

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

Енерготехнічний факультет
Кафедра автоматики та електроустаткування

Рекомендовано до захисту
Завідувач кафедри автоматики та
електроустаткування
_____ Михаліченко П.Є.
(підпис) (прізвище ініціали)
«___» _____ 20__ року

Пояснювальна записка
до кваліфікаційної роботи магістра

на тему: «Модернізація електропривода насоса суднової опріснювальної
установки»

Здобувач 6 курсу, групи 6367м
за спеціальністю: 141 «Електроенергетика
Електротехніка та електромеханіка»
(шифр і назва спеціальності)
Освітньо-професійна програма:
«Експлуатація суднових автоматизованих
(назва)
систем»

Погорєлов-Кореньков О.В. _____
(прізвище та ініціали) (підпис)

Керівник Кириченко О.С. _____
(прізвище та ініціали) (підпис)

Рецензент Гаврилов С.О. _____
(прізвище та ініціали) (підпис)

м. Херсон - 2020 року

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 автоматики

та електроустаткування

Михаліченко П.Є.

“ ____ ” _____ 20__ року

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

Погорелов-Кореньков Олександр Валерійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Модернізація електропривода насоса суднової опріснювальної установки

Керівник роботи: Кириченко Олександр Сергійович, к.т.н., доцент

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

затверджені 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 суднових опріснювальних установок; 2) Виклад загальних підходів і основних методів дослідження; 3) Вибір елементів системи, аналіз і узагальнення результатів дослідження; 4) Аналіз питань запобігання забрудненню з суден за міжнародною конвенцією MARPOL-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 суднових опріснювальних установок		
2	Виклад загальних підходів і основних методів дослідження		
3	Вибір елементів системи, аналіз і узагальнення результатів дослідження		
4	Аналіз питань запобігання забрудненню з суден за міжнародною конвенцією MARPOL-73/78		

Здобувач _____
(підпис)Погорєлов-Корєньков О.В.
(прізвище та ініціали)Керівник роботи _____
(підпис)Кириченко О.С.
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Об'єм пояснювальної записки становить 92 аркуші, вона містить 4 розділи, 24 рисунки, 7 таблиць, 15 найменувань в списку використаної літератури. Мультимедійна презентація представлена на 12 слайдах.

Об'єктом дослідження є перехідні процеси модернізованого електропривода дистилтного насоса суднової опріснювальної установки.

Предметом дослідження є показники якості керування модернізованого електропривода дистилтного насоса суднової опріснювальної установки.

Метою роботи є модернізація електропривода дистилтного насоса суднової опріснювальної установки.

В роботі модернізовано електропривод дистилтного насоса суднової опріснювальної установки типу «Д» модель ДЗМ. Замість застарілої релейно-контакторної системи керування використано систему частотного керування скалярного типу, наведено її функціональну та структурну схеми. В модернізованому електроприводі дистилтного насоса суднової опріснювальної установки ДЗМ використано асинхронний двигун RA100LA4 потужністю 2,2 кВт та перетворювач частоти Lenze серії 8200 модель ESMD 302 L4TXA потужністю 3 кВт.

В роботі виконано синтез структури і розрахунок налаштувань регуляторів системи керування, побудовано графіки перехідних процесів модернізованого електропривода дистилтного насоса суднової опріснювальної установки. Отримано основні показники якості керування: перерегулювання – 0 %, час перехідного процесу 1,6 с.

Також, в роботі проаналізовані питання запобігання забрудненню з суден за міжнародною конвенцією MARPOL-73/78.

Ключові слова: модернізований електропривод, система керування, дистилтний насос, суднова опріснювальна установка, перехідні процеси системи, показники якості керування.

ЗМІСТ

ВСТУП	6
1 ХАРАКТЕРИСТИКА СУДНОВИХ ОПРІСНЮВАЛЬНИХ УСТАНОВОК	8
1.1 Призначення та класифікація суднових опріснювальних установок	8
1.2 Аналіз існуючої релейно-контакторної системи керування електропривода дистилятного насоса суднової опріснювальної установки ..	15
1.3 Вимоги до автоматизованих електроприводів насосів суднових опріснювальних установок та обґрунтування вибору системи електропривода	19
2 ВИКЛАД ЗАГАЛЬНИХ ПІДХОДІВ І ОСНОВНИХ МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕННЯ	24
2.1 Загальні підходи та структурно-логічна схема дослідження	24
2.2 Метод керування електроприводом дистилятного насоса суднової опріснювальної установки	28
2.3 Система частотного керування електропривода дистилятного насоса суднової опріснювальної установки	30
2.4 Розімкнуті системи частотного керування скалярного типу	27
2.5 Замкнуті системи частотного керування скалярного типу	34
2.6 Перетворювачі частоти з мікроконтролерами	41
3 ВИБІР ЕЛЕМЕНТІВ СИСТЕМИ, АНАЛІЗ І УЗАГАЛЬНЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ	49
3.1 Вибір приводного електродвигуна дистилятного насоса суднової опріснювальної установки	49
3.2 Перетворювачі частоти фірми Lenze	55
3.3 Вибір перетворювача частоти	60
3.4 Синтез структури і розрахунок регуляторів системи частотного керування скалярного типу	67
3.5 Побудова перехідних процесів за швидкістю	71

4 АНАЛІЗ ПИТАНЬ ЗАПОБІГАННЯ ЗАБРУДНЕННЮ З СУДЕН ЗА МІЖНАРОДНОЮ КОНВЕНЦІЄЮ MARPOL-73/78	76
4.1 Загальні питання Міжнародної конвенції запобігання забрудненню з суден MARPOL-73/78	76
4.2 Правила щодо експлуатації насосів, трубопроводів і пристроїв скидання на вантажних суднах	86
ВИСНОВКИ	90
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРА	91

ВСТУП

Суднові опріснювальні установки призначені для перетворення морської води на дистилат, що використовується для поповнення витоків пари і конденсату, побутової води для миття, а інколи, також, для отримання питної води.

На судах застосовуються утилізаційні вакуумні суднові опріснювальні установки, в яких для випаровування морської води використовується тепло прісної води, що охолоджує дизель та, інколи, пара з утилізаційних чи допоміжних парогенераторів. На паротурбінних судах в якості гріючого середовища в випаровувальних установках призначена пара низького тиску, яка відбирається від головної турбіни, а під час стоянок – редуцьована пара з парогенераторів.

До суднових опріснювальних установок висуваються наступні вимоги:

- автоматизація роботи установки з періодичними контрольними перевірками;
- простота конструкції і обслуговування установки, безвідмовність в дії, зокрема, при хитанні, зручність розбирання, ремонту та очищення нагрівних поверхонь;
- надійність у роботі, забезпечення високої якості дистилату та продуктивності суднової опріснювальної установки протягом тривалого терміну (зазвичай не менше 1500-2000 год) без чистки нагрівальних елементів;
- мінімальні витрати електроенергії, тепла і, як наслідок, палива для отримання дистилату;
- помірність масогабаритних показників і вартості.

За санітарними нормами витрата прісної води для пиття, приготування їжі, миття та інших побутових цілей на транспортному судні становлять 100 л/доба, а на пасажирському та рибпромисловому – до 200 л/доба з

розрахунку на одну людину. Крім того, прісна технічна вода необхідна для заповнення витоків пари і конденсату в котельних установках, поповнення замкнутих систем охолодження дизелів і т.д.

Актуальними залишаються питання модернізації електроприводів дистильованих насосів суднових опріснювальних установок через необхідність заміни старих релейно-контакторних систем керування на нові сучасні системи керування, які здатні забезпечити необхідні показники якості керування.

Об'єктом дослідження є перехідні процеси модернізованого електропривода дистильованого насоса суднової опріснювальної установки.

Предметом дослідження є показники якості керування модернізованого електропривода дистильованого насоса суднової опріснювальної установки.

Метою роботи є модернізація електропривода дистильованого насоса суднової опріснювальної установки.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

1. Провести огляд і аналіз літератури з питань дослідження. Проаналізувати характеристики суднових опріснювальних установок.
2. Обрати метод керування модернізованим електроприводом дистильованого насоса суднової опріснювальної установки, розробити функціональну і структурну схеми системи керування модернізованого електропривода дистильованого насоса суднової опріснювальної установки.
3. Виконати синтез структури і розрахунок налаштувань регуляторів системи, встановити показники якості керування модернізованого електропривода дистильованого насоса суднової опріснювальної установки.
4. Проаналізувати питання запобігання забрудненню з суден за міжнародною конвенцією MARPOL-73/78.

РОЗДІЛ 1

ХАРАКТЕРИСТИКА СУДНОВИХ ОПРІСНЮВАЛЬНИХ УСТАНОВОК

1.1 Призначення та класифікація суднових опріснювальних установок

Суднові опріснювальні установки (СОУ) призначені для отримання опріснення води з заборотної. Опріснення вода, отримана в суднових опріснювальних установках, застосовується для технічних цілей і побутових потреб [1-4].

За способом опріснення опріснювальні установки поділяють на три групи: дистиляційні; електродіалізні; зворотноосматичні.

За родом джерела тепла (парові, утилізаційні, універсальні, електричні).

В даний час на судах з дизельною установкою застосовуються виключно вакуумні одноступінчасті утилізаційні опріснювальні випаровувачі заборотної води, що використовують тепло охолоджуючої прісної води, замкнутої системи охолодження головного двигуна.

З усього різноманіття конструкцій опріснювальних утилізаційних установок у всіх опріснювачів є загальні принципи компонування і комплектації допоміжним обладнанням. Нижче будуть розглянуті найбільш типові і розповсюджені типи утилізаційних опріснювальних установок.

На рис. 2.1 приведено найпростішу схему конструкції вакуумної одноступінчастої утилізаційної опріснювальної установки, яка включена в систему охолодження головного двигуна.

Нагрівальна батарея випарника утворена прямими трубками. Нагріта вода від головного двигуна з температурою 65-70 °С надходить в трубки випарника киплячого типу, у яких поверхня нагріву розташована в самій нагрівній воді (тому випаровування в них супроводжується кипінням води,

що випаровується, у всьому обсязі). Утворювана в камері випаровування пароводяна суміш надходить в сепаратор, з якого осушена пара іде в конденсатор, а розсіл видаляється гідравлічним ежектором. Для видалення з конденсатора повітря і підтримки розрядження призначений водоструминний ежектор, робоча вода до якого подається окремими електроприводним насосом заборотної води. Дистилят видаляється з конденсатора дистилятним насосом.

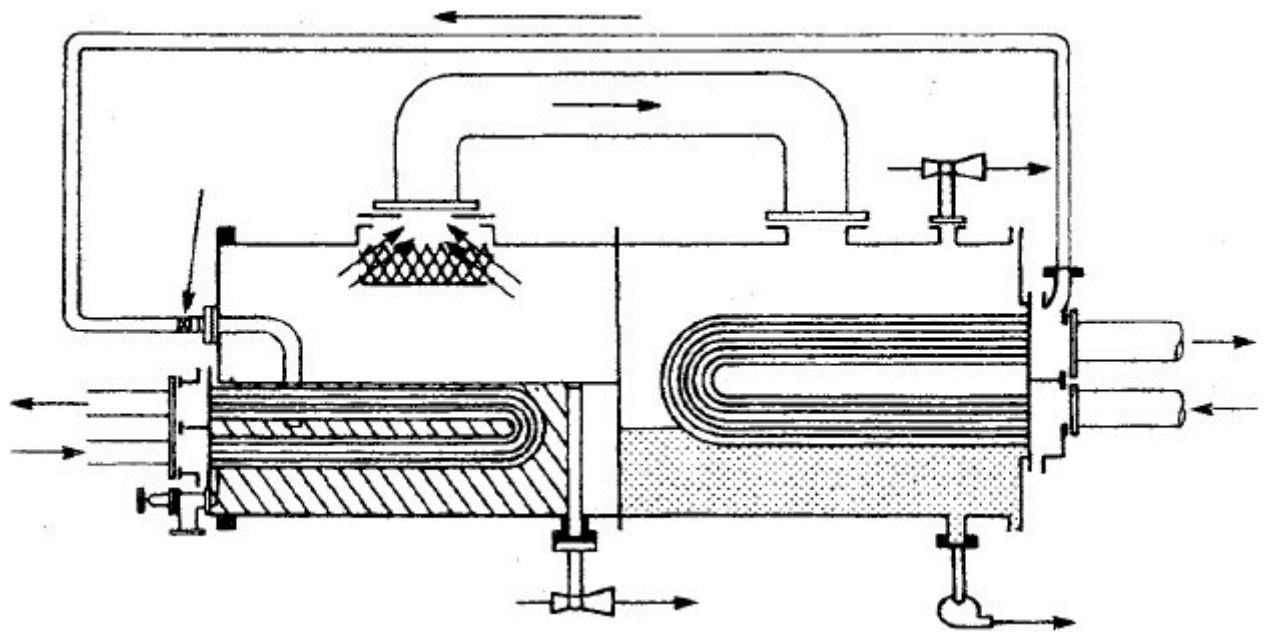
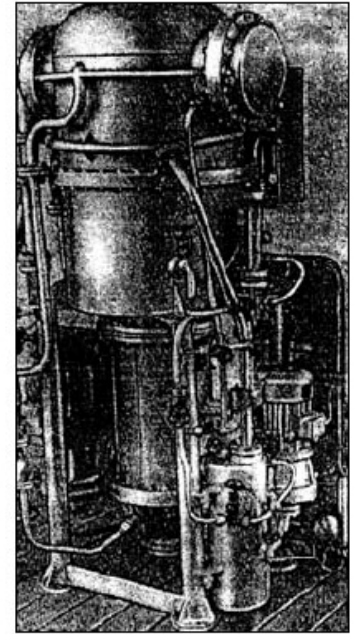
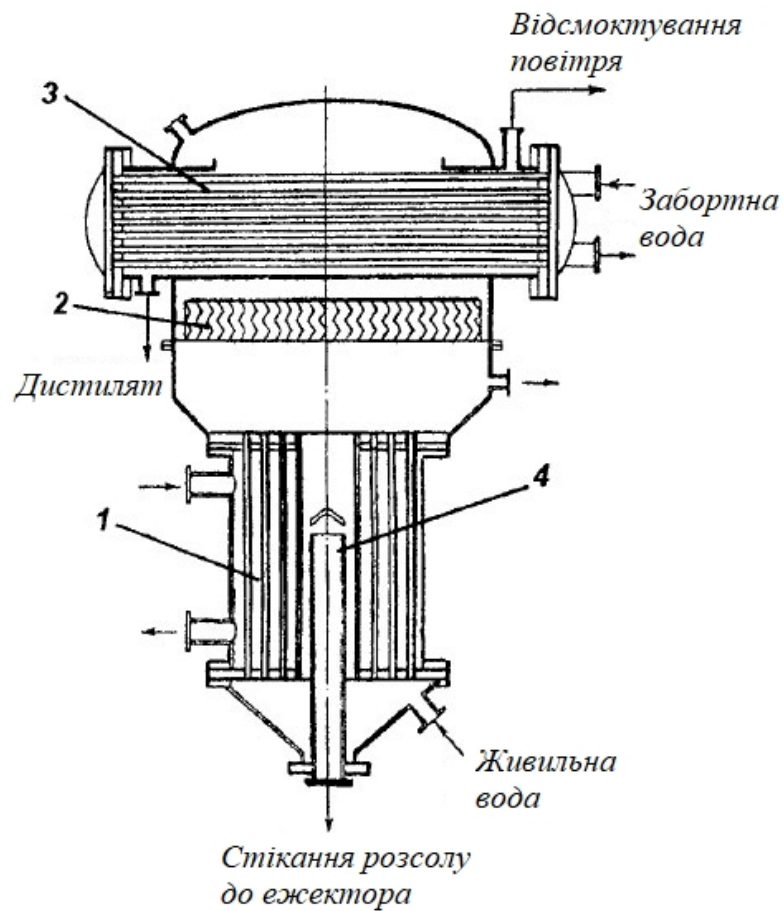


Рисунок 1.1 – Схема конструкції вакуумної одноступінчастої утилізаційної суднової опріснювальної установки

Розглянемо суднову опріснювальну установку типу «Д». На рис. 1.2 зображено конструктивну схему та зовнішній вигляд опріснювача типу «Д».

Особливості суднової опріснювальної установки типу «Д» (рис. 1.2) полягають в наступному: теплообмінна частина нагрівальної батареї представляють вертикально розташовані мельхіорові трубки 1, розвальцьовані в латунних дошках, усередині яких відбувається процес кипіння морської води. У верхній розширеній частині знаходиться горизонтальний жалюзний сепаратор 2 і двоходовий прямотрубний конденсатор 3. Відносна велика висота парового простору в поєднанні з

жалюзним сепаратором дозволяє отримати дистилат з солевмістом не більше 8 мг/л.



а

б

Рисунок 1.2 – Суднова опріснювальна установка типу «Д»:

а – конструктивна схема; б – загальний вигляд опріснювача типу «Д»

У центрі нагрівальної батареї розташована циліндрична шахта для циркуляції розсолу. У ній встановлена центральна труба, по якій розсіл зливається до ежектору. Рівень розсолу встановлюється на висоті верхнього зрізу зливної труби 4.

Структура утилізаційної суднової опріснювальної установки типу «Д» наведена на рис. 1.4.

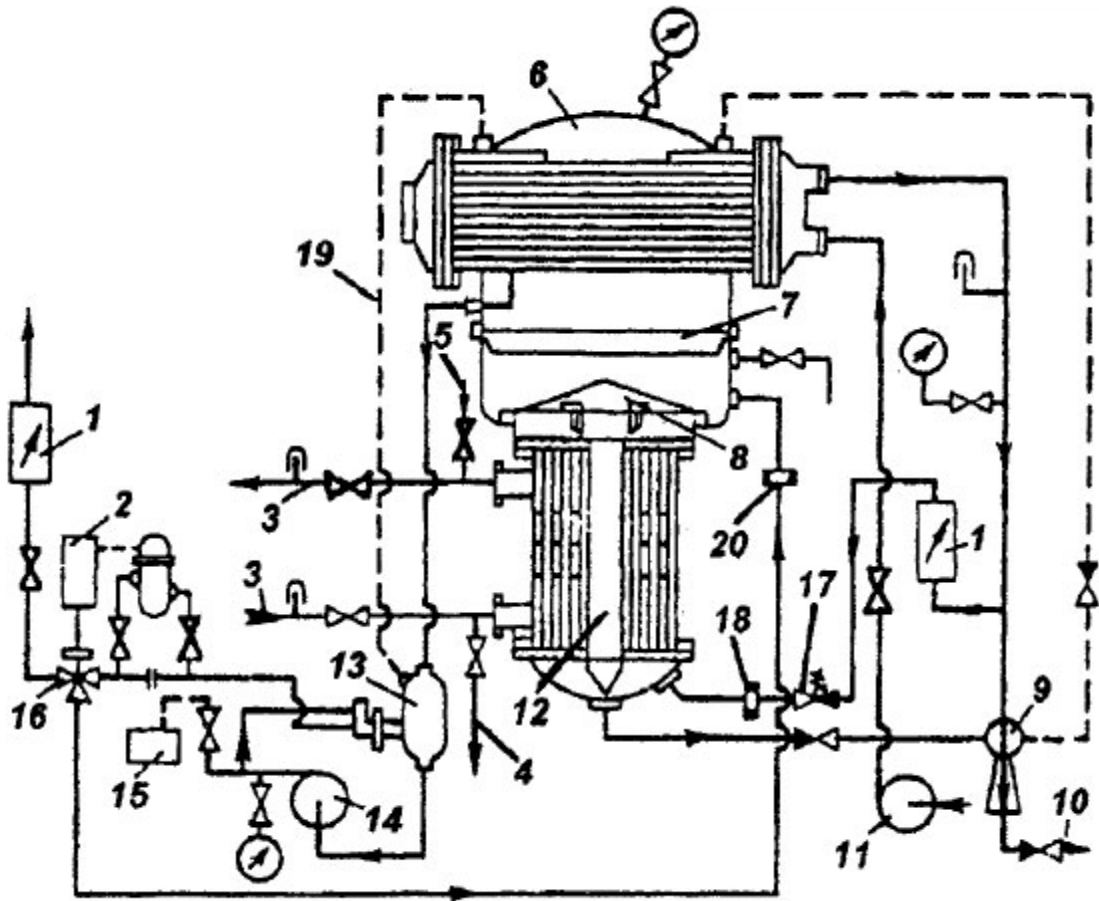


Рисунок 1.3 – Структура утилізаційної суднової опріснювальної установки типу «Д»: 1 – ротаметр (датчик витрат); 2 – соленомер; 3 – трубопроводи підведенні і відведення нагрівальної води до випаровувача; 4 – трубопровід для відведення конденсату; 5 – трубопровід підведення нагрітої пари; 6 – двоходовий конденсатор; 7 – жалюзійний сепаратор; 8 – мідний відбійник; 9 – повітряно-розсільний ежектор; 10 – трубопровід відведення розсолу; 11 – насос заборотної води; 12 – мельхіорові трубки випаровувача; 13 – збірник дистиляту; 14 – дистилятний насос для відкачування дистиляту; 15 – реле тиску; 16 – електромагнітний клапан; 17 – незворотно-запірний клапан; 18 – діафрагма; 19 – вирівнююча труба збірника дистиляту; 20 – дросельна шайба

Забортна вода відцентровим насосом 11 прокачується через трубки конденсатора 6, де нагрівається за рахунок теплоти конденсації пари.

Частина води, що виходить з конденсатора, направляється в якості робочого середовища в розсільно-повітряний ежектор 9. Інша частина, що рівна приблизно чотирикратній продуктивності вакуумної суднової опріснювальної установки, надходить на живлення випарника 12.

Нагріта вода від головного двигуна надходить в міжтрубний простір випаровувача по трубопроводу 3 і, пройшовши між поперечними сегментними перегородками, нагріває стінки трубок випаровувача, де відбувається кипіння і випаровування забортної води. Пара, що утворилася, проходить через жалюзійний сепаратор 7 і надходить в конденсатор 6, де конденсується, і дистилат самопливом стікає в збірник 13. Збірник дистилату обладнаний регулятором рівня для пуску і зупинки дистилатного насоса 14, зрівняльної трубою 19. Дистилляційний насос забирає дистилат зі збірника (ємності) і направляє його до електромагнітного клапану 16, який розподіляє відведення дистилату. При нормальній солоності води вона направляється в цистерну прісної води, при підвищеній – знову у випарник через дросельну шайбу 20.

При падінні тиску на нагнітальній стороні дистилатного насоса спрацьовує реле тиску 15, яке вимикає насос, тобто припиняється відкачка дистилату.

Морська вода, що не випарувалася, (розсіл) по відповідній трубі, направляється до ежектору 9, сюди ж з конденсатора по трубопроводу надходить паро-повітряна суміш, яка разом з розсолем відводиться за борт.

При зниженні тиску робочої рідини перед ежектором 9 до 0,1 МПа, незворотньо-запірний клапан 17 автоматично перекриває подачу живильної води в випарник, тим самим оберігаючи випаровувач від затоплення. В системі живильної води випаровувача встановлена діафрагма 18, яка призначена для обмеження подачі води у випаровувач.

Замір солевмісту здійснюється соленоміром 2, до якого дистилат надходить через встановлену на відвідному трубопроводі дросельну діафрагму.

Продуктивність установки і витрати живильної води контролюються ротаметрами.

Короткочасна робота випаровувача забезпечується за рахунок підведення пари, що нагрівається від котла і відведення конденсатора по трубопроводу 5 і 4.

Контроль режиму роботи вакуумної суднової опріснювальної установки здійснюється за допомогою термометрів: вимірюється температура нагрітої води на вході у випаровувач і на виході з нього, також температура води на виході з конденсатора. Контроль вакууму в вакуумній судновій опріснювальній установці здійснюється за вакуумметром. Даний тип вакуумної суднової опріснювальної установки працює з коефіцієнтом продування, рівним трьом.

В табл. 1.1 наведено технічні характеристики суднових опріснювальних установок типу «Д».

Таблиця 1.1 – Технічні характеристики суднових опріснювальних установок типу «Д»

Модель установки	Д2М	Д3М	Д4М	Д5М
Продуктивність, т/доба	3,2	6,3	12,5	25
Загальний вміст дистилату, мг/л	5			
Надлишковий тиск пари перед установкою, кгс/кв. см	5 (-1,5; +0,5)			
Температура пари, °С	насичений			
Витрати пари на установку, кг/год	145 (-30; +15)	265±50	530±100	1050±160

Продовження таблиці 1.1 – Технічні характеристики суднових опріснювальних установок типу «Д»

Електроенергія, що споживається електронасосами:				
род струму	змінний трифазний			
напруга, В	380			
частота, Гц	50			
потужність, Вт	1	2,1		
Маса установки, кг	620	905	1540	2390
Габарити, мм:				
довжина	1150	1250	1650	1850
ширина	1000	1225	1440	1720
висота	1220	1300	1500	1800
Призначений повний ресурс, год, не менше	100000			
Призначений повний строк служби, років, не менше	25			
Питомі витрати теплової енергії, кДж/кг, ккал/кг, не більше	$2,55 \times 10^3$; 6×10^2			

Випуском суднових опріснювальних установок типу «Д», технічні дані яких зведено в табл. 1.1, займається товариство з обмеженою відповідальністю «Червоний Гідропрес» – багатогалузеве машинобудівне підприємство, що випускає продукцію різного призначення. Його продукція відома не тільки на внутрішньому, а й на зовнішньому ринку. Головний напрямок діяльності підприємства – суднове машинобудування та виготовлення виробів спеціального призначення.

Фотоілюстрація суднової опріснювальної установки типу «Д» наведена на рис. 1.4.

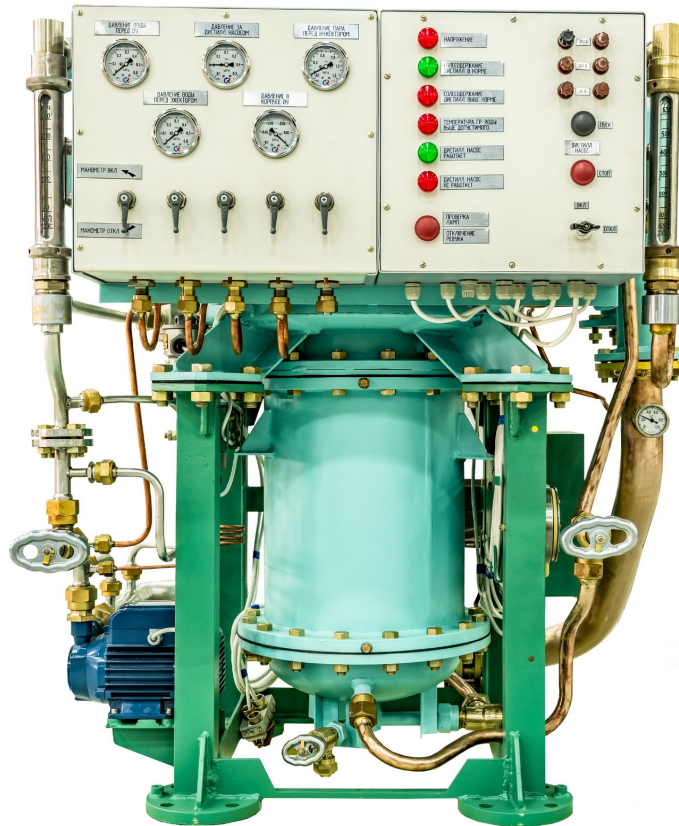


Рисунок 1.4 – Суднова опріснювальна установка типу «Д» (фотоілюстрація)

1.2 Аналіз існуючої релейно-контакторної системи керування електропривода дистилятного насоса суднової опріснювальної установки

При сучасній тривалості суднових рейсів серйозну увагу заслуговує проблема забезпечення судів прісною водою, в зв'язку з чим більшість суден промислового флоту забезпечуються опріснювальними установками різних модифікацій [1-4]. Схему автоматизації суднової опріснювальної установки показано на рис. 1.3.

Розглянемо основні елементи принципової електричної схеми (рис. 1.3). Схема містить асинхронні двигуни D_1 і D_2 відповідно насосів

заборної води і дистилату, забезпечених магнітними пускачами. Апаратура автоматизації процесу складається з набору реле $1P-6P$, що забезпечує замикання і перезамикання кіл керування відповідно до схеми роботи; блоку випрямлення B , який живить перемикаючий електромагнітний клапан EK системи трубопроводів; реле тиску PD , реле рівня PU , схема містить також соленомер з контактами $ДС_1$ і $ДС_2$, кнопки пуску $KУП$, зупинки $KУС$, контролю роботи сигнальних ламп $KПР$, відключення сигналу $KОС$, сигнальні лампи $СЛ$, $1СЛ-3СЛ$, звуковий сигнал-ревун $PВ$, трансформатор Tr , запобіжники $Пр$, вимикач $В$.

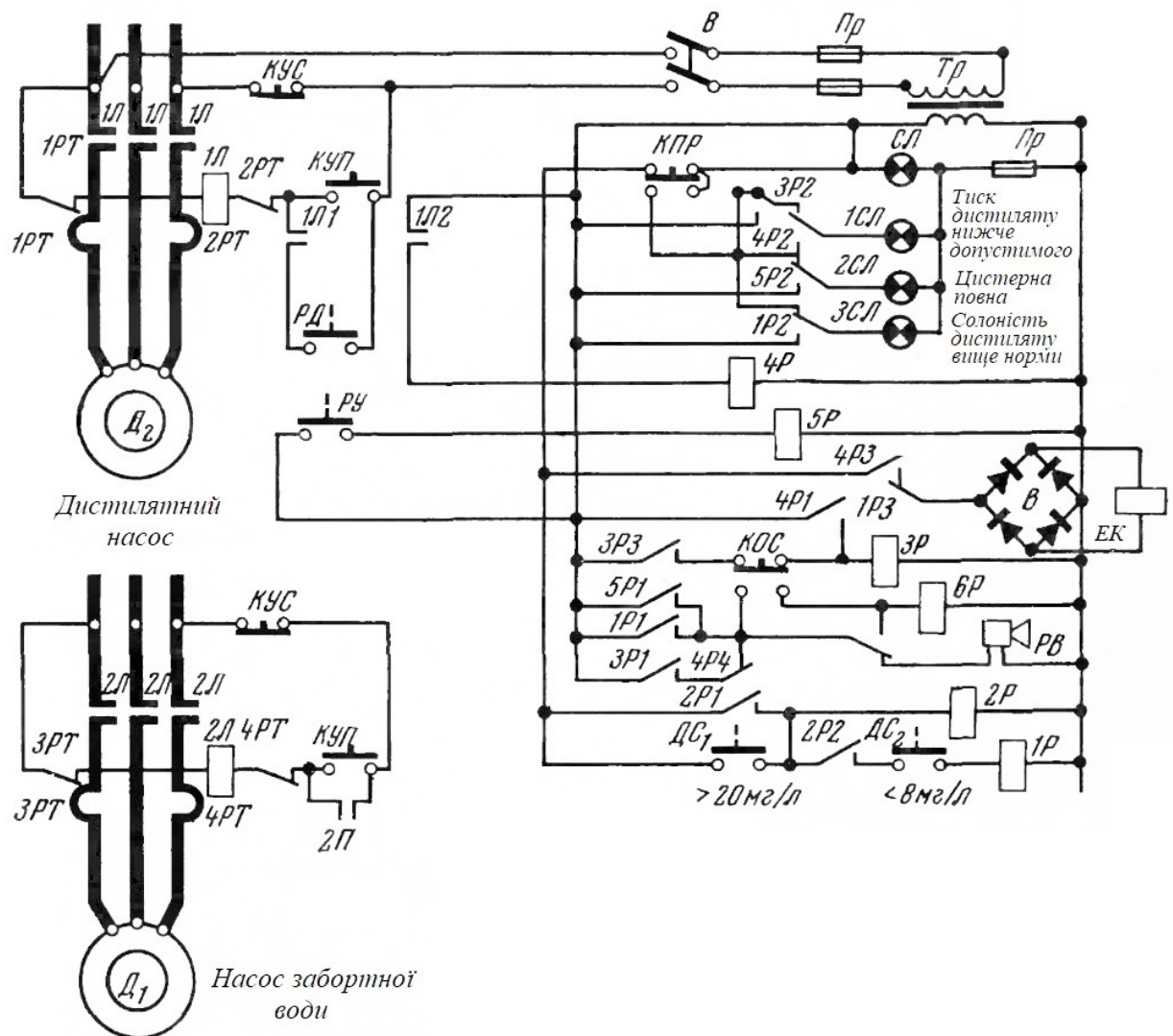


Рисунок 2.3 – Базова принципова електрична схема системи керування електропривода дистилатного насоса суднової опріснювальної установки

Схема автоматизації опріснювальної установки працює наступним чином. При вмиканні ножів вимикача B подається живлення на трансформатор Tr і електрокола керування опиняються під напругою. Якщо при цьому лампи $1СЛ$ - $3СЛ$ не працюють, їх необхідно перевірити натисканням на кнопку $КПР$. Несправну лампу замінюють. Для заповнення системи вмикають насос заборотної води шляхом запуску двигуна $Д_1$ в роботу.

При досягненні необхідного рівня замикається контакт реле рівня $РУ$ і котушка реле $5P$ отримує живлення. Реле $5P$, спрацювавши, перезамикає свій контакт $5P2$ в електроколі сигнальної лампи $2СЛ$ і замикає контакт $5P1$ в електроколі ревуна $PВ$. Світлова і акустична сигналізація попереджає, що цистерна повна і слід зупинити насос заборотної води, тобто вимкнути двигун $Д_1$. Для зняття звукового сигналу натискають на кнопку $КОС$. В цьому випадку отримує живлення реле $6P$, яке перезамикає свій контакт, зашунтувавши кнопку $КОС$ і вимкнувши ревуна $PВ$. Одночасно натискання на кнопку $КОС$ викликає розблокування соленоміра (на схемі не показаний).

В процесі випарювання утворюється дистилат. Якщо солоність дистилату перевищує 20 мг/л, то замикається контакт $ДС_1$ і отримує живлення реле $2P$. Контакт $2P1$ шунтує контакт $ДС_1$, контакт $2P2$ подає живлення на реле $1P$, оскільки $ДС_2$ замкнутий. Реле $1P$ контактом $1P2$ вмикає сигнальну лампу $3СЛ$, а контактом $1P3$ перериває електроколо живлення електромагнітного клапана $ЕК_1$, контактом $1P1$ шунтує контакт $5P1$. Якщо тиск дистилату в цистерні достатній для замикання контакту реле $РД$, двигун $Д_2$ вмикають в роботу. Через контакт $1Л2$ отримує живлення реле $4P$, яке перезамикає контакт $4P2$ в електроколі лампи $1СЛ$, замикає контакт $4P3$ в електроколі випрямляча B , відкриває контакт $4P4$ в електроколі ревуна $PВ$ і контактом $4P1$ подає напругу на котушку реле $3P$. Реле $3P$ контактом $3P3$ шунтує контакт $4P1$, готує електроколо ревуна $PВ$ замкнувши контакт $3P1$, перезамикає контакт $3P2$ в електроколі лампи $1СЛ$. Оскільки контакт $4P2$

знаходиться в нижньому положенні, лампа *1СЛ* не горить, ревун *PВ* не працює (відкритий контакт *4Р4* і контакт *6Р* знаходиться у верхньому положенні). Відкачування дистилату не відбувається, незважаючи на працюючий двигун *Д₂*, оскільки електромагнітний перемикаючий клапан не знаходиться під напругою (відкритий контакт *1Р3*). У зв'язку з тим, що тиск заборотної води знизився, відкривається контакт *РУ*, перезамикаються його контакти: гасне лампа *2СЛ* відкривається контакт *5Р1*. Проте електроколо котушки *6Р* зберігається (замкнутий контакт *1Р*). Можна знову підключати забортну воду в випаровувач.

По мірі зменшення солоності дистилату (<20 мг/л) відкривається контакт *ДС1*, проте електроколо реле *2Р* не переривається, оскільки замкнутий контакт *2Р1*. Коли солоність дистилату стане <8 мг/л, відкривається контакт *ДС2* і обривається електроколо живлення реле *1Р*. Відбувається перезамикання його контактів: гасне лампа *3СЛ* обривається електроколо живлення реле *6Р* (якщо не було підкачки заборотної води) і контакт *6Р* готує електроколо ревуна *PВ* до роботи; замикається електроколо випрямляча *В*, отримує живлення електромагнітний клапан *ЕК*, який перемикає систему на відкачку дистилату. Дистилатний насос буде відкачувати дистилат. По мірі відкачування дистилату знижується тиск, і при певному його значенні відкривається контакт *РД*, двигун *Д₂* вимикається. Одночасно обривається живлення реле *4Р*, перезамикаються його контакти. Загоряється лампа *1СЛ* і починає працювати ревун *PВ*, оскільки електроколо реле *3Р* збереглося. Для зняття звукового сигналу необхідно натиснути на кнопку *КОС*. Для розблокування соленоміра потрібно натиснути також на кнопку *КПР*.

Схема приходить в початкове положення і весь цикл повторюється.

Захист схеми передбачений шляхом використання теплових реле та запобіжників. Двигуни захищаються тепловими реле, а електрокола керування – запобіжниками.

Слід зазначити, що релейно-контакторні схеми керування електропривода, як правило, є морально та фізично застарілими. Вони характеризуються невисокою надійністю і відносно низькою довговічністю через наявність великої кількості механічних контактів реле. На сьогодні такі системи автоматизації необхідно модернізувати, застосовуючи сучасні системи керування електроприводами з використанням напівпровідникової елементної бази.

1.3 Вимоги до автоматизованих електроприводів насосів суднових опріснювальних установок та обґрунтування вибору системи електропривода

Останнім часом у всьому світі широко ведуться наукові дослідження в області термічного опріснення морської води. Незважаючи на це, єдиної теорії, яка б описувала цей досить складний процес, на даний момент не існує. У цих умовах важливий не тільки огляд систематичних публікацій результатів досліджень в даному напрямку і близьких до нього областях науки і техніки, а й більш докладний їх аналіз та узагальнення. Дослідження проблем термічного опріснення морської води з урахуванням умов роботи суднових випаровувачів не будуть в повній мірі цілісними без розгляду питань модернізації електроприводів дистильатних насосів суднових опріснювальних установок. Дані питання не можна аналізувати без розгляду основних вимог до електроприводів насосів суднових опріснювальних установок.

Насоси є механізмами з режимом тривалого навантаження з малим числом вмикань і великою кількістю годин роботи протягом року. Навантаження на валу приводного електродвигуна спокійне, без

перевантажень. При цьому необхідно забезпечити потрібний діапазон частоти регулювання.

Навантаження на валу механізму носить чисто вентиляторний характер, тобто статичний момент опору на валу механізму пропорційний квадрату швидкості.

Електропривод насоса суднової опріснювальної установки повинен нормально функціонувати в умовах підвищеної вологості і відносно високих температур, а також мати максимально можливі показники надійності. У цих умовах реальним є застосування асинхронного електродвигуна з короткозамкненим ротором, що отримує живлення від перетворювача частоти. Асинхронний двигун з короткозамкненим ротором відрізняється простотою, надійністю, відсутністю контактних з'єднань (щіток), дешевизною, а перетворювач частоти дозволяє досягти досить точного регулювання швидкості асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором.

Таким чином, можна визначити основні вимоги до автоматизованого електропривода суднових опріснювальних установок, він повинен забезпечувати:

- діапазон регулювання швидкості 3:1;
- перевантажувальна здатність не нижче 1,5;
- плавний пуск насосного агрегату і розгону до заданої швидкості;
- гальмування вибігом;
- кліматичне виконання УХЛ4;
- ступінь захисту IP44.

Автоматизація суднових опріснювальних установок дозволяє більш швидко і точно відтворювати технологічний процес. При повній автоматизації процесу опріснення води не потрібна постійна участь людини, при цьому залишається роль людини як оператора-спостерігача і коректувальника.

На даний момент доцільно автоматизувати електроприводи суднових опріснювальних установок за допомогою мікропроцесорних систем (програмованих контролерів), які дозволяють замінити жорстку логіку на програмне керування, підвищити надійність і гнучкість системи керування.

Визначимо деякі вимоги до автоматизованої системи керування електропривода насосів суднових опріснювальних установок:

- плавний пуск насосного агрегату і розгін до заданої швидкості;
- визначення необхідного напору в залежності від поточних витрат;
- стабілізація необхідного напору рідини в системі за рахунок регулювання швидкості обертання електродвигуна;
- вмикання та вимикання резервного насоса в залежності від необхідних витрат;
- введення в дію резервного насоса в разі аварії робітника;
- автоматичний розгін насосного агрегату після зникнення напруги живлення (автоматичне повторне вмикання);
- захист від теплових перевантажень приводних двигунів насосних агрегатів;
- періодична зміна основного насосного агрегату стабілізуючого подачу рідини в систему;
- система керування повинна забезпечувати контроль мінімальних, максимальних і аварійних витрат.

Для привода насосної установки попередньо була обрана система «перетворювач частоти – асинхронний двигун з короткозамкненим ротором».

Дійсно, на підставі сформованих вимог до електропривода та системи автоматизації, можна припустити, що використання в насосній установці двигуна постійного струму з тиристорним випрямлячем не має сенсу, тому що в порівнянні з асинхронним двигуном з короткозамкненим ротором і перетворювачем частоти – двигун постійного струму має такі недоліки:

- наявність щіткового контакту знижує надійність і невибагливість двигуна;
- висока вартість двигунів постійного струму, в порівнянні з асинхронними двигунами з короткозамкненим ротором;
- на щіткових контактах негативно позначається висока вологість навколишнього середовища, отже, для використання в насосній установці буде потрібно спеціальний, герметизований двигун постійного струму, що ще більш підніме його складність і вартість.

Переваги двигуна постійного струму перед асинхронним двигуном такі як простота і точність регулювання швидкості в широкому діапазоні, хороші статичні характеристики в даному випадку, при використанні в якості привода насосної установки, не мають вирішального значення, тому що особлива точність відпрацювання заданої швидкості та її стабілізації не потрібна, тим більше не потрібен широкий діапазон регулювання швидкості (цілком достатньо мати діапазон регулювання швидкості $D=3...5$). Тим більше, що використання системи «перетворювач частоти – асинхронний двигун» дає результати не набагато гірші, ніж використання системи «керований випрямляч – двигун постійного струму» або «широтно-імпульсний перетворювач – двигун постійного струму», а перетворювач частоти коштує не набагато більше ніж керований випрямляч або широтно-імпульсний перетворювач, які все частіше застосовуються для керування приводами постійного струму.

Системи електропривода з асинхронним двигуном з фазним ротором не є актуальними оскільки:

- система «асинхронний двигун з фазним ротором із ступінчастим регулюванням швидкості» в принципі підходить за характеристиками та дешевше за вартістю, проте, наявність додаткових опорів в роторному електроколі збільшує витрати електроенергії, що є досить актуальним;

– система «асинхронний двигун з фазним ротором з імпульсним регулюванням опору» має характеристики, аналогічні характеристикам системи «перетворювач частоти – асинхронний двигун з короткозамкнутим ротором», проте при сумарній ціні перетворювача частоти та імпульсного регулятора опору, вартість асинхронного двигуна з фазним ротором набагато вище, ніж асинхронного двигуна з короткозамкнутим ротором.

Системи електропривода з синхронними двигунами також як і системи асинхронних двигунів з фазним ротором цілком придатні для насосних установок, але їх використання обійдеться дорожче через дорожнечу двигуна.

Таким чином можна виділити наступні істотні переваги системи «перетворювач частоти – асинхронний двигун з короткозамкнутим ротором» перед іншими системами електропривода при використанні його в насосній установці: простота і надійність двигуна; відсутність контактних з'єднань (щіток) в двигуні; низька вартість двигуна; достатню якість регулювання швидкості; економічність.

Єдиним недоліком системи «перетворювач частоти – асинхронний двигун з короткозамкнутим ротором» можна назвати поки що досить високу вартість перетворювача частоти.

З перелічених вище міркувань, доцільно використовувати в якості приводного двигуна дистильного насоса суднової опріснювальної установки асинхронний двигун з короткозамкненим ротором, а електроживлення двигуна здійснювати від перетворювача частоти з частотним керуванням скалярного типу.

РОЗДІЛ 2

ВИКЛАД ЗАГАЛЬНИХ ПІДХОДІВ І ОСНОВНИХ МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Загальні підходи та структурно-логічна схема дослідження

Наукові дослідження класифікуються за різними ознаками.

Фундаментальні наукові дослідження – це експериментальна або теоретична діяльність, направлена на отримання нових знань про основні закономірності будови, функціонування і розвитку людини, суспільства, навколишнього природного середовища.

Прикладні наукові дослідження – це дослідження, що є націленими переважно на вживання нових знань для досягнення практичних цілей і вирішення конкретних завдань. Іншими словами, вони є спрямованими на рішення проблем використання наукових знань, отриманих в результаті фундаментальних досліджень, в практичній діяльності людей.

Пошуковими називають наукові дослідження, націлені на визначення перспективності роботи над темою, відшукування шляхів рішення наукових завдань.

У теорії пізнання виділяють два рівні дослідження: теоретичний (займається номенклатурою) та емпіричний (експериментальний).

Теоретичний рівень дослідження характеризується перевагою логічних методів. На цьому рівні одержані факти досліджуються, обробляються за допомогою логічних понять, умовиведень, законів і інших форм мислення.

Тут досліджувані об'єкти аналізуються, узагальнюються, розкриваються внутрішні зв'язки, закони розвитку. На цьому рівні пізнання за допомогою органів чуття (емпірія) може бути присутнім, але воно є підлеглим.

Структурними компонентами теоретичного пізнання є проблема, гіпотеза і теорія.

Проблема – це складна теоретична або практична задача, способи рішення якої невідомі або відомі не повністю, як результат глибокого вивчення. Розрізняють проблеми нерозвинені (передпроблеми) і розвинені. Актуальність проблеми, що постає перед дослідником, пов'язана з необхідністю та своєчасністю вивчення та вирішення розбіжностей з метою удосконалення теорії.

Гіпотеза є вимагає перевірки і доведення припущення про причину, яка викликає певний висновок, про структуру досліджуваних об'єктів і характер внутрішніх і зовнішніх зв'язків структурних елементів.

Наукова гіпотеза повинна відповідати наступним вимогам:

- 1) релевантності, тобто співвіднесення з фактами, на які вона спирається;
- 2) можливості бути перевіреною на практиці, співвіднесення з даними спостереження або експерименту (виняток становлять гіпотези, що не перевіряються);
- 3) сумісності з існуючим науковим знанням;
- 4) володіння пояснювальною силою, тобто з гіпотези повинна виводитись деяка кількість підтверджуючих її фактів, наслідків. Більшою пояснювальною силою володітиме та гіпотеза, з якої виводиться найбільша кількість фактів;
- 5) простоти, тобто вона не повинна містити ніяких довільних допущень, суб'єктивістських нашарувань.

Теорія – це логічно організоване знання, концептуальна система знань, яка адекватно і цілісно відображає певну область дійсності. Вона володіє наступними властивостями:

1. Теорія є однією з форм раціональної розумової діяльності.
2. Теорія – це цілісна система достовірних знань.

3. Вона не тільки описує сукупність фактів, але і пояснює їх, тобто виявляє походження і розвиток явищ і процесів, їх внутрішні та зовнішні зв'язки, причинні і інші залежності і т.д.

4. Всі положення і висновки, що містяться в теорії, є обґрунтованими, доведеними.

На рис. 2.1 зображено топологію методів наукових досліджень.

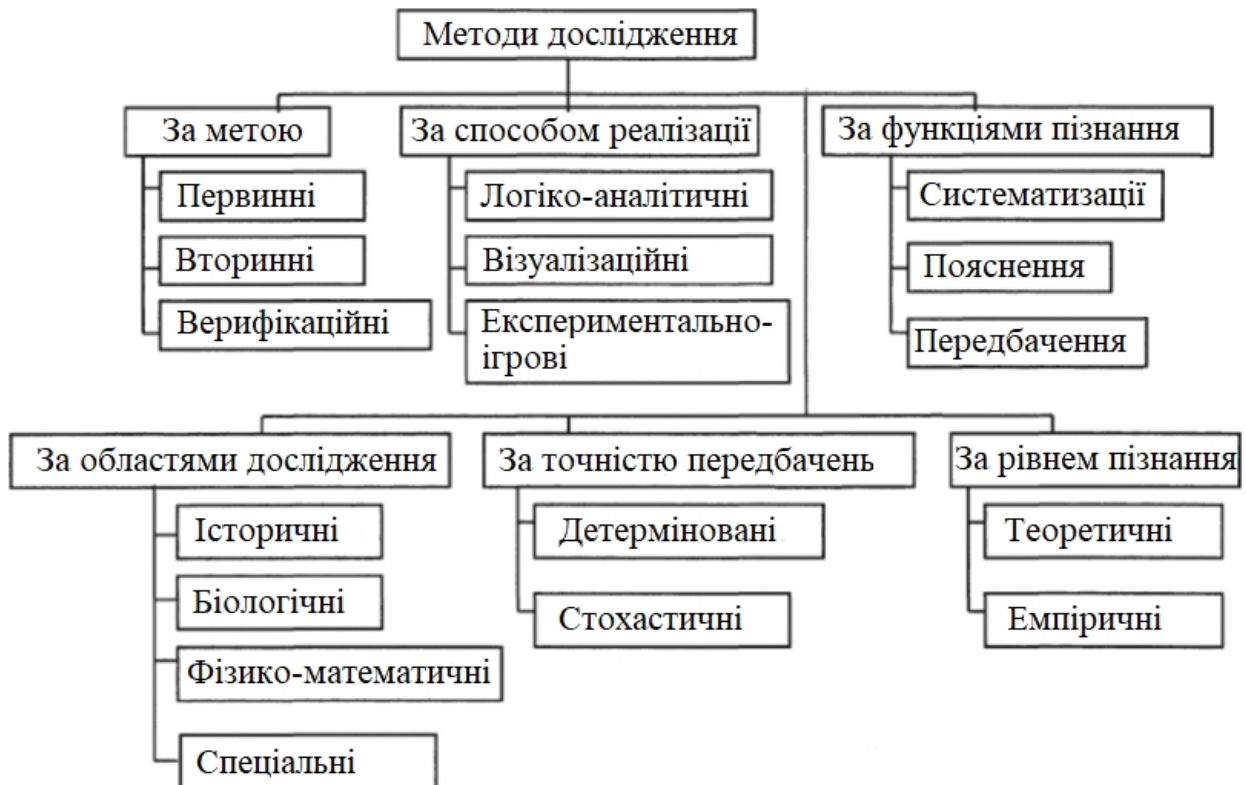


Рисунок 2.1 – Топологія методів наукових досліджень

Структурно-логічну схему дослідження слід розглядати як наглядний алгоритм послідовності проведення дослідження. Нею слід користуватись та, інколи, повертатись до попередніх етапів дослідження. Структурно-логічні схеми вказують на взаємозв'язки окремих частин дослідження. Структурно-логічна схема дослідження по модернізації електропривода насоса суднової опріснювальної установки показана на рис. 2.2.

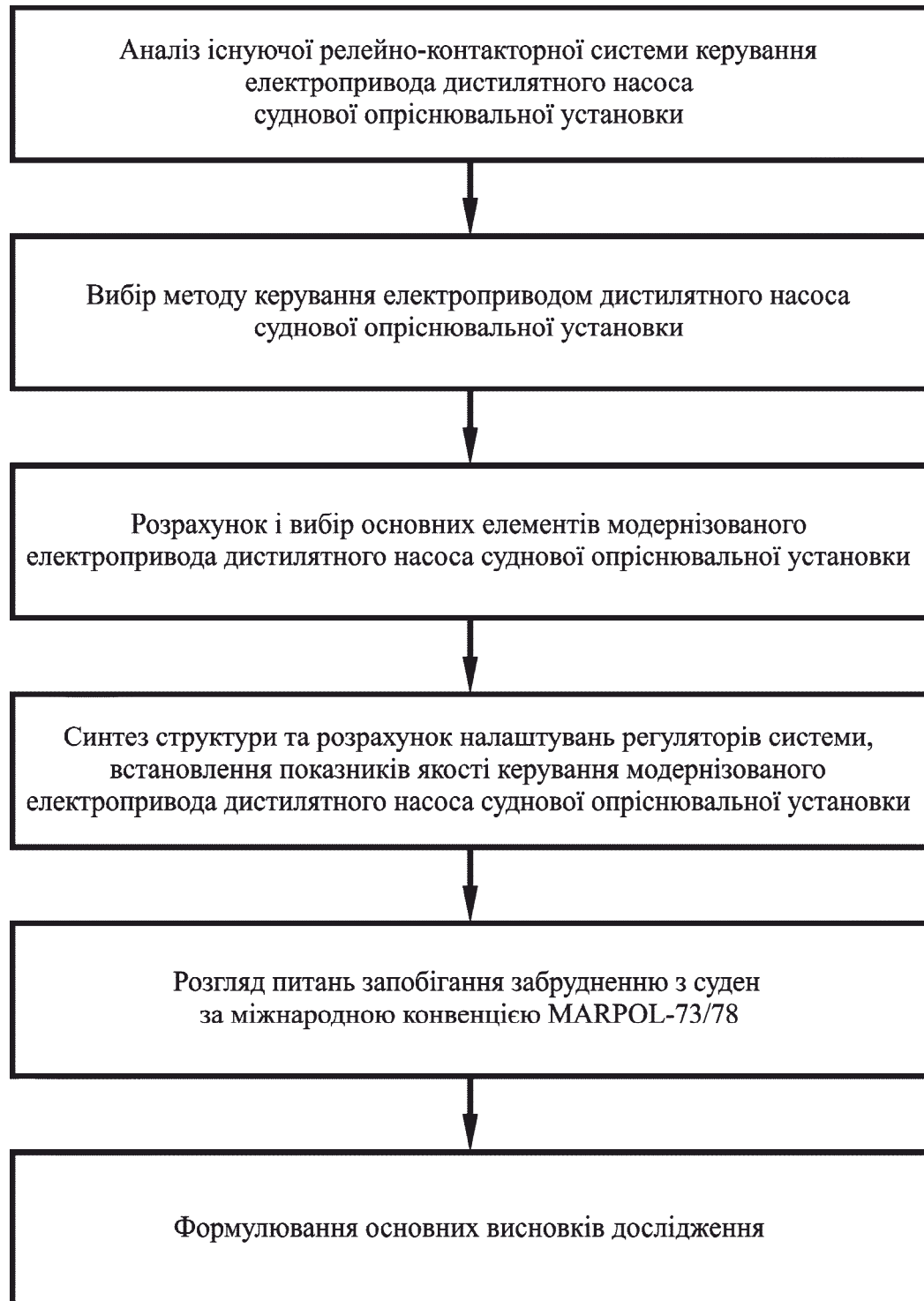


Рисунок 2.2 – Структурно-логічна схема дослідження по модернізації електропривода насоса суднової опріснювальної установки

2.2 Метод керування електроприводом дистильного насоса суднової опріснювальної установки

Близько 25 % всієї електроенергії, що виробляється, споживається електроприводами турбомеханізмів (насоси, вентилятори тощо), які поки що в своїй більшості є нерегульованими [5]. Традиційні засоби регулювання продуктивності турбомеханізмів включають дроселювання напірних ліній та зміну загального числа агрегатів, що працюють, за одним з технологічних параметрів. Енергетичні показники такого регулювання є низькими. Застосування частотно-регульованого електропривода дозволяє забезпечити потрібні технологічні показники при суттєвому скороченні витрат електроенергії. Прикладами використання турбомеханізмів є насосні станції і установки водопостачання промислових процесів та житлових будинків, де при змінних витратах води, необхідно підтримувати постійний тиск (напір) на певному, частіше всього, номінальному рівні.

Зміна витрат Q води у споживача здійснюється головним чином за рахунок дроселювання лінії, тобто зміни гідравлічного опору R . При цьому для стабілізації напору $H = H_{\text{ном}}$ необхідно змінювати кутову швидкість ω насосу (рис. 2.3). У більшості стабілізація напору H при змінних витратах Q відбувається при наявності протитиску H_c в гідравлічній мережі.

Регулювання швидкості насосу для підтримки постійного напору краще всього реалізовувати за рахунок зміни частоти напруги, що живить асинхронний двигун. Але це можна зробити за допомогою різних законів частотного керування, що дають різні техніко-економічні показники [6-9].

Широко поширена думка, що статичний момент турбомеханізмів пропорційний квадрату швидкості, справедлива тільки при відсутності протитиску, що є окремим випадком. Більш поширені системи при наявності протитиску, коли статичний момент є складною функцією швидкості, що, в свою чергу, висуває задачу формування економічного закону частотного

регулювання швидкості асинхронного електропривода. Тут ставиться завдання дослідити асинхронний частотно-регульований електропривод турбомеханізмів при використанні економічного закону регулювання електричних машин та забезпечення оптимального пуску турбомеханізмів, що працюють у режимі стабілізації напору при змінних витратах та даному протитиску.

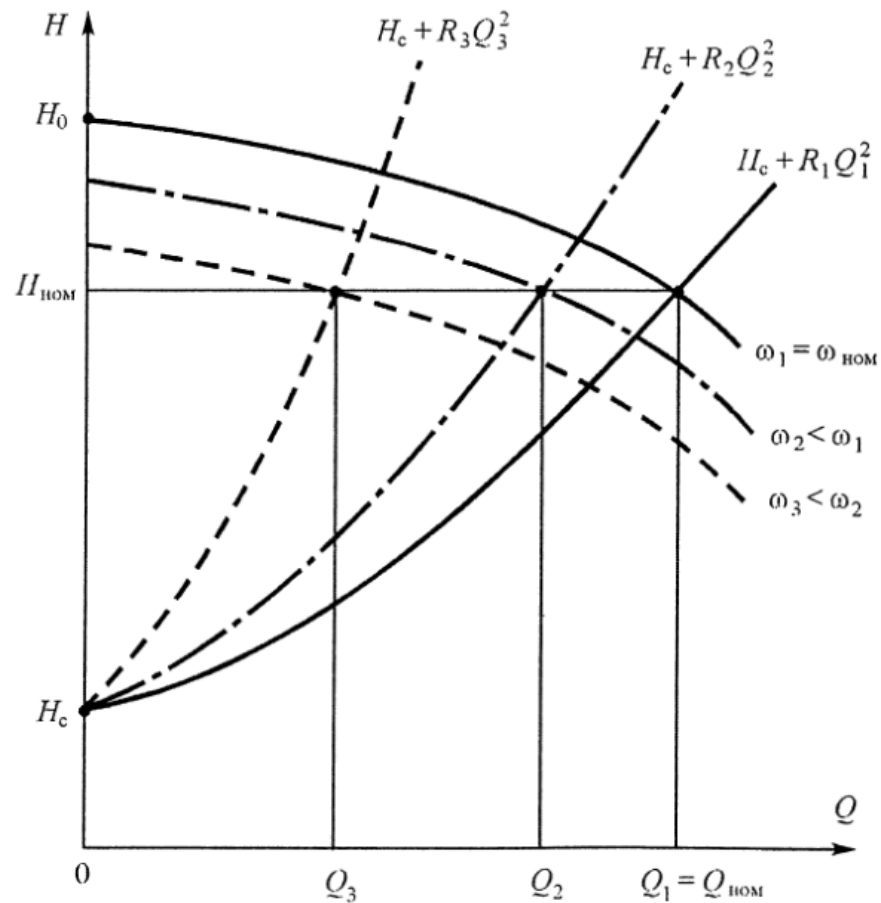


Рисунок 2.3 – Графік стабілізація тиску на рівні $H_{\text{ном}}$ при змінних витратах за рахунок регулювання швидкості турбомеханізму

Для дистильного насоса суднової опріснювальної установки необхідно підтримувати постійність швидкості обертання ротора насоса, цим буде забезпечений номінальний напір на виході насоса і постійність об'єму рідини, що перекачується. Типова функціональна схема такої системи

керування представляє собою систему скалярного керування зі зворотним зв'язком за швидкістю.

2.3 Система частотного керування електропривода дистилятного насоса суднової опріснювальної установки

Враховуючи рекомендації для автоматизованих електроприводів турбомеханізмів (насоси, вентилятори тощо) обираємо систему частотного керування скалярного типу [6, 7, 10, 11].

Принцип скалярного керування частотно-регульованого асинхронного електропривода насоса базується на зміні частоти і поточних значень модулів змінних асинхронного двигуна (АД) (напруг, магнітних потоків, потокозчеплень і струмів електричних кіл двигуна). Керованість АД при цьому може забезпечуватися сумісним регулюванням або частоти f_1 і напруги U_1 , або частоти f_1 і струму I_1 , обмотки статора. Перший спосіб керування прийнято називати частотним керуванням, другий – частотно-струмовим керуванням.

Вибір способу і принципу керування визначається сукупністю статичних, динамічних і енергетичних вимог до асинхронного електроприводу.

Скалярний принцип частотного керування є найбільш поширеним в асинхронному електроприводі. Йому властива технічна простота вимірювання і регулювання змінних АД, а також можливість побудови розімкнених систем керування швидкістю.

Основний недолік подібного принципу керування полягає в важкості реалізації бажаних законів регулювання швидкості і моменту АД в динамічних режимах. Пов'язано це з складними електромагнітними процесами, що протікають у АД.

Скалярне частотно-струмове керування АД характеризується малим критичним ковзанням і постійністю критичного моменту при постійності струму, що живить АД, і зміні його частоти. Проте в розімкнених системах подібне керування практично виключено, оскільки із збільшенням навантаження (ковзання) різко падає магнітний потік АД і для забезпечення бажаних перевантажувальних характеристик АД по моменту необхідне помітне перевищення номінальних значень напруги живлення і струму статора.

2.4 Розімкнуті частотні системи керування скалярного типу

При невисокій точності і обмеженому діапазоні регулювання швидкості АД найбільш доцільним є його частотне керування в розімкнутій системі електроприводу (рис. 2.3). У подібних системах частота f_1 і напруга живлення U_1 АД формуються пропорційно напрузі керування u_k в перетворювачі частоти (ПЧ) на базі автономного інвертора напруги. Для компенсації падіння напруги на внутрішніх опорах ПЧ і можливих коливань напруги його живлячої мережі в перетворювачах частоти як джерелах напруги прийнято використовувати внутрішні контури стабілізації вихідної напруги.

Для збереження постійності перевантажувальної здатності АД по моменту у функціональному перетворювачі (ФП) передбачається таке співвідношення між напругою завдання частоти u_f і напруги u_u на виході ПЧ, при якому забезпечується компенсація падіння напруги на активному опорі обмоток статора. Теоретично це співвідношення характеризується нелінійною функцією, коли u_u знижується в меншому ступені, ніж u_f .

Для більшості серійних перетворювачів частоти ця функція може бути лінеаризована шляхом вибору в статичній характеристиці ФП двох базових координат – u_{u1} при u_{f1} і u_{u2} при u_{f2} (рис. 2.4). Перша координата визначає завдання мінімального значення частоти f_1 і відповідної йому напруги U на виході ПЧ, при яких ще зберігається рівність співвідношень $U_1/f_1 = U_{1ном}/f_{1ном}$. Для АД загального призначення при діапазоні регулювання швидкості в розімкненій системі частотного управління до (8...10): 1 значення мінімальної частоти практично вибирається в межах (0,3...0,4) $f_{1ном}$.

Друга координата обирається з урахуванням зменшення тепловідводу загальмованого двигуна (в режимі динамічного гальмування) з наступних умов обмежень струму статора на рівні: $(0,7...0,8) I_{1ном}$.

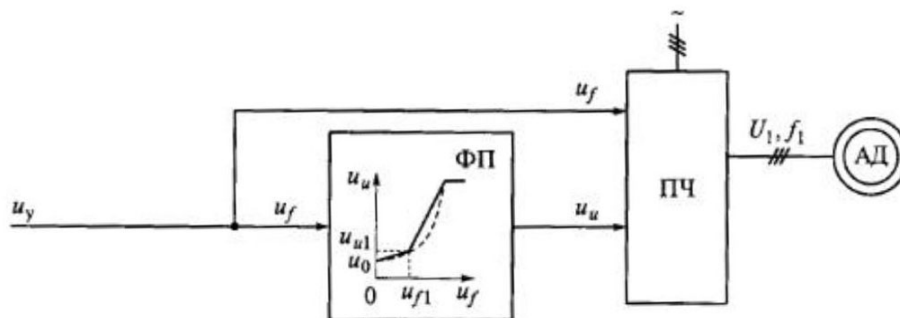


Рисунок 2.4 – Функціональна схема розімкнутої системи ПЧ-АД

Це відповідає встановленню вихідної напруги перетворювача частоти при $u_{f1} = 0$ на рівні $U_1 \cong (0,7...0,8) I_{1ном} R_1$, де R_1 – активний опір обмотки статора АД.

Реальне найменше значення вихідної частоти перетворювача і відповідне йому значення u_{f1} корисно вибирати з умови $f_{1min} \cong \omega_{0ном} p_n s_c / 2\pi$, при якому пусковий момент АД буде близьким до

моменту сил опору на валу двигуна. Тут s_c – ковзання АД при його статичному навантаженні. При подібному виборі зона нечутливості по сигналу керування швидкістю АД буде мінімальною і рух електроприводу почнеться практично одночасно з початком збільшення сигналу керування.

При вентиляторному навантаженні на валу АД, для якого $M_c \cong \omega^2$, співвідношення між u_f і u_u повинно забезпечувати закон керування, близький до постійності U_1/f_1^2 . На рис. 2.4 це співвідношення відбите у ФП штриховою лінією. Початкові значення частоти і напруги на виході ПЧ, які вибираються з тих же міркувань, що і при $M_c = \text{const}$, будуть при цьому помітно меншими за рахунок менших значень пускових моментів.

При регулюванні швидкості АД вище номінальної для привода механізмів, що мають в даному діапазоні швидкостей постійну потужність навантаження, напруга живлення АД зберігається рівною номінальному значенню. При цьому допустимий момент АД убиває в першому наближенні обернено пропорційно до збільшення частоти, а перевантажувальна здатність АД по моменту зменшується обернено пропорційно до частоти.

Для обмеження струмів і моментів АД при його пуску прийнято обмежувати темп зміни напруги керування u_y за рахунок включення в коло керування задатчика інтенсивності.

У статичному режимі розімкнена система частотного керування (рис. 2.4) з приведеними вище співвідношеннями U_1/f_1 практично забезпечує збереження номінальної перевантажувальної здатності АД в діапазоні зміни частоти не більш (8...10):1 при постійному навантаженні і (10...25):1 – при вентиляторному. При збереженні ж заданої точності регулювання швидкості АД діапазон її регулювання в розімкненій системі частотного керування значно менший, при постійному навантаженні і точності регулювання 10 % він не перевищує діапазону 3:1. Недоліком розімкненої системи частотного керування є і відсутність обмежень змінних

електроприводу (моментів, струмів, напруги) при можливих перевантаженнях з боку робочого механізму або відхиленнях напруги живлячої мережі.

2.5 Замкнуті системи частотного керування скалярного типу

Формування необхідних статичних і динамічних властивостей асинхронного частотно-регульованого електроприводу можливо лише в замкнутій системі регулювання його координат. Узагальнена функціональна схема подібної системи показана на рис. 2.5.

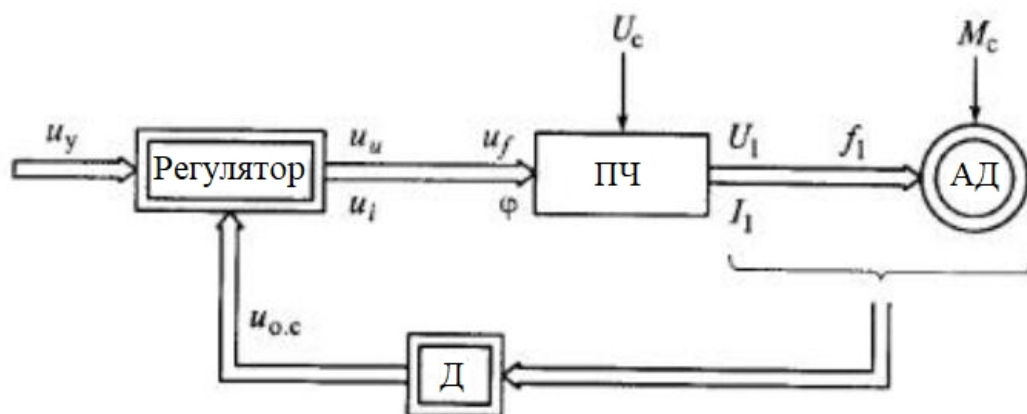


Рисунок 2.5 – Функціональна схема замкненої системи

ПЧ-АД при частотному керуванні скалярного типу

З функціональної схеми видно, що окрім АД і керованого перетворювача частоти (ПЧ) містить регулятори Р і датчики Д змінних електроприводу. Керуючими впливами u_y , на вході регуляторів можуть бути сигнали завдання будь-яких координат електроприводу – швидкості, кута повороту ротора АД, струму статора, магнітного потоку і тому подібне. Впливами, що обурюють, на електропривод можуть бути моменти сил опору

M_c на валу АД або коливання напруги мережі U_c , що живить електропривод. Вхідними сигналами датчиків є змінні АД, що доступні для безпосереднього їх вимірювання (частота, напруга і струм статора, швидкість ротора, магнітний потік у повітряному зазорі АД) або змінні, що визначаються розрахунковим шляхом за допомогою математичної моделі АД (ЕРС, потокозчеплення статора, ротора і т. п.). Вихідні сигнали регуляторів, що залежать від керуючих дій, сигналів зворотних зв'язків $u_{o,c}$ і прийнятих алгоритмів регулювання, є сигналами керування частотою u_f , вихідною напругою u_u і струмом u_i перетворювача частоти.

Розглянемо приклади замкнутих систем скалярного керування, що найбільше поширені в промислових електроприводах.

Варіант функціональної схеми системи частотного керування АД із зворотним зв'язком по струму статора, представлений на рис. 2.6. Тут сигнали i_{sa} і i_{sc} , що пропорційні миттєвим значенням струмів фаз А і С обмоток статора, з виходу датчиків струму ДСа і ДСс поступають у функціональний перетворювач струму ФПС, де формуються вихідні сигнали I_1 і I_{1c} , що пропорційні відповідно значенню струму статора і активній складовій цього струму. В вузлах $\sum_1$ і $\sum_2$ сумуються сигнали керування і зворотних зв'язків, що поступають з функціональних пристроїв А1, А2 і А3. Пристрій А4 забезпечує проходження сигналу I_1 на вхід А3 лише при його перевищенні на суматорі $\sum_3$ сигналу I_{1max} , що пропорційний діючому значенню максимально допустимого струму статора АД.

Призначення кожного з контурів зворотних зв'язків і їх вплив на властивість електроприводу доцільно розглянути окремо. Так, при дії лише позитивного зворотного зв'язку по струму з боку А1 по мірі збільшення моменту статичного навантаження АД і відповідного збільшення струму статора на вхід суматора $\sum_2$ поступає додатковий сигнал u_i , що збільшує сигнал u_u . В результаті по мірі збільшення струму статора збільшується і

вихідна напруга ПЧ. При цьому його вихідна частота, що визначається сигналом u_f , залишається постійною. Підвищення напруги на обмотках статора АД сприяє компенсації падіння напруги на повному їх опорі і, в результаті, збільшенню потоку намагнічування АД.

Ступінь компенсації визначається коефіцієнтом посилення k_1 кола позитивного зворотного зв'язку по струму. Очевидно, чим більше k_1 тим більше буде потік при тому ж абсолютному ковзанні. Межа збільшення k_1 визначається умовами стійкості замкнутої системи керування і допустимими значеннями потоку намагнічування і напруги живлення АД.

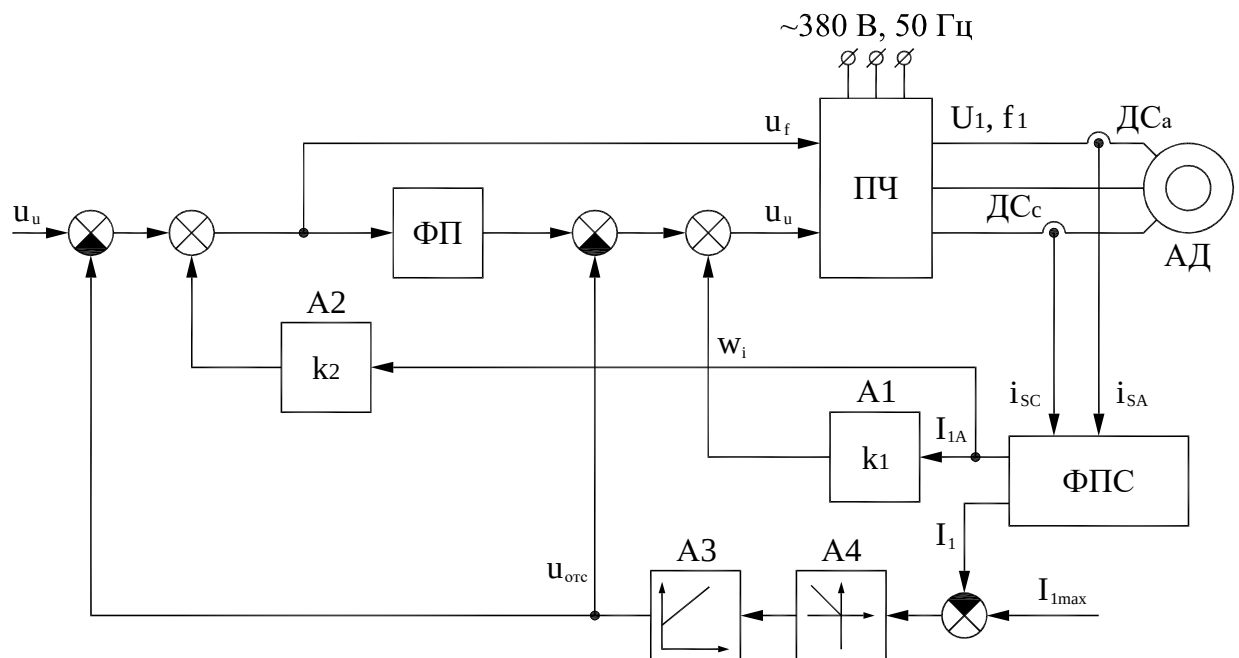


Рисунок 2.6 – Функціональна схема системи
«перетворювач частоти – асинхронний двигун»
зі зворотним зв'язком за струмом статора

По мірі зниження частоти живлення повний опір кола намагнічення і, отже, падіння напруги в статорі АД зменшуються. Тому для стабілізації і обмеження потоку намагнічення в замкнутій по повному струму системі

ступінь компенсації падіння напруги, тобто коефіцієнт k_1 треба зменшувати по мірі зниження частоти вихідної напруги ПЧ.

Подібний недолік відсутній при використанні зворотного зв'язку по активній складовій струму статора. Якщо в якості сигналу зворотного зв'язку прийняти активну складову струму статора, як показано на рис. 2.6, то постійність потокозчеплення статора зберігатиметься при незмінному коефіцієнті k_1 .

При частотному керуванні АД з подібним зворотним зв'язком по струму можлива реалізація механічних характеристик електропривода з підвищеною перевантажувальною здатністю по моменту і жорсткості, близькій до природної лише в невеликому діапазоні регулювання швидкості.

Вплив позитивного зворотного зв'язку по струму з боку пристрою А2 пов'язаний з одночасною дією на вихідну частоту і напругу ПЧ. За рахунок одночасного їх збільшення при зростанні навантаження на валу АД відповідно збільшується швидкість ідеального холостого ходу АД, забезпечуючи тим самим стабілізацію його швидкості, і зберігається постійність перевантажувальної здатності АД по моменту. Збільшення коефіцієнта посилення k_2 пристрою А2, що сприяє підвищенню жорсткості механічної характеристики АД, обмежене умовами стійкості замкнутої системи керування і допустимими значеннями частоти і напруги живлення АД.

Сукупність позитивних зворотних зв'язків по струму з використанням пристроїв А1 і А2 за рахунок стабілізації швидкості останніми дозволяє помітно підвищити жорсткість механічних характеристик АД і при постійному статичному навантаженні збільшити діапазон регулювання швидкості вниз від номінальної до 10:1. Перевага подібних систем полягає у відсутності тахогенератора на валу АД.

Для захисту перетворювача частоти і двигуна від перевантажень по струму використовується режим відсічення струму за допомогою суматора

Σ_3 і пристрою А4 (рис. 2.6). При $I_1 > I_{1\max}$ на вхід ПІ-регулятор струму відсічення АЗ поступає сигнал перевищення струму статора вище допустимого. Вихідний сигнал АЗ u_{omc} може впливати як на зменшення вихідної напруги ПЧ (вузол Σ_2), так і одночасно на зменшення частоти живлення АД (вузол Σ_1).

При дії тільки на вихідну напругу перетворювача, за умови, що регулятор АЗ має інтегральний канал регулювання, за рахунок негативного зворотного зв'язку по струму перетворювач ПЧ з джерела напруги переходить в режим джерела струму. Тоді при постійності струму статора АД за рахунок більшого коефіцієнта зворотного зв'язку регулятора АЗ (для ПІ-регулятор – нескінченно великого), ніж пристрою А1, при зниженні швидкості зменшуватиметься потік і момент двигуна, викликаючи перекидання механічної характеристики АД. Подібний режим роботи відсічення використовується лише спільно з одночасною дією на вихідну частоту перетворювача.

За рахунок сигналу від'ємного зворотного зв'язку по струму статора, що поступає на суматор Σ_1 , (сильнішого, ніж з боку пристрою А2) спільно із стабілізацією струму здійснюється зниження його частоти і, отже, швидкості ідеального холостого ходу АД. Тим самим забезпечується постійність магнітного потоку, абсолютного ковзання і, в результаті, моменту двигуна. Проте статична і динамічна точність стабілізації вказаних змінних обмежена умовами стійкості замкнутих контурів регулювання.

Збільшення діапазону регулювання за швидкістю АД можна отримати за рахунок введення в розглянуту систему керування від'ємного зворотного зв'язку за швидкістю. Функціональна схема подібної системи при живленні від ПЧ як джерела напруги приведена на рис. 2.7.

Тут канал від'ємного зворотного зв'язку за швидкістю включає тахогенератор ТГ як датчик зворотного зв'язку, вузол Σ_5 підсумовування

напруги керування швидкістю АД u_y і зворотного від'ємного зв'язку за швидкістю $u_{o.c}$, регулятор абсолютного ковзання А5, блок БО обмеження його вихідної напруги u_{pc} , а також вузол Σ_4 сумування напруги u_{pc} і результуючої напруги u_{y1} з виходу суматора Σ_1 .

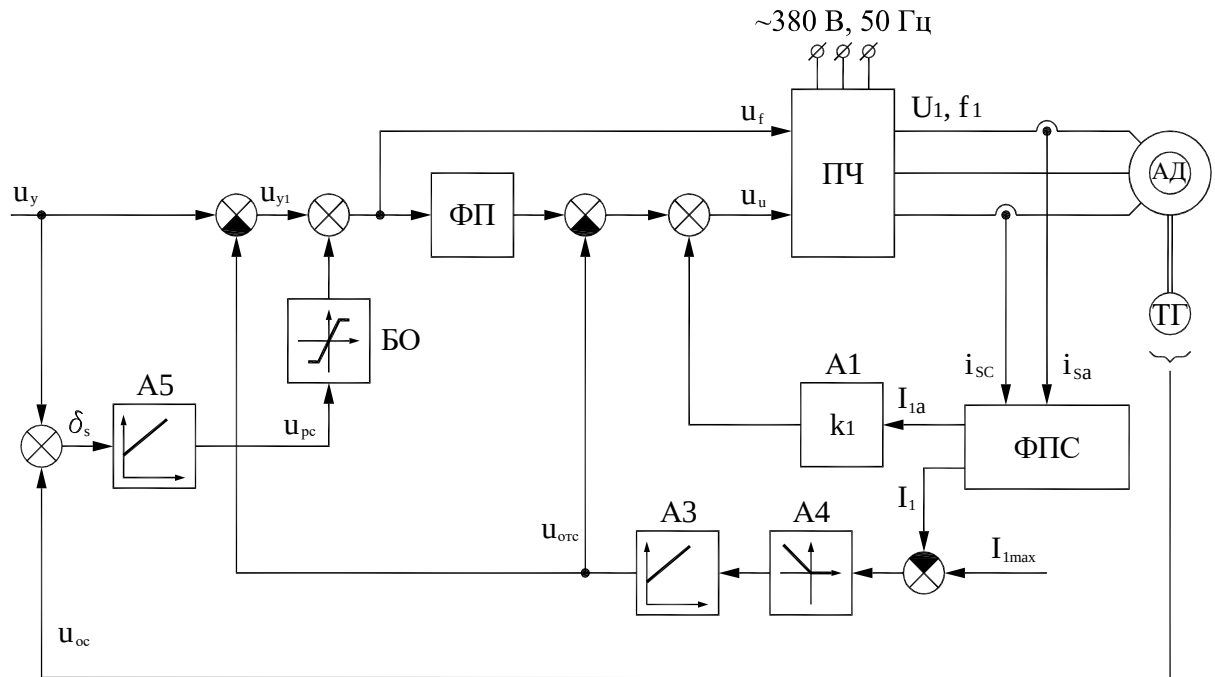


Рисунок 2.7 – Функціональна схема системи
«перетворювач частоти – асинхронний двигун»
зі зворотним зв'язком за швидкістю

По мірі збільшення навантаження на валу АД (від моменту M_1 до моменту M_2 на рис. 2.8) за рахунок зменшення швидкості АД і, як наслідок, сигналу $u_{o.c}$ збільшується сигнал розузгодження $\delta_s = u_y - u_{o.c} \equiv \omega_{00} - \omega \equiv s_a$, пропорційний абсолютному ковзанню двигуна. Тут ω_{00} – задана швидкість ідеального холостого ходу АД, що відповідає початковому сигналу керування u_y ; ω – реальна швидкість АД при заданому навантаженні на його валу. При $\delta_s \neq 0$ сигнал u_{pc} на виході регулятора ковзання, сумуючись

з сигналом $u_{y1} = u_y$ (при $I_1 < I_{1\max}$), за рахунок інтегральної складової передавальної функції регулятора А5 забезпечує такий приріст сигналу керування u_f перетворювачем частоти, при якому частота вихідної напруги ПЧ стає рівною $f_{10}(1 + s_a)$. Одночасно із зміною частоти за рахунок функціонального перетворювача ФП змінюється в порівнянні з початковою напругою U_{10} і вихідна напруга перетворювача U_1 (рис. 2.8, б). При цьому швидкість двигуна відновлюється до заданого значення ω_{00} , тобто забезпечується абсолютна жорсткість механічної характеристики АД (лінія 1 на рис. 2.8, а).

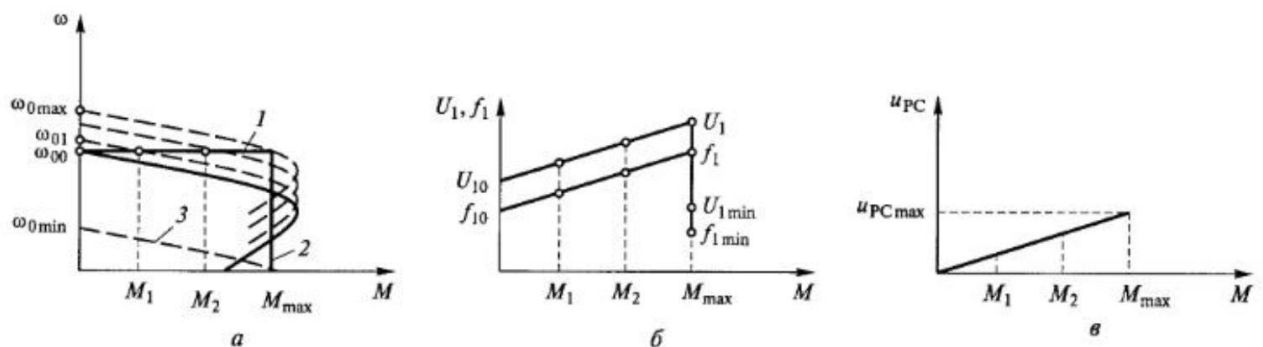


Рисунок 2.8 – Механічні характеристики (а), залежності вихідних напруг і частот перетворювача частоти (б), а також напруги регулятора швидкості (в) від моменту в системі «перетворювач частоти – асинхронний двигун» зі зворотним зв'язком за швидкістю

При перевищенні максимально допустимого струму статора АД ($I_1 < I_{1\max}$ і, відповідно, $M > M_{\max}$), регулятор ковзання має бути виключений з роботи, наприклад, шляхом обмеження його вихідного сигналу u_{pc} на рівні $u_{pc\max}$ (рис. 2.8, в). При цьому вступають в роботу від'ємні зворотні зв'язки по струму статора з регулятором АЗ, забезпечуючи за рахунок одночасного зменшення частоти і напругу статора АД до їх мінімальних значень $f_{1\min}$ і $U_{1\min}$ обмеження моменту АД при $\omega = 0$ на

рівні $M_{\max}$ (лінія 2 на рис. 2.8, а). Мінімальна синхронна швидкість двигуна $\omega_{0\min}$ буде відповідати значенням $f_{1\min}$ і $U_{1\min}$, а механічна характеристика – лінії 3 (рис. 2.8, а).

Стійкість і динамічні показники якості регулювання швидкості АД визначаються вибором параметрів пропорційної і інтегральної складової передатних функцій регуляторів А5 і А3.

2.6 Перетворювачі частоти з мікроконтролерами

Частотний перетворювач струму/напруги призначений для плавного регулювання основних величин, а також інших показників роботи обладнання. Він функціонує як «система частотного керування скалярного типу» і «система керування векторного типу» одночасно, використовуючи математичні моделі, запрограмовані у вбудованому мікроконтролері. Останній монтується в спеціальний щиток і є одним з вузлів інформаційної мережі системи автоматизації.

Блоковий контролер/перетворювач частоти є сучасним технічним пристроєм, в схемі з ними використовують дроселі та електромагнітні фільтри, що зменшують інтенсивність вхідних перешкод. Треба відзначити, що даному питанню приділено багато досліджень.

Розглянемо технічні аспекти застосування частотних перетворювачів. В даний час, асинхронний електродвигун став основним пристроєм в більшості електроприводів. Все частіше для керування ним використовується частотний перетворювач – інвертор з широтно-імпульсним регулюванням. Таке керування дає масу переваг, але і створює деякі проблеми вибору тих чи інших технічних рішень.

Розробка і виробництво широкої номенклатури потужних високовольтних транзисторних IGBT-модулів надала можливість реалізації

багатофазних силових перемикачів, керованих безпосередньо за допомогою цифрових сигналів. Програмовані обчислювальні засоби дозволили на входах комутаторів сформувати числові послідовності, що забезпечують сигнали частотного керування асинхронними електродвигунами. Розробка і масовий випуск однокристальних мікроконтролерів, що володіють великими обчислювальними ресурсами, зумовили можливість переходу до електроприводів з цифровими регуляторами.

Силові перетворювачі частоти, як правило, реалізують за схемою, що містить випрямляч на потужних силових діодах або транзисторах і інвертор (керований комутатор) на IGBT-транзисторах, що шунтуються діодами (рис. 2.9).

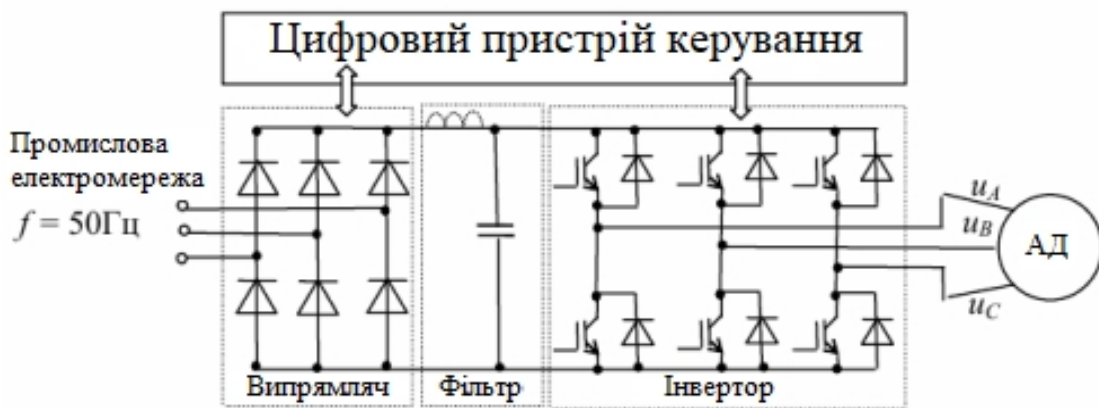


Рисунок 2.9 – Схема структури частотного перетворювача

Вхідний каскад випрямляє синусоїдну напругу, що подається від мережі, яка після згладжування за допомогою індуктивно-ємнісного фільтра служить джерелом електроживлення керованого інвертора, який виробляє при дії команд цифрового керування сигнал з імпульсною модуляцією, який формує в обмотках статора електродвигуна струми синусоїдальної форми з параметрами, що забезпечують необхідний режим роботи двигуна.

Цифрове керування силовим перетворювачем здійснюється за допомогою мікропроцесорних апаратних засобів і відповідним поставленим програмним забезпеченням задач. Обчислювальний пристрій в режимі

реального часу виробляє сигнали керування десятками модулів (інколи понад 50 модулів), а також робить обробку сигналів вимірювальних систем, які контролюють роботу електропривода.

Силові пристрої та керуючі обчислювальні засоби об'єднані в складі конструктивно оформленого промислового виробу, який називається частотним перетворювачем.

У промисловому обладнанні застосовуються два основних види частотних перетворювачів:

- фірмові перетворювачі для конкретних типів устаткування;
- універсальні перетворювачі частоти призначені для багатоцільового керування роботою асинхронного двигуна в заданих користувачем режимах.

Установку і контроль режимів роботи частотного перетворювача можна проводити за допомогою пульта керування, оснащеного екраном для індикації введеної інформації. У найпростішому варіанті скалярного регулювання частоти можна скористатися набором простих логічних функцій, наявних в заводських установках контролера, і вбудованим пропорційно-інтегрально-диференціальним регулятором (ПІД-регулятором).

Для здійснення більш складних режимів керування з використанням сигналів з датчиків зворотних зв'язків необхідно розробити структуру системи автоматичного керування і алгоритм, який слід запрограмувати за допомогою підключеного зовнішнього комп'ютера.

Більшість виробників випускає цілий ряд перетворювачів частоти, що відрізняються вхідними та вихідними електричними характеристиками, потужністю, конструктивним виконанням і іншими параметрами. Для підключення до зовнішнього обладнання (електромережі, двигуна) можуть бути використані додаткові зовнішні елементи: магнітні пускачі, трансформатори, дроселі.

Розглянемо типи сигналів керування. Необхідно робити відмінності між сигналами різних типів і для кожного з них використовувати окремий

кабель. Різні типи сигналів можуть впливати один на одного. На практиці такий поділ зустрічається часто, наприклад кабель від датчика тиску може бути підключений безпосередньо до перетворювача частоти.

На рис. 2.10 наведено рекомендований варіант підключення перетворювача частоти при наявності різних кіл та сигналів керування.

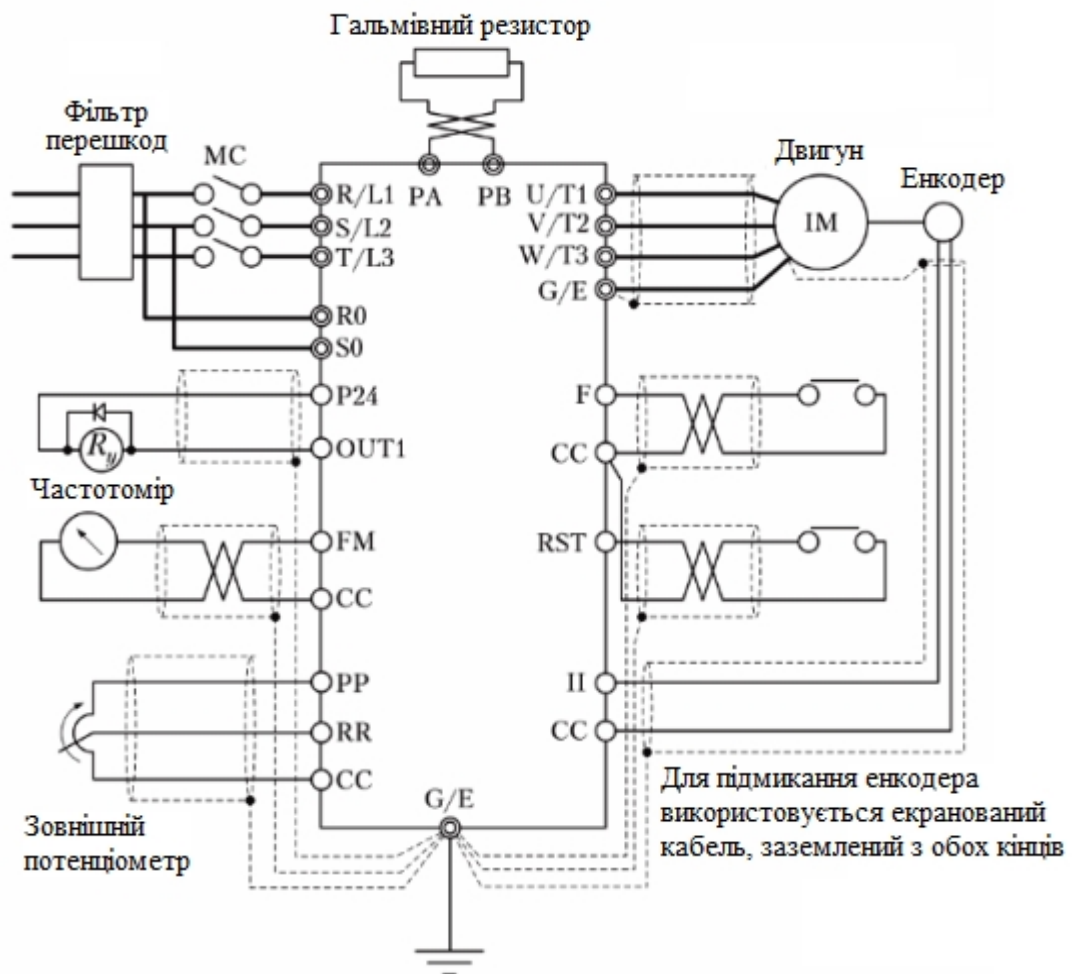


Рисунок 2.10 – Приклад підключення силових електрокіл і електрокіл керування перетворювача частоти

Можна виділити наступні типи сигналів:

– аналогові – сигнали напруги або струму (0...10 В, 0/4...20 мА), значення яких змінюється повільно або рідко, зазвичай це сигнали управління або вимірювання;

– дискретні сигнали напруги або струму (0...10 В, 0/4...20 мА), які можуть приймати тільки два рідко змінюються значення (високий або низький);

– цифрові (дані) – сигнали напруги (0...5 В, 0...10 В), які змінюються швидко і з високою частотою, зазвичай це сигнали портів RS232, RS485 і т.п.;

– релейні – контакти реле (0...220 В змінного струму) можуть включати індуктивні струми в залежності від підключеного навантаження (зовнішні реле, лампи, клапани, гальмівні пристрої і т.д.).

При виборі потужності частотного перетворювача необхідно спиратись не тільки на потужності електродвигуна, а й на номінальні струми і напруги перетворювача і двигуна. Справа в тому, що зазначена потужність частотного перетворювача відноситься тільки до експлуатації його зі стандартним 4-х полюсним асинхронним електродвигуном в стандартному застосуванні.

Реальні приводи мають багато аспектів, які можуть привести до зростання струмового навантаження привода, наприклад, під час пуску. У загальному випадку, застосування частотного привода дозволяє знизити струмові і механічні навантаження за рахунок плавного пуску. Наприклад, пусковий струм знижується з 600% до 100-150% від номінального.

Робота привода на зниженій швидкості. Необхідно пам'ятати, що хоча частотний перетворювач легко забезпечує регулювання по швидкості 10:1, але при роботі двигуна на низьких оборотах потужності власного вентилятора може не вистачати. Необхідно стежити за температурою двигуна і забезпечити примусову вентиляцію.

Електромагнітна сумісність. Оскільки частотний перетворювач – потужне джерело високочастотних гармонік, то для підключення двигунів потрібно використовувати екранований кабель мінімальної довжини. Прокладку такого кабелю необхідно вести на відстані не менше 100 мм від

інших кабелів. Це мінімізує наводки. Якщо потрібно перетнути кабелі, то перетин робиться під кутом 90 градусів.

Живлення від аварійного генератора. Плавний пуск, який забезпечує частотний перетворювач дозволяє знизити необхідну потужність генератора. Оскільки при такому пуску струм знижується в 4-6 разів, то в аналогічне число раз можна знизити потужність генератора. Але все одно, між генератором і приводом повинен бути встановлений контактор, керований від релейного виходу частотного привода. Це захищає частотний перетворювач від небезпечних перенапруг.

Живлення трифазного перетворювача від однофазної мережі. Трифазні частотні перетворювачі можуть отримувати живлення від однофазної мережі, але при цьому їх вихідний струм не повинен перевищувати 50% від номінального.

Економія електроенергії і грошей. Економія відбувається з кількох причин. По-перше, за рахунок зростання $\cos \varphi$ до значень 0,98, тобто максимум потужності використовується для здійснення корисної роботи, мінімум йде у втрати. По-друге, близький до цього коефіцієнт виходить на всіх режимах роботи двигуна. Без частотного перетворювача, асинхронні двигуни на малих навантаженнях мають $\cos \varphi = 0,3-0,4$. По-третє, немає необхідності в додаткових механічних регулюваннях (заслінках, дроселях, вентилях, гальмах і т.д.), все робиться електронним чином. При такому налаштуванні регулювання, економія може досягати 50%.

Синхронізація декількох пристроїв. Технічні аспекти застосування частотних перетворювачів. За рахунок додаткових входів керування частотного привода можна синхронізувати процеси на конвеєрі або задавати співвідношення зміни одних величин, в залежності від інших. Наприклад, поставити в залежність швидкість обертання шпинделя верстата від швидкості подачі різця. Процес буде оптимізований, тому що при збільшенні навантаження на різець, подача буде зменшена і навпаки.

Захист мережі від вищих гармонік. Для додаткового захисту, крім коротких екранованих кабелів, використовуються мережеві дроселі і шунтуючі конденсатори. Дросель, крім того, обмежує кидок струму при включенні.

Правильний вибір класу захисту. Для безвідмовної роботи частотного привода необхідний надійний тепловідвід. Якщо використовувати високі класи захисту, наприклад IP 54 і вище, то важко або дорого домогтися такого тепла. Тому, можна використовувати окремий шафа з високим класом захисту, куди ставити модулі з меншим класом і здійснювати загальну вентиляцію та охолодження.

Паралельне підключення електродвигунів до одного частотного перетворювача. З метою зниження витрат, можна використовувати один частотний перетворювач для керування декількома електродвигунами. Його потужність потрібно вибирати з запасом 10-15 % від сумарної потужності всіх електродвигунів. При цьому потрібно мінімізувати довжини моторних кабелів і дуже бажано ставити моторний дросель.

Більшість частотних перетворювачів не допускають відключення або підключення двигунів за допомогою контакторів під час роботи частотного привода. Це проводиться тільки через команду стоп привода.

Завдання функції регулювання. Для отримання максимальних показників роботи електропривода, таких як: коефіцієнт потужності, коефіцієнт корисної дії, перевантажувальна здатність, плавність регулювання, довговічність, потрібно правильно вибирати співвідношення між зміною робочої частоти і напруги на виході частотного перетворювача.

Функція зміни напруги залежить від характеру моменту навантаження. При постійному моменті, напруга на статорі електродвигуна має регулюватися пропорційно частоті (скалярне регулювання $U/f = \text{const}$). Для вентилятора, наприклад, інше співвідношення – $U/f^2 = \text{const}$. Якщо збільшуємо

частоту в 2 рази, то напругу потрібно збільшити в 4. Є приводи і з більш складними функціями регулювання.

Переваги використання регульованого електропривода з частотним перетворювачем. Крім підвищення ККД та енергозбереження такий електропривод дозволяє отримати нову якість керування. Це виражається у відмові від додаткових механічних пристроїв, що створюють втрати і знижують надійність систем: гальм, заслінок, дроселів, засувок, регулюючих клапанів і т.д. Гальмування, наприклад, може бути здійснено за рахунок зворотного обертання електромагнітного поля в статорі електродвигуна. Змінюючи тільки функціональну залежність між частотою і напругою, ми отримуємо інший привод, не змінюючи нічого в механіці.

Слід зауважити, що хоча частотні перетворювачі схожі один на одний, і освоївши один, легко розібратися з іншим, тим не менш, необхідно ретельно читати документацію. Деякі виробники накладають обмеження на використання своєї продукції, а при їх порушенні знімають вироби з гарантії.

РОЗДІЛ 3

ВИБІР ЕЛЕМЕНТІВ СИСТЕМИ, АНАЛІЗ І УЗАГАЛЬНЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

3.1 Вибір приводного електродвигуна дистильного насоса суднової опріснювальної установки

Для суднової опріснювальної установки типу «Д» модель ДЗМ потужність приводного електродвигуна дистильційного насоса становить 2,1 кВт.

В якості приводного двигуна дистильційного насоса обираємо асинхронний двигун RA100LA4 потужністю 2,2 кВт із двигунів серії RA, виробництво яких налагоджено останнім часом на Ярославському електротехнічному заводі і які є розвитком серії асинхронних машин типу 4А, що вироблялись раніше [12, 13]. Технічні дані двигуна RA100LA4 зведені у табл. 3.1.

Основні технічні характеристики двигуна RA100LA4 зведені в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Технічні характеристики асинхронного електродвигуна RA100LA4

Тип двигуна	P_n , кВт	Маса, кг	n_n , об/хв	η	$\cos \phi$	I_n , А	$\frac{I_k}{I_n}$	$\frac{M_n}{M_n}$	$\frac{M_{\max}}{M_n}$	$J_{\text{дв}}$, кг×м ²
RA100LA4	2,2	26	1435	0,845	0,83	4,8	6	2,0	2,9	0,0088

Визначимо параметри схеми заміщення асинхронної машини за паспортними даними двигуна.

Номінальне ковзання:

$$s_n = \frac{n_s - n_n}{n_s} = \frac{1500 - 1435}{1500} = 0,043,$$

де n_s – синхронна швидкість (швидкість обертання магнітного поля);

n_H – номінальна швидкість обертання двигуна.

Критичне ковзання:

$$s_k = (m_k + \sqrt{m_k^2 - 1}) s_H = (2,9 + \sqrt{2,9^2 - 1}) 0,043 = 0,244 ,$$

де $m_k = \frac{M_k}{M_H} = 2,9$ – відношення моменту критичного моменту до номінального моменту.

Визначимо номінальну кутову швидкість:

$$\omega_{\text{ном}} = \frac{2\pi n_{\text{ном}}}{60} = \frac{2 \cdot 3,142 \cdot 1435}{60} = 150,273 \text{ рад/с.}$$

Визначимо швидкість холостого ходу, номінальне ковзання і момент:

$$\omega_0 = \frac{2\pi f}{p} = \frac{2 \cdot 3,142 \cdot 50}{2} = 157,08 \text{ рад/с.}$$

Номінальний момент:

$$M_{\text{ном}} = \frac{P_H}{\omega_{\text{ном}}} = \frac{2,2 \cdot 10^3}{150,273} = 14,64 \text{ Н}\cdot\text{м.}$$

Критичний момент:

$$M_k = m_k M_{\text{ном}} = 2,9 \cdot 14,64 = 42,456 \text{ Н}\cdot\text{м.}$$

Конструктивний коефіцієнт

$$c_1 = 1 + \frac{L_{1s}}{L_m}.$$

Попередньо конструктивний коефіцієнт задається в діапазоні $c = 1,02 - 1,05$ 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 конструктивного коефіцієнта.

Приймаємо значення конструктивного коефіцієнта $c_1 = 1,03$.

Механічні втрати:

$$\Delta P_m = \sqrt{3} I_H U_H \cos \varphi_H - P_H = \sqrt{3} \cdot 4,8 \cdot 380 \cdot 0,83 \cdot 0,845 - 2,2 \cdot 10^3 = 15,747 \text{ Вт.}$$

Коефіцієнт в'язкого тертя:

$$B_m = \frac{\Delta P_m}{(2\pi n_H/60)^2} = \frac{15,747}{(2 \cdot 3,142 \cdot 1435/60)^2} = 6,973 \cdot 10^{-4}.$$

Опір статора знаходиться з виразу:

$$\begin{aligned} R_s &= \frac{3}{2} \frac{(U_H/\sqrt{3})^2 (1-s_H)}{c_1 (1+c_1/s_k) m_k (P_H + \Delta P_m)} = \\ &= \frac{3}{2} \cdot \frac{(380/\sqrt{3})^2 (1-0,043)}{1,03 \cdot (1+1,03/0,244) \cdot 2,9 \cdot (2,2 \cdot 10^3 + 15,747)} = 1,996 \text{ Ом.} \end{aligned}$$

Опір ротора:

$$R_r = \frac{1}{3} \frac{(P_H + \Delta P_m)}{(1-s_{\text{ном}}) \left(\frac{I_k}{I_H} \right)^2 I_H^2} = \frac{1}{3} \cdot \frac{(2,2 \cdot 10^3 + 15,747)}{(1-0,043) \cdot 6^2 \cdot 4,8^2} = 0,931 \text{ Ом.}$$

Індуктивність статора і ротора:

$$\begin{aligned} L_s \equiv L_r &= \frac{1}{2\pi f_H I_H} \frac{(U_H/\sqrt{3})}{\left(\sqrt{1-(\cos \varphi)^2} - \cos \varphi s_H/s_k \right)} = \\ &= \frac{1}{2 \cdot 3,142 \cdot 50} \cdot \frac{(380/\sqrt{3})}{4,8 \left(\sqrt{1-0,85^2} - 0,85 \cdot 0,053/0,22 \right)} = 0,461 \text{ Гн.} \end{aligned}$$

Індуктивність розсіювання статора і ротора:

$$\begin{aligned} L_{1s} \equiv L_{1r} &= \frac{1}{4\pi f_H} \sqrt{\left[(U_H/\sqrt{3}) / (i_k I_H) \right]^2 - (R_s + R_r)^2} = \\ &= \frac{1}{4 \cdot 3,142 \cdot 50} \sqrt{\left[(380/\sqrt{3}) / (6 \cdot 4,8) \right]^2 - (1,996 + 0,931)^2} = 0,355 \text{ Гн,} \end{aligned}$$

$$\text{де } i_k = \frac{I_k}{I_H} = 6.$$

Взаємоіндукція:

$$L_m = L_s - L_{1s} = 0,461 - 0,355 = 0,344 \text{ Гн.}$$

Перераховуємо конструктивний коефіцієнт:

$$c_1 = 1 + \frac{L_{1s}}{L_m} = 1 + \frac{0,355}{0,344} \approx 1,03.$$

Збіг прийнятого і розрахункового конструктивного коефіцієнта досягнуто. Отже, розрахунок можна вважати прийнятним.

Для побудови механічної характеристики електродвигуна скористаємося спрощеною формулою залежності моменту від ковзання:

$$M = \frac{2M_k}{\frac{s}{s_k} + \frac{s_k}{s}}.$$

В пакеті програм MathCAD можна записати наступні програмні операції:

$$s := 0.0001, 0.00015.. 1 \quad M(s) := \frac{2 \cdot M_k}{\frac{s}{s_k} + \frac{s_k}{s}}$$

В результаті отримаємо графік механічної характеристики для електродвигуна RA100LA4 (рис. 3.1).

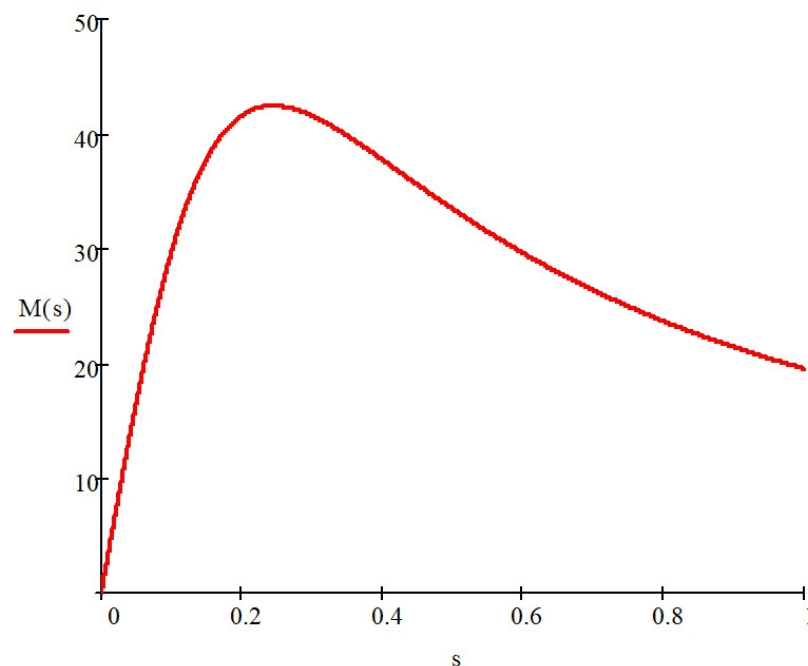


Рисунок 3.1 – Механічна характеристика приводного електродвигуна RA100LA4 дистиляційного насоса суднової опріснювальної установки

3.2 Режими керування електродвигуном

Залежно від характеру навантаження перетворювач частоти забезпечує різні режими керування електродвигуном, реалізуючи ту чи іншу залежність між швидкістю обертання електродвигуна і вихідною напругою.

Режим з лінійною залежністю між напругою і частотою ($U / f = \text{const}$) реалізується найпростішими перетворювачами частоти для забезпечення постійного моменту навантаження і використовується для керування синхронними двигунами або двигунами, підключеними паралельно. Разом з тим при зменшенні частоти, починаючи з деякого значення, максимальний момент двигуна починає падати. Для підвищення моменту на низьких частотах у перетворювачах передбачається функція підвищення початкового значення вихідної напруги, яка використовується для компенсації падіння моменту для навантажень з постійним моментом або збільшення початкового моменту для навантажень з високим пусковим моментом, таких, наприклад, як промисловий міксер. Для регулювання електроприводів насосів і вентиляторів використовується квадратична залежність напруга / частота ($U / f^n = \text{const}$). Цей режим, так само як і попередній, можна використовувати для керування паралельно підключеними двигунами.

Перераховані режими керування достатні для більшості застосувань. Разом з тим для підвищення якості керування приводом потрібне використання інших, більш досконалих методів керування. До них відносяться метод керування потокозчеплення (Flux Current Control – FCC) і метод без сенсорного векторного керування (Sensorless Vector Control – SVC). Обидва методи базуються на використанні адаптивної моделі електродвигуна, яка будується за допомогою спеціалізованого обчислювального пристрою, що входить до складу системи керування перетворювача.

Найбільш точне і ефективне керування забезпечує режим векторного керування без датчика зворотного зв'язку по швидкості (SVC). Якщо у двигунах постійного струму є дві обмотки (статорні, або збудження і роторна, або якірня), що дозволяє керувати роздільно швидкістю обертання (струм збудження) і електромагнітним моментом (струм якоря), то в двигунах змінного струму з коротко-замкнутим ротором є всього лише одна статорна обмотка, струм через яку формує магнітне поле збудження і визначає обертовий момент. З цим і пов'язані всі труднощі керування електродвигуном. Вихід залишається один: необхідно керувати амплітудою і фазою статорного струму, тобто його вектором. Однак для керування фазою струму, а значить, і фазою магнітного поля статора щодо обертового ротора необхідно знати точне положення ротора в будь-який момент часу. Ця задача може бути вирішена за допомогою датчика положення. У такій конфігурації привід змінного струму за якістю регулювання стає схожою з приводом постійного струму. Але у складі більшості стандартних електродвигунів змінного струму вбудовані датчики положення відсутні, оскільки їх введення неминуче веде до ускладнення конструкції двигуна і суттєвого підвищення його вартості.

Застосування ж сучасної технології векторного керування дозволяє обійти це обмеження шляхом використання математичної моделі адаптивної двигуна для передбачення положення ротора. При цьому система керування повинна з високою точністю вимірювати значення вихідних струмів і напруг, забезпечувати розрахунок параметрів двигуна (опір статора, значення індуктивності розсіювання і т.д.), точно моделювати теплові характеристики двигуна, погоджувати параметри двигуна з різними режимами його роботи, здійснювати великий обсяг обчислень з дуже високою швидкістю. Остання забезпечується застосуванням у складі системи керування перетворювача спеціалізованих інтегральних схем ASIC (Applications Specific Integrated Circuit).

Векторне керування без датчиків зворотного зв'язку по швидкості дозволяє забезпечити динамічні похибки, характерні для регульованого приводу з замкнутим зворотнім зв'язком. Однак повне керування моментом при швидкості, близької до нульової, неможливо без зворотного зв'язку за швидкістю. Такий зворотній зв'язок стає необхідною і для досягнення похибки регулювання менше 1%. Контур зворотного зв'язку при цьому легко реалізується за допомогою самого перетворювача частоти.

Разом з тим режим векторного керування не може бути використаний для синхронних або реактивних синхронних електродвигунів, для групи двигунів, включених паралельно, а також для двигунів, чия номінальна потужність менше половини потужності перетворювача частоти або перевищує її.

3.3 Перетворювачі частоти фірми Lenze

Перетворювачі частоти Lenze – це одне з основних напрямків виробництва і розвитку компанії в приводній техніці. Перетворювачі частоти Lenze використовуються разом зі стандартними електродвигунами трифазного струму, для зміни їх частоти обертання. Електрична потужність перетворюється при цьому в такий спосіб: випрямляч; проміжний контур напруги з конденсатором для акумулювання енергії; імпульсний інвертор IGBT з частотою перемикачів, наприклад, 8 кГц. Запуск імпульсного інвертора Lenze виконується мікрокомп'ютером, чиє програмне забезпечення відповідає за керування електронним приводом. Для перетворювача частоти є два способи керування двигуном – це керування характеристикою U/f (скалярне частотне керування) і векторний керування.

Деякі частотні перетворювачі для регулювання числа обертів також обробляють дані з датчика швидкості обертання. У цьому відношенні вони схожі з сервоприводами.

Перетворювач частоти може перетворити спочатку тільки рушійну силу від мережі до двигуна. На відміну від цього, генерація потужності виникає у випадках: гальмування двигуна; опускання підйомного приводу і розмотування рулонів. Ця енергія гальмування може бути перетворена в такий спосіб: через виконавчий орган гальмування (гальмівний транзистор і гальмівний опір) в тепло; через гальмування постійним струмом в двигуні; через з'єднання проміжних контурів декількох перетворювачів у рушійну енергію інших приводів у багато осьових пристроях і через мережевий перетворювач повернення енергії в електричну мережу.

Перетворювачі частоти Lenze SMD (Simple, compact and powerful - простий, компактний, потужний) - три кнопки для оператора і всього декілька параметрів дозволяють зробити введення в експлуатацію "дитячою грою". Параметри налаштування перетворювача частоти Lenze SMD можуть бути збережені в унікальному EPM (електронному програмованому модулі), скопійовані і перенесено на інші приводи. Lenze SMD поставляється з вбудованим захистом від перевантажень двигуна.

Мікропроцесор обчислює потужність двигуна, незалежно від швидкості виведення, захищає двигун і прибирає інші апаратні проблеми. Перетворювач частоти Lenze SMD має також функцію обмеження струму з частотою скорочень для стабільної роботи, чіткий світлодіодний дисплей і низький шум під час роботи (завдяки настройці частоти переключення до 10 кГц). Функції і кількість контрольних терміналів відповідають загальновідомим стандартам Lenze.

Перетворювачі частоти Lenze SMD розраховані на потужності від 0,25 до 22 кВт. Зовнішнє керування та програмування за допомогою можна здійснювати по RS485 (LECOM & Modbus), за допомогою CANopen зв'язку

(в тому числі через системну шину) або без зв'язку - в залежності від потреб системи.

Переваги і функціональність перетворювача частоти Lenze SMD: Функції: просте регулювання швидкості; розгін, гальмування, реверсування. Робочі режими: керування по U/f (лінійне або квадратичне). Інноваційний чіп пам'яті EPM-"мозок" SMD. Сумний чіп EPM може бути вилучено і запрограмований (або скопійований) поза частотного перетворювача і зберігає всі параметри налаштування SMD. Може бути використаний в інших SMD, скорочуючи час встановлення та програмування.

Надійність – висока перевантажувальна здатність: витримує перевантаження $150\% I_n$ протягом 60 секунд. Відповідність стандартам CE, UL.

Швидка установка забезпечується інтегрованим фільтром придушення радіоперешкод (ФПР), доступним керуванням і підключенням живлення, заощаджуючи час установки.

Швидке введення в дію можливе завдяки використанню вбудованої клавіатури і функціональних встановлених налаштувань для стандартних систем.

Перетворювачі частоти 8200SMD являються самою поширенішою серією частотних перетворювачів зі скалярним керуванням. Ця серія найбільш підходить для керування насосними установками.

У табл. 3.2 наведені номінальні характеристики перетворювачів частоти від 0,25 до 22 кВт, призначених для 3-фазних асинхронних двигунів з короткозамкнутим ротором і живленням від однофазної і трифазної мережі.

Таблиця 3.2 – Номінальні характеристики перетворювачів частоти 8200 SMD

Тип ESMD	Потужність	Живлення		Вихідний струм			
	кВт	Напруга, частота	Струм	I_r		I_{max} за 60 с	
			А	А ¹	А ²	А ¹	А ²
251 X2SFA	0,25	1/N/PE230/240 V (180 V...264 V) 50/60 Гц (48 Гц...62Гц)	3,4	1,7	1,6	2,6	2,4
371 X2SFA	0,37		5,0	2,4	2,2	3,6	3,3
551 X2SFA	0,55		6,0	3,0	2,8	4,5	4,2
751 X2SFA	0,75		9,0	4,0	3,7	6,0	5,5
152 X2SFA	1,5		14,0	7,0	6,4	10,5	9,6
222 X2SFA	2,2		18,0	9,5	8,7	14,3	13,1
371 L4TXA	0,37	3/PE 400/480 V (320 V...528 V) 50/60 Гц (48 Гц...62Гц)	1,6	1,3	1,2	2,0	1,8
751 L4TXA	0,75		3,0	2,5	2,3	3,8	3,5
112 L4TXA	1,1		4,3	3,6	3,3	5,4	5,0
152 L4TXA	1,5		4,8	4,1	3,8	6,2	5,7
222 L4TXA	2,2		6,4	5,8	5,3	8,7	8,0
302 L4TXA	3,0		8,3	7,6	7,0	11,4	10,5
402 L4TXA	4,0		10,6	9,4	8,6	14,1	12,9
552 L4TXA	5,5		14,2	12,6	11,6	18,9	17,4
752 L4TXA	7,5		18,1	16,1	14,8	24,0	22,0
113 L4TXA	11		27,0	24,0	22,0	36,0	34,0
153 L4TXA	15		35,0	31,0	29,0	47,0	43,0
183 L4TXA	18,5		44,0	39,0	36,0	59,0	54,0
223 L4TXA	22		52,0	46,0	42,0	69,0	64,0

Фотографія зовнішнього вигляду перетворювача частоти Lenze серії 8200 SMD продемонстрована на рис. 3.2.

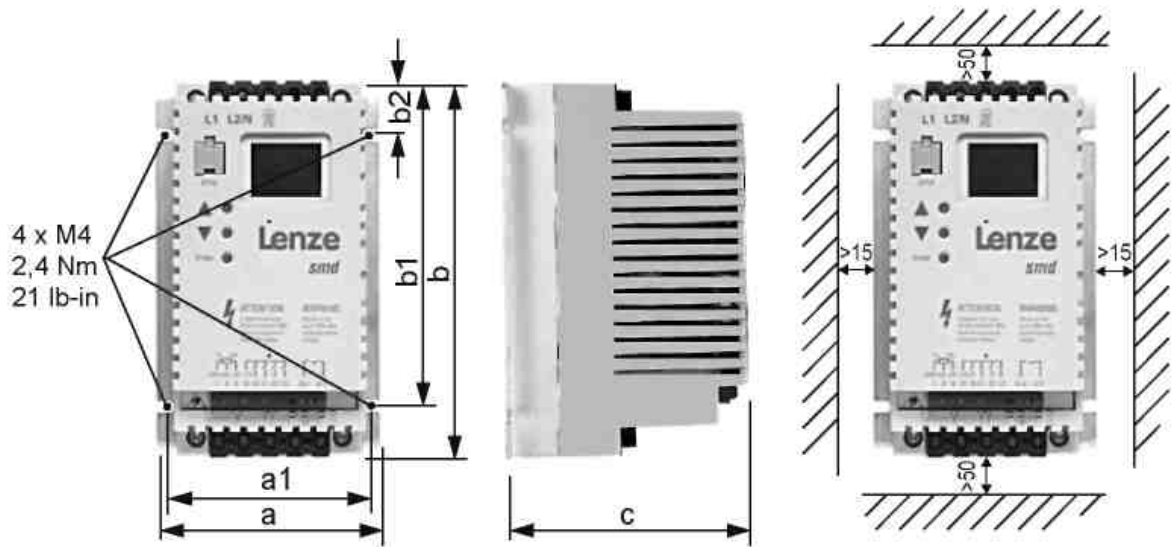


Рисунок 3.2 – Габаритні розміри перетворювача частоти Lenze серії 8200 SMD

Числові значення габаритних розмірів показані в табл. 3.3.

Таблиця 3.3 – Габаритні розміри перетворювачів частоти Lenze 8200 SMD

Тип ESMD...	a [мм]	a1 [мм]	b [мм]	b1 [мм]	b2 [мм]	c [мм]	m [кг]
251 X2SFA	93	84	146	128	17	83	0,5
371 X2SFA	93	84	146	128	17	83	0,5
551 X2SFA	93	84	146	128	17	92	0,6
751 X2SFA	93	84	146	128	17	92	0,6
152 X2SFA	114	105	146	128	17	124	1,2
222 X2SFA	114	105	146	128	17	140	1,4
371 L4TXA	93	84	146	128	17	100	0,6
751 L4TXA	93	84	146	128	17	120	0,8
112 L4TXA	93	84	146	128	17	146	1,0
152...222 L4TXA	114	105	146	128	17	133	1,4
302 L4TXA	114	105	146	128	17	171	1,7
402...552 L4TXA	114	105	146	128	17	171	1,8
752...113 L4TXA	146	137	197	140	17	182	3,2
153... 223 L4TXA	195	137	248	183	23	203	6,4

По наведеним технічним даним слід обрати модель частотного перетворювача, спираючись, головним чином, на потужність електродвигуна вентилятора.

3.3 Вибір перетворювача частоти

Для керування електровентилятором використовується перетворювач частоти фірми Lenze серії 8200 та типу ESMD 302 L4TXA. Цей тип перетворювача як найкраще підходить для керуванням таким типом виконавчих механізмів. Живиться він від однофазної мережі змінного струму напругою 180...264 В, і частотою 48...62 Гц.

Основні функції перетворювача частоти 8200 та типу ESMD 302 L4TXA:

- пуск і регулювання швидкості двигуна насосу;
- прискорення, сповільнення, зупинка;
- захист двигуна та перетворювача.

Враховуючи потужність приводного електродвигуна із довідкових даних вибираємо номінальні характеристики перетворювача частоти типу Lenze серії 8200 модель ESMD 302 L4TXA і вносимо ці данні до табл. 3.4.

Таблиця 3.4 – Номінальні характеристики перетворювача ESMD 302 L4TXA

Тип ESMD...	Потужність	Живлення		Вихідний струм			
	кВт	Напруга, частота	Струм	I_r		$I_{\max}$ за 60сек	
			А	А ¹	А ²	А ¹	А ²
302 L4TXA	3,0	3/PE 400/480V 50/60 Гц	8,3	7,6	7,0	11,4	11,5

В табл. 3.4 верхніми індексами позначено:

1 – Для номінальної напруги мережі і частоти комутації 4, 6, 8 кГц;

2 – Для номінальної напруги мережі і частоти комутації 10 кГц.

Габаритні розміри для цього перетворювача наведені в табл. 3.5.

Таблиця 3.5 – Габаритні розміри перетворювача ESMD 302 L4TXA

Тип ESMD...	a [мм]	a1 [mm]	b [mm]	b1 [mm]	b2 [mm]	c [mm]	m [кг]
302 L4TXA	114	105	146	128	17	171	1,7

На рис. 3.3 представлений загальний вигляд перетворювача частоти Lenze серії 8200 модель ESMD 302 L4TXA, а в таблиці 4.5 представленні умови експлуатації.



Рисунок 3.3 – Фотографія перетворювача частоти Lenze серії 8200
модель ESMD 302 L4TXA

Основні технічні характеристики обраного перетворювача зведені в табл. 3.6.

Таблиця 3.6 – Стандарти і умови експлуатації перетворювача ESMD 302 L4TXA

Ступінь захисту	IP 20;	
Схвалення	UL 508C – обладнання для перетворення енергії	
Макс. допустима довжина кабелю до двигуна	екранований: 50 м (з низьким ємнісним опором)	
	неекранований 100 м	
Фазна асиметрія вхідної напруги	$\leq 2\%$	
Вологість	$\leq 95\%$ без конденсації	
Вихідна частота	0...240 Гц	
Умови навколишнього середовища	Клас 3КЗ згідно EN 50178	
Температурний діапазон	транспортування	-25...+70 °C
	зберігання	-20...+70 °C
	експлуатація	0...+55 °C
Вібростійкість	стійкість до прискорення до 0,7 g 10...150Гц	
струм витоку на землю	>3,5 мА до захисного заземлення	
Заходи захисту від	короткого замикання, замикання на землю, підвищеної напруги, зупинки двигуна, перевантаження двигуна	
Експлуатація в комунальних мережах електроживлення	Повна потужність підключення до електромережі	
	< 0,5 кВт	Із мережевим дроселем
	0,5...1 кВт	Із активним фільтром
	> 1 кВт	Без додаткових заходів

Для правильної роботи перетворювача необхідно підключати контакти та клеми у відповідності з вимогами підключення. На рис. 3.4 позначене правильне підключення виводів. А – екранні затискачі; В – кабель керування; С – кабель двигуна з низьким ємнісним опором; D – електропровідна монтажна опора; E – фільтр (якщо необхідно).

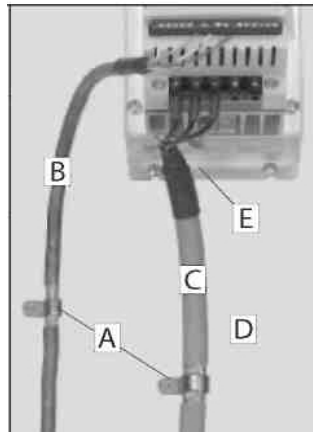


Рисунок 3.4 – Електричне підключення

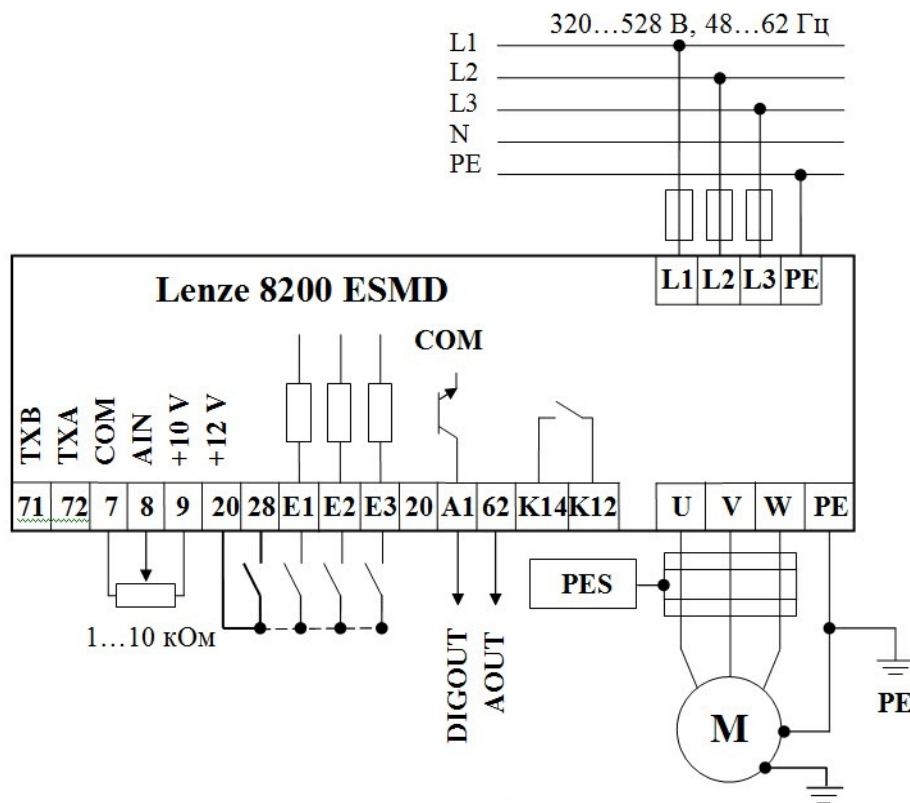


Рисунок 3.5 – Схема підключення перетворювача ESMD 302 L4TXA

На рис. 3.5 представлена схема підключення перетворювача частоти Lenze серії 8200 та типу ESMD 302 L4TXA.

Перетворювачі частоти підключають до живлячої мережі, вентилятора і до відповідних органів керування через спеціальні клеми, призначення кожної із клем обох перетворювачів представлені в табл. 3.7.

Таблиця 3.7 – Клеми керування ESMD 302 L4TXA

Клема	Характеристики для підключення перетворювача	
71*	RS485	Послідовний порт(клавіатура)
72*	RS485	Послідовний порт(клавіатура)
7	Опорна напруга	
8	Аналоговий вхід 0...+10 В (С34)	Вхідний опір: >50 кОм
9	Живлення потенціометра	+ 10 В, макс. 10 мА
20	Живлення дискретних входів	+ 12 В, макс. 20 мА
28	Дискретний вхід старт/стоп	LOW= Стоп HIGH= включення ходу
E1	Дискретний вхід, настройка за допомогою CE1 (функція JOG1)	HIGH= активація повільного ходу (JOG)
E2	Дискретний вхід настройка за допомогою CE2 (функція напряму обертання)	LOW = обертання за годинниковою стрілкою HIGH = проти годинникової стрілки
E3	Дискретний вхід настройка за допомогою CE3 (функція DCB)	HIGH = активація DCB
A1*	Конфігурація цифрових виходів з C17	DC24 V / 50mA, NPN
62*	Конфігурація аналогових виходів з C08 і C11	

Продовження таблиці 3.7 – Клеми керування ESMD 302 L4TXA

K12	Релейний вхід (нормально розімкнутий контакт)	Змінний струм: 250 В / 3 А
K14	настройка за допомогою C08 несправність (TRIP)	Постійний струм 24 В / 2 А...240 В / 0,22 А

LOW = 0...+3 В, HIGH = +12...+30 В, * – для трифазного виконання.

Програмування перетворювача частоти и налаштування всіх режимів роботи відбувається за допомогою вмонтованої клавіатури, приклад якої показана на рис. 3.6.

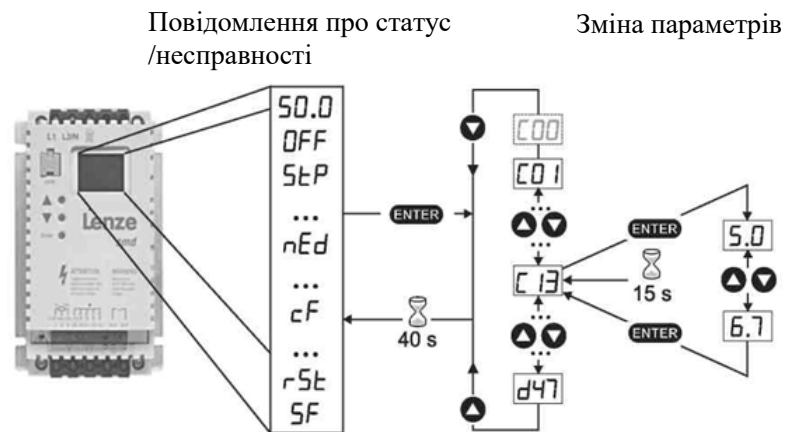


Рисунок 3.6 – Клавіатура налаштування перетворювача

Схема ПІ-регулятора перетворювача частоти Lenz серії 8200 та типу ESMD 302 зображена на рис. 3.7.

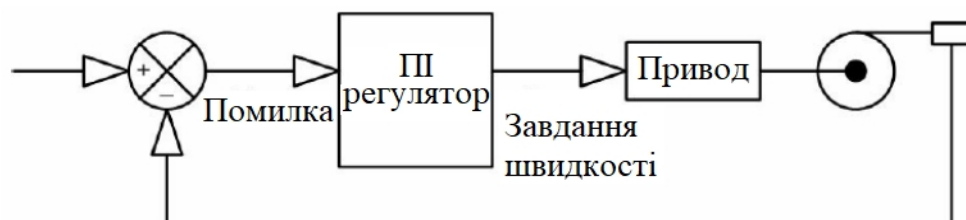


Рисунок 3.7 – Схема ПІ-регулятора перетворювача частоти Lenz серії 8200 та типу ESMD 302

До стандартних опцій перетворювачів Lenze серії ESMD додана функція ПІ-регулятора, так що вони можуть використовуватися для керування двигунами в системах з зворотним зв'язком.

ПІ-регулятор порівнює завдання з реальним значенням процесу, який контролюється. По різниці порівнюваних сигналів генерується сигнал керування спрямований на зменшення помилки відпрацювання завдання.

Завдання встановлюється параметром C81 або фіксованими швидкостями C37..C39.

Аналогова зворотний зв'язок реалізується через аналоговий вхід, клемма 8.

Пропорційна та інтегральна складові ПІ-регулятора служать для налаштування оптимальної поведінки привода.

Рекомендації по використанню перетворювачів частоти Lenze серії 8200 та типу ESMD 302. Для забезпечення безвідмовної роботи перетворювачів частоти, протягом усього терміну експлуатації, рекомендується використовувати наступне додаткове обладнання:

1. Швидкодіючі електронні запобіжники для захисту електронних частин перетворювачів. Допускається застосування автоматичних вимикачів, рекомендованих для використання заводом-виробником.

2. Мережеві дроселі, які захищають батареї конденсаторів випрямляча перетворювача від перегріву і виходу з ладу, продовжують термін роботи обладнання, захищають його від збою. Крім того, дроселі узгодять силовий джерело живлення і ланцюга перетворювача між собою.

3. Для додаткового захисту електродвигуна від теплового перегріву рекомендується використання датчика температури встановлюється в корпус електродвигуна. При роботі електродвигуна від перетворювача частоти в області частот нижче номінальних рекомендується використання незалежного вентилятора, для захисту двигуна від перегріву.

4. При застосуванні двигуна меншої потужності щодо перетворювача частоти, обов'язковим є обмеження вихідного струму перетворювача.

5. У разі самовільного відключення перетворювача з причини якої-небудь забороняється повторно включати перетворювач до усунення несправності.

У разі повторного відключення з цієї ж причини (після усунення несправності) необхідно звернутися до фірми постачальника.

3.4 Синтез структури і розрахунок регуляторів системи частотного керування скалярного типу

Скалярний принцип частотного керування є найпоширенішим в асинхронному електроприводі [6, 7, 14]. Йому властива технічна простота виміру й регулювання змінних асинхронного двигуна, а також можливість побудови розімкнутих систем керування швидкістю.

Формування необхідних статичних і динамічних властивостей асинхронного частотно-регульованого електропривода можливо лише в замкнутій системі регулювання його координат. Узагальнена функціональна схема подібної системи (рис. 3.8) крім асинхронного двигуна й керованого перетворювача частоти (ПЧ) містить регулятори Р и датчики Д змінних електропривода.

Система частотно-керованого електропривода нелінійна, тому аналітичний розрахунок регуляторів може бути виконаний досить наближено.

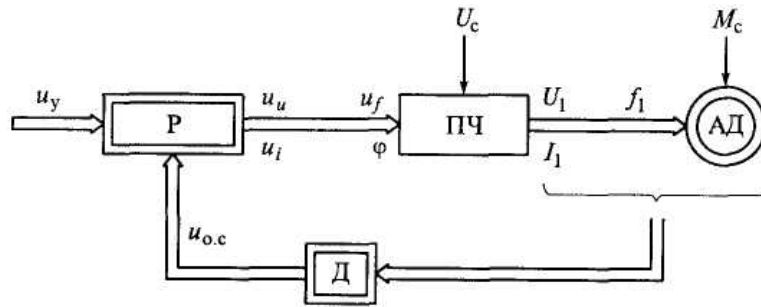


Рисунок 3.8 – Функціональна схема замкнутої системи ПЧ-АД
зі скалярним керуванням

На рис. 3.9 зображено структурну схему лінеаризованої системи, функціональна схема якої приведена на рис. 2.7, при роботі асинхронного двигуна на ділянці механічної характеристики в межах значень абсолютного ковзання $s_a \leq s_k$. На схемі прийняті наступні позначення:

β – модуль жорсткості лінеаризованої механічної характеристики АД :

$$\beta = \frac{2M_k}{\omega_{\text{онно}} s_k};$$

$$\beta = \frac{2 \cdot 42,456}{150,273 \cdot 0,244} = 2,319.$$

T_e – еквівалентна електромагнітна постійна часу електрокіл статора та ротора АД, визначена по формулі:

$$T_e = \frac{1}{\omega_{\text{оел.но}} s_k},$$

де $\omega_{\text{оел.ном}}$ – кутова швидкість електромагнітного поля асинхронного двигуна при його номінальній частоті живлення $f_{1\text{нно}} = 50 \text{ Гц}$ ($\omega_{\text{оел.но}} = 2\pi f_{1\text{нно}} = 314,2 \text{ с}^{-1}$).

$$T_e = \frac{1}{314,2 \cdot 0,244} = 0,013 \text{ с.}$$

Для асинхронних двигунів загальнопромислового виконання $s=0,05...0,5$ (менші значення характерні для потужних двигунів), $T_e=(0,006...0,06)$ с;

T_m – електромеханічна постійна часу двигуна

$$T_m = \frac{J}{k_\omega} = \frac{J}{\beta},$$

де J – зведений момент інерції двигуна.

$$T_m = \frac{0,0088}{2,319} = 3,794 \cdot 10^{-3} \text{ с.}$$

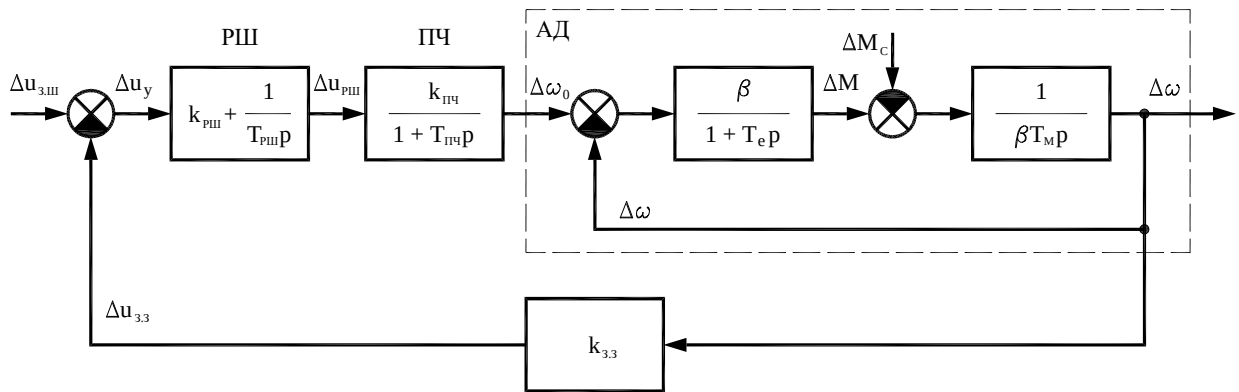


Рисунок 3.9 – Спрощена структурна схема системи ПЧ –АД зі зворотним зв'язком по швидкості

$k_{пч}$ – передавальний коефіцієнт перетворювача частоти (ПЧ).

$$k_{пч} = \frac{\Delta\omega_0}{\Delta u_{рш}} = \frac{2\pi\Delta f_1}{p_n \Delta u_{рш}},$$

де $p_n = 2$ – кількість пар полюсів двигуна (синхронна частота ротора 1500 об/хв).

При роботі АД в зоні частот $f_1 \leq f_{1ном} = 50$ Гц і номінальному сигналі

керування перетворювачем $u_{у.ПЧном}$ співвідношення $\frac{\Delta f_1}{\Delta u_{рш}} = \frac{f_1}{u_{у.ПЧном}}$;

$$k_{\text{пч}} = \frac{2 \cdot 3,142 \cdot 50}{2 \cdot 10} = 15,708.$$

$T_{\text{пч}}$ – постійна часу ланцюга керування ПЧ, що при високих частотах модуляції вихідної напруги промислових ПЧ (2...50 кГц) не перевищує 0,001 с.

Передавальна функція ПІ-регулятора швидкості

$$W_{\text{рш}}(p) = \frac{\Delta u_{\text{рш}}}{\Delta u_y} = k_{\text{рш}} + \frac{1}{T_{\text{рш}} p} = \frac{k_{\text{рш}} T_{\text{рш}} p + 1}{T_{\text{рш}} p}.$$

Передавальна функція ланцюга зворотного зв'язка за швидкістю двигуна:

$$W_{3.3}(p) = \frac{\Delta u_{3.3}}{\Delta \omega} = k_{3.3}.$$

При номінальному сигналі керування електроприводом, рівному $u_{3.\text{ном}}$, і відповідній йому номінальній швидкості асинхронного двигуна:

$$k_{3.3} = \frac{u_{3.\text{ном}}}{\omega_{\text{ном}}}.$$

$$k_{3.3} = \frac{1}{150,273} = 0,0067.$$

У відповідності зі структурною схемою асинхронного двигуна його результуюча передавальна функція стосовно відхилення $\Delta \omega_0$:

$$W_d(p) = \frac{\Delta \omega}{\Delta \omega_0} = \frac{1}{T_e T_m p^2 + T_m p + 1}.$$

При $T_m \geq 4T_e$ передавальна функція асинхронного двигуна (коливальна ланка) може бути представлена у вигляді двох аперіодичних ланок:

$$W_d(p) = \frac{1}{(T_{01} p + 1)(T_{02} p + 1)},$$

де

$$\frac{1}{T_{01}} = \frac{1}{2T_e} \left(1 + \sqrt{1 - \frac{4T_e}{T_m}} \right); \quad \frac{1}{T_{02}} = \frac{1}{2T_e} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{4T_e}{T_m}} \right).$$

Приймаємо $T_m = 4T_e = 4 \cdot 0,013 = 0,052$, тоді

$$T_{01} = \frac{1}{\frac{1}{2T_e} \left(1 + \sqrt{1 - \frac{4T_e}{T_m}} \right)} = \frac{1}{\frac{1}{2 \cdot 0,013} \left(1 + \sqrt{1 - \frac{4 \cdot 0,013}{0,052}} \right)} = 0,026 \text{ с};$$

$$T_{02} = \frac{1}{\frac{1}{2T_e} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{4T_e}{T_m}} \right)} = \frac{1}{\frac{1}{2 \cdot 0,013} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{4 \cdot 0,013}{0,052}} \right)} = 0,026 \text{ с}.$$

Якщо віднести постійні T_{02} і $T_{пч}$ до малих постійних, що не компенсуються і в якості оцінки їхнього впливу прийняти

$$T_\mu = T_{02} + T_{пч} = 0,026 + 0,001 = 0,027 \text{ с},$$

то при настроюванні електропривода на модульний оптимум постійна інтегрування й коефіцієнт передачі пропорційної частини регулятора РС визначаються наступним чином:

$$T_{рш} = k_{з.з} k_{пч} a_\mu T_\mu;$$

$$T_{рш} = 0,067 \cdot 15,708 \cdot 1 \cdot 0,027 = 0,028 \text{ с};$$

$$k_{рш} = \frac{T_{01}}{T_{рш}}.$$

$$k_{рш} = \frac{0,026}{0,028} = 0,921.$$

3.5 Побудова перехідних процесів за швидкістю

Вивчення електромагнітних перехідних процесів в асинхронному двигуні має теоретичне і практичне значення, оскільки виключення з розгляду їх впливу змінює дійсне представлення про характер перехідних процесів в асинхронному електроприводі. Дослідження показують, що максимальні значення перехідного моменту можуть суттєво перевищувати номінальний момент двигуна при пуску в 2-4 рази, при реверсуванні в 8-15

разів, що слід враховувати при аналізі властивостей конкретного електроприводу.

MATLAB – це високопродуктивна мова для технічних розрахунків. Вона містить у собі обчислення, візуалізацію і програмування у зручному вигляді, де задачі й розв’язки виражаються у формі, близькій до математичної. Типовим використанням MATLAB є математичні обчислення; створення алгоритмів; моделювання; аналіз даних, дослідження і візуалізація; наукова й інженерна графіка; розробка додатків, зокрема створення графічного інтерфейсу.

Simulink – це інтерактивна система для моделювання динамічних систем. Вона являє собою середовище, що дозволяє моделювати процес з переміщенням блоків та їх маніпуляцією для побудови перехідних процесів за структурною схемою. Simulink працює з лінійними, нелінійними, безперервними, дискретними, багатомірними системами.

На рис. 3.10 представлено схему для моделювання у програмі Simulink, за якою побудовано графік перехідного процесу – рис. 3.9. Цей перехідний процес побудований за допомогою розрахованих постійних часу та коефіцієнтів.

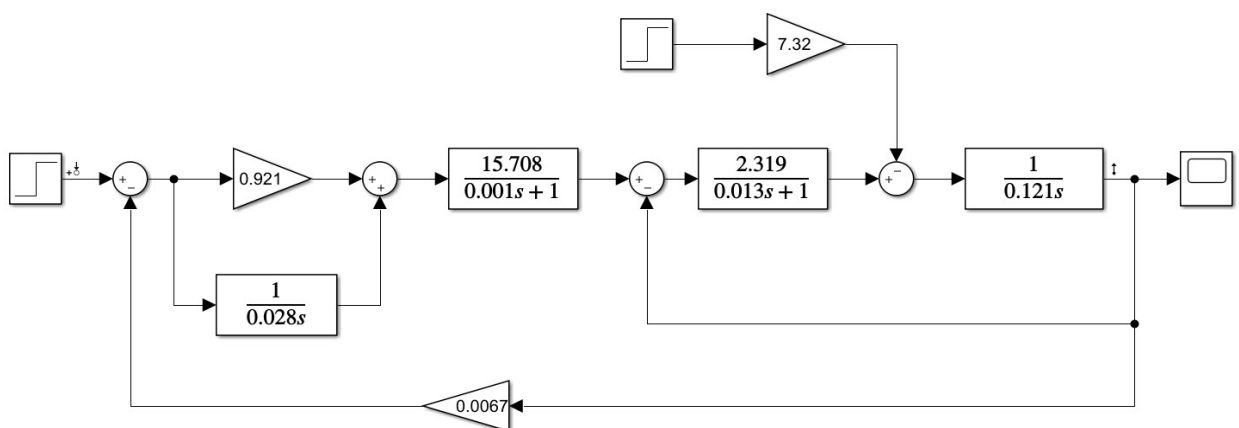


Рисунок 3.10 – Схема моделювання у програмі Simulink
при $k_{рш}=0,921$; $T_{рш}=0,028$ с

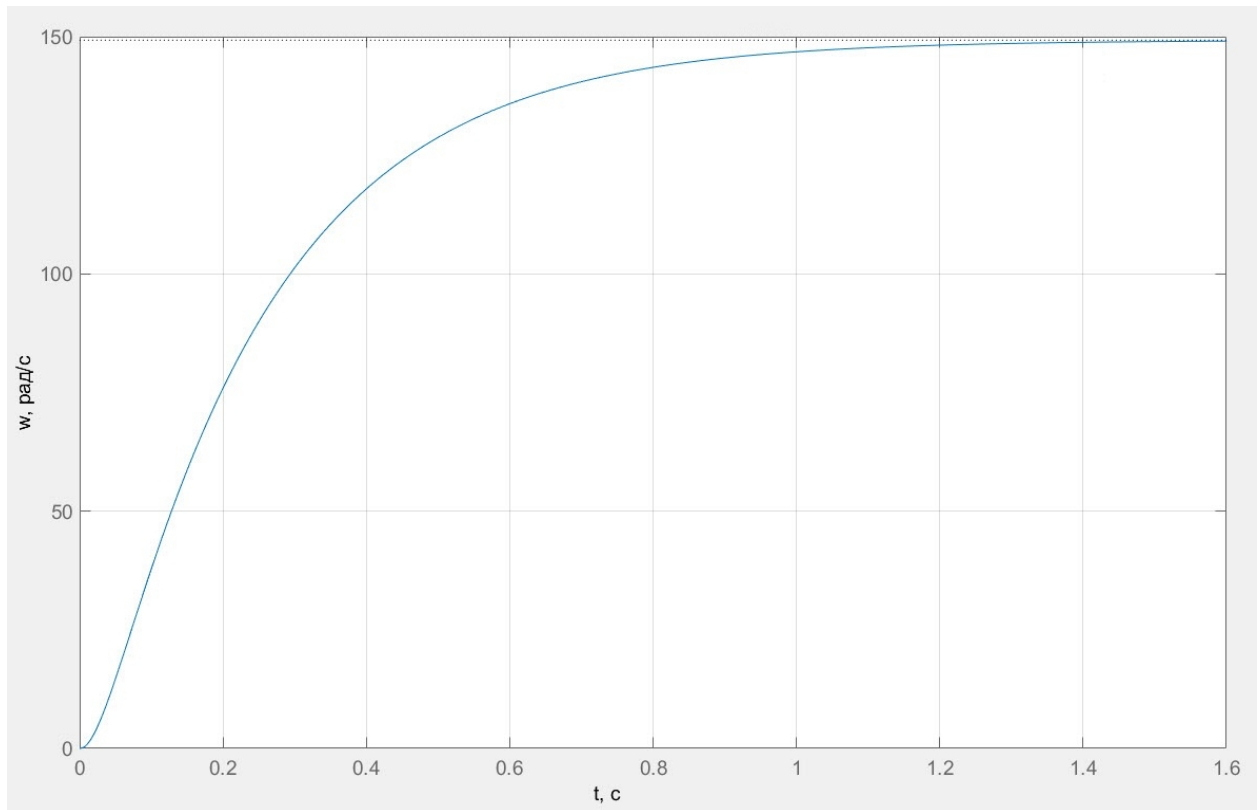


Рисунок 3.11 – Графік перехідного процесу за швидкістю
при $k_{рш}=0,921$; $T_{рш}=0,028$ с

Перехідний процес (рис. 3.11) побудовано при наступних параметрах регулятора швидкості: при $k_{рш}=0,921$; $T_{рш}=0,028$ с. З даного графіка видно, що час перехідного процесу становить $t_{пш}=1,6$ с, а перерегулювання $\sigma=0$ %.

Побудуємо ще перехідний процес при іншому значенні коефіцієнта передачі пропорційної частини ПІ-регулятора швидкості $k_{рш}$.

На рис. 3.12 представлено схему для моделювання у програмі Simulink і на рис. 3.13 відповідний їй графік перехідного процесу при $k_{рш}=9,21$; $T_{рш}=0,028$ с.

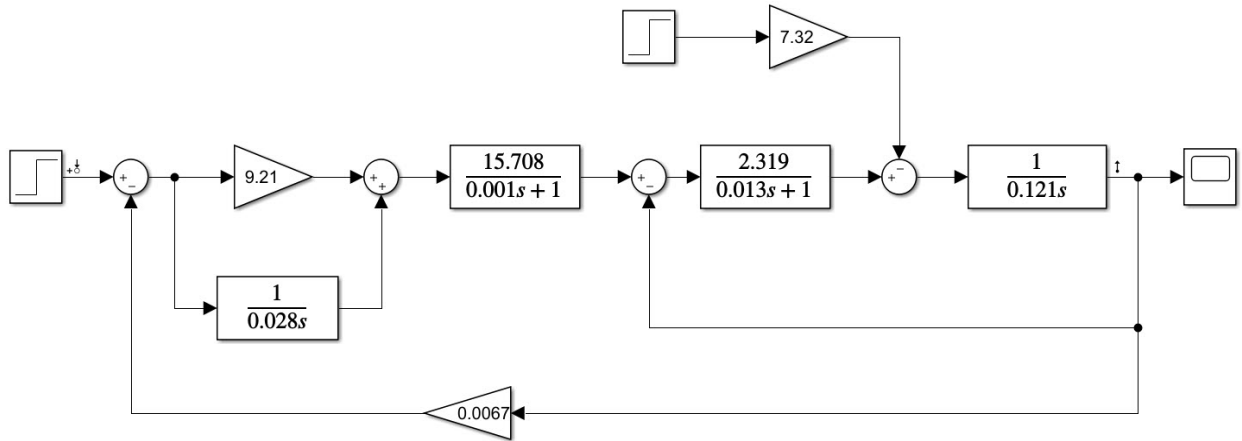


Рисунок 3.12 – Схема моделювання у програмі Simulink
при $k_{рш}=9,21$; $T_{рш}=0,028$ с

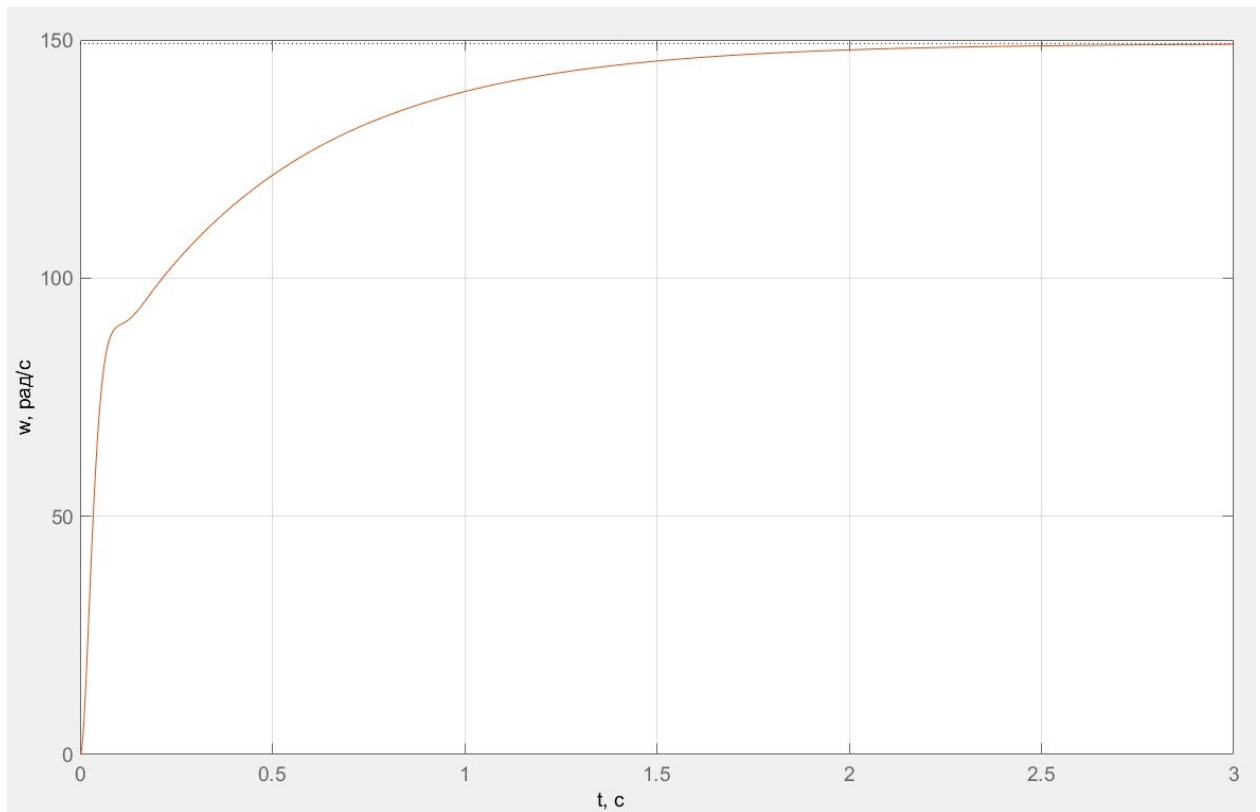


Рисунок 3.13 – Графік перехідного процесу за швидкістю
при $k_{рш}=9,21$; $T_{рш}=0,028$ с

Перехідний процес (рис. 3.13) побудовано при наступних параметрах регулятора швидкості: при $k_{рш}=9,21$; $T_{рш}=0,028$ с. З даного графіка видно, що

час перехідного процесу збільшився і становить $t_{\text{пн}}=3$ с, перерегулювання $\sigma=0$ %.

Слід зазначити, що обидва графіки перехідних процесів відповідають сучасним вимогам щодо показників якості керування. Проаналізувавши результати моделювання, обираємо графік з кращим перехідним процесом на рис. 3.11 з відповідними налаштуваннями регулятора та отриманими показниками якості керування.

РОЗДІЛ 4

АНАЛІЗ ПИТАНЬ ЗАПОБІГАННЯ ЗАБРУДНЕННЮ З СУДЕН ЗА МІЖНАРОДНОЮ КОНВЕНЦІЄЮ MARPOL-73/78

4.1 Загальні питання Міжнародної конвенції запобігання забрудненню з суден MARPOL-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.

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.

Статтею 6 Конвенції визначаються виявлення порушень і забезпечення виконання Конвенції:

1. Сторони Конвенції співпрацюють у виявленні порушень і забезпеченні виконання положень цієї Конвенції, використовуючи усі відповідні і практично доступні засоби виявлення і постійного спостереження за навколишнім середовищем, а також відповідні способи передачі повідомлень і збору доказів.

2. Судно, до якого застосовується ця Конвенція, у будь-якому порту або віддаленому від берега терміналі сторони-підписанта може бути піддано інспектуванню посадовими особами, призначеними або уповноваженими такою стороною-підписантом, щоб перевірити, чи не зробило таке судно скидання шкідливих речовин на порушення положень правил. Якщо в результаті інспектування буде виявлене порушення положення Конвенції, то адміністрації надсилається про це повідомлення для вжиття відповідних заходів.

3. Кожна сторона-підписант надає адміністрації докази, якщо такі є, того, що судно на порушення положень правил зробило скидання шкідливих речовин або стоків, що містять такі речовини. Якщо це практично можливо, компетентна влада цієї сторони-підписанта повідомляє капітана судна про передбачуване порушення.

4. Після отримання таких доказів адміністрація проводить розслідування справи і може просити іншу сторону-підписант надати додаткові або більш переконливі докази передбачуваного порушення. Якщо адміністрація переконається в наявності достатніх доказів, що дозволяють порушити переслідування відносно передбачуваного порушення, вона дає розпорядження про порушення такого переслідування відповідно до свого

законодавства якомога швидше. Адміністрація без зволікання інформує про вжиті нею заходи стороною-підписанта, що повідомила про передбачуване порушення, а також організацію.

Сторона може піддати інспектуванню судно, до якого застосовується Конвенція, коли воно заходить у порти або віддалені від берега термінали, що знаходяться під її юрисдикцією, якщо від іншої сторони-підписанта отримано прохання про таке інспектування разом з достатніми доказами того, що це судно зробило в якому-небудь місці скидання шкідливих речовин або стоків, що містять такі речовини. Доповідь про таке інспектування надсилається стороні-підписанту, що просила про інспектування, і адміністрації для того, щоб можна було вжити відповідні заходи відповідно до положень цієї Конвенції.

Питанням необґрунтовані затримки суден присвячена стаття 7 Конвенції:

- при застосуванні статей 4, 5 і 6 цієї Конвенції вживаються всі можливі заходи для того, щоб уникнути необґрунтованої затримки судна або необґрунтованої відстрочки його відходу.

- будь-яке судно, що було необґрунтовано затримане або відхід якого був необґрунтовано відстрочений на підставі статей 4, 5, 16 цієї Конвенції, має право на відшкодування будь-яких понесених у зв'язку з цим збитків або шкоди.

Повідомлення про інциденти, пов'язані з скиданням шкідливих речовин:

- повідомлення про інцидент передається без затримки й якомога більш повному обсязі відповідно до положень протоколу I цієї Конвенції.

- кожна сторона-підписант Конвенції:

- а) вживає всіх необхідних заходів, щоб відповідна посадова особа або організація одержували й аналізували всі повідомлення про інциденти;

- б) повідомляє організації повні дані про вжиття таких заходів для

надсилання іншим сторонам і державам – членам організації.

Коли сторона-підписант одержує повідомлення то, така сторона без затримки передає його адміністрації судна, з яким відбувся інцидент і будь-якій іншій державі, яку може це торкатися.

Кожна сторона Конвенції зобов'язується дати інструкції своїм суднам і літакам морської інспекції та іншим відповідним службам повідомляти своїм владам про будь-який інцидент, згаданий в протоколі I цієї Конвенції. Така сторона, якщо вона вважатиме за потрібне, повідомляє про це також організацію і будь-яку іншу зацікавлену сторону.

Будь-який спір між двома або декількома сторонами Конвенції щодо тлумачення або застосування цієї Конвенції, якщо врегулювання його шляхом переговорів між такими сторонами виявилось неможливим і, якщо тільки ці сторони не домовляться про інше, передається на прохання кожної з них на розгляд арбітражу, як це передбачено в протоколі II цієї Конвенції.

Сторони Конвенції зобов'язуються надсилати організації:

а) тексти законів, наказів, декретів, правил та інших актів, виданих ними з різних питань щодо застосування цієї Конвенції;

б) список неурядових організацій, уповноважених від їхнього імені займатися питаннями проектування, конструкції й устаткування суден, що перевозять шкідливі речовини відповідно до положень правил;

в) достатня кількість зразків свідоцтв, виданих ними відповідно до положень правил;

г) перелік прийомних пристроїв із вказівкою їх місцезнаходження, пропускної здатності, наявних пристосувань та інших характеристик;

д) офіційні доповіді або огляди офіційних доповідей, що відображають результати застосування цієї Конвенції;

е) щорічна статистична доповідь про фактично накладені за порушення цієї Конвенції санкції, складена за розробленою організацією єдиною формою.

Організація повідомляє сторони про одержання нею будь-якої інформації відповідно до цієї статті і направляє всім сторонам будь-яку інформацію.

Під час аварії із суднами:

– Кожна адміністрація зобов'язується проводити розслідування будь-якої аварії, що трапилася з будь-яким з її суден, які підпадають під положення правил, якщо такою аварією морському середовищу заподіяна значна шкода.

– Кожна сторона Конвенції зобов'язується передавати організації інформацію про результати такого розслідування, якщо вона вважає, що така інформація може сприяти визначенню того, які зміни було б бажано внести в цю Конвенцію.

Підписання, ратифікація, прийняття, схвалення і приєднання відбувається згідно наступних пунктів:

– ця Конвенція відкрита для підписання в штаб-квартирі організації з 15 січня 1974 р. по 31 грудня 1974 р. і потім буде відкрита для приєднання до неї. Держави можуть стати сторонами цієї Конвенції шляхом вибору одного з наступних варіантів:

а) підписання без застереження про ратифікацію, прийняття або схвалення;

б) підписання з застереженням про ратифікацію, прийняття або схвалення з наступною ратифікацією, прийняттям або схваленням;

в) приєднання.

Ратифікація, прийняття, схвалення або приєднання здійснюються шляхом здачі на зберігання відповідного документа генеральному секретарю організації.

Генеральний секретар організації інформує всі держави, що підписали цю Конвенцію або приєдналися до неї, про будь-яке підписання або про здачу на зберігання будь-якого нового документа про ратифікацію,

прийняття, схвалення або приєднання і про дату його здачі на зберігання.

Ця Конвенція набуває чинності після закінчення дванадцяти місяців з дати, на яку її сторонами згідно зі статтею 13 стануть не менше 15 держав, загальна валова місткість торговельних суден яких становить не менше п'ятдесяти відсотків валової місткості суден світового торговельного флоту.

Сторони Конвенції після консультації з організацією та іншими міжнародними організаціями, а також за сприяння і координації з боку виконавчого директора програми захисту навколишнього середовища Організації Об'єднаних Націй надають підтримку тим з сторін, що звертаються з проханням про надання технічної допомоги в частині:

- навчання наукового і технічного персоналу;
- поставки устаткування і пристроїв, необхідних для прийому шкідливих речовин, а також засобів виявлення забруднення;
- розробки інших заходів, спрямованих на запобігання або зменшення забруднення морського середовища із суден; і
- заохочення досліджень;
- здійснюючи таку допомогу переважно на території зацікавлених країн для подальшого сприяння виконанню цілей і завдань цієї Конвенції.

Ця Конвенція або будь-який факультативний додаток можуть бути денонсовані будь-якою стороною Конвенції в будь-який час після закінчення п'яти років з дати набуття чинності для цієї сторони Конвенції або такого додатка.

Денонсація здійснюється шляхом надсилання відповідного письмового повідомлення генеральному секретарю організації, що інформує всі інші сторони про зміст і дату одержання такого повідомлення, а також про дату набуття чинності такої денонсації.

Денонсація набуває чинності після закінчення дванадцяти місяців з дати одержання генеральним секретарем організації повідомлення про денонсацію або після закінчення більшого терміну, що може бути зазначений

у цьому повідомленні.

Ця Конвенція здається на зберігання генеральному секретарю організації, що надсилає її завірнені копії всім державам, що підписали її або приєдналися до неї.

Як тільки ця Конвенція набуде чинності, генеральний секретар організації передає її текст генеральному секретарю Організації Об'єднаних Націй для реєстрації й опублікування згідно зі статтею 102 Статуту Організації Об'єднаних Націй.

Розглядувана Конвенція була складена в одному примірнику англійською, іспанською, російською і французькою мовами, причому всі тексти є автентичними. Офіційні переклади на арабську, італійську, німецьку і японську мови будуть підготовлені і здані на зберігання разом з підписаним оригіналом.

4.2 Правила щодо експлуатації насосів, трубопроводів і пристроїв скидання на вантажних суднах

Розглянемо основні правила щодо експлуатації насосів, трубопроводів і пристроїв скидання на вантажних суднах на прикладі нафтового танкеру. На кожному нафтовому танкері на відкритій палубі по обох бортах судна розташовується зливний патрубок з клапаном для приєднання до прийомних споруд і скидання брудної водяного баласту або забрудненої нафтою води.

На кожному нафтовому танкері трубопроводи для скидання в море водяного баласту або забрудненої нафтою води з району вантажних танків виводяться на відкриту палубу або до борту судна вище ватерлінії, що відповідає найбільшій осадці судна в баласті. Для можливості здійснення операцій таким чином може бути допущено іншу структуру трубопроводів.

На нових нафтових танкерах передбачаються кошти для припинення

скидання в море водяного баласту або забрудненої нафтою води з району вантажних танків, відмінного від тих скидів нижче ватерлінії, з місця, розташованого на верхній палубі або вище таким чином, що з нього може проглядатися використовуваний патрубок, і скидання в море з трубопроводів. Встановлювати на місці спостереження пристрої для припинення скидання немає необхідності, якщо передбачена ефективна система зв'язку, така, як телефон або радіо, між місцем спостереження і місцем керування скиданням.

Кожен новий нафтовий танкер, на якому повинні бути передбачені танки ізолюваного баласту або який повинен бути обладнаний системою миття сировою нафтою, підпорядковується наступним вимогам:

- він обладнується нафтовими трубопроводами, спроектованими і встановленими таким чином, щоб залишок нафти в трубопроводах був мінімальним;

- передбачаються дренажні засоби для осушення всіх вантажних насосів і всіх нафтових трубопроводів після закінчення вивантаження, при необхідності – шляхом їх приєднання до зачисні пристрою;

- забезпечується можливість скидання стоків з дренажних трубопроводів і насосів як на берег, так і в вантажний або відстійний танк;

- для скидання на берег передбачається спеціальний трубопровід невеликого діаметра, який приєднується з заборотної боку клапанів на судових приймально-відливних патрубках;

Кожен існуючий танкер для сирової нафти, на якому повинні бути передбачені танки ізолюваного баласту або який повинен бути обладнаний системою мийки танків сировою нафтою або експлуатуватися з виділеними для чистого баласту танками.

На кожному нафтовому танкері скидання водяного баласту або забрудненої нафтою води з району вантажних танків повинен проводитися вище ватерлінії за винятком наступного:

– ізолюваний баласт і чистий баласт можна скидати нижче ватерлінії: в портах і у віддалених від берега терміналів або в море самопливом, за умови, що поверхня водяного баласту перевірена безпосередньо перед скиданням, щоб упевнитися, що не відбулося забруднення нафтою;

– існуючі нафтові танкери, які без переобладнання не здатні скидати ізолюваний баласт в море вище ватерлінії можуть скидати ізолюваний баласт нижче ватерлінії за умови, що поверхня водяного баласту перевірена безпосередньо перед скиданням, щоб упевнитися, що забруднення нафтою не відбулося;

– існуючі нафтові танкери, експлуатовані з виділеними для чистого баласту танками, які без переобладнання не здатні скидати водяний баласт з виділених для чистого баласту танків вище ватерлінії, можуть скидати такий баласт нижче ватерлінії за умови, що скидання цього водяного баласту контролюється;

– на кожному нафтовому танкері брудний водяний баласт або забруднена нафтою вода з вантажних танків, які не є відстійними танками, можуть бути скинуті в море самопливом нижче ватерлінії за умови, що надано достатньо часу для того, щоб дати можливість відбутися поділу нафти і води, і що безпосередньо перед скиданням водяний баласт проконтрольована за допомогою індикатора поверхні розділу нафта – вода, щоб упевнитися, що висота положення поверхні розділу така, що скидання не сполучений з будь-якої підвищеною небезпекою для морського середовища;

– на існуючих нафтових танкерах скидання брудного водяного баласту і забрудненої нафтою води з району вантажних танків може бути проведений в море нижче ватерлінії слідом за скиданням, або замість нього за умови, що: частина потоку такої води відводиться через стаціонарний трубопровід в легкодоступний місце на верхній палубі або вище, де за ним можна вести візуальне спостереження під час операції скидання; такий пристрій для

спостереження за частковим потоком задовольняє вимогам, встановленим адміністрацією, які повинні містити щонайменше всі положення технічних вимог до конструкції, установці і експлуатації системи часткового відводу для контролю за скиданням за борт, схвалених організацією.

ВИСНОВКИ

Існуюча релейно-контакторна система керування електропривода дистилатного насоса є морально та фізично застарілою. З огляду на велику кількість механічних контактів дана схема є ненадійною та має відносно невеликий ресурс роботи. Крім того, вона не здатна забезпечити сучасних вимог щодо показників, а тому потребувала модернізації.

В кваліфікаційній роботі магістра модернізовано електропривод дистилатного насоса суднової опріснювальної установки типу «Д» модель ДЗМ. Проведено огляд і аналіз літератури з питань дослідження, проаналізовано характеристики судових опріснювальних установок.

В роботі викладені загальні підходи, наведено структурно-логічну схему дослідження. Розглянуто метод частотного керування скалярного типу електроприводом дистилатного насоса суднової опріснювальної установки.

Розроблено систему частотного керування скалярного типу електропривода дистилатного насоса суднової опріснювальної установки типу «Д» модель ДЗМ, наведено її функціональну та структурну схеми. В модернізованому варіанті електропривода використано асинхронний двигун RA100LA4 потужністю 2,2 кВт з частотою обертів 1435 об/хв та перетворювач частоти Lenze серії 8200 модель ESMD 302 L4TXA потужністю 3 кВт.

В роботі виконано синтез структури і розраховано регулятори системи частотного керування скалярного типу. Для модернізованого електропривода дистилатного насоса суднової опріснювальної установки типу «Д» модель ДЗМ побудовано перехідні процеси за швидкістю при пуску приводного асинхронного двигуна RA100LA4. Встановлено основні показники якості керування: перерегулювання – 0 %, час перехідного процесу 1,6 с.

Також, в роботі проаналізовані питання запобігання забрудненню з суден за міжнародною конвенцією MARPOL-73/78.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Клименюк И.В. Судовые опреснительные установки / М.И. Клименюк. – Владивосток: Изд-во Дальневост. федерал. ун-та, 2011. – 210 с.
2. Коваленко В.Ф. Судовые водоопреснительные установки / В.Ф. Коваленко, Г.Я. Лукин. – Л.: Судостроение, 1970. – 304 с.
3. Лукин Г.Я. Опреснительные установки промыслового флота / Г.Я. Лукин, Н.Н. Колесник. – М.: Пищевая промышленность, 1970. – 368 с.
4. Фесенко В.И. Электрические приводы промысловых судов / В.И. Фесенко. – М.: Пищевая промышленность, 1974. – 248 с.
5. Белов М.П. Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов. – М.: «Академия», 2007. – 576 с.
6. Терехов В.М. Системы управления электроприводов. – М.: Академия, 2004. – 296 с.
7. Соколовский Г.Г. Электроприводы переменного тока с частотным регулированием. – М.: «Академия», 2006. – 265 с.
8. Драчев Г.И. Теория электропривода. – Челябинск: Изд. ЮУрГУ, 2002. – 137 с.
9. Москаленко В.В. Электрический привод. – Москва: Академия, 2007. – 368 с.
10. Усольцев А.А. Частотное управление асинхронными двигателями / А.А. Усольцев. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2006. – 94 с.
11. Фираго Б.И., Павлячик Л.Б. Регулируемые электроприводы переменного тока. – Мн.: Техноперспектива, 2006. – 363 с.
12. Алиев И.И. Асинхронные двигатели в трехфазном и однофазном режимах. – М.: ИП РадиоСофт, 2004. – 128 с.

13. Солодовников В.В. Теория сложности и проектирование систем управления / В.В. Солодовников, В.И. Тумаркин. – М.: Наука, 1990. – 168 с.
14. Шаруда В.Г. Практикум з теорії автоматичного управління. – Дніпропетровськ: Національна гірничча академія України, 2002. – 414 с.
15. Сибикин Ю.Д. Электробезопасность при эксплуатации электроустановок промышленных предприятий / Ю.Д. Сибикин, М.Ю. Сибикин. – М.: Академия, 2004. – 240 с.