її кулачкова муфта.

При видаванні якоря вільним травленням ланцюга муфти залишаються вимкненими, а керування видаванням здійснюється розгальмовуванням стрічкового гальма і його підгальмовуванням для регулювання швидкості травлення ланцюга.

Вмикання і вимикання кулачкових муфт проводиться при зупиненому електродвигуні і загальмованих ланцюгових зірочках.

Стрічкове гальмо затягують і відпускають при зупиненому електродвигуні. Електродвигун вмикається при роз'єднаних муфтах і загальмованих зірочках або при ввімкнених муфтах і розгальмованих зірочках.

1.2 Режими роботи якірно-швартовних пристроїв

Одним з відповідальних пристроїв, що забезпечує безпеку судна в цілому, є якірно-швартовні пристрої та обладнання [1]. Воно складається з наступних основних елементів: якорів, якірних кіл, передавального механізму якірно-швартовної лебідки, виконавчого двигуна та систем керування.

Шпилеві та брашпільні електроприводи повинні забезпечувати: можливість використання при будь-якому стані моря; надійність та безпечність дій; можливість пуска в хід при повному навантаженні; підтримка необхідного обертового моменту при сповільненні швидкості вибирання якірного ланцюга аж до повної зупинки; сорозмірність зусиль, що розвиваються, з міцністю якірного ланцюга або швартовного троса; здатність підтримувати якір на вазі в разі раптового припинення подання електроенергії до електропривода; регулювання частоти обертання

електропривода при підйомі і спусканні якоря; зручність, простота керування та плавність роботи.

Правила Регістра судноплавства України встановлюють, що потужність привода якірного механізму повинна забезпечувати вибирання будь-якого з якірних ланцюгів зі швидкістю не менше 10 м/хв при тяговому зусиллі F_1 на зірочці не менш визначеного за формулою:

$$F_1 = 1,13(qh + G),$$

де q – вага кожного метру якірного ланцюга, Н/м;

h – умовна глибина якірної зупинки, м;

G – вага якоря, Н.

Привод якірно-швартовного пристрою повинен забезпечувати вибирання якірного ланцюга з заданими швидкістю і тяговим зусиллям протягом не менше 30 хв без перерви, а також спуск одного якоря на умовну глибину якірної стоянки.

При підході якоря до клюзу електропривод повинен забезпечувати швидкість вибирання ланцюга не більше 10 м/хв. Рекомендована швидкість втягування якоря в клюз не більше 7 м/хв.

Крім того, привод якірного механізму повинен забезпечувати одночасне вибирання двох вільно висячих якорів з половини умовної глибини, визначеної за даними табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Дані по умовні глибині якірної стоянки

Діаметр якірного ланцюга, мм	Умовна глибина якірної стоянки, м
До 14	1/3 повної довжини якірного ланцюга
15-17	60
18-28	80
Більше 28	100

Якірні механізми з електричним приводом повинні мати автоматичні нормально замкнуті гальма, встановлені на валу привода і загальмовувати механізми при вимиканні, зупинці або при виході виконавчого двигуна з ладу. Привод швартовного механізму повинен забезпечувати безперервне вибирання швартовного троса при номінальному тяговому зусиллі з номінальною швидкістю протягом не менше 30 хв. Швидкість вибирання швартовного троса, як правило, не повинна перевищувати 18 м/хв при номінальному тяговому зусиллі. Привод швартовного механізму повинен бути здатний розвивати зусилля в тросі не менше двократного номінального протягом 15 с.

Для електроприводів механізмів шпилів, брашпільів і ін., робота яких за певних обставин може призвести до пошкоджень конструкції і загрожувати безпеці обслуговуючого персоналу, повинні бути передбачені ручні пристрої безпеки для вимикання, що забезпечують вимикання живлення електропривода. Такі пристрої безпеки для вимикання фарбують в червоний колір. Поблизу розміщують напис, що вказує їх призначення. Кнопки або інші пристрої безпеки для вимикання розташовують біля постів керування або в інших місцях, що забезпечують умови безпеки експлуатації.

В електричних приводах пристроїв і механізмів, в яких за для уникнення пошкоджень або аварій потрібно обмеження руху, передбачаються кінцеві вимикачі, що забезпечують надійне вимикання електродвигуна.

У разі застосування електродвигунів змінного струму з короткозамкненим ротором електропривод якірного механізму після 30-хвилинної роботи при номінальному навантаженні повинен забезпечувати можливість стоянки під струмом електродвигуна при номінальному напрузі протягом не менше 30 с. Електродвигуни постійного струму і змінного струму з фазним ротором повинні витримувати зазначений вище режим стоянки під струмом, але при моменті, що в 2 рази перевищує номінальний.

У якірно-швартовних шпилів і лебідок на ступенях швидкостей, призначених тільки для швартових операцій, повинен бути передбачений відповідний захист від перевантаження електродвигуна. У разі перевантаження електродвигуна рекомендується застосовувати автоматичне перемикання зі ступені швартових операцій на ступінь, призначену для підйому якоря.

При застосуванні електродвигунів змінного струму з короткозамкненим ротором електропривод швартових механізмів після 30-хвилинної роботи при номінальному навантаженні повинен забезпечувати можливість стоянки під струмом електродвигуна при номінальному напрузі протягом не менше 15 с. Електродвигуни постійного струму і змінного струму з фазним ротором повинні витримувати зазначений вище режим стоянки під струмом, але при моменті, в 2 рази перевищує номінальний.

На флоті найбільшого поширення отримали контролерні і релейно-контакторні схеми керування електроприводами якірно-швартовних пристроїв. На плавбазах частіше застосовуються брашпілі по системі генератор-двигун (Г-Д) і швартовні шпилі з тришвидкісними асинхронними двигунами. В даний час перспективними для застосування є тиристорні або транзисторні схеми керування брашпільними електроприводами, а також автоматичні швартовні лебідки *АШЛ*, які сприяють скороченню часу швартування завдяки кращому використанню механічного привода і зручності роботи з тросами.

При мінливих умовах стоянки судна на швартових змінюються зусилля в швартових тросах, що веде до появи слабини або перенапруження троса. *АШЛ* забезпечує автоматичну підтримку заданого зусилля в швартовному тросі, запобігаючи його провисання при зменшенні натягу і розриві при збільшенні натягу. Інколи такі лебідки особливо ефективні при взаємному швартуванні суден у відкритому морі, наприклад, з метою передачі улову з видобувного судна на плавбази і виконання інших вантажних операцій. Використання автоматичних швартових лебідок виключає необхідність

При стоянці судна на якорі одна частина якорного ланцюга вільно висить у воді (відрізок A_1B_1), маючи форму ланцюгової лінії, інша частина лежить на ґрунті (відрізок OB_1). Система знаходиться в рівновазі, а судно лежить в дрейфі, не маючи поступального руху до місця залягання якоря. Після вмикання в роботу виконавчого двигуна якорно-швартовного пристрою (брашпіля) судно прийде в рух з постійною швидкістю v_c , прямуючи до точки O (місця залягання якоря). Рух викликається дією тягового зусилля натягу ланцюга F_k . Тягове зусилля F_k буде зберігати незмінну величину до тих пір, поки остання ланка якорного ланцюга не буде піднята з ґрунту, оскільки кількість ланок, піднятих з ґрунту, буде дорівнює їх кількості, втягнутих в клюз. Очевидно, що і момент опору на валу виконавчого двигуна буде незмінним, поки $F_k = \text{const}$. Згідно рис. 1.4 остання ланка якорного ланцюга буде піднята з ґрунту в точці A_2 . Таким чином, перша стадія роботи характеризується постійним моментом опору M_{c1} на валу виконавчого двигуна і триває протягом часу t_1 (рис. 1.5).

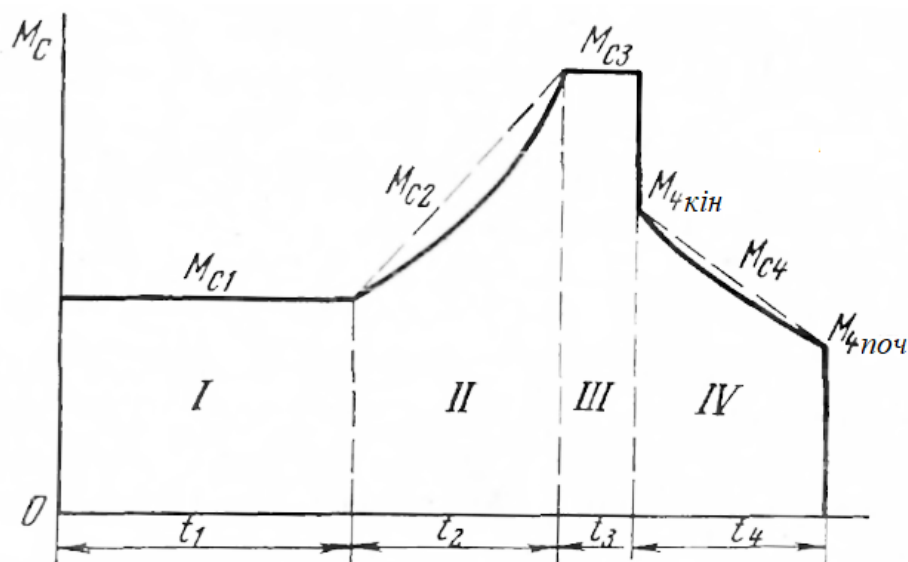


Рисунок 1.5 – Навантажувальна діаграма електропривода якорного пристрою при знятті судна з якоря

З моменту підняття останньої ланки якорного ланцюга з ґрунту (точка A_2 на рис. 1.4) починається друга стадія роботи брашпільного привода, яка

характеризується збільшенням моменту опору на валу виконавчого двигуна, оскільки форма провисання якірного ланцюга змінюється, ланцюг натягується, зусилля у клюзі і в точці залягання якоря зростають. В деякій точці A_3 натяг у клюза досягає граничного значення, рівного максимальному тяговому зусиллю, створюваному брашпільним електроприводом, а частота обертання виконавчого двигуна, поступово зменшуючись, в точці A_3 стає мінімальною. Якщо протягом другої стадії роботи (рис. 1.5) судно переміщалося зі змінною швидкістю під дією брашпільного електропривода, то, починаючи з точки A_3 , рух його буде відбуватися за рахунок запасеної кінетичної енергії. Друга стадія може бути охарактеризована як підтягування судна до місця залягання якоря при змінному моменті опору M_{c2} .

На ділянці A_3A_4 момент, що розвивається двигуном, залишається постійним, рівним максимальному. Цей режим складає сутність третьої стадії, в кінці якої відбувається відрив якоря від ґрунту (точка A_4). Момент опору при цьому дорівнює M_{c3} .

Після відриву якоря від ґрунту по міру вибирання якірного ланцюга момент опору зменшується. Час t_4 з моменту відриву якоря від ґрунту до моменту втягування його в клюз становить тривалість четвертої стадії, після чого процес зйомки судна з якоря закінчується.

1.4 Базова система керування електропривода якірно-швартовного пристрою на змінному струмі

Принципова електрична схема базової релейно-контакторної системи керування автоматизованого електропривода якірно-швартовного пристрою показана на рис. 1.6.

Розглянемо елементи принципової електричної схеми системи керування електропривода якірно-швартовного пристрою (рис. 1.6) [1].

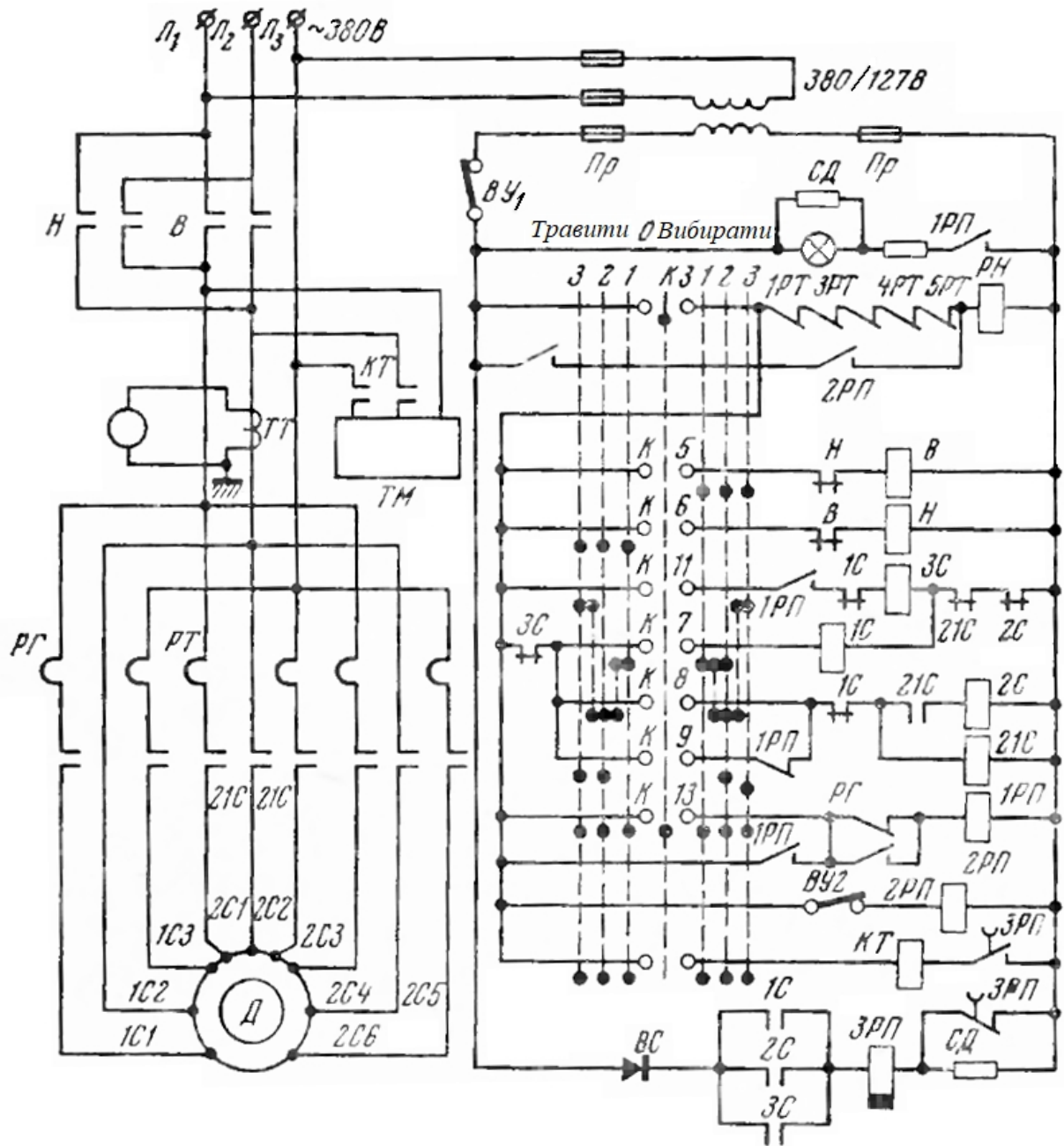


Рисунок 1.6 – Принципова електрична релейно-контакторної схеми керування якірно-швартовним пристроєм на змінному струмі

Схема містить тришвидкісний асинхронний двигун $Д$, дискові гальма, командоконтролер на три положення в напрямках «Вибирати» і «Травити» з контактами $K1-K13$, вимикачі керування $BУ1$ і $BУ2$ (перший подає живлення на схему керування, другий підключає до роботи проміжне реле $2PP$); теплове реле $1PT-5PT$, вантажне реле $РГ$, що захищає двигун від

перевантаження при роботі обмотки більшої частоти обертання; реле напруги *РН*, проміжні реле *1РП* і *2РП*, причому друге реле вмикається в роботу при необхідності вмикання двигуна в разі спрацювання теплових реле (положення *А*); реверсивні контактори *В* і *Н*, контактори зміни частоти обертання двигуна *1С*, *21С*, *2С* і *3С*; реле з витримкою часу *3РП* постійного струму, що живиться через випрямляч *В*; запобіжники *Пр*, опори додаткові *СД*, гальмівний контактор *Г*, трансформатор струму *ТТ* до амперметра *А*, сигнальну лампу *ЛС*.

Розглянемо роботу схеми (рис. 1.3). Робота схеми. Схема симетрична, тому досить розглянути її роботу, наприклад, в напрямку «Вибирати». Для здійснення роботи замикають *ВУ1*. У нульовому положенні через контакт *К3* подається живлення на реле *РН*, яка здійснює нульовий захист. Реле *РН*, спрацювавши, шунтує контакт *К3*. Одночасно отримує живлення реле *1РП* через контакт *К13* і контакт *РГ*. Реле *1РП* спрацьовує, підключає електроколо лампи *ЛС* під напругу і готує електроколо контактора *1С* до роботи. Крім того, своїм контактом *1РП* шунтує контакт *К13*. Нормально закритий контакт *1РП* розмикається в електроколі *2С* і *21С*, блокуючи їх від випадкового вмикання.

При постановці маховика командоконтролера в положення *1* замикаються контакти *К5*, *К7* і *К4*. Розмикається контакт *К3*, оскільки при спрацюванні реле *РН* відпала необхідність тримати його закритим. Цей контакт і реле *РН* здійснюють нульовий захист. Контакт *К13* залишається в замкнутому положенні. Оскільки контакти *К5* і *К7* закрилися, під напругу підключаються контактори напрямку *В* і малої швидкості *1С*. Контактори спрацьовують і підключають до мережі тихохідну обмотку двигуна, включену за схемою трикутника. Контактном *1С* підключається в роботу реле *3РП*. У цьому випадку через контакт *К4* і контакт реле *3РП* підключений до джерела живлення на контактор *Г*, який спрацьовує і розгальмовує двигун, підключивши своїми контактами гальмо *ТМ* до мережі. Контактори *В* і *1С*

своїми контактами в електроколах контакторів H , $2C$, $3C$ блокують їх від вмикання при працюючій тихохідній обмотці.

У другому положенні «Вибирати» розмикається контакт $K7$, залишаються замкнутими контакти $K5$, $K13$ і $K4$, додатково замикаються контакти $K8$ і $K9$.

Контакт $K7$ обриває електроколо живлення контактора $1C$, який, замкнувши свій нормально закритий контакт, підготує до роботи котушки контакторів $2C$ і $21C$. Ці контактори при замиканні контакту $K8$ спрацьовують послідовно. Після їх спрацьовування обмотка статора двигуна виявляється підключеною до роботи за схемою подвійна зірка, котушки $1C$ і $3C$ блокуються від включення, оскільки нормально закриті контакти $21C$ і $2C$ відкрилися. Слід мати на увазі, що при повороті маховика контролера спочатку замикається контакт $K8$, а потім розмикається контакт $K7$.

У третьому положенні «Вибирати» контакти $K8$ і $K13$ розмикаються, залишаються замкнутими контакти $K5$, $K9$ і $K4$, додатково замикається контакт $K11$. При замиканні останнього отримує живлення котушка $3C$ і підключається в роботу швидкохідна обмотка двигуна за схемою зірка. В цьому випадку котушки контакторів $1C$, $21C$ і $2C$ блокуються від вмикання при роботі двигуна на швидкохідній обмотці.

В електросхемі (рис. 1.3) передбачено наступний захист. У разі перевантаження в третьому положенні контролера при роботі на швидкохідній обмотці спрацьовує реле $РГ$, що призводить до знеструмлення $1РП$. Тоді через контакт $K9$ і контакт реле $1РП$, що заклався, буде подано живлення на контактори $21C$ і $2C$. Обмотки статора переключуються на малу частоту обертання. При зникненні перевантаження частота обертання двигуна може бути відновлена поверненням маховика контролера в друге положення, а потім знову в третє. Схемою також передбачені: захист від коротких замикань автоматом $ГРЩ$ і запобіжниками в електроколах

керування; мінімальний і нульовий захисти за допомогою реле *РН* і контакту *КЗ*; захист від перевантажень за допомогою теплових реле.

Як було зазначено вище, за необхідності роботи, не дивлячись на перевантаження, вмикаються *ВУ2*, поставивши вимикач кіл керування в нефіксоване положення *А*. В цьому випадку реле *2РП* спрацює і зашунтує контакти теплових реле *1РТ-5РТ* і контакт *РГ* в електроколі реле *1РП*. Електродвигун можна буде запускати для подальшої роботи.

РОЗДІЛ 2

ВИКЛАД ЗАГАЛЬНИХ ПІДХОДІВ І ОСНОВНИХ МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Структурно-логічна схема дослідження з розробки системи керування електропривода якірного-швартовного пристрою

Структурно-логічна схема дослідження з розробки системи керування електропривода якірного-швартовного пристрою показана на рис. 2.1.



Рисунок 2.1 – Структурно-логічна схема дослідження з розробки системи керування електропривода якірного-швартовного пристрою

Необхідно відмітити, що структурно-логічна схема дослідження є однією з форм планування роботи, яка дозволяє з одного боку описувати процедуру (алгоритм) дослідження для досягнення поставленої мети, тобто сформулювати робочу гіпотезу дослідження, а також установити логічну послідовність виконання структурних основних етапів роботи. Під поняттям „логічність” слід розуміти виправдану послідовність етапів дослідження.

Структурно-логічні схеми дослідження можуть бути побудовані різними способами, з різною деталізацією і різним ступенем домінування структурної або логічної складових. Тому вони можуть бути представлені в різному виді і відрізнятися за змістом, бо кожне дослідження має свої особливості, які визначаються предметом і метою дослідження.

Можливості, що відкриваються при використанні перетворювача частоти як регулюючого пристрою для електропривода, виконаного на асинхронному електродвигуні, безмежні. Однією з головних тенденцій розвитку сучасного електроприводу є використання його в цілях збереження енергетичних ресурсів і екології. Слід зазначити, що використання перетворювачів частоти як регульованого електропривода створює свої переваги за рахунок автоматичної зміни параметрів системи залежно від умов роботи, які можуть часто змінюватися і межі цих змін досить широкі. Система регульованого електропривода керується мікроконтролером з досить солідним програмним забезпеченням, що дозволяє задавати параметри регулювання залежно від необхідних умов роботи механізму. В зв'язку з цим розширюється сфера застосування регульованого електропривода не тільки в сферах високих технологій, але і там, де до теперішнього часу традиційно використовувався простий нерегульований електропривод з асинхронним двигуном з короткозамкненим ротором. При цьому важливим стає підвищення енергетичної ефективності існуючих електроприводів, що дозволяють вирішувати технологічні завдання при мінімальних витратах.

Найбільш простий варіант використання перетворювача частоти (ПЧ), коли одним перетворювачем керується один електродвигун, наприклад електродвигун ліфта, верстата, димососа котла і т.д. В даному випадку перетворювач підключається безпосередньо до одного електродвигуна і керує його роботою залежно від заданих параметрів і отримуваної від датчиків інформації. При цьому ефект від роботи електроприводу визначається зниженням витрати електроенергії і підвищенням якості регульованого технологічного параметра, який найчастіше і визначає якість продукції. При такому варіанті використання ПЧ питома вартість перетворювача на 1 кВт потужності максимальна і рішення про встановлення ПЧ, як правило, приймається з потреби регулювання технологічних параметрів, хоча розрахунки показують, що складова економії електроенергії часто дозволяє окупити витрати на встановлення ПЧ менш ніж за один рік і далі приносити чисту економію.

Якщо на об'єкті розташовано декілька електроприводів, що працюють у взаємозв'язаному режимі, то доцільно розглянути встановлення перетворювача в комплексі з системою керування електроприводів – так звану станцію керування електроприводами. Типова станція керування (СК) включає:

- шафу керування, в якій розміщуються комутаційна апаратура, частотний перетворювач, додатковий програмований логічний контролер (при необхідності вирішувати складні завдання керування), апаратура захисту і сигналізації;

- датчики контрольованих параметрів і виконавчі механізми системи керування.

При більш складних схемах регулювання, коли потрібні контроль і регулювання по декількох параметрах, розробляються і виготовляються програмовані логічні контролери на найсучасніших мікропроцесорах фірм ATMELL, Texas Instruments, за погодженням із замовником технічним

завданням. Застосування програмованих логічних контролерів дозволяє створювати повністю автоматизовані об'єкти, при цьому якісно змінюється сам принцип виробництва і виходить максимальний економічний ефект.

2.2 Математичний опис асинхронного двигуна

З відомих моделей асинхронного двигуна приймемо двофазну модель, що використовує складові потокозчеплень та струмів в нерухомих осях α , β , зручну для дослідження динаміки одномасового привода з опорним вектором головного потокозчеплення. Процеси в двигуні описуються рівняннями рівноваги напруги та моментів, рівняннями струмів статора та ротора:

$$\frac{d}{dt}\Psi_{0\alpha} = U_{s\alpha} - I_{s\alpha}R_s - L_s(1-k_s)\frac{dI_{s\alpha}}{dt}; \quad (2.1)$$

$$\frac{d}{dt}\Psi_{0\beta} = U_{s\beta} - I_{s\beta}R_s - L_s(1-k_s)\frac{dI_{s\beta}}{dt}; \quad (2.2)$$

$$\frac{d}{dt}\Psi_{r\alpha} = p_0\omega\Psi_{r\beta} - I_{r\alpha}R_r; \quad (2.3)$$

$$\frac{d}{dt}\Psi_{r\beta} = p_0\omega\Psi_{r\alpha} - I_{r\beta}R_r; \quad (2.4)$$

$$\frac{d}{dt}\omega = \frac{mp_0}{2J}(\Psi_{0\alpha}I_{s\beta} - \Psi_{0\beta}I_{s\alpha}) - M_c J^{-1}; \quad (2.5)$$

$$I_{s\alpha} = (\Psi_{s\alpha} - k_r\Psi_{r\alpha})/((1-k_s k_r)L_s); \quad (2.6)$$

$$I_{s\beta} = (\Psi_{s\beta} - k_r\Psi_{r\beta})/((1-k_s k_r)L_s); \quad (2.7)$$

$$I_{r\alpha} = (\Psi_{r\alpha} - k_s\Psi_{s\alpha})/((1-k_s k_r)L_r); \quad (2.8)$$

$$I_{r\beta} = (\Psi_{r\beta} - k_s\Psi_{s\beta})/((1-k_s k_r)L_r), \quad (2.9)$$

де I_s , Ψ_0 , Ψ_s , Ψ_r , U_s – проєкції узагальненого вектора струму статора, головного потокозчеплення, потокозчеплення статора та ротору, напругі статора на осі $\alpha - \beta$;

m – число фаз статора;

k_s – коефіцієнт магнітного зв'язку статора;

$(1 - k_s k_r) L_s = L'_s$, $(1 - k_s k_r) L_r = L'_r$ – перехідні індуктивності статора та ротора.

Рівняння (2.1), (2.2) системи можуть служити для обчислення ψ_0 , тому що забезпечують оцінку:

$$\psi_0 = \int_0^t (U_s - I_s R_s) dt - L_s (1 - k_s) I_s + \psi_0(0) = \psi_s - L_r (1 - k_s) I_s + \psi_0(0). \quad (2.10)$$

Модель, що записана для еквівалентної двофазної машини справедлива при наступних припущеннях:

- розподіл магнітного поля в зазорі машини рахується синусоїдальним;
- параметри всіх трьох фаз ідентичні та постійні в часі;
- насичення сталі магнітопровода відсутнє;
- двигун отримує живлення від джерела напруги.

В електричних машинах з відносно малим повітряним зазором, до яких відносяться асинхронні машини, насичення в деяких випадках необхідно враховувати при розрахунках. Для цього можна ввести параметр γ_H , що дорівнює відношенню магнітного потоку насичення к номінальному магнітному потоку $|\psi_0|_{\text{HH}} / |\psi_0|_{\text{H}}$.

Введення нединамічних нелінійностей в модель для урахування насичення, як відомо, зв'язано з принциповими труднощами. Проблему можливо вирішити, якщо перетворити рівняння (2.1), (2.2) і синтезувавши праві частини отриманих рівнянь, що забезпечують отримання жорсткого граничного циклу при досягненні головним потокозчепленням $|\psi_0|$ рівня заданого насичення $|\psi_0|_{\text{HH}}$ у відповідності з рівняннями:

$$\frac{d}{dt} \psi_{0\alpha} = U_{s\alpha} - I_{s\alpha} R_s - \sigma_s L_s \frac{d}{dt} I_{s\alpha} - (|\psi_0| - |\psi_0|_{\text{HH}}) k \psi_{0\alpha}; \quad (2.11)$$

$$\frac{d}{dt} \psi_{0\beta} = U_{s\beta} - I_{s\beta} R_s - \sigma_s L_s \frac{d}{dt} I_{s\beta} - (|\psi_0| - |\psi_0|_{\text{HH}}) k \psi_{0\beta}; \quad (2.12)$$

$$|\psi_0| - |\psi_0|_{\text{HH}} > 0, \quad (2.13)$$

де $|\psi_0| = (\psi_{0\alpha}^2 + \psi_{0\beta}^2)^{0.5} \approx U_\Phi / (4,44f)$ – модуль головного потокозчеплення, Вб;
 k – коефіцієнт.

2.3 Функціональна схема системи векторного керування електропривода якірно-швартовного пристрою

Для широкодіапазонних швидкодіючих приводів потрібно застосовувати структуру векторного керування, інколи, також, застосовують системи прямого керування моментом.

Раціональна с точки зору технічної реалізації є система векторного керування електроприводом, що представлена на рис. 2.2, вона має в якості опорного вектор головного потокозчеплення, що забезпечує і кращі енергетичні показники. Ця схема при використанні перетворювача з широтно-імпульсного ШІМ-керуванням.

Складові струму статора i_1, i_2 двигуна орієнтовані по вектору потокозчеплення ψ_0 , визначають відповідно величину модуля потокозчеплення та моменту двигуна. В якості датчиків складових вектора головного потокозчеплення $\psi_{0\alpha}, \psi_{0\beta}$ використовуються датчики Холла (ДХ) або датчик-обчислювач, що використовує миттєві значення струму та напруги асинхронного двигуна. Система будується за принципом підлеглого керування.

Блок регулювання та компенсації (БРК) містить канал керування модулем головного потокозчеплення ψ_0 та канал керування швидкістю ω . Канал керування швидкістю є двоконтурним та містить внутрішній конур керування складовий струму i_2 , яка визначає момент двигуна. Для отримання

автономності керування потокозчепленням та моментом за допомогою ячілок, що перемножуються M_1 та M_2 , вхідних до складу блоку компенсації (БК), здійснюється компенсація перехресних впливів змінних станів. З метою забезпечення незалежності динамічних властивостей системи від рівня модулю головного потокозчеплення канал керування швидкістю може містити блок розподілу (БР).

Функціональна схема системи векторного керування електропривода якірно-швартовного пристрою показана на рис. 2.2.

Складова компенсуючої дії, яка представляє собою добуток проєкції струму i_2 на швидкість ω ($i_2\omega$), використовується для реалізації контуру керування ДК у режимі постійності потужності. Контур містить прилад порівняння та нелінійний елемент (НЕ) у вигляді однополуперіодного випрямляча з фільтром (Ф). Постійна часу фільтра T повинна бути менше мінімального часу наростання $t_{\text{зад}}$ сигналу завдання швидкості: $T < (0,2 - 1)t_{\text{зад}}$. При перевищенні завданого рівня потужності P' на виході нелінійного елемента виділяється сигнал на зниження швидкості.

У зв'язку з організацією керування за допомогою змінних машини, орієнтованих по вектору головного потокозчеплення, система векторного керування містить крім традиційних, спеціальні блоки та блоки, до яких пред'являються спеціальні вимоги. Так, датчик потоку (ДП), що використовує інформацію з датчиків Холла (ДХ), повинен формувати сигнали, пропорційні складовим вектора головного потокозчеплення машини $\psi_{0\alpha}, \psi_{0\beta}$, блок керування інвертором (СКІ) формує керуючі імпульси з вхідної трифазної системи змінних сигналів U_a, U_b, U_c .

Спеціальні блоки, які входять до складу системи векторних перетворювань (СВП) реалізують алгоритми роботи.

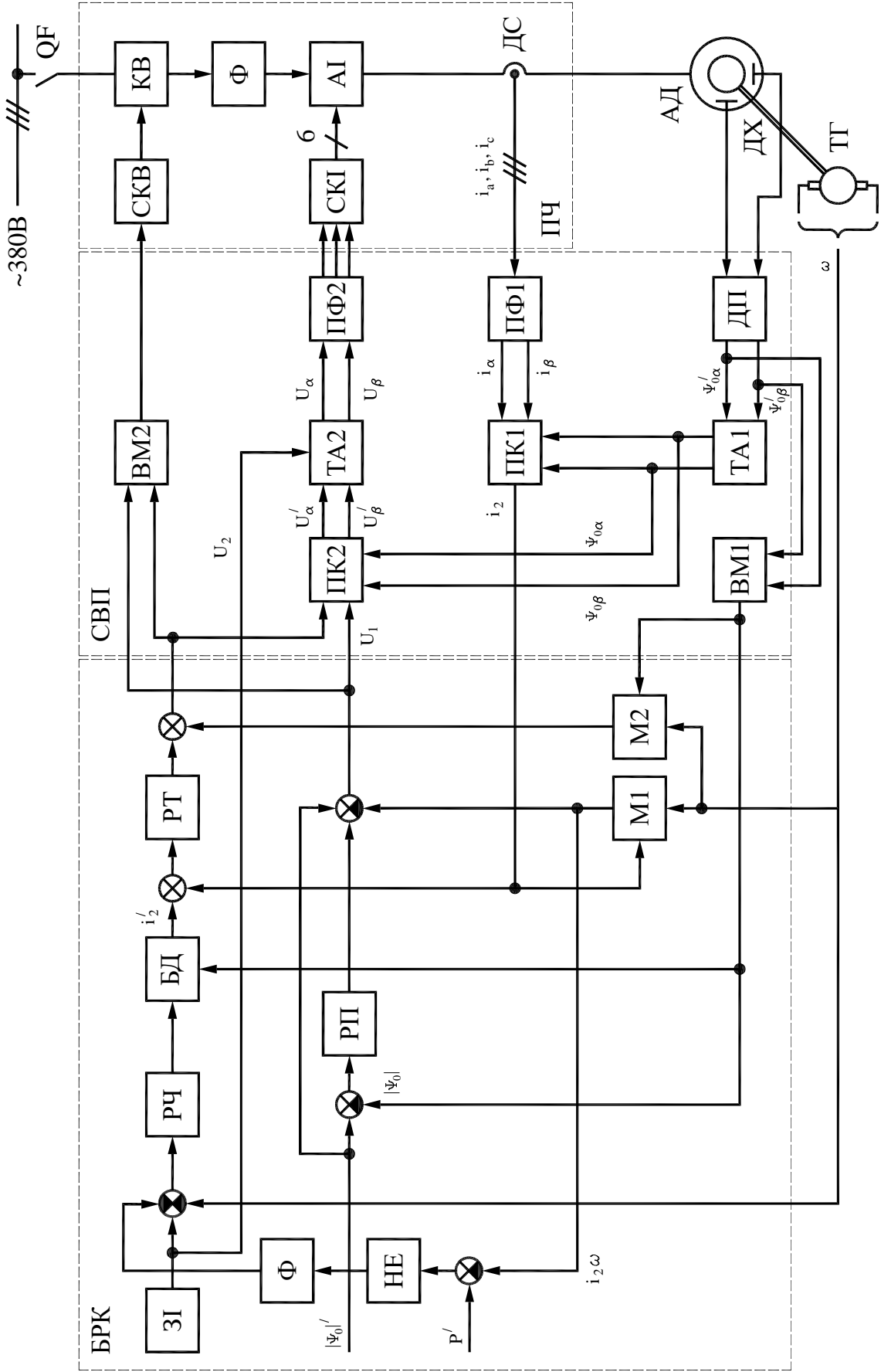


Рисунок 2.2 – Функціональна схема системи векторного керування

Блоки перетворювачів координат (ПК1, ПК2), перетворювачів фаз (ПФ1, ПФ2), обчислювачів модулю (ОМ1, ОМ2) є типовими функціональними елементами.

Блок ПК2 перетворює складові сигналів в осях 1, 2, які жорстко з'єднані з головним потокозчепленням машини, в систему нерухомих осей (α, β). На його виходах виділяються сигнали:

$$U'_\alpha = U_1 \cos \varphi - U_2 \sin \varphi; U'_\beta = U_1 \sin \varphi - U_2 \cos \varphi,$$

де $\cos \varphi, \sin \varphi$ – направляючі косинуси ($\psi_{0\alpha}, \psi_{0\beta}$), що одержуються за допомогою блоків ДХ, ДП, ТА1.

Перетворювач ПК1 здійснює зворотне перетворення. На його виходах формуються сигнали, що орієнтовані по вектору головного потокозчеплення.

$$i_2 = i_\beta \cos \varphi + i_\alpha \sin \varphi; (i_1 = i_\beta \sin \varphi + i_\alpha \cos \varphi).$$

Блоки перетворювачів фаз ПФ1, ПФ2 призначені для перетворення трифазних напруг у еквівалентні до їх двофазні (3-2) та зворотно (2-3).

Перетворення зсунених по фазі на 120 ел. град. векторів струму i_a, i_b, i_c у вектори i_α, i_β , зсунені по фазі на 90 ел. град., виконується блоком ПФ1 згідно рівнянням:

$$i_\alpha = i_a - 0,5(i_b + i_c); i_\beta = 0,5\sqrt{3}(i_b - i_c);$$

Зворотне перетворення блоком ПФ2 виконується за формулами:

$$U_a = U_\alpha; U_b = -0,5(U_\alpha - \sqrt{3}U_\beta); U_c = -0,5U_\alpha + 0,5\sqrt{3}U_\beta.$$

Блоки ВМ1, ВМ2 виділяють модуль двофазної системи вхідних напруг

$$U_{\text{вих}} = |U| = (U_{\text{вх1}}^2 + U_{\text{вх2}}^2)^{0,5}.$$

Блоки тригонометричних аналізаторів (ТА1, ТА2) виділяють із двофазної системи напруг $\psi'_{0\alpha}, \psi'_{0\beta}$, що нормовані по амплітуді основні гармоніки цих напруг $\psi_{0\alpha}, \psi_{0\beta}(\cos \varphi^*, \sin \varphi^*)$; вищі гармоніки фільтруються. Блок є слідкуючою системою. Він складається з тригонометричного порівняльного пристрою (ТПП), та двофазного генератора синусоїдальної

напруги (ГСН). На входах ТПП порівнюється фаза сигналів ГСН та вхідних сигналів ТА. На виході ТСУ виділяється сигнал пропорційний різниці (помилці) фаз

$$|A| \sin(\varphi - \varphi^*) = |A| (\sin \varphi^* \cos \varphi - \sin \varphi \cos \varphi^*),$$

де $|A|$ і φ – модуль та миттєва фаза вхідної двофазної системи;

φ^* – миттєва фаза вихідної системи напруг ГСН.

Цей сигнал впливає на регулятор ТСУ з метою синхронізації вхідних та вихідних сигналів.

Всі блоки аналогової СВУ реалізуються на інтегральних операційних підсилювачах (ОП) та множних комірках.

При дослідженні систем векторного керування короткозамкненим асинхронним двигуном зі стабілізацією амплітуди магнітного потоку в зазорі машини застосовується спрощена система диференціальних рівнянь (в обертальних координатах):

$$\frac{d}{dt} |\Psi_0| = \frac{(1-k_s)R_r}{(1-k_s k_r)L_r} |\Psi_0| + \frac{k_s(1-k_s)}{1-k_s k_r} U_{s1} + \frac{L_m p_0 \omega (1-k_s)(1-k_r)}{1-k_s k_r} i_2;$$

$$\frac{d}{dt} i_2 = -\frac{R_s + k_r R_r}{(1-k_s k_r)L_s} i_2 + \frac{1}{(1-k_s k_r)L_s} U_{s2} - \frac{p_0 \omega}{(1-k_s k_r)L_s} |\Psi_0|;$$

$$\frac{d}{dt} \omega = \frac{3}{2} \frac{p_0}{j} |\Psi_0| i_2 - \frac{1}{j} M_c$$

де U_{s1}, U_{s2} – складові напруги статора в обертальній системі координат, жорстко зв'язаній з головним потокозчепленням;

i_2 – складова узагальненого вектора струму статора на ординату обертальної системи координат.

Дані рівняння описують процеси в машині, що живиться від ідеалізованого перетворювача частоти. З системи виключені нелінійні члени, що мають малу питому вагу, які містять добутки змінних (трансформаторних ЕРС на індуктивностях розсіювання), опір ротора прийнятий постійним.

Для дослідження динамічних процесів регулювання швидкості можуть бути використані комп'ютерні пакети ДИСПАС, Matlab та інші, за допомогою яких моделюються асинхронний двигун і векторна система електропривода. Результати моделювання при цьому будуть ідентичними, відмінність полягає в формі оформлення графіків.

2.4 Структурна схема системи векторного керування електропривода якірно-швартовного пристрою

Структурна схема системи векторного керування електропривода якірно-швартовного пристрою показана на рис. 2.3.

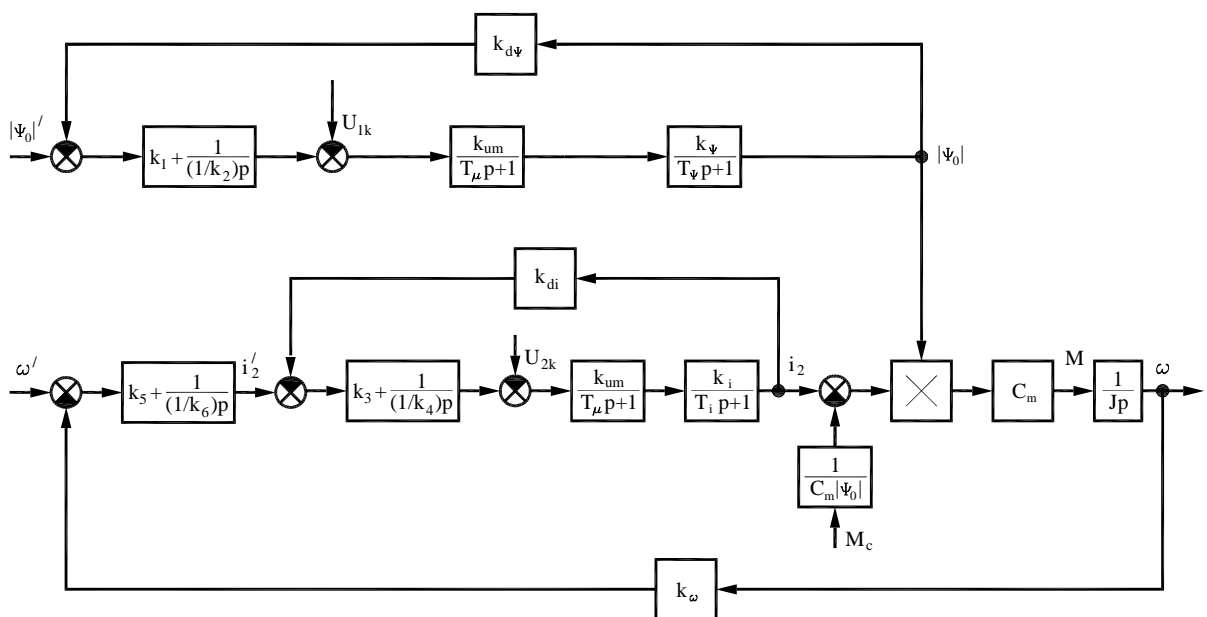


Рисунок 2.3 – Структурна схема системи керування електропривода якірно-швартовного пристрою

Вектором вихідних змінних є $(|\Psi_0|, i_2, \omega)$, при розрахунку налаштування регуляторів можна застосувати класичну теорія підпорядкованого регулювання, яка розроблена для електроприводів постійного струму з

використанням компенсації нелінійних шкідливих впливів за допомогою блоку компенсації.

Компенсуючи складові блоку БК, напруги яких дорівнюють

$$U_{1k} = -p_0 \omega L_s (1 - k_s) i_2, \quad U_{2k} = p_0 \omega |\Psi_0|,$$

вважаються введеними точно. Обчислення складової

$$p_0 \omega L_s (1 - k_s) i_2 = k i_2 \omega$$

може бути використане для реалізації додаткового контуру регулювання з підтримкою постійності потужності ($i_2 \omega = \text{const}$).

Налаштування регуляторів системи при заданих параметрах перетворювача і двигуна зводиться до отримання значень коефіцієнтів структурної схеми: $k_1, k_2, k_3, k_4, k_5, k_6$.

При моделюванні динаміки системи коефіцієнти уточнюються.

2.5 Канал керування модулем головного потокозчеплення

В основу розрахунку регуляторів системи за структурною схемою (див рис. 2.3) покладена стандартна методика, що висвітлена в літературних джерелах роботи.

Контур стабілізації потоку ($|\psi_0|$) виконуємо за допомогою ПІ-регулятора

$$W_{\text{ПІ}}(p) = \frac{k_2 ((k_1 / k_2) p + 1)}{p} = \frac{T_c p + 1}{T_I p},$$

де $T_I = 1 / k_{n+1}$ та $T_c = k_n / k_{n+1}$ – постійні часу інтегратора та настройки;

p – оператор диференціювання.

Передавальну функцію розімкненого каналу керування головним магнітним потокозчепленням одержуємо, вибираючи $k_1 / k_2 = T_\psi$,

$$W'_\psi(p) = \frac{k_2((k_1/k_2)p + 1)k_\psi k_{um} k_{d\psi}}{p(T_\mu p + 1)(T_\psi p + 1)},$$

де k_{um} – коефіцієнт передачі перетворювача частоти, В/В;

$k_{d\psi}$ – коефіцієнт передачі датчика потоку, В/Вб;

T_μ – постійна часу перетворювача частоти, с.

Налаштування на технічний оптимум визначає коефіцієнт:

$$k_2 = \frac{1}{2T_\mu k_\psi k_{um} k_{d\psi}},$$

Передавальна функцію розімкненого контуру:

$$W'_\psi(p) = \frac{1}{2T_\mu p(T_\mu p + 1)}.$$

Передавальна функція замкненого каналу має вигляд:

$$W_\psi(p) = \frac{1}{k_{d\psi}(2T_\mu^2 p^2 + 2T_\mu p + 1)}.$$

2.6 Канал керування швидкістю обертання ротора

Передавальна функція об'єкта регулювання контуру керування складовою струму i_2 , згідно структурної схеми, може бути представлена наступним виразом:

$$W_{02}(p) = \frac{k_{um} k_i k_{di}}{(T_\mu p + 1)(T_i p + 1)},$$

де k_{di} – коефіцієнт передачі датчика струму, В/А.

В контурі складової струму i_2 каналу регулювання швидкості ПІ-регулятор струму налаштовується на технічний оптимум (ТО). Його налаштування визначаються за формулою:

$$k_4 = 1/(2T_\mu k_i k_{um} k_{di}); k_3/k_4 = T_i$$

при $T_i > T_\mu$, ($T_\mu = T_a, T_i = T_b$);

$$k_4 = 1/(2T_i k_i k_{um} k_{di}); \quad k_3 / k_4 = T_\mu$$

при $T_i < T_\mu$, ($T_i = T_a, T_\mu = T_b$).

Передавальна функція розімкненого контуру має вигляд:

$$W_i(p) = \frac{1}{2T_a p(T_a p + 1)} = \frac{R(p)}{Q(p)}.$$

Передавальна функція замкненого контуру струму по керуючому впливу:

$$W_i(p) = \frac{i_2(p)}{i_2'(p)} = \frac{W_i'(p)}{W_i'(p) + 1} = \frac{1}{k_{di}(2T_a^2 p^2 + 2T_a p + 1)} \approx \frac{1}{k_{di}(T_\tau p + 1)},$$

де $T_\tau = 2T_a$.

При налаштуванні допускається значна похибка контуру струму, тому що вона вибирається зовнішнім контуром швидкості.

Відмітимо, що для спрощення у відповідності зі структурною схемою на рис. 2.3 ми нехтуємо ЕРС обертання $E = p_0 |\psi_0| \omega$, оскільки вона суттєво не впливає на динаміку. Тоді Передавальна функція об'єкта регулювання швидкісного контуру:

$$W_{01}(p) = \frac{C_m k_\omega |\psi_0|}{k_{di} J(T_\tau p + 1)p} = \frac{k_m}{J(T_\tau p + 1)p},$$

де $k_m = C_m k_\omega |\psi_0| / k_{di}$;

$T_\tau = 2T_a$;

J – момент інерції, кг·м².

У випадку використання П-регулятора швидкості в контурі керування швидкістю Передавальна функція

$$k_{r\omega} = \frac{jk_{di}}{C_m k_\omega 4T_a |\psi_0|}.$$

Якщо задано статичну точність (скалярна система), то коефіцієнт $k_{r\omega}$ розраховується за відомою методикою з метою одержання заданої статичної

похибки. Коефіцієнт передачі каналу керування швидкістю визначається (при коефіцієнті передачі П-регулятора струму, якій дорівнює одиниці) за формулою:

$$k = [(b_{nr} D - b_n)] / (k_\omega k_{ad} b_n),$$

де b_{nr} – статична похибка розімкненої системи керування тиристорного (транзисторного) привода, при зміні напруги живлення перетворювача та моменту навантаження двигуна, якщо частота фіксована, %;

b_n – необхідна статична точність при регулюванні швидкості (по відхиленню) в діапазоні D , %;

k_{ad} – коефіцієнт передачі асинхронного двигуна з перетворювачем, рад/(В с).

Для того, щоб знизити статичну помилку вводять ПІ-регулятор.

$$W_{ПІЗ}(p) = \frac{(k_5 p / k_6 + 1) k_6}{p}.$$

Припустивши, що для приводів зі стабілізацією модуля потокозчеплення $|\psi_0| = 1$, отримаємо Передавальну функцію розімкненого контуру регулювання швидкості:

$$W'_\omega(p) = \frac{(k_5 p / k_6 + 1) k_6 k_m}{J p^2 (T_\tau p + 1)}.$$

При налаштуванні на технічний оптимум, отримаємо:

$$k_6 = \frac{1}{2T_\tau K_0} = \frac{C_m |\psi_0| k_i k_{di}}{4T_a k_\omega}; \quad \frac{k_5}{k_6} = T_{ем},$$

де $T_{ем} = J / [(C_m |\psi_0|^2 k_i)]$ – електромеханічна постійна часу,

Контур регулювання швидкості з ПІ-регулятором може налаштовуватися за умовами симетричного оптимуму (СО) при $T_{ем} > 4T_a$:

$$k_6 = \frac{J}{32T_a^2 k_m}; \quad \frac{k_5}{k_6} = 8T_a.$$

Передавальну функцію по керуючому впливу при холостому ході при $M_c = 0$ ($I_c = 0$) запишемо у вигляді:

$$W_\omega(p) = \frac{\omega(p)}{\omega'(p)} = \frac{4T_\tau p + 1}{k_\omega (8T_\tau^3 p^3 + 8T_\tau^2 p^2 + 4T_\tau p + 1)}.$$

Розрахунок регуляторів контурів головного магнітного потокозчеплення та швидкості доповнюється додатковою корекцією налаштувань регуляторів для отримання малого перерегулювання вихідної величини. Вводять також комбіноване регулювання з керуванням по розімкненому циклу, коректуючи сигнали, еталонні моделі.

Для усунення перерегулювання швидкості, яке обумовлене наявністю форсуючого члена в чисельнику передаточної функції, на вході контуру регулювання швидкості вмикається фільтр першого порядку (здатчик інтенсивності) с передаточною функцією:

$$W_\phi(p) = \frac{1}{(T_\phi p + 1)},$$

де $T_\phi = 4T_\tau$.

В цьому випадку перехідні процеси в приводі ТП-Д з двократно інтегруючою системою підлеглого регулювання при $M_c = 0$ визначаються передаточною функцією

$$W_{\omega\phi}(p) = \frac{1}{k_\omega (8T_\tau^3 p^3 + 8T_\tau^2 p^2 + 4T_\tau p + 1)}.$$

Перехідні процеси при нахиді чи знятті навантаження в приводі ТП-Д з двократно інтегруючою системою підлеглого регулювання характеризуються наступною передаточною функцією

$$W_\omega(p) = \frac{d\omega(p)}{I_c(p)} = \frac{(T_\tau p + 1)8T_\tau^2 p}{C_M |\Psi_0| T_{em} k_i (8T_\tau^3 p^3 + 8T_\tau^2 p^2 + 4T_\tau p + 1)}.$$

При типових значеннях параметрів перетворювача частоти та обраного електродвигуна можна отримати налаштування регуляторів, які обчисленні за допомогою методики, що приведена в даному розділі роботи.

Після аналізу динаміки системи шляхом імітаційного моделювання може бути прийнято остаточний варіант налаштування регуляторів з урахуванням запасу стійкості та чутливості каналів керування моментом та потокозчепленням.

2.7 Використання перетворювачів частоти в електроприводах якірно-швартовних пристроїв

Частотний перетворювач частот призначений для перетворення мережевого трифазного або однофазного змінного струму частотою 50 Гц в трифазний або однофазний струм, частотою від 1 Гц до 800 Гц.

Промисловістю випускаються частотні перетворювачі електроіндукційного типу, що представляють собою конструкції асинхронного двигуна з фазним ротором, що працюють в режимі генератора-перетворювача та перетворювачі електронного типу.

Частотні перетворювачі електронного типу часто застосовують для плавного регулювання швидкості асинхронного електродвигуна або синхронного двигуна для розрахунку створеного на виході перетворення електричного напруження заданої частоти. У найпростіших випадках регулювання частоти та напруги відбувається відповідно до заданої характеристики U/f , у найбільш досконалих перетворювачах реалізоване так званих векторне частотне керування.

Частотний перетворювач електронного типу – це набір пристроїв, що забезпечує випрямлення (випрямляч – ланка постійного струму), перетворення змінного струму промислової частоти в постійний, та інвертор (перетворювач) (іноді з широтно-імпульсним ШІМ-керування), перетворюючи постійний струм у змінний необхідної частоти та амплітуди.

Вихідні тиристори (GTO) або транзистори (IGBT) забезпечують необхідний струм для живлення електродвигуна.

Для вдосконалення форм вихідної напруги між перетворювачем та двигуном іноді ставиться згладжувальний дросель, а для зменшення електромагнітних перешкод – ЕМС-фільтр.

Функціональна схема перетворювача частот, що виконана за схемою джерела напруги зображена рис. 2.4.

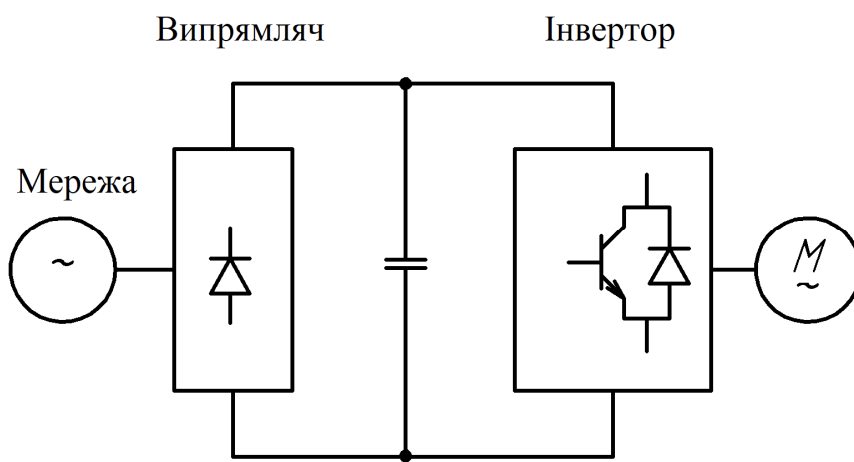


Рисунок 2.4 – Функціональна схема перетворювача частот, що виконана за схемою джерела напруги

Функціональна схема перетворювача частот, що виконана за схемою джерела струму показана на рис. 2.5.

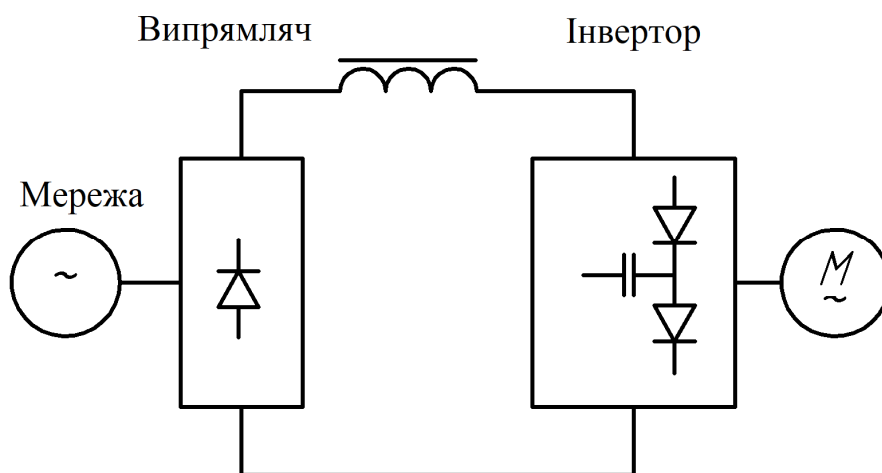


Рисунок 2.5 – Функціональна схема перетворювача частот, що виконана за схемою джерела струму

Конфігурація перетворювачів частоти приведена на рис. 2.6.

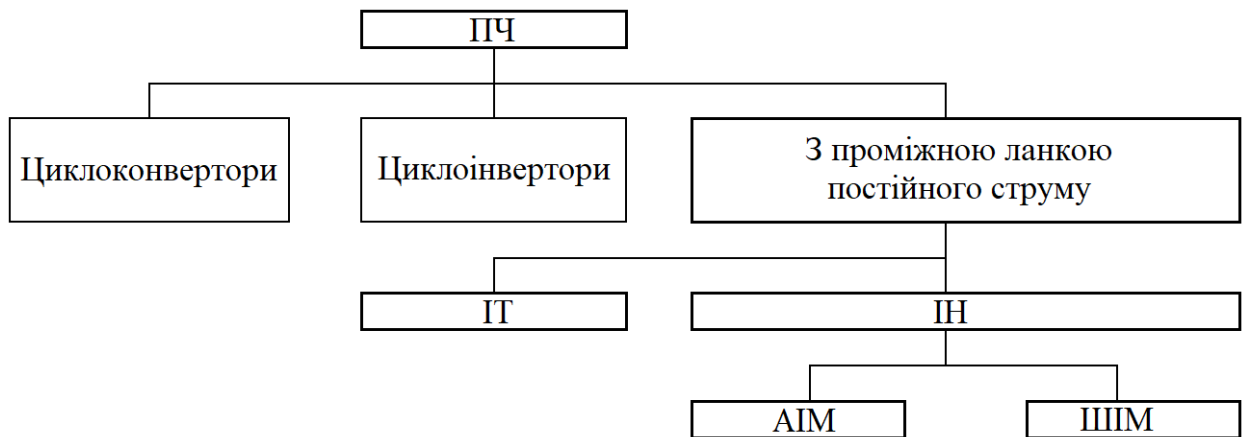


Рисунок 2.6 – Класифікація перетворювачів частоти

Позначення, які використано на рис. 2.6:

ПЧ – перетворювач частоти;

ІТ – перетворювач частот джерела струму;

ІН – перетворювач частот джерела напруги;

АІМ – перетворювач частоти з амплітудно-імпульсною модуляцією;

ШІМ – перетворювач частот із широтно-імпульсною модуляцією.

Схема будь-якого перетворювача частоти складається із силової і керуючої частин. Силова частина перетворювачів частоти виконана, як правило, на транзисторах IGBT, що працюють в режимі електронних ключів. Схема керування виконується на цифрових мікроконтролерах і забезпечує керування силовими електронними ключами, а також рішення великої кількості допоміжних завдань (захист, контроль, діагностика).

Перетворювачі частоти на транзисторах IGBT в порівнянні з тиристорами при однаковій вихідній потужності відрізняються меншими габаритами, зниженою масою і підвищеною надійністю в силу модульного виконання електронних ключів і кращого відведення тепла з поверхні силового модуля. Вони мають більш повний захист від кидків струму і від

перенапруги, що істотно знижує ймовірність пошкоджень і відмови електропривода.

Перетворювачі частоти використовуються в самих різних галузях промисловості. Будь-то приводи насосів і вентиляторів, обробних верстатів, конвеєрів і складальних ліній, кранів або роботизованих систем. На сьогодні уявити сучасне промислове виробництво без перетворювачів частоти вже досить важко. Адже там адаптована або безперервно регульована частота обертання, що забезпечує оптимізовані технологічні процеси – з тією додатковою перевагою, що приводи з регулюванням частоти обертання сприяють економії енергії при роботі.

РОЗДІЛ 3

ВИБІР ЕЛЕМЕНТІВ І АНАЛІЗ ДИНАМІКИ СИСТЕМИ

3.1 Розрахунок параметрів приводного асинхронного двигуна якірно-швартовного пристрою

Для розрахунку параметрів приводного асинхронного двигуна 5A200L6 можна скористатись стандартною методикою приблизного розрахунку параметрів асинхронного двигуна з використанням довідкових даних.

Вихідні дані для розрахунку параметрів асинхронного двигуна зведені в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Технічні дані асинхронного двигуна 5A200L6

№	Параметр	Значення
1	Частота, Гц	$f_1 = 50$
2	Кількість фаз	$m = 3$
3	Потужність, Вт	$P_n = 30 \cdot 10^3$
4	Номінальний фазний струм, А	$I_{1n} = 59,5$
5	Фазна напруга, В	$U_{1n} = 220$
6	Лінійна напруга, В	$U_s = 380$
7	Синхронна швидкість асинхронного двигуна, об/хв	$n_1 = 1000$
8	Номінальна швидкість, об/хв	$n_2 = 980$
9	Число пар полюсів	$p_0 = 3$
10	ККД (η) і коефіцієнт потужності ($\cos \varphi$)	$\eta = 0,912;$ $\cos \varphi = 0,84$
11	Кратність пускового струму i_k і моменту m_k	$i_k = 5,8; m_k = 2,4$
12	Момент інерції J , кг·м ²	0,46
13	Маса, кг	260

Розрахунок номінального ковзання:

$$s_n = \frac{(n_1 - n_2)}{n_1} = \frac{1000 - 980}{1000} = 0,02.$$

Розрахунок критичного ковзання:

$$s_k = \frac{m_k + \sqrt{m_k^2 + 2 \cdot s_n \cdot (m_k - 1) - 1}}{1 - 2 \cdot s_n \cdot (m_k - 1)} \cdot s_n =$$

$$= \frac{2,4 + \sqrt{2,4^2 + 2 \cdot 0,02 \cdot (2,6 - 1) - 1}}{1 - 2 \cdot 0,02 \cdot (2,4 - 1)} \cdot 0,02 = 0,092.$$

Задамо значенням поправочного коефіцієнту $b_k = 1,03$.

Зазначимо, що поправочний (конструктивний) коефіцієнт задається в діапазоні $b_k = 1,02 - 1,05$ для попереднього розрахунку параметрів схеми заміщення. Після розрахунку індуктивностей необхідно порівняти отримані дані з попередньо обраними і уточнити розрахунок. Зазвичай за 2-3 ітерації вдається досягнути збігу прийнятого і розрахункового поправочного коефіцієнта.

Розрахунок механічних втрат потужності:

$$\Delta P_m = [U_s (\sqrt{3} I_{1n}) \cos \varphi \eta - P_H] =$$

$$= [380 \cdot (\sqrt{3} \cdot 59,5) \cdot 0,84 \cdot 0,912 - 30 \cdot 10^3] = 0,971 \text{ Вт.}$$

Розрахунок втрат в'язкого тертя:

$$B_m = \frac{\Delta P_m}{(2\pi n_H / 60)^2} = \frac{0,971}{(2 \cdot 3,142 \cdot 980 / 60)^2} = 9,221 \cdot 10^{-5}.$$

Розрахунок активного опору статора:

$$r_s = 3 \left(\frac{U_s}{\sqrt{3}} \right)^2 \frac{(1 - s_n)}{2b_k \left(1 + \frac{b_k}{s_k} \right) m_k (P_2 - \Delta P_m)} =$$

$$= 3 \cdot \left(\frac{380}{\sqrt{3}} \right)^2 \frac{(1 - 0,02)}{2 \cdot 1,03 \cdot \left(1 + \frac{1,03}{0,092} \right) \cdot 2,1 \cdot (30 \cdot 10^3 - 0,971)} = 0,078 \text{ Ом.}$$

Розрахунок активного опору ротора:

$$r_r = \frac{P_2 + \Delta P_m}{3(1-s_n) i_k^2 I_{1n}^2} = \frac{30 \cdot 10^3 + 0,971}{3 \cdot (1-0,02) \cdot 5,8^2 \cdot 59,5^2} = 0,086 \text{ Ом.}$$

Розрахунок індуктивного опору статора:

$$L_s = \frac{U_s}{2\sqrt{3}\pi f_1 I_{1n} \left[\sqrt{1 - (\cos \varphi)^2} - \cos \varphi \frac{s_n}{s_k} \right]} =$$

$$= \frac{380}{2\sqrt{3}\pi \cdot 50 \cdot 59,5 \cdot \left[\sqrt{1 - (0,84)^2} - 0,84 \frac{0,02}{0,092} \right]} = 0,033 \text{ Гн.}$$

Розрахунок індуктивного опору ротора:

$$L_r = L_s = 0,033 \text{ Гн.}$$

Розрахунок індуктивності розсіювання статора і ротора:

$$L_{\sigma s} \equiv L_{\sigma r} = \frac{1}{4\pi f_H} \sqrt{\left[\frac{(U_H / \sqrt{3})}{(i_k I_H)} \right]^2 - (R_s + R_r)^2} =$$

$$= \frac{1}{4 \cdot 3,142 \cdot 50} \sqrt{\left[\frac{(380 / \sqrt{3})}{(5,8 \cdot 59,5)} \right]^2 - (0,078 + 0,086)^2} = 9,777 \cdot 10^{-4} \text{ Гн,}$$

Розрахунок взаємоіндукції:

$$L_m = L_s - L_{\sigma s} = 0,033 - 9,777 \cdot 10^{-4} = 0,032 \text{ Гн.}$$

$$L'_s = L_s - \left(L_m \frac{L_m}{L_r} \right) = 0,033 - \left(0,032 \frac{0,032}{0,033} \right) = 0,969 \text{ Гн.}$$

Перераховуємо поправочний коефіцієнт:

$$b_k = 1 + \frac{L_{\sigma s}}{L_m} = 1 + \frac{9,777 \cdot 10^{-4}}{0,032} = 1,031 \approx 1,03.$$

Збіг прийнятого і розрахункового поправочного коефіцієнта b_k досягнуто, а тому, розрахунок можна вважати прийнятним.

3.2 Вибір перетворювача частоти

Серед широкого різноманіття перетворювачів частоти заслуговує уваги перетворювач Mitsubishi FR-A741. Перетворювач частоти Mitsubishi FR-A741 є новітнім представником функціональної серії FR-A700. Наприклад, завдяки вбудованій функції рекуперації енергії, він задає нові масштаби економічної ефективності на режимах гальмування. Цей компактний перетворювач частоти за рахунок використання безлічі технічних інновацій дозволяє досягти небувалого рівня продуктивності, він чудово підходить для управління приводами підйомників або ж потужними машинами, крутний моменти при гальмуванні та уповільненні яких придатний для генерування електроенергії, як в загальних випадках з горизонтальним і вертикальним переміщенням, в конвеєрних установках, відцентрових сепараторах, випробувальних машинах, намотувальних верстатах. Новий перетворювач частоти Mitsubishi FR-A741 допомагає скоротити капітальні витрати і надає можливість в довгостроковій перспективі мінімізувати експлуатаційні витрати.

Наявність вбудованої функції рекуперації дозволяє створювати більш компактні і доступні за ціною системи електроприводу, а також спростити конструкцію керування шафою. У порівнянні з перетворювачами частоти, виконаними за традиційною технологією, забезпечуються наступні переваги:

- повернення в мережу при гальмуванні всієї енергії, що рекуперується;
- не вимагається гальмівної резистор;
- низькі витрати на проектування;
- мінімальний нагрів в режимі гальмування;
- низька трудомісткість монтажу;
- висока енергоефективність;
- вбудований мережевий дросель.

Енергозбереження та охорона навколишнього середовища – це, мабуть, найважливіші напрямки нинішнього машинобудування та виробництва комплектного промислового обладнання. На електродвигуни, як правило, припадає велика частка всього енергоспоживання, при цьому вони займають багато місця, та ще й вимагають особливих заходів для відводу тепла. У порівнянні з традиційними системами електропривода, FR-A741 з інтегрованою функцією рекуперації енергії відрізняється високим потенціалом енергозбереження.

Завдяки поверненню в мережу живлення при гальмуванні енергії, що рекуперується, в навколишній простір виділяється істотно менше тепла, ніж при використанні гальмівного резистора. А це означає не тільки скорочення енерговитрат, але ще й економію місця, тому що можна обійтися без додаткового охолодження. Ця енергія цілком може бути використана у виробничій установці з метою зниження енерговитрат.

Тривалість служби перетворювача частоти в значній мірі залежить від температури навколишнього середовища. Вона повинна бути максимально низькою в допустимому діапазоні. При установці перетворювача частоти в шафі управління необхідно простежити за тим, щоб температура навколишнього середовища залишалася в допустимому діапазоні. Неправильне підключення перетворювача частоти може призвести до його пошкодження. Для обмеження впливу перешкод необхідно прокладати дроти ланцюга управління окремо від силових проводів.

Не слід підключати до виходів модулі, використання яких не дозволено Mitsubishi (наприклад конденсатори для підвищення $\cos \phi$). При підключенні силового вимикача до виходу перетворювача частоти необхідно проконсультуватися з виробником. Щоб уникнути удару струмом слід переконатися, що заземлення не має жодних дефектів.

Перевірка типу придбаного перетворювача частоти і вибір відповідних периферійних пристроїв здійснюється згідно потужності. Підготувати

відповідні периферійні пристрої можна у відповідності з табл. 3.2. Автоматичний вимикач вибирається відповідно до потужності перетворювача частоти. До кожного перетворювача частоти підключається по одному силовому вимикачу. Термін служби зазначених контакторів становить 500000 комутаційних циклів. При аварійному вимкненні через контактор при працюючому двигуні термін служби контактора скорочується на 25 комутаційних циклів.

Таблиця 3.2 – Перетворювач частоти FR-A741 і периферійні пристрої

Потужність двигуна, кВт	Перетворювач частоти	Автоматичний вимикач	Контактор
5,5	FR – A741 – 5.5 K	30 AF 20 A	S – N11, N12
7,5	FR – A741 – 7.5 K	30 AF 30 A	S – N20
11	FR – A741 – 11 K	50 AF 40 A	S – N20
15	FR – A741 – 15 K	50 AF 50 A	S – N20
18,5	FR – A741 – 18.5 K	100 AF 60 A	S – N25
22	FR – A741 – 22 K	100 AF 75 A	S – N25
30	FR – A741 – 30 K	100 AF 100 A	S – N50
37	FR – A741 – 37 K	225 AF 125 A	S – N50
45	FR – A741 – 45 K	225 AF 150 A	S – N65
55	FR – A741 – 55 K	225 AF 175 A	S – N80

Враховуючи вихідні дані приводного асинхронного двигуна 5A200L6 з потужністю 30 кВт, обираємо перетворювач частоти модель FR-A741-37K потужністю 37 кВт, автоматичний вимикач модель 225AF125A та контактор S-N50.

Допустима температура навколишнього середовища для перетворювача частоти знаходиться в межах від -10°C до $+50^{\circ}\text{C}$. Експлуатація перетворювача частоти завжди повинна здійснюватися в рамках даного діапазону. Експлуатація перетворювача частоти за межами

даного температурного діапазону скорочує термін служби напівпровідникових елементів, ємностей і т.д.

Перетворювач частоти слід експлуатувати в приміщенні з відносною вологістю повітря від 45 % до 90 %. Більш висока вологість зменшує ізоляцію і сприяє утворенню корозії. У той же час занадто низька вологість повітря веде до зменшення діелектричної міцності. Так як у перетворювача частоти відсутній пристрій захисту від вибуху, його слід встановлювати у вибухозахищеній шафі управління. При наявності можливості необхідно встановити перетворювач частоти в такому місці, в якому загроза вибуху відсутня.

Перетворювач частоти слід встановлювати на висоті не більше 1000 м. При більшій висоті установки внаслідок більшої розрідженості повітря відбувається зменшення охолодження, а більш низький тиск викликає зменшення діелектричної міцності.

3.3 Схема підключення перетворювача Mitsubishi FR-A741

Частотний перетворювач Mitsubishi FR-A741 для низьких і середніх діапазонів потужностей являє собою інвертор з вбудованою функцією повернення (рекуперації) запасеної енергії від двигуна в мережу. Новаторська ідея поєднати звичайний інвертор (наприклад серія частотних перетворювачів Mitsubishi FR-A740) з пристроєм повернення енергії дозволяє відмовитися від громіздких гальмівних резисторів і значно зменшити час зупину приводу.

Енергія, що рекуперується, не розсіюється через гальмівний резистор, а використовується іншими споживачами в системі або повертається назад в електричну мережу. Таким чином, можна заощадити 40% від стандартного споживання енергії. При цьому можна бачити загальний обсяг не тільки

спожитої енергії, а й енергії, переданої назад у мережу при гальмуванні. Дана інформація може відображатися як на графічному дисплеї перетворювача, так і за допомогою програмного продукту FR-Configurator. Конфігуратор дозволяє не тільки налаштувати перетворювач, а й керувати ним у реальному часі з ПК або ноутбука. Змінювати швидкість обертання двигуна також можна за допомогою вбудованого поворотного диска на пульті керування. Крім економії енергії, грошових коштів і зниження виділення тепла, інвертор дозволяє значно збільшити швидкість гальмування двигуна. Новий інвертор реалізований з використанням нового покоління електролітичних конденсаторів і охолоджуючих вентиляторів, що в свою чергу дозволило збільшити термін служби даних компонентів не менше ніж на десять років.

Оскільки перетворювач частоти і рекуператор змонтовані в загальному корпусі, пристрій займає менше місця, що дозволяє істотно економити простір в шафі управління. Завдяки вбудованим мережевим дроселів і відмови від зовнішнього модуля гальмування немає необхідності в додаткових електромонтажних роботах. Це означає, що, на відміну від перетворювачів частоти із зовнішніми блоками рекуперації, число монтажних проводів з боку мережі зменшується на 40 %, а загальний займаний простір – залежно від класу продуктивності – на 60 %. Це дозволяє істотно зменшити довжину монтажних кабелів і заощадити місце в шафі управління.

Конфігурація обладнання автоматизованого електропривода з використанням частотного перетворювача MITSUBISHI FR-A741 показана на рис. 3.1. Запропоновано використовувати систему частотного керування зі скалярним алгоритмом керування, схема підключення перетворювача частоти MITSUBISHI FR-A741 наведена на рис. 3.2. Сутність скалярного керування полягає в одночасному регулюванні напруги та частоти живлення електродвигуна.

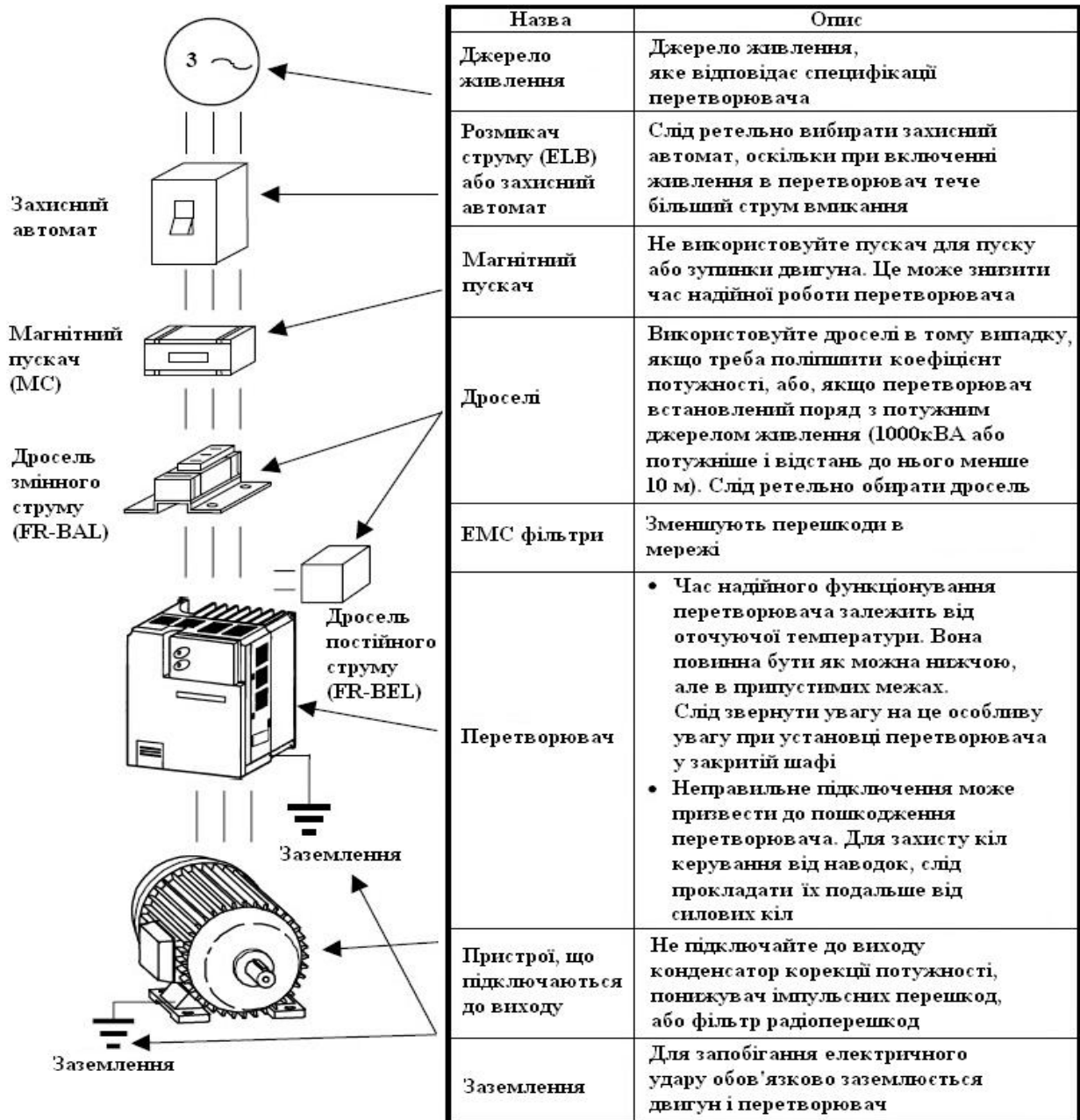


Рисунок 3.1 – Конфігурація обладнання автоматизованого електропривода з використанням частотного перетворювача

Mitsubishi FR-A741

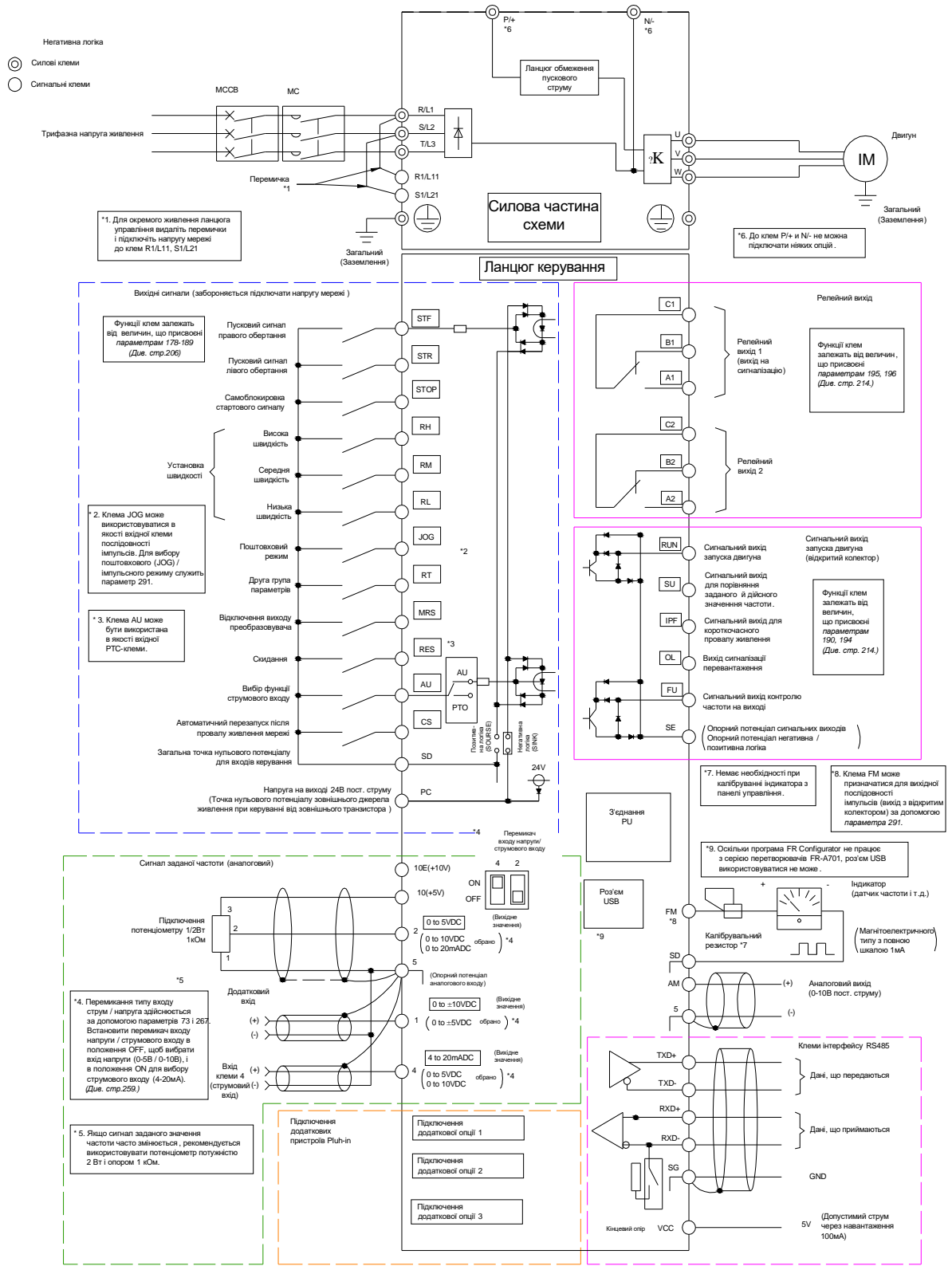


Рисунок 3.2 – Схема підключення перетворювача частоти FR-A741

Переваги перетворювача частоти FR-A741:

- краще співвідношення "ціна / якість", недорогої;
- гарні комунікаційні можливості, комунікаційні плати розширення;
- управління перетворювачем з вбудованого пульта управління FR-DU-07, який за допомогою адаптера FR-ADP і кабелю FR-CB2DD може бути встановлений на видаленні від перетворювача частоти;
 - наявність слоту розширення для установки плати вводу/виводу і мінімальний нагрів в режимі гальмування;
 - ідеальні для використання в ліфтовому і кранового устаткування, в механізмах і машинах з постійним прискоренням / уповільненням.

Підключення до мережі живлення здійснюється через клеми R/L1, S/L2 і T/ L3. При підключенні напруги мережі до клем U, V і W перетворювач частоти виходить з ладу. Кабель двигуна підключається до клем U, V і W. При подачі сигналу на клему STF двигун обертається у напрямку годинникової стрілки.

Обирати довжину проводів і кабелів таким чином, щоб втрати напруги становили не більш 2%. Допустима довжина кабелю для підключення одного чи декількох двигунів не повинна перевищувати 500 м. Коли перетворювач частоти застосовується для керуванням двигуна класу 400 В, на клеммах двигуна можуть виникати перенапруги перехідних процесів, які значно погіршують ізоляцію двигуна. Двигун і перетворювач частоти обов'язково повинні бути заземлені.

В особі перетворювачів частоти серії FR-A741 лежить інноваційний «інтелектуальний» привод, який впишеться в комплексні автоматизовані рішення. У першу чергу FR-A741 підходить для вирішення завдань, пов'язаних з процесами прискорення і уповільнення, що циклічно чергуються, а також у тих випадках, коли досі все ще використовується гальмівний резистор. Спеціальні програмні функції управління роботою підйомних кранів, як, наприклад, керуюча послідовність для зовнішнього

гальма, переключення числа обертів залежно від навантаження і чотири незалежних межі регулювання крутного моменту по всіх чотирьох квадрантах обумовлюють простоту інтеграції в підйомні механізми.

Що стосується перешкод для мережі живлення, створених FR-A741, то вони цілком порівнянні з перешкодами, які створює стандартний перетворювач частоти. Мережеві перешкоди, викликані гармонійними складовими, ефективно придушуються мережевим дроселем. З метою мінімізації мережевих перешкод може також використовуватися опція додаткового придушення гармонік.

FR-A741 розроблений на базі перетворювача частоти FR-A700 добре себе зарекомендував і йому притаманні всі експлуатаційні переваги приводу вищого класу якості, такі як контроль простоїв, придатність для роботи в мережах, тривалий термін служби компонентів, екологічність, а також простота в технічному обслуговуванні.

Перетворювачі частоти компанії Mitsubishi Electric славляться тривалим терміном служби. FR-A741 розрахований на більш ніж 10-річний термін справної роботи. Досягається це, в числі іншого, і завдяки застосуванню термостійких конденсаторів високої потужності, а також вентиляторів охолодження із закритими підшипниками. Повна потужність доступна без жодних обмежень аж до тактової частоти в 14,5 кГц.

Перетворювачі частоти компанії Mitsubishi Electric відповідають всім технічним нормам і стандартам Директиви ЄС по пристроям низького струму 73/23 / ЕЕС і Директиви ЄС з машинобудування 98/37 / ЕС. На всі пристрої, нанесено маркування CE і всі вони мають сертифікати UL, cUL і ГОСТ.

Рекуперація енергії в живильну мережу для істотного енергозбереження за допомогою перетворювача частоти Mitsubishi FR-A741 включає в себе такі особливості та переваги:

- вбудована функція рекуперації енергії в мережу дозволяє підвищити енергозбереження;

- істотне зниження витрат на монтаж, більш ефективне проектування установки і спрощення конструкції шаф управління;
- привод вищого класу з обширними функціональними можливостями;
- більш низькі загальні витрати в порівнянні з традиційними рішеннями.

Енергоефективне рішення приводу в більшості випадків окупається вже через кілька місяців. Перетворювач частоти FR-A741 з можливістю рекуперації робить це можливим навіть при використанні стандартних двигунів малої потужності. Наприклад, витрати на придбання використовуваного в якості приводу пересувного підйомника багатоярусного складу перетворювача частоти потужністю 22 кВт, включаючи модуль гальмування, резистор і мережевий дросель, а також вартість споживаної протягом року енергії складають 12.839 євро. У той же час вартість споживаної рекуперативним перетворювачем частоти FR-A741 енергії з урахуванням витрат на його придбання складає всього лише 8.840 євро.

Це означає економію витрат біля 32% протягом одного року, не рахуючи істотної економії в наступні роки завдяки скороченню витрат на споживану енергію.

3.4 Розрахунок параметрів структурної схеми електропривода якірно-швартовного пристрою

Вихідні дані для розрахунку параметрів структурної схеми і регуляторів векторної системи автоматичного керування зведені в табл. 3.3.

Таблиця 3.3 – Вихідні дані для розрахунку структурної схеми і регуляторів

№	Параметр	Значення
1	Частота, Гц	$f_1 = 50$
2	Фазна напруга, В	$U_{1n} = 220$
3	Фазний струм, А	$I_{1n} = 59,5$
4	Лінійна напруга, В	$U_s = 380$
5	Момент інерції, кг·м ²	$J_n = 0,46$
6	Число пар полюсів	$p_0 = 3$
7	Число обертів (синхронне), об/хв	$n = 1000$
8	Номінальне число обертів, об/хв	$n_{dn} = 980$
9	Активні опори, Ом	$r'_2 = 0,086; r_1 = 0,078$
10	Індуктивність, Гн	$L_r = 0,033;$ $L'_s = 0,969$
11	Розрахункові коефіцієнти	$k_s = 0,967; k_r = 0,948$

Обчислимо синхронну кутову швидкість:

$$\omega = \frac{\pi n}{30} = \frac{3,142 \cdot 1000}{30} = 104,72 \text{ рад/с.}$$

Номінальна кутова швидкість:

$$\omega = \frac{\pi n_{dn}}{30} = \frac{3,142 \cdot 980}{30} = 102,625 \text{ рад/с.}$$

Розрахуємо наступні параметри:

$$\sigma_s = 1 - k_s = 1 - 0,967 = 0,033;$$

$$\sigma_r = 1 - k_r = 1 - 0,948 = 0,052;$$

$$\sigma = 1 - k_s k_r = 1 - 0,033 \cdot 0,052 = 0,083.$$

Коефіцієнт передачі і постійна часу перетворювача частоти:

$$K_{um} = \frac{1,414 \cdot U_{1n}}{10} = \frac{1,414 \cdot 220}{10} = 31,108 \text{ В/В};$$

$$T_m = 0,001 \text{ с.}$$

Головне потокозчеплення:

$$\Psi = \frac{U_{1n}}{4,44 \cdot f_1} = \frac{220}{4,44 \cdot 50} = 0,991 \text{ Вб}; \Psi_0 = \Psi = 0,991 \text{ Вб.}$$

Датчики сигналів зворотного зв'язку:

$$\text{– за струмом } K_{di} = \frac{1}{I_{1n}} = \frac{1}{59,5} = 0,017 \text{ В/А};$$

$$\text{– за швидкістю } K_{\omega} = \frac{10}{\omega_{dn}} = \frac{10}{102,625} = 0,067 \text{ В} \cdot \text{с};$$

$$\text{– за потокозчепленням } K_{d\psi} = \frac{10}{\psi_0} = \frac{10}{0,991} = 10,091 \text{ В/Вб.}$$

Розрахунок параметрів структурної схеми системи керування:

$$T_{\psi} = (1 - k_s k_r) \frac{L_r}{r_2' (1 - k_s)} = (1 - 0,967 \cdot 0,948) \frac{0,033}{0,086 (1 - 0,967)} = 0,968 \text{ с};$$

$$k_{\psi} = k_s \frac{L_r}{r_2'} = 0,967 \frac{0,033}{0,086} = 0,371;$$

$$C_m = 15 p_0 = 15 \cdot 3 = 45;$$

$$T_i = \frac{L_s'}{r_1 + k_r r_2'} = \frac{0,969}{0,078 + 0,948 \cdot 0,086} = 6,074 \text{ с};$$

$$k_i = \frac{1}{r_1 + k_r r_2'} = \frac{1}{0,078 + 0,948 \cdot 0,086} = 6,268.$$

3.5 Розрахунок регуляторів векторної системи керування електропривода якірно-швартовного пристрою

В каналі потоку використовується ПІ-регулятор потоку.

$$K_2 = \frac{1}{2T_m k_\Psi K_{um} K_{d\Psi}} = \frac{1}{2 \cdot 0,001 \cdot 0,371 \cdot 31,108 \cdot 10,091} = 4,293;$$

$$K_1 = K_2 \cdot T_\Psi = 4,293 \cdot 0,968 = 4,157;$$

$$\frac{1}{K_2} = \frac{1}{4,293} = 0,233; \quad \frac{K_1}{K_2} = \frac{4,157}{4,293} = 0,968.$$

В каналі регулювання швидкості використовується ПІ-регулятор струму i_2 .

$$T_i = 6,074 \text{ с}; \quad T_m = 0,001 \text{ с}; \quad \Delta T = T_i - T_m = 6,074 - 0,001 = 6,073 \text{ с}.$$

Для визначення постійних часу T_a, T_b використовуються наступні правила:

- при $\Delta T > 0$, то $T_a = T_m$, інакше $T_a = T_i$;
- при $\Delta T > 0$, то $T_b = T_1$, інакше $T_b = T_m$.

Оскільки розрахунок показав, що $\Delta T > 0$, то

$$T_a = T_m = 0,001 \text{ с}; \quad T_b = T_i = 6,074 \text{ с}.$$

$$T_T = 2T_a = 2 \cdot 0,001 = 2 \cdot 10^{-3} \text{ с}.$$

$$K_4 = \frac{1}{2T_a k_i K_{um} K_{di}} = \frac{1}{2 \cdot 6,074 \cdot 6,268 \cdot 31,108 \cdot 0,017} = 152,564;$$

$$K_3 = K_4 T_b = 152,564 \cdot 6,074 = 926,699;$$

$$\frac{1}{K_4} = \frac{1}{152,564} = 6,555 \cdot 10^{-3}; \quad \frac{K_3}{K_4} = \frac{926,699}{152,564} = 6,074.$$

Розрахунок ПІ-регулятора швидкості по технічному оптимуму здійснюється по наступній формулі

$$K_{r\omega} = J_n \frac{K_{di}}{4C_m \Psi_0 K_\omega T_a} = 0,46 \frac{0,017}{4 \cdot 45 \cdot 0,991 \cdot 0,097 \cdot 0,001} = 0,445.$$

Розрахунок ПІ-регулятора швидкості по технічному оптимуму здійснюється по наступній формулі

$$K_m = C_m \Psi_0 \frac{K_\omega}{K_{di}} = 45 \cdot 0,991 \frac{0,097}{0,017} = 258,55 ;$$

$$T_{em} = J_n \frac{1}{C_m \cdot C_m \cdot \Psi_0 \cdot \Psi_0 \cdot k_i} = 0,46 \frac{1}{45 \cdot 45 \cdot 0,991 \cdot 0,991 \cdot 6,268} = 3,69 \cdot 10^{-5} \text{ с};$$

$$K_6 = \frac{J_n}{4T_a K_m T_{em}} = \frac{0,46}{4 \cdot 0,001 \cdot 258,55 \cdot 3,69 \cdot 10^{-5}} = 1,205 \cdot 10^4 ;$$

$$K_5 = K_6 T_{em} = 1,205 \cdot 10^4 \cdot 3,69 \cdot 10^{-5} = 0,445 ;$$

$$\frac{1}{K_6} = \frac{1}{1,205 \cdot 10^4} = 8,296 \cdot 10^{-5} ; \quad \frac{K_5}{K_6} = \frac{0,445}{1,205 \cdot 10^4} = 3,69 \cdot 10^{-5} .$$

Розрахунок ПІ-регулятора швидкості по симетричному оптимуму

$$K_{6s} = \frac{J_n}{32T_a^2 K_m} = \frac{0,46}{32 \cdot 0,001^2 \cdot 285,55} = 55,599 ;$$

$$K_{5s} = K_{6s} (4T_T) = 55,599 (4 \cdot 0,002) = 0,445 ;$$

$$\frac{1}{K_{6s}} = \frac{1}{55,599} = 0,018 ; \quad \frac{K_{5s}}{K_{6s}} = \frac{0,445}{55,599} = 8 \cdot 10^{-3} .$$

3.6 Побудова та аналіз перехідних процесів автоматизованої системи керування

Розглянемо характеристики пропорційного (П), інтегрального (І), диференціального (D) регулятора, а також застосування цих регуляторів.

Буде розглядатися наступна замкнена система:

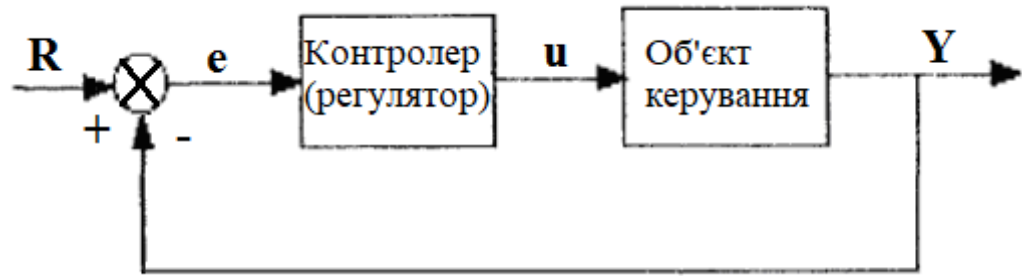


Рисунок 3.3 – Схема САК з регулятором:

Передавальна функція ПІД-регулятора виглядає наступним чином:

$$W_{\text{PID}}(p) = K_p + \frac{1}{K_I p} + K_D p,$$

де K_p – коефіцієнт посилення пропорційної частини;

K_I – коефіцієнт посилення інтегральної частини;

K_D – коефіцієнт посилення диференційної частини.

Для початку розглянемо функціонування ПІД – регулятора в замкненій системі. Використовуючи вище приведену схему (рис. 3.3). Застосування (e) представляє похибку, тобто різницю між вхідним сигналом R і вихідним Y . Похибка e подається на вхід ПІД – регулятора, який інтегрує і диференціює сигнал похибки. Сигнал u з виходу регулятора – це сигнал похибки, помножений на коефіцієнт K_p плюс K_I , помножений на інтеграл похибки плюс коефіцієнт K_D , помножений на похідну похибки.

Сигнал u далі передається на об'єкт керування, в результаті одержуємо вихідний сигнал Y . Цей сигнал передається на вхід системи, в результаті отримуємо новий сигнал похибки e . Регулятор знову відпрацьовує уже той новий сигнал похибки.

Характеристики і властивості регуляторів залежать від виду використаних регуляторів і його коефіцієнта посилення.

Розглянемо характеристики П, І і Д – регуляторів детальніше.

Кожен з регуляторів П, І і Д характеризується кожен своїм коефіцієнтом посилення: K_P , K_I , K_D , властивості яких в повній мірі визначаються властивостями самих регуляторів, і, як правило їх структурою.

Таблиця 3.4 – Вплив типу регуляторів K_P , K_I і K_D на замкнену систему

Вид регулятора	Час встановлення	Перерегулювання	Час перехідного процесу	Статистична похибка
K_P	Зменшується	Збільшується	Мало змінюється	Зменшується
K_I	Зменшується	Збільшується	Збільшується	Прибирається
K_D	Мало змінюється	Збільшується	Зменшується	Мало змінюється

Пропорційний регулятор (K_P) зменшує час установлення і знижує, хоча ніколи не убирає статичну похибку. Інтегральний регулятор (K_I) прибирає статичну похибку, при цьому погіршуються перехідні характеристики. Диференціальний регулятор (K_D) збільшує стійкість системи, знижує перерегулювання, покращує перехідну характеристику. Вплив кожного типу регуляторів K_P , K_I і K_D на замкнену систему підсумовується (табл. 3.4). Тим самим можна підібрати потрібне поєднання коефіцієнта посилення K_P , K_I , K_D – регулятора і створити потрібний регулятор, який забезпечить в САУ потрібні показники якості.

В комп'ютерній практиці при проектуванні електромеханічних комплексів, а також при автоматизованому виборі найкращих проектних рішень, широко застосовуються комп'ютерні методи дослідження і синтезу. Ці методи дозволяють підвищити ефективність рішень і скоротити строки і витрати на ввід електромеханічних комплексів у промислову експлуатацію.

Комп'ютерні дослідження електромеханічного комплексу виконуються по його моделі, під якою розуміють формалізований опис об'єкту, системи об'єктів, процесу або явища, виконане шляхом математичних співвідношень, набору чисел і (або) текстів, графіків, таблиць і т.д. В залежності від поставленої задачі, способу створення і предметної області розрізняють моделі: математичні, фізичні і інформаційні. Проте часто зустрічаються і спеціальні типи моделей: евристична, логічна, концептуальна і т.д.

Складність математичного опису будь-якого електромеханічного комплексу залежить: від необхідності одночасного розгляду всієї сукупності факторів, що відображають властивості об'єкта керування; опису інформаційних систем і збурень; точності руху електроприводів сепаратних систем; кількості взаємозв'язків.

В процесі математичного моделювання модель уточнюється, ускладнюється або спрощується.

Програма математичного моделювання будується по модульно-структурному принципу з чіткою уніфікацією правил оформлення підпрограм і їхнього взаємного спряження (інтерфейсу) по керуванню і інформації.

Сучасні електромеханічні системи характеризуються великою кількістю взаємопов'язаних вхідних и вихідних параметрів. В математичному описі динаміка електромеханічних систем представлена системою диференціальних і алгебраїчних рівнянь.

З появою обчислювальної техніки нових поколінь і удосконаленням методів її використання намітився новий системний підхід до організації процесу проектування на персональному комп'ютері, що полягає у складанні великих програмних комплексів, що побудовані по модульному принципу, з універсальними інформаційними і керуючими зв'язками між модулями. При рішенні задач даного класу використовуються єдині інформаційні масиви, що організовані в банки даних.

Для розв'язку задач дослідження і оптимізації використовуються різні програмні продукти: спеціалізовані пакети, бібліотеки програм, математичні системи програмування. Добре розроблені методики і алгоритми, що дозволяють досліджувати режими роботи складних електромеханічних комплексів, аналізувати їх якість, розраховувати частотні характеристики і імпульсні перехідні функції, досліджувати динаміку складних систем, що містять елементи з нелінійними характеристиками, розраховувати оптимальні процеси при наявності обмежень, досліджувати динаміку стохастичних систем і т.д.

При виборі того чи іншого програмного продукту необхідно враховувати такі моменти:

- вид математичного опису досліджуваної електромеханічної системи;
- особливості представлення даних моделі;
- порядок диференціальних рівнянь, порядок і вид матриць (симетрична, надлишкова, вироджена і т.д.), і кількість структурних елементів графа, що використовуються для математичного опису електромеханічної системи;
- вид представлення результатів;
- число і вид нелінійних характеристик, що описують керуючий і збурюючий впливи;
- можливість гнучкої зміни моделі.

Таким чином, послідовне застосування відомих пакетів програм, що вирішують окремі задачі, дозволяє отримати необхідний результат.

3.7 Побудова перехідних процесів за швидкістю

Імітаційна модель системи керування електропривода якірно-швартовного пристрою, що побудована на основі структурної схеми системи керування, показана на рис. 3.4. В даній імітаційній моделі представлено числові значення розрахований коефіцієнтів та постійних часу регуляторів, а також додаткові параметри моделювання.

На входах системи встановлено блоки одиничного ступінчастого впливу, на виході системи встановлено цифровий осцилограф для побудови перехідних характеристик за швидкістю.

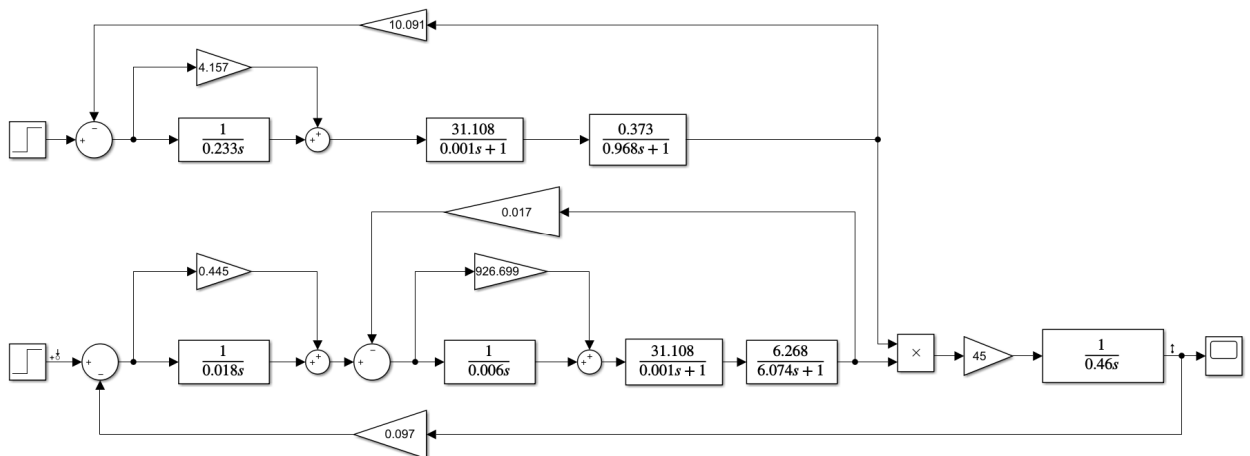


Рисунок 3.4 – Імітаційна модель системи керування електропривода якірно-швартовного пристрою

На основі імітаційної моделі отримано графік перехідного процесу за швидкістю, який представлено на рис. 3.5.

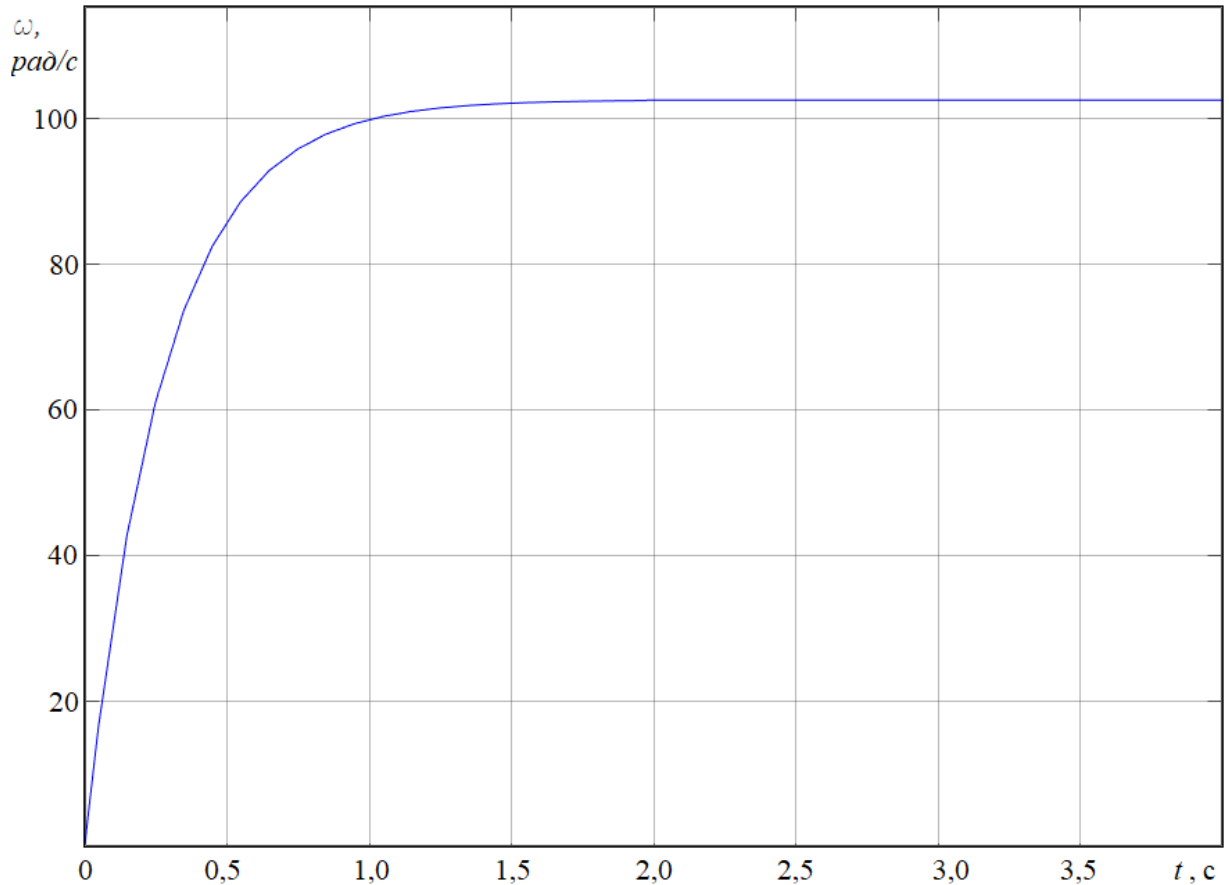


Рисунок 3.5 – Перехідний процес за швидкість
при $K_{рш}=0,445$, $T_{рш}=0,018$

Аналіз перехідної характеристика (рис. 3.2) дозволяє встановити основні показники якості керування. При налаштуваннях пропорційно-інтегрального ПІ-регулятора швидкості $K_{рш}=0,445$, $T_{рш}=0,018$ встановлено наступні показники якості керування: перерегулювання $\sigma=0\%$, час перехідного процесу $t_{рш}=1,7$ с. Отримані показники якості керування є задовільними.

РОЗДІЛ 4

АНАЛІЗ ПИТАНЬ ПО ЗАПОБІГАННЮ ЗАБРУДНЕННЯ З СУДЕН ЗА КОНВЕНЦІЄЮ МАРПОЛ 73/78

4.1 Система контролю скидання нафти та обладнання для фільтрації нафти

Будь-яке судно валовою місткістю 400 рег. т і більше, але менше 10000 рег. т оснащується обладнанням для фільтрації нафти, що відповідає вимогам пункту 4 правила 16 конвенції. Будь-яке таке судно, що має на борту велику кількість нафтового палива, має задовольняти пункту 2 правила 16 або пункту 1 правила 14 конвенції.

Будь-яке судно валовою місткістю 10000 рег. т і більш оснащується обладнанням для фільтрації нафти і пристроями сигналізації та автоматичного припинення будь-якого скидання містить нафту суміші, коли вміст нафти в стоці перевищує 15 частин на мільйон.

Адміністрація може не застосовувати вимоги пунктів 1 і 2 правила 16 конвенції до будь-якого судна, що виконує виключно рейси в межах особливих районів, при дотриманні всіх наступних умов:

- судно обладнане збірним танком достатньої, що задовольняє адміністрацію, місткості для повного збереження на борту нафтовмісних льяльних вод;

- всі нафтовмісні льяльні води зберігаються на борту для подальшого їх скидання в приймальні споруди;

- адміністрація переконалася, що наявні в достатній кількості порти або термінали, куди заходить судно, є що відповідають вимогам приймальні споруди для прийому таких льяльних вод;

– міжнародне свідоцтво про запобігання забруднення нафтою, якщо воно потрібне, містить запис про те, що судно виконує винятково рейси, в межах особливих районів;

– скинута кількість, час і порт скидання реєструються в журналі нафтових операцій.

Адміністрація забезпечує, щоб судна валовою місткістю менше 400 рег. т були оснащені, наскільки це практично можливо, обладнанням для збереження на борту нафти або нафтовмісних сумішей або їх скидання відповідно до вимог підпункту 1(b) правила 9 додатка конвенції.

Устаткування для фільтрації нафти, згадане в пункті 1 правила 16 конвенції, має схвалену адміністрацією конструкцію і є таким, щоб після проходження через систему будь-якої нафтовмісної суміші, що скидається в море, вміст нафти в ній не перевищував 15 частин на мільйон. При розгляді конструкції такого устаткування адміністрацією беруться до уваги технічні вимоги, рекомендовані організацією.

Устаткування для фільтрації нафти, згадане в пункті 2 правила 16 конвенції, має схвалену адміністрацією конструкцію і є таким, щоб після проходження через систему або системи будь-якої нафтовмісної суміші, що скидається в море, вміст нафти в ній не перевищував 15 частин на мільйон.

Воно оснащується сигнальними пристроями, які включаються, коли цей рівень не може підтримуватися. Система також обладнується пристроями, що забезпечують автоматичне припинення будь-якого скидання забруднених нафтою сумішей, коли вміст нафти в стоці перевищує 15 частин на мільйон. При розгляді конструкції такого устаткування і пристроїв адміністрація бере до уваги технічні вимоги, рекомендовані організацією.

До суден, побудованим до 6 липня 1993 року, вимоги цього правила застосовуються з 6 липня 1998 року за умови, що ці судна можуть експлуатуватися з устаткуванням для нафтоводяної сепарації (устаткування на 100 частин на мільйон).

4.2 Загальні правила та визначення конвенції МАРПОЛ 73/78

До Міжнародної конвенції по запобіганню забруднення з суден 1973 року (зі змінами 17.02.1978 р.) Україна приєдналась 21.09.1993 р., датою набуття чинності для України є 25.01.1994 р.

Всі сторони-підписанти-підписанти даної Конвенції, усвідомлюючи необхідність охорони навколишнього середовища взагалі і морського середовища, зокрема, визнаючи, що навмисне, випадкове скидання або скидання по недбалості з суден нафти та інших шкідливих речовин є серйозним джерелом забруднення, визнаючи також значення Міжнародної конвенції по запобіганню забруднення моря нафтою 1954 р. як першого багатостороннього акту, укладеного з першочерговою метою захисту навколишнього середовища, та високо оцінюючи значний внесок, який ця Конвенція зробила у справу охорони морів і узбережжя від забруднення, бажаючи досягти повного припинення навмисного забруднення морського середовища нафтою та іншими шкідливими речовинами і звести до мінімуму випадкові скидання таких речовин, вважаючи, що кращим способом досягнення цієї мети є встановлення правил, що не обмежуються запобіганням забруднення тільки нафтою, а мають всеосяжний характер погодили цілий ряд правил [18].

Сторони-підписанти Конвенції зобов'язуються здійснювати положення цієї Конвенції і тих додатків до неї, якими вони зв'язані, з метою запобігання забруднення морського середовища шкідливими речовинами або стоками, що містять такі речовини, шляхом їх скидання з порушенням положень Конвенції.

Слід зазначити, що будь-яке посилання на цю Конвенцію, якщо спеціально не передбачено інше, означає одночасно посилання на її протоколи і додатки.

Для цілей цієї Конвенції, якщо спеціально не передбачено інше є

основні визначення:

– "Правила" означають правила, що містяться в додатках до цієї Конвенції.

– "Шкідлива речовина" означає будь-яку речовину, яка при попаданні в море здатна створити небезпеку для здоров'я людей, завдати шкоди живим ресурсам, морській флорі і фауні, погіршити умови відпочинку або перешкодити іншим видам правомірного використання моря, і включає будь-яку речовину, що підлягає контролю відповідно до цієї Конвенції.

– "Скидання" стосовно шкідливих речовин або стоків, що містять такі речовини, означає будь-яке скидання з судна, якими б причинами воно не викликалося, і включає будь-який витік, видалення, розлив, протікання, відкачку, виділення або спорожнювання.

"Скидання" не включає:

– скидання в значенні, передбаченому Конвенцією по запобіганню забруднення моря викидами відходів та інших матеріалів, укладеною в Лондоні 13.11.1972 р.;

– викиду шкідливих речовин, що відбувається безпосередньо внаслідок розвідки, розробки і пов'язаних з ними процесів обробки в морі мінеральних ресурсів морського дна;

– скидання шкідливих речовин для проведення правомірних наукових досліджень з метою боротьби з забрудненням або контролю над ним.

– "Судно" означає експлуатоване в морському середовищі судно будь-якого типу і включає судна на підводних крилах, судна на повітряній подушці, підводні судна, плавучі засоби, а також стаціонарні або плавучі платформи.

– "Адміністрація" означає уряд держави, за уповноваженням якого експлуатується судно. Відносно судна, що має право плавання під прапором

будь-якої держави, адміністрацією є уряд такої держави.

Щодо стаціонарних або плавучих платформ, зайнятих розвідкою і розробкою поверхні і надр морського дна, що прилягає до берега, над яким прибережна держава здійснює суверенні права в цілях розвідки і розробки їхніх природних багатств, адміністрацією є уряд відповідної прибережної держави.

– "Інцидент" означає подію, що спричинила або може спричинити скидання в море шкідливої речовини або стоків, що містять таку речовину.

– "Організація" означає міжурядову морську консультативну організацію.

Ця Конвенція застосовується до суден, що мають право плавання під прапором сторони-підписанта Конвенції і до суден, що не мають права плавання під прапором сторони-підписанта Конвенції, але експлуатованих під керуванням такої сторони-підписанта. Ніщо в статті «застосування» Конвенції не повинне тлумачитися як обмеження або розширення суверенних прав сторін-підписантів на поверхню і надра морського дна, що прилягає до їхніх берегів, здійснюваних з метою розвідки і розробки їхніх природних багатств згідно з міжнародним правом. Ця Конвенція не застосовується до будь-яких військових кораблів, військово-допоміжних суден або інших суден, що належать державі або експлуатуються нею і використовуються нині винятково для урядової некомерційної служби. Однак кожна сторона-підписант шляхом вживання відповідних заходів, що не завдають збитку експлуатації або експлуатаційним можливостям таких кораблів і суден, що належать їй або експлуатуються нею, повинна забезпечити, щоб ці кораблі і судна діяли, наскільки це доцільно і практично можливо, таким чином, який відповідає цій Конвенції.

Будь-яке порушення положень цієї Конвенції, незалежно від місця його здійснення, забороняється, і санкції за таке порушення встановлюються

законодавством адміністрації відповідного судна. Якщо адміністрація одержить інформацію про таке порушення і переконається в наявності достатніх доказів, що дозволяють порушити переслідування відносно передбачуваного порушення, вона дає розпорядження про порушення такого переслідування якнайшвидше згідно зі своїм законодавством.

Будь-яке порушення положень цієї Конвенції, вчинене у межах юрисдикції сторони-підписанта Конвенції, забороняється, і санкції за таке порушення встановлюються законодавством цієї сторони-підписанта. У випадку здійснення такого порушення ця сторона-підписант на вибір:

- дає розпорядження про порушення переслідування відповідно до свого законодавства;

- надсилає адміністрації судна таку інформацію і такі докази на підтвердження факту порушення, які є в її розпорядженні.

У випадку, коли інформація або докази відносно порушення судном цієї Конвенції надсилаються адміністрації такого судна, ця адміністрація без зволікання інформує про вжиті нею заходи сторону, що надіслала їй інформацію або докази, і організацію.

Санкції, передбачені законодавством сторін, повинні бути достатньо суворими для припинення порушень цієї Конвенції та однаково суворими незалежно від місця їхнього здійснення.

Статтею 4 Конвенції визначаються свідоцтва і спеціальні правила інспектування суден:

1. З урахуванням положень пункту 2 цієї статті свідоцтво, видане за уповноваженням сторони Конвенції відповідно до положень правил, приймається іншими сторонами-підписантами і розглядається для будь-яких передбачених цією Конвенцією цілей як таке, яке має таку ж силу, як і видане ними свідоцтво.

2. Судно, яке зобов'язане мати свідоцтво згідно з положеннями правил, під час перебування в портах або віддалених від берега терміналах, що

знаходяться під юрисдикцією якої-небудь сторони-підписанта, підлягає інспектуванню, яке здійснюється посадовими особами, належним чином уповноваженими цією стороною. Будь-яке таке інспектування обмежується лише перевіркою наявності на судні дійсного свідоцтва, якщо в цієї сторони-підписанта не буде очевидних підстав думати, що стан судна або його устаткування значною мірою не відповідає зазначеним у свідоцтві даним. У цьому випадку або у випадку, якщо судно не має дійсного свідоцтва, сторона-підписант, що здійснює інспектування, вживає заходів, що забезпечують невихід у море такого судна доти, поки воно не зможе вийти в море, не представляючи надмірної загрози для морського середовища. Однак така сторона-підписант може дозволити судну залишити порт або віддалений від берега термінал для прямування на найближчу підходящу судноремонтну верф.

3. Якщо сторона-підписант відмовляє іноземному судну в заходженні в порти або віддалені від берега термінали, що знаходяться під її юрисдикцією, або вживає які-небудь заходи проти такого судна на підставі того, що це судно не відповідає положенням цієї Конвенції, така сторона-підписант негайно інформує консула або дипломатичного представника сторони-підписанти, під прапором якої судно має право плавання, або, якщо це не можливо, – адміністрацію такого судна. Перш ніж відмовити судну в заходженні або вжити такі заходи, сторона-підписант може провести консультації з адміністрацією цього судна. Інформація направляється адміністрації також у випадку, коли судно не має дійсного свідоцтва відповідно до положень правил.

Сторони застосовують вимоги цієї Конвенції до суден держави, що не є сторонами-підписантами Конвенції, оскільки це необхідно, щоб для таких суден не створювалися більш сприятливі умови.

4.3 Обмеження забруднень при експлуатації суден

Правило 9 міжнародної конвенції МАРПОЛ 73/78 регламентує обмеження скидання нафти [18]. З урахуванням положень, передбачених правилами 10 і 11 додатка конвенції і пунктом 2 правила 9, забороняється будь-яке скидання в море нафти або містить нафту суміші з суден, на які поширюється додаток конвенції, за винятком випадків, коли дотримуються одночасно всі наступні умови.

З нафтового танкера забороняється скидання, за винятком випадків:

- танкер знаходиться поза межами особливого району;
- танкер знаходиться на відстані більше 50 морських миль від найближчого берега;
- танкер знаходиться в дорозі;
- миттєва інтенсивність скидання нафти не перевищує 30 літрів на морську милю;
- загальна кількість скинутої з існуючих танкерів в море нафти не перевищує 1/15000 загальної кількості даного виду вантажу, частиною якого є залишок, а з нових танкерів – 1/30000 загальної кількості даного виду вантажу, частиною якого є залишок;

На танкері повинна бути працездатна система автоматичного виміру, реєстрації і керування скиданням нафти у відстійний танк, необхідний за правилом 15 додатка конвенції.

З судна валовою місткістю 400 рег. т і більш, яка не є нафтовим танкером, а також з льял машинних приміщень нафтового танкера, за винятком льял відділення вантажних насосів, якщо тільки стоки машинних льял не змішані з залишками нафтового вантажу:

- судно знаходиться поза межами особливого району;
- судно знаходиться в дорозі;

– вміст нафти в стоці без його розведення не перевищує 15 частин на мільйон;

– на судні знаходиться в дії устаткування, необхідне правилом 16 додатка конвенції.

Стосовно судна валовою місткістю менше 400 рег. т., яка не є нафтовим танкером і плаває за межами особливого району, адміністрація забезпечує, щоб воно було обладнано, наскільки це доцільно і практично можливо, пристроями для зберігання нафтових залишків на борту і їх скидання на приймальні споруди або в море.

У всіх випадках, коли в безпосередній близькості від судна або його кільватерного струменя на поверхні води або під нею виявлені видимі сліди нафти, уряду сторін конвенції в межах своїх можливостей невідкладно розслідують факти, що відносяться до даного випадку, для встановлення, чи мало місце порушення положень цього правила або правила 10 додатка конвенції. Розслідування, зокрема, має включати відомості про вітер і стан моря, про шляхи і швидкості судна, про інші можливі джерела появи поблизу судна видимих слідів нафти, а також про будь-які записи, які стосуються скидання нафти.

Положення пункту 1 правила 9 конвенції не застосовуються до скидання чистого і ізольованого баласту, а також до скидання необроблених нафтовмісних сумішей, нафтовміст яких без розведення не перевищує 15 мільйонних часток, і які не скидаються з льял відділення вантажних насосів і не змішані з залишками нафтового вантажу .

Скидний в море стік не повинен містити хімічних або інших речовин, кількість або концентрація яких є небезпечними для морського середовища, а також хімічних або інших речовин, введених в стік з метою обійти умови скидання, встановлені в правилі 9 конвенції.

Нафтові залишки, які не можуть бути скинуті в море відповідно до пунктів 1, 2 і 4 правила 9 конвенції, зберігаються на борту і скидаються на приймальні споруди.

У разі судна, згаданого в пункті 6 правила 16 додатка конвенції, яке не оснащено устаткуванням, необхідним за пунктами 1 або 2 правила 16 додатка конвенції, положення підпункту (b) пункту 1 правила 9 не застосовуються до 6 липня 1998 року або до дати, на яку судно оснащено таким устаткуванням, в залежності від того, яка з них є більш ранньою. До цієї дати будь-яке скидання з льял машинних приміщень в море нафти або нафтовмісних сумішей з такого судна забороняється, за винятком випадків, коли дотримані всі наступні умови:

- містить нафту суміш не відбувається з льял відділення вантажних насосів;
- містить нафту суміш не змішана з залишками нафтового вантажу;
- судно знаходиться за межами особливого району;
- судно знаходиться на відстані більше 12 морських миль від берега;
- судно знаходиться в дорозі;
- зміст нафти в стоці становить менше 100 частин на мільйон;
- на судні знаходиться в дії устаткування для сепарації нафтоводної сумішей, конструкція якого схвалена адміністрацією з урахуванням технічних вимог, рекомендованих організацією.

4.4 Суднові інсинератори

У процесі нормальної експлуатації суднової енергетичної установки і судна в цілому утворюються тверді відходи, нафтовмісні суміші, промаслене ганчір'я, тощо, які потребують утилізації на судні або здачі на берег.

Відповідно до вимог МАРПОЛ 73/78 значний розвиток і широке застосування в останні роки отримав термічний спосіб обробки суднових відходів. Відходи спалюються в спеціальних печах-інсинераторах.

Суднові інсинератори (англ. incinerate – спалювати, спопеляти) служать для термічного знищення (спалювання) твердих побутових відходів (сміття), а також для спалювання паливного шламу (sludge) – відходів паливного і масляного сепараторів машинного відділення.

Особливо актуально застосування інсинератор на судах, які здійснюють тривалі рейси і не мають можливості регулярно здавати відходи відповідним портовим службам

Даним способом можна знищити практично всі види суднових відходів, за винятком металу і скла, які слід відокремлювати із загальної маси. Продуктивність інсинератора визначається кількістю відходів, які можуть бути спалені в одиницю часу.

Спосіб термічної обробки суднових відходів має наступні переваги: можливість переробки всіх видів сміття та значне зменшення його обсягу; стерильність утворюються залишків; автоматизація процесу.

Установки для спалювання сміття повинні мати сертифікат Регістру, що підтверджує фактичну здатність спалювати відходи, найменування яких має бути перераховано в інструкції по експлуатації установки для спалювання сміття. Крім того, всі інсинератори, встановлені на судах після 01 січня 2000 р. повинні мати свідоцтво про типове схвалення (СОТО).

У інсинераторах, що мають СОТО, дозволено часткове спалювання пластику (наприклад, паперу – 30 %, картону – 40 %, дрантя – 10 %, пластика – 20 %). Зола, яка утворюється в результаті спалювання сміття, представляє собою стерильне сміття і воно скидається за борт на відстані більше 12 морських миль від найближчого берега за межами особливих районах, за винятком золи пластмас, яка може містити залишки токсичних речовин і

важких металів. Така зола зберігається на борту і здається на плавучі споруди.

При спалюванні сміття забороняється завантажувати в інсинератори велику кількість промасленого сміття і пластика, оскільки це може привести до різкого підвищення температури в реакторі і підвищеної димності газів, що відходять, тому слід звернути увагу на використання інсинератора в портах. Так, наприклад, в територіальних водах країн-учасниць Конвенції ХЕЛКОМ 92 в районі Балтійського моря забороняється будь-яке спалювання відходів, що утворилося на борту судна.

Відсепаровані нафтові залишки і нафтовмісне сміття підлягає знищенню на судні в установках для спалювання судових відходів або здачі на берег, про що робиться відповідний запис у журналі нафтових операцій.

До недоліків методу можна віднести достатню пожежонебезпеку на судні, підвищені витрати палива і трудомісткість додаткового обслуговування.

4.4.1 Принцип роботи судових інсинераторів

Процес спалювання сміття в інсинераторі можна умовно розділити на два етапи: попереднє висушування і власне спалювання.

Висушування сміття дозволяє повніше використовувати його теплотворну здатність і тим самим економити паливо. Ефективність висушування відходів залежить від наступних факторів: розподілу вологи в межах маси відходів; температури в зоні висушування (згоряння); наявності пристроїв для перемішування відходів з метою підвищення швидкості перенесення тепла; розміру часток відходів (зменшення розмірів частинок сприяє не тільки більш швидкому висушуванню, але і більш ефективному спалюванню).

Висушування відходів в інсинераторі відбувається шляхом конвективного перенесення теплоти від потоків гарячого повітря, а також за рахунок нагріву від полум'я або від поверхні камери згоряння. Природно, що визначальним для процесу висушування і спалювання є кількість забезпеченого теплоти. Воно досягається спалюванням палива, що вприскується через спеціальні форсунки, а також теплотворною здатністю самих відходів. Створити оптимальний режим процесу спалювання в інсинераторі досить складно через те, що різні компоненти відходів значно відрізняються за теплотворною здатністю. Знаючи теплотворну здатність кожного компонента, що входить в відходи, обсяг накопичуваних відходів і їх склад, можна підрахувати загальну теплотворну здатність маси і визначити потрібний тип інсинератора. На загальну теплотворну здатність маси відходів великий вплив робить співвідношення різних компонентів, і в першу чергу харчових відходів і сухого сміття (папір, пластмаса і т. п.).

В сучасних інсинератор попереднє висушування відходів здійснюється безпосередньо в топці. Підсушування сприяють застосовані для цих цілей колосникові решітки, а також подача в топку повітря.

Виняток становить шлам стічних вод: вологість його значно перевищує допустиму межу, до якого можна спалювати відходи без подачі в топку додаткового палива. Іноді шлам попередньо перемішують з паливом в спеціальному змішувальному пристрої.

Перед спалюванням відходи доцільно підготувати: відокремити предмети, що здатні при розплавленні залити отвори колосникових решіток і тим самим зменшити подачу повітря, наприклад предмети з алюмінієвих сплавів або скла (температура плавлення їх відповідно близько 700 і близько 1100 °С). Процес підсушування відходів, а отже, і їх подальше спалювання, значно поліпшується, якщо в топці є пристрої для перемішування відходів.

Топку зазвичай розігрівають до температури не менше 500 °С і заповнюють твердими відходами. Спалювання відходів здійснюється за

принципом піролізу. При температурі близько 300 °С з органічних речовин починається випаровування газоподібних фракцій. Відбувається так звана суха перегонка твердих відходів. Гази піднімаються у верхню частину топки або в суміжну камеру згорання і там за допомогою допоміжного факела повністю згоряють. При температурі понад 750 °С неприємні на відчуття газу протягом декількох секунд розпадаються.

Рідкі відходи подають в інсинератори в розпиленому вигляді через спеціальні шлапні форсунки. Підготовка рідких відходів до спалювання полягає в приготуванні суміші, що містить не менше 50 % палива і попередньо підігрітого до 60-80 °С рідкого шламу.

Теоретично для спалювання 1 кг рідких відходів потрібно близько 4 кг атмосферного повітря. Для впевненості в повному згорянні відходів рекомендується забезпечувати 50 % надлишку повітря. Отже, рекомендуємі витрата становить 6 кг повітря на 1 кг відходів.

4.4.2 Типи суднових інсинераторів

Технічні вимоги, що стосуються проєктування, виготовлення, експлуатаційних характеристик, експлуатації та випробування інсинераторів, потужність кожного блоку яких становить до 1500 кВт, призначених для спалювання сміття та інших відходів на борту судна, регламентуються нормативним документом «Стандартні технічні вимоги до суднових інсинераторів», схваленим резолюцією МЕРС. 76 (40) від 25.09.1997 р., зі змінами, внесеними резолюцією МЕРС.93 (45) від 05.10.2000 р.

Установки для спалювання сміття повинні мати сертифікат Регістру, що підтверджує фактичну здатність спалювати відходи, найменування яких має бути перераховано в інструкції по експлуатації установки для спалювання сміття.

Серед великої різноманітності суднових інсинераторів для ознайомлення з загальними принципами їх будови, принципу дії і вимог щодо безпечної експлуатації, розглянемо наступні:

- інсинератор СП-50, виробництва Україна (київський завод «Ленінська кузня», Україна);
- інсинератор GS-500, Норвегія;
- інсинератор фірми «Atlas».

Інсинератор СП-50 виробництва київського заводу «Ленінська кузня» (Україна) показано на рис. 4.1, він складається з трьох блоків: печі, агрегату підготовки нафто-відходів і вентиляційно-витяжного агрегату. Камера згоряння виконана з вогнетривких блоків та має циліндричну форму. У з'єднаннях блоків футерування 3 передбачені отвори-сопла 4, через які повітря надходить в камеру. Днище, зовнішні стінки і перекриття порожнисті. Повітря, засмоктане вентиляційно-витяжним агрегатом, проходить через горловину днища і порожнини зовнішніх кришок, охолоджуючи зовнішні стінки 1 установки і термоізоляцію 2.

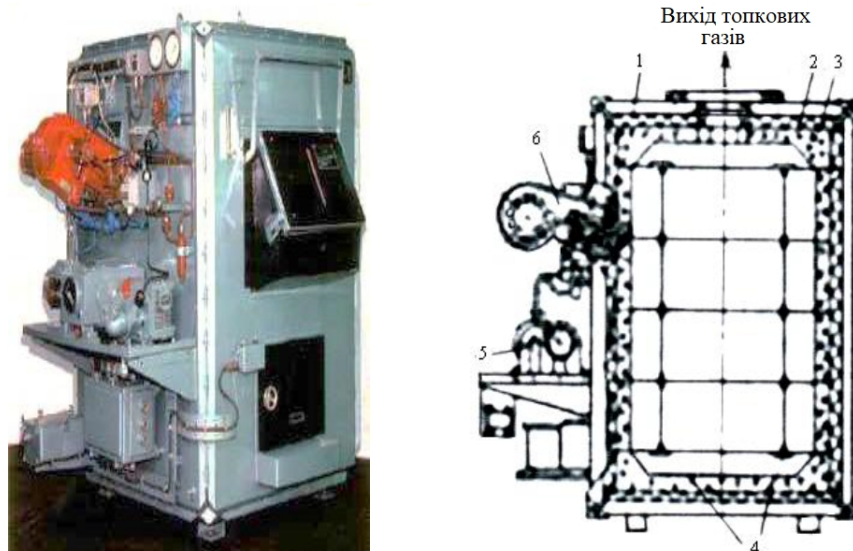


Рисунок 4.1 – Інсинератор СП-50

У складі механізмів інсинератора дві форсунки 6 – для подачі палива і нафтовідходів. Паливна форсунка розпилює дизельне паливо за допомогою

спеціального пристрою для закручування потоку повітря і забезпечена електродами запалювання. Форсунка нафтовідходів встановлена в отворі паливної форсунки, тобто концентрично, в загальному корпусі. Подача нафтошламу здійснюється дозуючим пристроєм 5.

Щоб забезпечити безпечне обслуговування та не допустити відкриття люка, через який завантажуються тверді відходи, є спеціальний електромагнітний замок, що спрацьовує при температурі в камері згорання понад 50-70 °С. Завантажувальний пристрій складається з внутрішніх та зовнішніх дверей, блокуючого пристрою, лотка, рукояток. Тверді відходи завантажують в лоток, після чого зовнішні двері закривають, повертають рукоятки, що відкривають внутрішні двері, і скидають в камеру згорання.

Технічні характеристики інсинератора СП-50 зведено в табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Технічні характеристики інсинератора СП-50

Продуктивність по спалюванню суднових відходів, кг/год	50
Маса разового завантаження, кг	20
Максимальна температура в камері спалювання, °К	1673
Температура відхідних газів, °К	623
Споживана потужність, кВт	16
Напруга трифазної мережі, В	380
Частота, Гц	50
Максимальні витрати палива, кг/год	6,5
Габаритні розміри, мм	1770 1470 1810
Маса, кг	2550

Для спостереження за процесом горіння в зовнішніх дверях і футеровці внутрішніх дверей передбачені оглядові щілини. Подачу нафтовідходів регулюють шляхом зміни подачі насоса.

Агрегат підготовки нафтовідходів представляє собою зварену циліндричну ємність, всередині якої встановлений паровий змійовик для підігріву суміші. Нафтовідходи перемішуються за допомогою електронасоса.

Інсинератор забезпечений також необхідною системою автоматичного управління і контролю.

Інсинератор GS-500 (рис. 4.2) складається з двох камер, що утворюють так звану напівпіролізну систему. Ліва камера 1 призначена для спалювання сміття, права 2 – для спалювання шламу. Інсинератор обладнаний паливними та шламовими форсунками, з'єднаними в спеціальний топковий пристрій (на рис. 4.2 не показано) і газоходами 4. Вентилятор, що приєднується до газоходу, створює в камерах необхідне розрідження. Займання відходів здійснюється за рахунок теплового випромінювання від топкового пристрою.

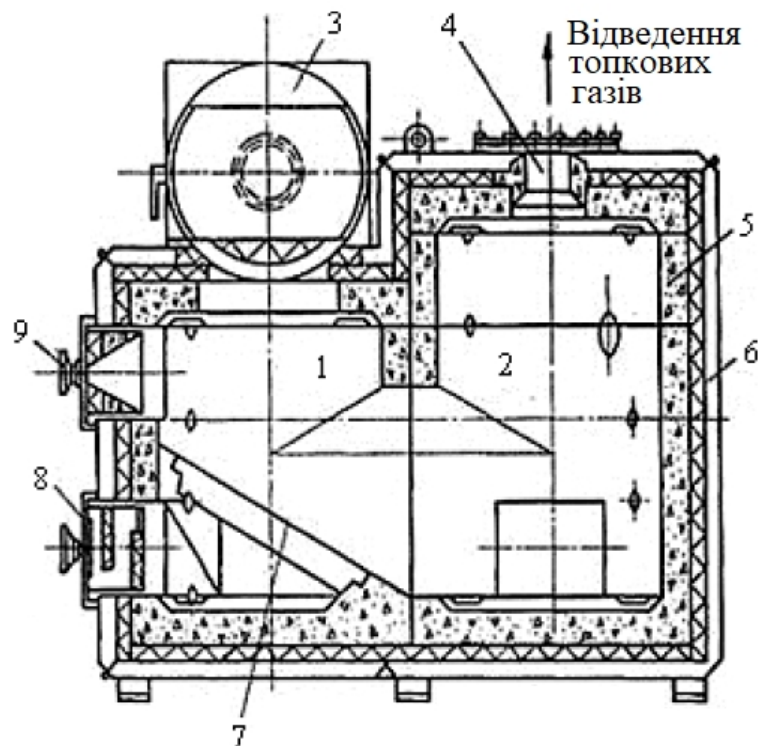


Рисунок 4.2 – Інсинератор GS-500

Тверді відходи завантажуються через приймальний поворотний люк 3 після того, як температура в печі досягне заданого значення. Колосникова решітка 7, на яку потрапляють відходи, має шуруючий пристрій, що забезпечує більш ефективно їх згорання. Потік газів, що відходять від спалюваних відходів, надходить у вторинну камеру, де відбувається допалювання газів і незгорілих частинок відходів. Пройшовши зону пальника, потік димових газів змішується з потоком охолоджуючого повітря і потім викидається в димохід вентилятором рециркуляції. У газоході між камерою згорання і вентилятором є шибер (заслінка). Процес горіння (кількість повітря, що подається) регулюється положенням заслінки.

Камери згорання представляють собою сталеві конструкції з обмуруванням зі шлакостійких вогнетривких блоків 5. Обмурування має модульну конструкцію, що дозволяє змінювати окремі блоки. Внутрішня сторона сталевих камер покрита шаром ізоляції. Між подвійними листами стали знаходиться повітряна охолоджуюча сорочка 6. Камери згорання мають круглу форму і з'єднані між собою отвором в районі днища. Ємність приймального простору близько 125 л. На лицьовій стороні установки на дверцятах 9 передбачено оглядове скло, що дозволяє механіку контролювати кількість завантажених в камеру відходів і спостерігати за роботою системи. У нижній частині розташовані дверцята 8 для видалення золи та шлаку.

Топковий пристрій складається з форсунки з двома соплами. Продуктивність 14-28 л/год. Шламова форсунка також вмонтована в топковий пристрій і складається з двох труб. Внутрішня труба призначена для підведення шламу. Діаметр її каналу дорівнює 8 мм. Зовнішня труба служить для підведення пари, який використовується для розпилювання і частково – для підігріву шламу. Топковий пристрій розташований таким чином, щоб найбільш ефективно використовувати факели горіння. В даному інсинераторі завихрені факели спочатку направляються до днища, звідки піднімаються в центральній зоні камери згорання і лише потім

направляються до газоходу. Охолоджуюче повітря, змішване з димовими газами на виході з камери, засмоктується з нижньої частини кожуха камери і знижує температуру газів, що відходять до рівня не вище 400 °С. Процес спалювання автоматично контролюється спеціальною програмою. Для контролю горіння використовується фотоелектричний датчик.

Інсинератор фірми «Atlas» (рис. 4.3) представляє собою агрегований пристрій, в якому інсинератор і все навісне обладнання зібрано в єдиний блок.

Компанія «Atlas» випускає інсинератори шести типорозмірів, продуктивністю від 209 кВт до 2,3 МВт, що відповідає обсягу утилізованого шламу (з вмістом води 20 % по ІМО) від 24 до 270 л / год.



Рисунок 4.3 – Інсинератор фірми Atlas

Основні характеристики інсинератор Atlas:

- багатокамерний дизайн;
- можливість одночасного спалювання шламу і твердих відходів;
- спалювання шламу з вмістом води до 50 % без використання дизельного палива;
- витяжний повітряний вентилятор.

ВИСНОВКИ

В кваліфікаційній роботі магістра розроблено систему керування електропривода якірно-швартовного пристрою (брашпіля). В результаті огляду систем керування електроприводів подібних виконавчих механізмів, обрано систему векторного керування, проаналізовано її функціональну та структурну схеми. В якості основного електрообладнання електропривода якірно-швартовного пристрою використано новий асинхронний двигун 5A200L6 потужністю 30 кВт з частотою обертів 980 об/хв, перетворювач частоти Mitsubishi FR-A741-37K потужністю 37 кВт з автоматичним вимикачем модель 225AF125A та контактором S-N50.

В роботі розраховано параметри регуляторів розробленої системи, проведено аналіз динаміки системи. Побудовано графік перехідного процесу за швидкістю при використанні ПІ-регулятора швидкості. Отримано наступні показники якості керування: перерегулювання – 0 %, час перехідного процесу 1,7 с.

Також, розглянуто основні правила та визначення міжнародної конвенції МАРПОЛ 73/78 по запобіганню забруднення з суден, а також, судові інсинератори спалювання відходів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Фесенко В.И. Электрические приводы промышленных судов / В.И. Фесенко. – М: Пищевая промышленность, 1974. – 245 с.
2. Тё А.М. Судовые вспомогательные механизмы, системы и устройства / А.М. Тё. – Владивосток: Мор. гос. ун-т, 2013. – 208 с.
3. Овчинников И.Н. Судовые системы и трубопроводы / И.Н. Овчинников, Е.И. Овчинников. – Л.: Судостроение, 1988. – 312 с.
4. Системы судовых энергетических установок / Г.А. Артемов, В.П. Волошин, А.Я. Шквар, В.П. Шостак. – Л.: Судостроение, 1990. – 376 с.
5. Трифонов Л.К. Судовой моторист / Л.К. Трифонов, В.И. Макаренко. – М.: Транспорт, 1975. – 296 с.
6. Грабченко А.І. Методи наукових досліджень / А.І. Грабченко, В.О. Федорович, Я.М. Гаращенко. – Харків: НТУ «ХП», 2009. – 142 с.
7. Белов М.П. Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов. – М.: «Академия», 2007. – 576 с.
8. Соколовский Г.Г. Электроприводы переменного тока с частотным регулированием. – М.: «Академия», 2006. – 265 с.
9. Усольцев А.А. Частотное управление асинхронными двигателями / А.А. Усольцев. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2006. – 94 с.
10. Терехов В.М. Системы управления электроприводов. – М.: Академия, 2004. – 296 с.
11. Драчев Г.И. Теория электропривода. – Челябинск: Изд. ЮУрГУ, 2002. – 137 с.
12. Ключев В.И. Электропривод и автоматизация общепромышленных механизмов / В.И. Ключев, В.М. Терехов. – М.: Энергия, 1980. – 360 с.
13. Москаленко В.В. Электрический привод. – Москва: Академия, 2007. – 368 с.

14. Солодовников В.В. Теория сложности и проектирование систем управления / В.В. Солодовников, В.И. Тумаркин. – М.: Наука, 1990. – 168 с.
15. Фираго Б.И., Павлячик Л.Б. Регулируемые электроприводы переменного тока. – Мн.: Техноперспектива, 2006. – 363 с.
16. Алиев И.И. Асинхронные двигатели в трехфазном и однофазном режимах. – М.: ИП РадиоСофт, 2004. – 128 с.
17. Аркадьев В.Ю. Проектирование по теории автоматического управления / В.Ю. Аркадьев, А.И. Папченко, А.Г. Попруга, В.П. Боярчук. – Херсон: ХГТУ, 2002. – 272 с.
18. Шаруда В.Г. Практикум з теорії автоматичного управління. – Дніпропетровськ: Національна гірничча академія України, 2002. – 414 с.
19. Международная конвенция МАРПОЛ. Книга III. СПб.: ЦНИИМФ, 2009. – 303 с.