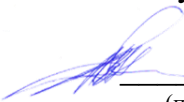


**Міністерство освіти і науки України
Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова
Херсонський навчально науковий інститут**

Енерготехнічний факультет
Кафедра автоматики та електроустаткування

Рекомендовано до захисту
Завідувач кафедри автоматики та
електроустаткування


_____ **Надточий А.В.**
(підпис) (прізвище, ініціали)

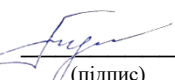
«12» червня 2024 року

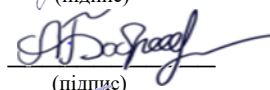
Пояснювальна записка
до кваліфікаційної роботи бакалаврв

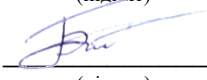
на тему: «Розробка системи керування електропривода гвинтового насоса перекачки
мастила»

Здобувач 4 курсу, групи 4367
за спеціальністю: 141 «Електроенергетика
електротехніка та електромеханіка»
(шифр і назва спеціальності)

Освітньо-професійна програма:
«Експлуатація суднових автоматизованих
систем»
(назва)

Гупол М.О. 
(прізвище та ініціали) (підпис)

Керівник Бобровський О.І. 
(прізвище та ініціали) (підпис)

Рецензент Білюк І.С. 
(прізвище та ініціали) (підпис)

Національний університет кораблебудування ім. адмірала Макарова

Херсонський навчально-науковий інститут

(повне найменування вищого навчального закладу)

Інститут, факультет, відділення Енерготехнічний

Кафедра, циклова комісія Автоматики та електроустаткування

Освітньо-кваліфікаційний рівень перший, (бакалаврський)

Галузь знань 14 «Електрична інженерія»

(шифр)

Спеціальність 141 «Електроенергетика електротехніка, та електромеханіка»

(шифр і назва)

Освітньо професійна програма «Електромеханіка»

(назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

гарант освітньої програми

 Штанько О.Д.

“_15_” квітня _____ 2024 року

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

Гупол Микола Олександрович

(прізвище, ім'я, по батькові)

- Тема роботи: Розробка системи керування електропривода гвинтового насоса перекачки мастила

Керівник роботи: PhD., доцент без вченого звання Бобровський О.І.

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

затверджені наказом вищого навчального закладу

від “6” квітня 2024 року №55

- Строк подання здобувачем роботи 10.06.2024

- Вихідні дані до роботи були отримані в ході проходження переддипломної практик.

- Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Характеристика гвинтових насосів перекачки мастила; 2. Розробка системи керування електропривода гвинтового насоса перекачки мастила; 3. Вибір елементів і дослідження динаміки системи; 4. Охорона праці

- Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) презентація в електронному виді

6. Консультанти розділів роботи

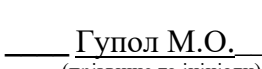
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
-	-		
-	-		
-	-		
-	-		

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Характеристика гвинтових насосів перекачки мастила	18.04.2024	виконано
2	Розробка системи керування електропривода гвинтового насоса перекачки мастила	18.05.2024	виконано
3	Вибір елементів і дослідження динаміки системи	30.05.2024	виконано
4	Охорона праці	10.06.2024	виконано

Здобувач 
(підпис)


Гупол М.О.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи 
(підпис)


Бобровський О.І.
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота: 62 с., 4 р., 15 рис., 5 табл., 12 джерел.

Ключові слова: електропривод, система керування, гвинтовий насос, перекачка мастила, динаміка системи, показники якості керування.

Об’єкт дослідження – перехідні процеси в автоматизованому електроприводі гвинтового насоса перекачки мастила.

Предмет дослідження – показники якості керування в автоматизованому електроприводі гвинтового насоса перекачки мастила.

Мета роботи – розробка системи керування електропривода гвинтового насоса перекачки мастила і дослідження динаміки системи.

Методи дослідження – моделювання перехідних процесів в автоматизованому електроприводі гвинтового насоса перекачки мастила з використанням сучасних методів теорії автоматичного керування та електропривода, імітаційне моделювання в спеціалізованому програмному забезпеченні, обробка та аналіз отриманих результатів.

У першому розділі розглянуто класифікацію насосів і основні характеристики гвинтових насосів перекачки мастила, також проаналізовано основні параметри насосів і робочий режим насоса. В другому розділі розроблено систему керування електропривода гвинтового насоса перекачки мастила. Розроблено функціональну та структурну схеми системи керування електропривода гвинтового насоса перекачки мастила. Вибір елементів і дослідження динаміки системи проведено в третьому розділі роботи. В четвертому розділі розглянуті питання охорони праці.

					КРБ.141.4367.ПЗ	Арк.
						3
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЗМІСТ

ВСТУП	5
1. ХАРАКТЕРИСТИКА ГВИНТОВИХ НАСОСІВ ПЕРЕКАЧКИ МАСТИЛА	7
1.1 Класифікація і основні параметри гвинтових насосів, робочий режим гвинтового насоса	8
1.2 Гвинтові насоси в суднових системах	15
2 РОЗРОБКА СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДА ГВИНТОВОГО НАСОСА ПЕРЕКАЧКИ МАСТИЛА	18
2.1 Математична модель асинхронного двигуна	19
2.2 Функціональна та структурна схеми системи керування	22
3 ВИБІР ЕЛЕМЕНТІВ І ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІКИ СИСТЕМИ	27
3.1 Вибір приводного двигуна електропривода гвинтового насоса перекачки мастила	28
3.2 Вибір перетворювача частоти електропривода гвинтового насоса перекачки мастила	32
3.3 Синтез структури і розрахунок регуляторів системи керування електропривода гвинтового насоса перекачки мастила	35
3.5 Побудова та аналіз перехідних процесів системи	39
4. ОХОРОНА ПРАЦІ	41
4.1 Пожежна безпека, фізико-хімічні основи горіння та вибуху	42
4.2 Чинники, що впливають на тяжкість ураження електричним струмом	49
ВИСНОВКИ	57
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	58
ДОДАТОК А Мультимедійна презентація	59

ВСТУП

В даний час електроприводи в різних суднових системах відіграють важливу роль, оскільки їх технічні параметри значно впливають на показники якості та надійності автоматизованих технологічних процесів.

Розвиток елементної бази, та, зокрема, силової електроніки і мікроелектроніки в свою чергу надав розвитку в області електропривода та автоматики. Сучасний автоматизований електропривод побудований на системах керування з високим рівнем організації і одночасно сам є підсистемою в ієрархічній структурі автоматизації.

У зв'язку з посиленням вимог по швидкості і точності рухів, що виконуються електроприводом, необхідно забезпечити взаємний зв'язок одночасних рухів декількох робочих органів машини або ряду агрегатів технологічного ланцюга при оптимальних показниках якості і заданих обмеженнях. Зазначене посилення вимог по швидкості і точності в кінцевому рахунку ускладнило функції керування електроприводом.

В суднових системах досить часто використовуються гвинтові насоси, які представляють собою гідравлічну машину об'ємного роторно-обертального типу, робочим органом якої є гвинтова (шнекова) пара.

Неавтоматизовані електроприводи гвинтових насосів перекачки мастила не в змозі забезпечити сучасні жорсткі вимоги щодо якості керування, а тому потребують автоматизації. Автоматизацію можна здійснити завдяки застосуванню в електроприводі гвинтового насоса перекачки мастила сучасних систем частотного керування.

Об'єкт дослідження – перехідні процеси в автоматизованому електроприводі гвинтового насоса перекачки мастила.

Предмет дослідження – показники якості керування в автоматизованому електроприводі гвинтового насоса перекачки мастила.

Мета роботи – розробка системи керування електропривода гвинтового насоса перекачки мастила і дослідження динаміки системи.

					КРБ.141.4367.ПЗ	Арк.
						5
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

1. Розглянути класифікацію і основні параметри гвинтових насосів, робочий режим насосів. Проаналізувати конструкцію гвинтових насосів.

2. Розробити систему керування електропривода гвинтового насоса. Провести аналіз функціональної і структурної схем автоматизованого електропривода гвинтового насоса перекачки мастила.

3. Виконати синтез структури і розрахунок налаштувань регуляторів системи, визначити показники якості керування автоматизованого електропривода гвинтового насоса перекачки мастила.

4. Розглянути питання охорони праці.

					КРБ.141.4367.ПЗ	Арк.
						6
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. ХАРАКТЕРИСТИКА ГВИНТОВИХ НАСОСІВ ПЕРЕКАЧКИ МАСТИЛА

1.1 Класифікація і основні параметри гвинтових насосів, робочий режим гвинтового насоса

Насосами називаються гідравлічні машини, що перетворюють механічну енергію двигуна в механічну енергію переміщуваної рідини. На судах застосовуються насоси різних типів і конструктивних форм. За принципом дії їх поділяють на дві групи: динамічні і об'ємні.

У динамічних насосах рідина набуває енергію переважно в кінетичної формі. До них відносяться насоси лопатеві, вихрові та струменеві.

У лопатевих насосах передача механічної енергії від двигуна рідини відбувається в процесі силової взаємодії лопатей робочого органу (колеса) з оточуючим її потоком рідини. За характером руху рідини в колесі, який називається робочим, розрізняють два основні типи лопатевих насосів – відцентрові і осьові. У відцентрових насосах потік рідини в області робочого колеса має радіальний напрямок, в осьових – потік рідини паралельний осі обертання робочого колеса.

Вихрові насоси є динамічними насосами тертя. Приріст енергії в них досягається в результаті впливу лопатей (лопаток) колеса на потік, що здійснює вихровий рух.

У струменевих насосах приріст енергії рідини відбувається за рахунок кінетичної енергії струменя робочої рідини, що виходить з сопла. Струменеві насоси не мають рухомих частин і до них не підходить визначення насоса як машини, що перетворює енергію двигуна в енергію рідини.

Об'ємні (гідростатичні) насоси діють за принципом витиснення. До них відносяться поршневі, роторні і поворотні насоси.

У поршневих насосах рідина отримує енергію від поршня (плунжера), що здійснює періодичний зворотно-поступальний рух в циліндрі. У гвинтових насосах передача енергії переміщуваної рідини відбувається внаслідок впливу на неї робочого органу, що здійснює обертальний або обертально-поступальний рух. До

					КРБ.141.4367.ПЗ.Р1	Арк.
						8
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

насосів з обертовим рухом витискувачів відносяться шестерінчасті та гвинтові, а з обертально-поступальним рухом – роторно-поршневі і роторно-пластинчасті.

У поворотних насосах витіснювач здійснює зворотно-поворотний рух. На суднах вони мають обмежене застосування в якості насосів з ручним приводом.

Класифікація насосів за принципом дії є досить зручною, оскільки вона спрощує об'єднання, а отже, і вивчення однорідних властивостей цих машин.

Насоси розрізняють також по ряду конструктивних ознак. У судновій практиці широко використовується класифікація насосів за їх призначенням. Відповідно до цього розрізняють насоси:

- суднових систем (осушувальні, баластні, санітарні, пожежні та ін.);
- систем суднових енергетичних установок (паливні, масляні, охолоджуючі);
- спеціального призначення (вантажні танкерів, ґрунтові днопоглиблювальних снарядів і т.д.);
- гідроприводів.

Насос і двигун, що приводить його в дію, утворюють насосний агрегат. Якщо в якості двигуна насоса використовується електродвигун, то агрегат називається електронасосним; якщо двигуном насоса є дизель, то маємо дизель-насосний агрегат; насос, що приводиться в дію турбіною, називається турбонасосним агрегатом і т.д. Слід зазначити, що на суднах річкового флоту в якості двигунів насосів застосовуються в основному електродвигуни.

Робота будь-якого насоса характеризується кількома параметрами. Основними з них є: подача, напір, потужність, коефіцієнт корисного дії (ККД) і частота обертання.

Розрізняють об'ємну подачу, під якою розуміють відношення об'єму рідкого середовища, що подається, до часу і масову подачу насоса – відношення маси рідкого середовища, що подається, до часу.

У судновій практиці об'ємна подача Q зазвичай виражається в кубічних метрах за годину або секунду. Масова подача Q_m пов'язана з об'ємним співвідношенням:

$$Q_m = \rho Q \quad (1.1)$$

					КРБ.141.2377ст.ПЗ.Р1	Арк.
						9
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де ρ – густина рідини, кг/м^3 .

Густина ρ для різних рідин різна і залежить від температури. Для прісної води при температурі до $30\text{ }^\circ\text{C}$ її приймають рівною 1000 кг/м^3 . У практичних розрахунках для мінеральних мастил можна приймати $\rho = 900\text{ кг/м}^3$. У мазутів густина зазвичай трохи вище, ніж у мастил, наприклад у мазуту марки 40 вона при температурі $20\text{ }^\circ\text{C}$ становить 940 кг/м^3 . У мазутів густина вища, ніж у мастил, наприклад у мазуті марки 40 вона при температурі $20\text{ }^\circ\text{C}$ становить $940\text{--}960\text{ кг/м}^3$. Густина рідини залежить також від тиску; вона зростає зі збільшенням останнього. Однак при розрахунку суднових насосів цим нехтують.

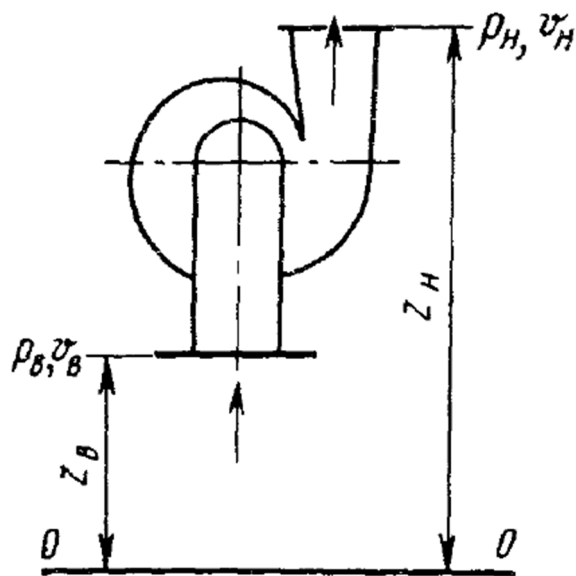


Рисунок 1.1 – Визначення напору насоса

У гідравліці напір – це висота, на яку здатна піднятися рідина під дією статичного тиску, різниці висот і зовнішньої кінетичної енергії рідини. Він визначається через питому (віднесену до одиниці ваги) енергію рідини, що проходить через насос, і виражається в метрах (Дж-м).

Якщо питома енергія рідини на виході з насоса (рис. 1.1)

$$E = p_n / \rho g + z_n + v_n^2 / 2g,$$

а енергія рідини на вході в нього

$$E = p_b / \rho g + z_b + v_b^2 / 2g,$$

то напір насоса

					КРБ.141.2377ст.ПЗ.Р1	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

$$H = E_{\text{н}} - E_{\text{в}} = (p_{\text{н}} - p_{\text{в}})/\rho g + (z_{\text{н}} - z_{\text{в}}) + (v_{\text{н}}^2 - v_{\text{в}}^2)/2g \quad (1.2)$$

де $p_{\text{н}}$, $p_{\text{в}}$ – тиск рідини на виході з насоса і на вході в нього, Па;

g – прискорення вільного падіння, м/с²;

$z_{\text{н}}$, $z_{\text{в}}$ – відстань від площини порівняння 0-0 до вихідного і вхідного перерізу потоку, м;

$v_{\text{н}}$, $v_{\text{в}}$ – швидкості рідини на виході з насосів і на вході в нього, м/с.

Напір H насоса складається зі статичного $H_{\text{ст}}$ і динамічного $H_{\text{дин}}$ напорів:

$$H = H_{\text{ст}} + H_{\text{дин}}. \quad (1.3)$$

Статичний напір можна визначити за формулою:

$$H_{\text{ст}} = (p_{\text{н}} - p_{\text{в}})/\rho g + (z_{\text{н}} - z_{\text{в}}). \quad (1.4)$$

Динамічний напір можна визначити за формулою:

$$H_{\text{дин}} = (v_{\text{н}}^2 - v_{\text{в}}^2)/2g. \quad (1.5)$$

Для насосів об'ємного типу в якості основного параметру зазвичай вказують не напір H , а створюваний ним повний тиск p . Між тиском і напором існує залежність:

$$p = \rho g H. \quad (1.6)$$

Потужність і ККД. Енергія, що підводиться до насоса від двигуна за одиницю часу, представляє його потужність N . Частина цієї енергії втрачається в насосі у вигляді втрат. Інша частина енергії, що отримується насосом від двигуна в одиницю часу, є корисна потужність насоса (кВт), яка визначається з виразу:

$$N_{\text{к}} = Q\rho g H/10^3 = Qp/10^3. \quad (1.7)$$

Втрати енергії в насосі характеризуються його ККД, що є відношенням:

$$\eta = N_{\text{п}}/N. \quad (1.8)$$

Потужність насоса, кВт:

$$N_{\text{к}} = N_{\text{п}}/\eta = Qp/10^3 \eta = Q\rho g H/10^3 \eta. \quad (1.9)$$

Коефіцієнт корисної дії насоса можна представити у вигляді добутку трьох ККД – гідравлічного, об'ємного і механічного, тобто:

$$\eta = \eta_{\text{г}} \eta_{\text{о}} \eta_{\text{м}}. \quad (1.10)$$

					КРБ.141.2377ст.ПЗ.Р1	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

Гідравлічний ККД – це відношення корисної потужності насоса до суми корисної потужності і потужності, витраченої на подолання гідравлічних опорів в насосі, тобто він характеризує гідравлічні втрати в насосі і його знаходять за виразом:

$$\eta_{\Gamma} = \frac{H}{H_{\Gamma}} = \frac{H_{\Gamma} - h_{\Gamma}}{H_{\Gamma}} = 1 - \frac{h_{\Gamma}}{H_{\Gamma}}, \quad (1.11)$$

де H_{Γ} – теоретичний напір насоса (напір без врахування втрат);

h_{Γ} – гідравлічні втрати всередині насоса.

Об’ємний ККД характеризує об’ємні втрати, що обумовлені витратами рідини всередині насоса:

$$\eta_0 = \frac{Q}{Q + q_0} = \frac{Q' - q_0}{Q'} = 1 - \frac{q_0}{Q'}, \quad (1.12)$$

де q_0 – витікання рідини в насосі;

$Q' = Q + q_0$ – розрахункова подача насоса.

Механічний ККД насоса:

$$\eta_{\text{м}} = \frac{N - N_{\text{тр}}}{N} = 1 - \frac{N_{\text{тр}}}{N}, \quad (1.13)$$

де $N_{\text{тр}}$ – потужність, що витрачається на подолання механічного тертя в насосі.

В якості параметра частоти обертання приймається частота обертання валу насоса за хвилину (об/хв). Призначення або вибір частоти обертання залежить від ряду умов, таких, як тип насоса і його двигуна, обмеження по масі і габаритним розмірам, вимоги щодо економічності та ін.

Для деяких суднових насосів, наприклад для осушувальних, важливим параметром є вакууметрична висота всмоктування $H_{\text{в}}$, яка вимірюється вакуумметром.

Під вакууметричний висотою всмоктування розуміють різницю між атмосферним тиском $p_{\text{а}}$ і тиском $p_{\text{в}}$ на вході в насос, тобто

$$H_{\text{в}} = (p_{\text{а}} - p_{\text{в}}) / \rho g.$$

					КРБ.141.4367.ПЗ.Р1	Арк.
						12
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Висота всмоктування обмежується мінімальним абсолютним тиском $p_{\text{в min}}$, що виникає в області входу в насос, який повинно бути більшим за тиск $p_{\text{п}}$ насиченої пари рідини, що перекачується, тобто $p_{\text{в min}} > p_{\text{п}}$. В іншому випадку рідина в місцях виникнення мінімального тиску скипить, і нормальна робота насоса порушиться.

В процесі експлуатації вакууметрична висота всмоктування може змінюватися, проте вона не повинна перевищувати допустимого значення $H_{\text{в доп}}$, що приводиться в паспорті насоса або в технічних умовах на його поставку.

Під робочим режимом насоса розуміється сталий режим роботи його в даній системі. При роботі насоса його подачу Q і напір H встановлюють по необхідним для трубопроводу системам витрат Q_c і напору H_c . При сталому режимі $Q = Q_c$ і $H = H_c$.

Для визначення робочого режиму насоса користуються його характеристикою і характеристикою трубопроводу. Під характеристикою насоса розуміється графічна залежність між його напором H і подачею Q . Характеристикою трубопроводу системи називається графічна залежність між напором H_c і витратами Q_c . Якщо поєднати на одному графіку характеристику трубопроводу системи $H_c - Q_c$ і характеристику насоса $H - Q$ (рис. 1.2), то точка A перетину цих характеристик визначить робочий режим насоса (точка A називається робочою).

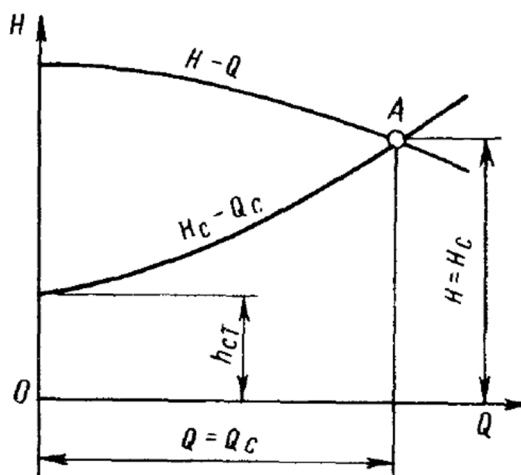


Рисунок 1.2 – Визначення робочого режиму насоса

Характеристику насоса отримують при його випробуванні на стенді при постійній частоті обертання n . Характеристику трубопроводу системи можна побудувати за формулою:

$$H_c = h_{ct} + k_c Q_c^2, \quad (1.14)$$

де h_{ct} – статична висота подачі, що дорівнює сумі геометричної і манометричної висот; під останньою мається на увазі висота, що відповідає надлишковому тиску в системі (пневмоцистерні, магістралі водотушення і т.д.);

k_c – постійна для кожного даного трубопроводу.

Формула (1.14) виводиться в такий спосіб. Втрати напору в трубопроводі системи можна виразити залежністю:

$$H_c = h_{ct} + (\lambda l/d + \Sigma \zeta + 1) v^2 / 2g,$$

де λ – коефіцієнт гідравлічного тертя;

l – довжина прямого трубопроводу, м;

d – внутрішній діаметр трубопроводу, м;

ζ – коефіцієнт місцевого опору;

1 – враховує втрату з вихідною швидкістю в разі кінцевої труби.

Оскільки при витратах рідини Q через трубопровід її швидкість $v = 4Q_c / (\pi d^2)$, то:

$$H_c = h_{ct} + (\lambda l/d + \Sigma \zeta + 1) \frac{16Q_c^2}{\pi^2 d^4 2g}.$$

Позначивши вираз $(\lambda l/d + \Sigma \zeta + 1) \frac{16Q_c^2}{\pi^2 d^4 2g}$ через k_c , отримаємо формулу (1.14).

При зміні характеристики трубопроводу системи робоча точка A переміститься по характеристиці насоса і, отже, режим його роботи зміниться.

Параметри, що відповідають робочому режиму насоса, називаються робочими. У тому випадку, коли робочі параметри співпадають з номінальними (специфікаційними), насос працює найбільш економічно. Це враховують проектувальники при підборі насосів для суднових систем.

					КРБ.141.4367.ПЗ.Р1	Арк.
						14
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Характеристика $H - Q$ залежить від типу насоса. На рис. 1.2 зображена характеристика лопатевого насоса. При експлуатації насоса необхідно прагнути того, щоб він щонайбільше часу працював в оптимальному режимі, тобто забезпечував нормальні подачу і напір. Будь-які відхилення від номінального режиму при незмінній частоті обертання викликають зниження економічності роботи насоса.

1.2 Гвинтові насоси в суднових системах

До гвинтових насосів відносяться такі насоси, у яких енергія рідини збільшується в результаті тиску на неї гвинтових поверхонь, що безперервно обертаються.

Промисловий розвиток гвинтових насосів розпочався з 20-х років ХХ століття і в даний час в багатьох країнах ці насоси виготовляються різних типів. Широке поширення гвинтових насосів пояснюється їх позитивними властивостями, які задовольняють вимогам різних галузей техніки – суднобудування, літакобудування, тепло- і гідроенергетики, хімічної промисловості і т. д.

Гвинтові насоси можна розділити: за кількістю гвинтів – на одnogвинтові і багатогвинтові (до п'яти гвинтів); по зазору між нарізкою гвинтів – на герметичні та негерметичні; за формою профілю нарізки гвинтів – на насоси з циклоїдним, евольвентно-циклоїдним і спеціальним профілями; по числу підведень на насоси з одностороннім і двостороннім підведенням рідини. Всі типи гвинтових насосів широко використовуються в різних суднових системах.

В даний час на судах внутрішнього плавання найчастіше знаходять застосування тригвинтові насоси з циклоїдним зачепленням. На тригвинтові насоси є ГОСТ 20883-83. Цей стандарт охоплює насоси з подачею 0,45-400 м³/год і тиском до 25 МПа. Тригвинтові насоси відносяться до класу герметичних і виконуються з одностороннім і двостороннім підведенням рідини.

					КРБ.141.4367.ПЗ.Р1	Арк.
						15
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У тригвинтових насосах з одностороннім підведенням рідини (рис. 1.3) середній гвинт 3 є провідним (тяговим), а два бічних 4 – веденими. Нарізані частини гвинтів укладені в обойму (втулку) 5, вставлену в корпус 2. В обоймі гвинти обертаються, як в підшипниках з невеликими проміжками. Корпус насоса має приймальну камеру 1 з прийомним патрубком і напірну камеру 6 з напірним патрубком. Ці камери з'єднані запобіжно-перепускним клапаном 7.

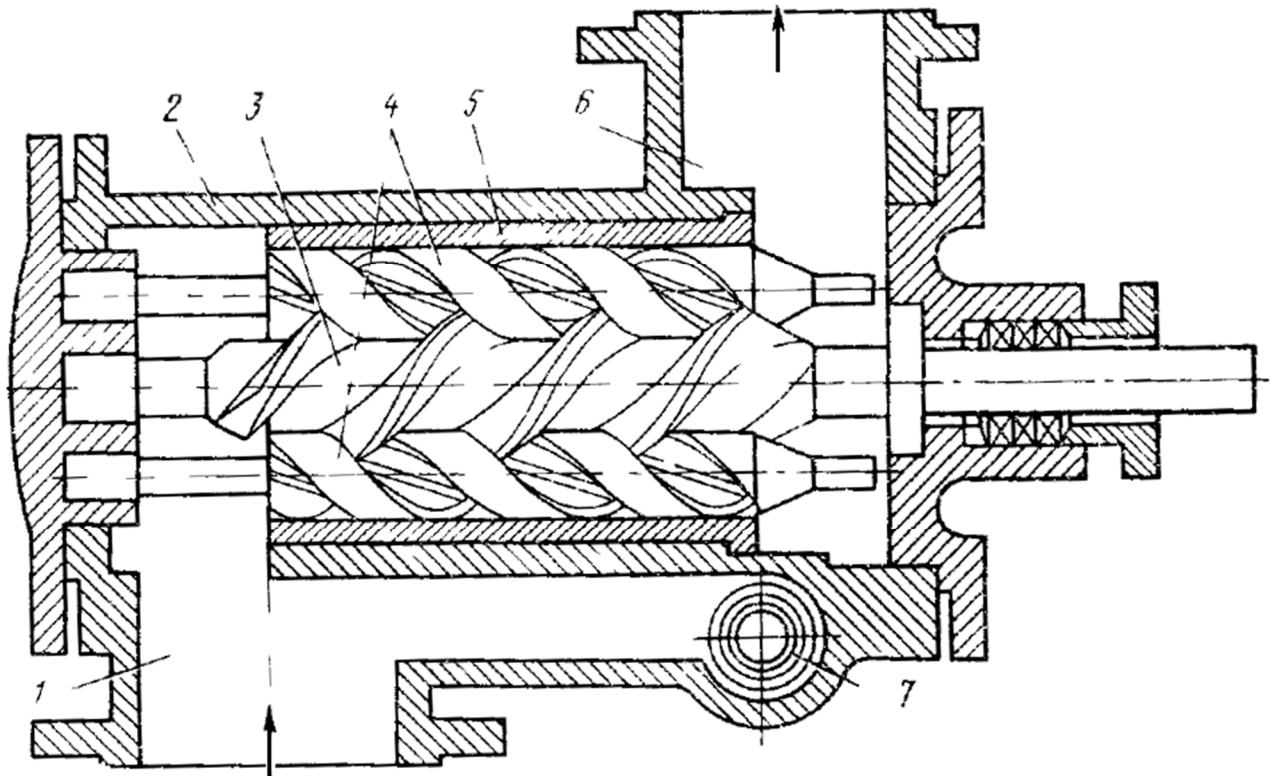


Рисунок 1.3 – Конструктивна схема тригвинтового насоса

Ведучий (тяговий) гвинт в порівнянні з веденим (тяжним) більш масивний, оскільки він несе основне навантаження в робочому процесі. Геометричні співвідношення нарізок гвинтів обрані таким чином, що забезпечується не тільки герметичність робочих органів, а й відсутність передачі крутного моменту з ведучого (тягового) гвинта на ведені (тяжні). Останні не виробляють корисної роботи, а призначені тільки в якості ущільнень, що перешкоджають перетіканню рідини з напірної камери в приймальну, і в процесі нормальної роботи обертаються не в результаті взаємодії з провідним гвинтом, а завдяки тиску рідини, яка переміщується в насосі тільки уздовж осі гвинтів.

Гвинтові насоси з циклоїдним зачепленням застосовуються в мастильних

					КРБ.141.4367.ПЗ.Р1	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

системах і системах регулювання машин, а також в системах гідроприводів для перекачування в'язких рідин. Вони відрізняються рівномірною подачею рідини, високою економічністю (ККД $\eta = 0,6-0,8$), незначною зміною подачі зі збільшенням тиску, високою частотою обертання, малими габаритними розмірами і масою. Крім того, дані насоси мають самовсмоктування і хорошу всмоктуючу здатність. Допустима вакууметрична висота всмоктування гвинтових насосів залежить від роду рідини. При роботі на мастилі вона становить 5-6 м. Істотним недоліком цих насосів є складний профіль нарізки гвинтів і малий зазор між гвинтами (0,05-0,15 мм) і гвинтами і втулкою корпусу (0,1-0,15 мм), що ускладнює їх виготовлення.

					КРБ.141.4367.ПЗ.Р1	Арк.
						17
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2. РОЗРОБКА СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДА ГВИНТОВОГО НАСОСА ПЕРЕКАЧКИ МАСТИЛА

2.1 Математична модель асинхронного двигуна

При математичному описі асинхронної машини використовуються загальноприйняті допущення і обмеження, а саме:

- магнітна система машини не насичена;
- втрати в сталі відсутні;
- фазні обмотки машини симетричні і зрушені суворо на 120° (для трифазних машин);
- магніторушійних сили обмоток і магнітні поля розподілені уздовж окружності повітряного зазору за синусоїдальним законом;
- величина повітряного зазору постійна;
- ротор машини симетричний;
- реальна розподілена обмотка замінена еквівалентною зосередженою, що створює ту ж магніторушійних силу.

Сучасний рівень розвитку обчислювальної техніки, взагалі кажучи, так-ет принципову можливість з урахуванням зроблених припущень будувати модель асинхронного двигуна в фазних координатах. Однак структурна схема моделі при цьому виходить досить складною через наявність змінних коефіцієнтів в рівняннях зв'язку фазних струмів і потокозчеплень машини, що залежать від миттєвого значення кута повороту ротора щодо магнітних осей статора двигуна. З метою спрощення математичних моделей систему рівнянь трифазної асинхронної машини, записану в фазних координатах, прийнято представляти в ортогональній системі координат (х-у), що обертається в просторі в загальному випадку з довільною кутовою швидкістю ω_k .

Еквівалентні напруги статора в системі координат (х - у) пов'язані з фазними напруги трифазної машини наступними співвідношеннями:

					КРБ.141.24367ПЗ.Р2	Арк.
						19
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\begin{aligned} U_{sx} &= \frac{2}{3} \left[U_{\phi A} \cos \omega_k t + U_{\phi B} \cos \left(\omega_k t - \frac{2\pi}{3} \right) + U_{\phi C} \cos \left(\omega_k t + \frac{2\pi}{3} \right) \right], \\ U_{sy} &= -\frac{2}{3} \left[U_{\phi A} \sin \omega_k t + U_{\phi B} \sin \left(\omega_k t - \frac{2\pi}{3} \right) + U_{\phi C} \sin \left(\omega_k t + \frac{2\pi}{3} \right) \right]. \end{aligned} \quad (2.1)$$

Аналогічні співвідношення пов'язують еквівалентні значення струмів і потокозчеплення двигуна з відповідними фазними значеннями змінних. Підставляючи в ці рівняння вирази для реальних фазних напруг:

$$\begin{aligned} U_{\phi A} &= U_m \cos(\omega_0 t + \phi_0); \\ U_{\phi B} &= U_m \cos \left(\omega_0 t - \frac{2\pi}{3} + \phi_0 \right); \\ U_{\phi C} &= U_m \cos \left(\omega_0 t + \frac{2\pi}{3} + \phi_0 \right); \end{aligned} \quad (2.2)$$

можна отримати вирази для складових напруг в еквівалентній двофазній системі координат:

$$U_{sx} = U_m \cos[(\omega_0 - \omega_k)t + \phi_0], \quad (2.3)$$

$$U_{sy} = U_m \sin[(\omega_0 - \omega_k)t + \phi_0], \quad (2.4)$$

де U_m – амплітудне значення фазної напруги,

ω_0 – частота обертання поля статора двигуна в просторі,

ϕ_0 – початкова фаза напруги фази А двигуна.

Система рівнянь електромагнітного рівноваги асинхронного двигуна в формі Коші в системі координат (x - y) може бути представлена наступним чином:

$$\begin{aligned} \frac{d\Psi_{sx}}{dt} &= U_{sx} - R_s i_{sx} + \omega_k \Psi_{sy}; \\ \frac{d\Psi_{sy}}{dt} &= U_{sy} - R_s i_{sy} - \omega_k \Psi_{sx}; \\ \frac{d\Psi_{rx}}{dt} &= -R_r i_{rx} + (\omega_k - \omega) \Psi_{ry}; \\ \frac{d\Psi_{ry}}{dt} &= -R_r i_{ry} - (\omega_k - \omega) \Psi_{rx}, \end{aligned} \quad (2.5)$$

де Ψ_{sx}, Ψ_{sy} – потокозчеплення еквівалентних статорних контурів;

Ψ_{rx}, Ψ_{ry} – потокозчеплення еквівалентних роторних контурів;

i_{sx}, i_{sy} – еквівалентні струми статора;

i_{rx}, i_{ry} – еквівалентні струми ротора;

					КРБ.141.4367.ПЗ.Р2	Арк.
						20
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

R_s, R_r – активні опори фазних обмоток статора і ротора;

ω – частота обертання ротора двигуна.

Для вирішення цієї системи рівнянь її необхідно доповнити рівняннями зв'язку еквівалентних струмів і потокозчеплень машини. В системі координат (х-у) еквівалентні потокозчеплення і струми статора і ротора двигуна пов'язані один з одним наступними рівняннями:

$$\begin{aligned}\Psi_{sx} &= L_s i_{sx} + L_m i_{rx}; \\ \Psi_{sy} &= L_s i_{sy} + L_m i_{ry}; \\ \Psi_{rx} &= L_m i_{sx} + L_r i_{rx}; \\ \Psi_{ry} &= L_m i_{sy} + L_r i_{ry},\end{aligned}\tag{2.6}$$

де L_m – взаємна індуктивність, що враховує магнітну зв'язок однієї фази статора з трьома обмотками ротора і відповідно однієї обмотки ротора з трьома обмотками статора;

$L_s = L_m + L_{\sigma s}$ – індуктивність обмотки статора, що враховує магнітну зв'язок з двома іншими фазними обмотками статора,

$L_r = L_m + L_{\sigma r}$ – індуктивність обмотки ротора, що враховує магнітну зв'язок з двома іншими фазними обмотками ротора;

$L_{\sigma s}$ – індуктивність розсіювання фазної обмотки статора;

$L_{\sigma r}$ – індуктивність розсіювання фазної обмотки ротора.

Коефіцієнти в рівняннях зв'язку між еквівалентними струмами і потокозчеплення не залежить від миттєвого значення кута повороту ротора щодо магнітної осі статора двигуна. Для побудови математичної моделі асинхронного двигуна зручніше користуватися зворотними залежностями, тобто залежностями $i = f(\Psi)$, які мають вигляд:

$$\begin{aligned}i_{sx} &= \frac{1}{\sigma L_s} \Psi_{sx} - \frac{L_m}{\sigma L_s L_r} \Psi_{rx}; \\ i_{sy} &= \frac{1}{\sigma L_s} \Psi_{sy} - \frac{L_m}{\sigma L_s L_r} \Psi_{ry}; \\ i_{rx} &= -\frac{L_m}{\sigma L_s L_r} \Psi_{sx} + \frac{1}{\sigma L_r} \Psi_{rx}; \\ i_{ry} &= -\frac{L_m}{\sigma L_s L_r} \Psi_{sy} + \frac{1}{\sigma L_r} \Psi_{ry},\end{aligned}\tag{2.7}$$

					КРБ.141.4367.ПЗ.Р2	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

де $\sigma = \left(1 - \frac{L_m^2}{L_s L_r}\right)$ – коефіцієнт розсіювання двигуна.

Як було показано вище, вираз для електромагнітного моменту асинхронного двигуна представляє собою векторний добуток будь-якої пари просторових векторів струмів і потокозчеплень. Таким чином, в системі координат (х-у) можна використовувати шість рівнянь для відшукування електромагнітного моменту двигуна. При використанні будь-якого з цих виразів результат буде один і той же.

$$M = \frac{3}{2} p_n (\Psi_{sx} i_{sy} - \Psi_{sy} i_{sx}); \quad M = \frac{3}{2} p_n (i_{rx} \Psi_{ry} - i_{ry} \Psi_{rx}); \quad (2.8)$$

$$M = \frac{3}{2} L_m p_n (i_{rx} i_{sy} - i_{ry} i_{sx}); \quad M = \frac{3}{2} \frac{L_m}{\sigma L_s L_r} p_n (\Psi_{rx} \Psi_{sy} - \Psi_{ry} \Psi_{sx}); \quad (2.9)$$

$$M = \frac{3}{2} \frac{L_m}{L_s} p_n (i_{rx} \Psi_{sy} - i_{ry} \Psi_{sx}); \quad M = \frac{3}{2} \frac{L_m}{L_r} p_n (\Psi_{rx} i_{sy} - \Psi_{ry} i_{sx}), \quad (2.10)$$

де p_n – число пар полюсів асинхронного двигуна.

2.2 Функціональна та структурна схеми системи керування

Функціональна схеми системи перетворювач частоти – асинхронний двигун (ПЧ-АД) зі зворотнім зв'язком за швидкістю при скалярному керуванні показана на рис. 2.1.

Тут канал від'ємного зворотного зв'язку за швидкістю включає тахогенератор ТГ як датчик зворотного зв'язку, вузол $\sum_5$ 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 $\sum_4$ сумування напруги u_{pc} і результуючої напруги u_{y1} з виходу суматора $\sum_1$.

					КРБ.141.4367.ПЗ.Р2	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

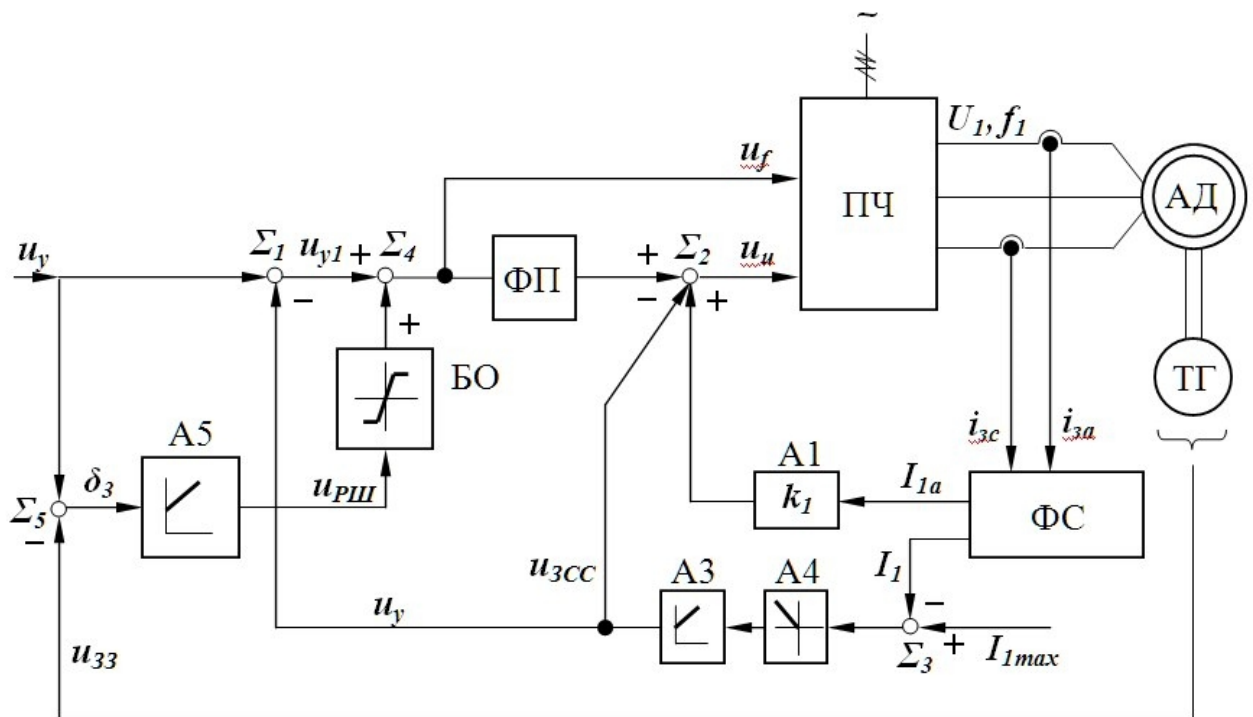


Рисунок 2.1 – Функціональна схема системи перетворювач частоти (ПЧ-АД) зі зворотнім зв'язком за швидкістю при скалярному керуванні

По мірі збільшення навантаження на валу АД (від моменту M_1 до моменту M_2 на рис. 2.2) 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 $I_1 < I_{1max}$), 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. 2.2, б). При цьому швидкість двигуна відновлюється до заданого значення ω_{00} , тобто забезпечується абсолютна жорсткість механічної характеристики АД (лінія 1 на рис. 2.2, а).

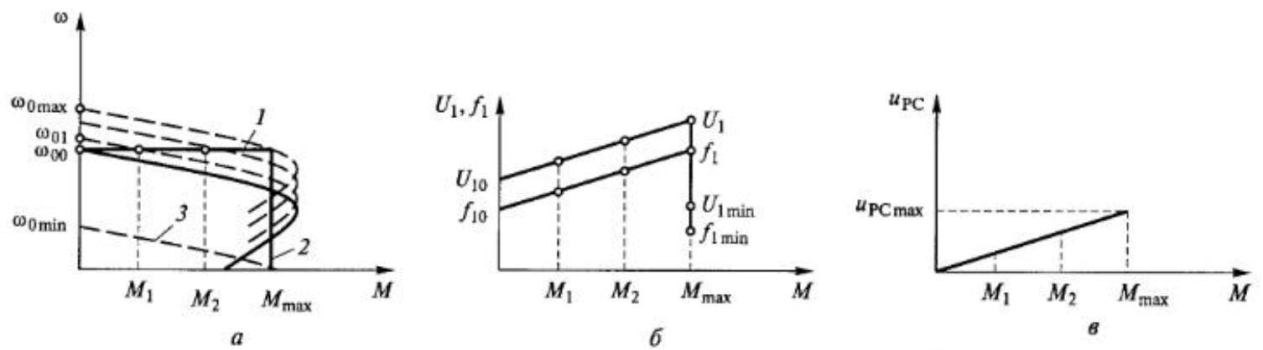


Рисунок 2.2 – Механічні характеристики (а), залежності вихідних напруг і частот ПЧ (б), а також напруги регулятора швидкості (в) від моменту в системі ПЧ-АД зі зворотним зв'язком по швидкості

При перевищенні максимально допустимого струму статора асинхронного двигуна 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. 2.2, 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. 2.2, а). Мінімальна синхронна швидкість двигуна $\omega_{0\min}$ буде відповідати значенням $f_{1\min}$ і $U_{1\min}$, а механічна характеристика – лінії 3 (рис. 2.2, а).

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

Спрощена функціональна схема системи перетворювач частоти – асинхронний двигун зі зворотнім зв'язком за швидкістю при скалярному керуванні показана на рис. 2.3.

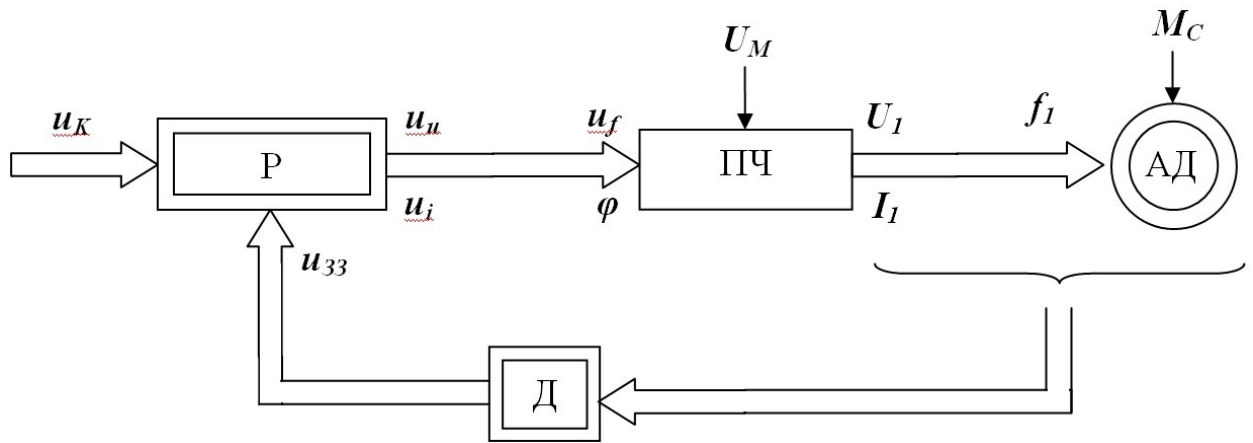


Рисунок 2.3 – Спрощена функціональна схема системи перетворювач частоти – асинхронний двигун (ПЧ-АД) зі зворотнім зв'язком за швидкістю при скалярному керуванні

Структурна схема системи перетворювач частоти – асинхронний двигун (ПЧ – АД) зі зворотнім зв'язком за швидкістю показана на рис. 2.4.

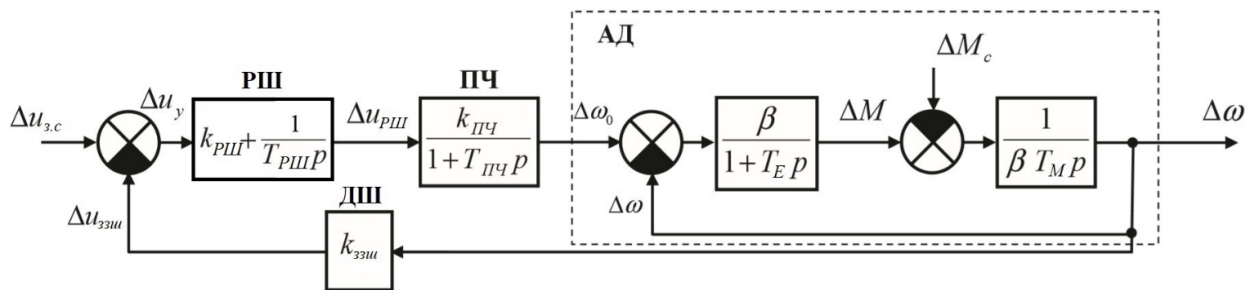


Рисунок 2.4 – Структурна схема системи перетворювач частоти – асинхронний двигун (ПЧ – АД) зі зворотнім зв'язком за швидкістю

Позначення на рис. 2.4:

β – модуль жорсткості лінеаризованої механічної характеристики АД;

T_E – еквівалентна електромагнітна стала часу кіл статора та ротора АД;

$k_{ПЧ}$ – передатний коефіцієнт перетворювача частоти ПЧ;

$T_{ПЧ}$ – стала часу кола керування ПЧ;

T_M – електромеханічна постійна часу двигуна;

k_{33u} – коефіцієнт зворотного зв'язку за швидкістю;

$k_{PШ}$ – передатний коефіцієнт пропорційної частини регулятора РШ;

$T_{PШ}$ – стала часу інтегрування регулятора РШ;

$\Delta\omega$ – приріст швидкості;

$\Delta\omega_0$ – приріст кутової швидкості електромагнітного поля АД;

ΔM – приріст моменту;

ΔM_c – приріст статичного моменту навантаження;

$\Delta U_{3,c}$ – приріст сигналу, що задається;

ΔU_y – сигнал керування регулятором швидкості;

$\Delta U_{pш}$ – сигнал керування перетворювача частоти ПЧ;

$\Delta U_{ззш}$ – сигнал зворотного зв'язку за швидкістю.

					КРБ.141.4367.ПЗ.Р2	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

3. ВИБІР ЕЛЕМЕНТІВ І ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІКИ СИСТЕМИ

3.1 Вибір приводного двигуна електропривода гвинтового електронасосного агрегату перекачки мастила

Технічні характеристики гвинтового електронасосного агрегату А1 3В 4/25-6,8/10Б перекачки мастила наведено в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Технічні характеристики гвинтового електронасосного агрегату А1 3В 4/25-6,8/10Б

Параметр	Значення
Серія	3В суднові
Подача, м ³ /год, не менше	6,8
Тиск на виході з насоса, кгс/см ² небільше	10
Потужність, що споживається насосом (макс.), кВт	4,5
Частота обертання, об/хв	2900
ККД насоса, %	60
Напруга мережі, В	220/380
Частота струму, Гц	50
Вид струму	змінний
Кінематична в'язкість перекачувальної рідини (розрахункова), °ВУ	10
Допустима вакууметрична висота всмоктування, м	6
Тип конструкції насоса	гвинтовий
Область застосування	суднобудування
Середовище, що перекачується	мастило

Гвинтовий електронасосний агрегат перекачки мастила А1 3В 4/25-6,8/10Б показано на рис. 3.1.



Рисунок 3.1 – Електронасосний агрегат перекачки мастила А1 3В 4/25-6,8/10Б

Відповідно до технічних характеристик гвинтового електронасосного агрегату А1 3В 4/25-6,8/10Б обираємо асинхронний двигун 4А100L2У3 потужністю 5,5 кВт з частотою обертання 2880 об/хв. Технічні дані асинхронного двигуна 4А100L2У3 приведено в табл. 3.2.

Таблиця 3.2 – Технічні дані асинхронного двигуна 4А100L2У3

Тип двигуна	P_n , кВт	При номінальному навантаженні			$\frac{M_{\max}}{M_n}$	$\frac{M_{\pi}}{M_n}$	$\frac{M_{\min}}{M_n}$	$\frac{I_{\pi}}{I_n}$	J , кг·м ²
		n_n , об/хв	η , %	$\cos \varphi$					
4А100L2У3	5,5	2880	87,5	0,91	2,2	2,0	1,2	7,5	$75,0 \cdot 10^{-4}$

Оскільки номінальний струм асинхронного двигуна в табл. 3.2 не вказано, тому обчислимо його:

$$I_n = P_n / (\sqrt{3} U \cos \varphi \eta) = 5,5 \cdot 10^3 / (\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,91 \cdot 0,875) = 10,495 \text{ А.}$$

Визначимо номінальну кутову швидкість $\omega_{\text{ном}}$:

$$\omega_{\text{ном}} = \frac{2\pi n_{\text{ном}}}{60} = \frac{2 \cdot 3,142 \cdot 2880}{60} = 301,593 \text{ рад/с.}$$

Визначимо швидкість холостого ходу, номінальні ковзання і момент:

$$\omega_0 = \frac{2\pi f}{p} = \frac{2 \cdot 3,142 \cdot 50}{1} = 314,159 \text{ рад/с;}$$

$$M_{\text{ном}} = \frac{P_{\text{н}}}{\omega_{\text{ном}}} = \frac{5,5 \cdot 10^3}{301,593} = 18,237 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$s_{\text{ном}} = (\omega_0 - \omega_{\text{ном}}) / \omega_0 = (314,159 - 301,593) / 314,159 = 0,04.$$

Отриманих даних достатньо для приблизної побудови робочої ділянки механічної характеристики асинхронного двигуна по двом точкам – номінальна $(\omega_{\text{ном}}, M_{\text{ном}})$ і холостого ходу $(\omega_0, 0)$.

Для отримання повної механічної характеристики продовжуємо розрахунок.

Критичний момент асинхронного двигуна:

$$M_{\text{к}} = \lambda_{\text{м}} M_{\text{ном}},$$

де $\lambda_{\text{м}} = 2,2$ з паспортних даних двигуна.

Отже, $M_{\text{к}} = 2,2 \cdot 18,237 = 40,12 \text{ Н} \cdot \text{м}$.

Критичне ковзання обчислюємо за формулою:

$$s_{\text{к}} = s_{\text{ном}} (\lambda_{\text{м}} + \sqrt{\lambda_{\text{м}}^2 - 1}) = 0,04 \cdot (2,2 + \sqrt{2,2^2 - 1}) = 0,166.$$

Підставимо знайдені значення $M_{\text{к}}$ і $s_{\text{к}}$ в наступну спрощену формулу:

$$M = 2M_{\text{к}} / (s/s_{\text{к}} + s_{\text{к}}/s) = 2 \cdot 40,12 / (s/0,166 + 0,166/s).$$

По цій формулі можна побудувати механічні характеристики двигуна, задаючись рядом значень s від 0 до 1.

Механічна характеристика асинхронного двигуна 4A100L2Y3 показана на рис. 3.2.

Обчислимо наступні параметри схеми заміщення асинхронної машини по паспортним даним.

Конструктивний коефіцієнт:

$$c_1 = 1 + \frac{L_{\text{лс}}}{L_{\text{м}}}.$$

Попередньо конструктивний коефіцієнт задається в діапазоні $c = 1,00 - 1,05$ 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.

					КРБ.141.4367.ПЗ.РЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

Приймаємо значення конструктивного коефіцієнта $c_1 = 1,01$.

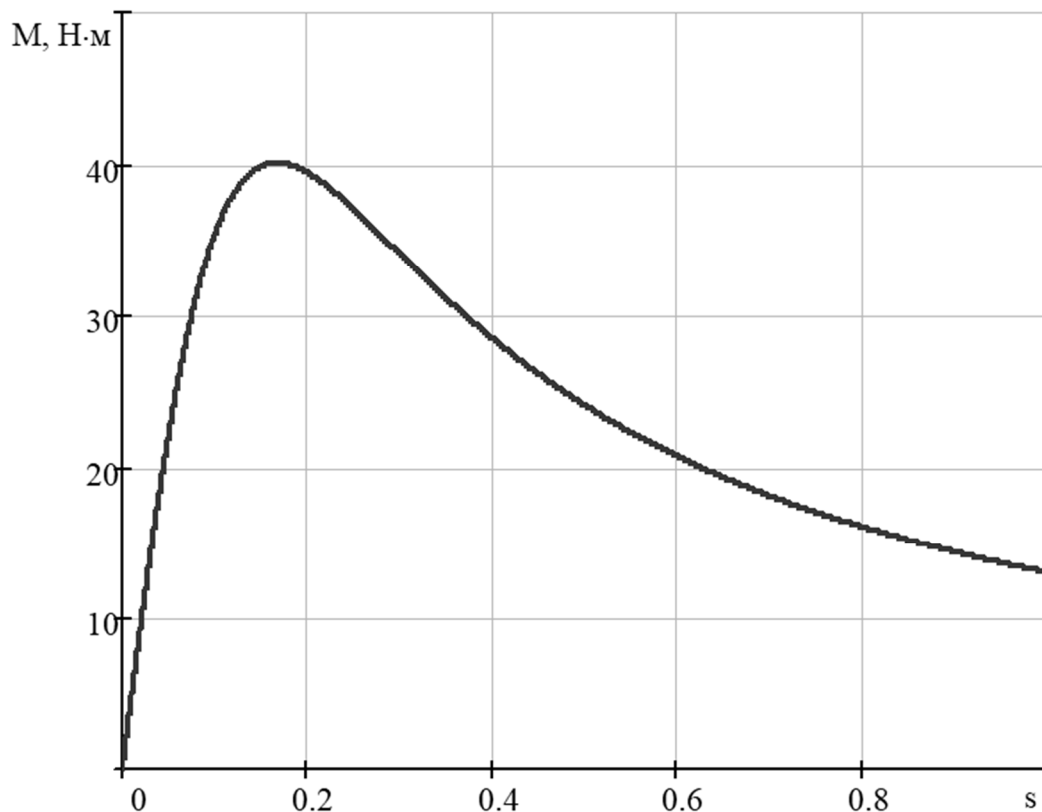


Рисунок 3.2 – Механічна характеристика асинхронного двигуна 4A100L2Y3

Визначимо коефіцієнт в'язкого тертя:

$$B_m = \frac{\Delta P_m}{(2\pi n_n/60)^2},$$

де ΔP_m – механічні втрати.

$$\Delta P_m = \sqrt{3} I_n U_n \cos \varphi \eta - P_n = \sqrt{3} \cdot 10,495 \cdot 380 \cdot 0,91 \cdot 0,875 - 5,5 \cdot 10^3 = 0,17 \text{ Вт.}$$

$$B_m = \frac{\Delta P_m}{(2\pi n_n/60)^2} = \frac{0,17}{(2 \cdot \pi \cdot 2880/60)^2} = 1,869 \cdot 10^{-6}.$$

Опір статора знаходиться з виразу:

$$R_s = \frac{3}{2 c_1 (1 + c_1/s_k) M_k (P_n + \Delta P_m)} \frac{(U_n/\sqrt{3})^2 (1 - s_{ном})}{(380/\sqrt{3})^2 (1 - 0,04)} = \frac{3}{2 \cdot 1,01 (1 + 1,01/0,166) 40,12 (5,5 \cdot 10^3 + 1,869 \cdot 10^{-6})} = 0,802 \text{ Ом.}$$

Визначимо опір ротора:

$$R_r = \frac{1}{3} \frac{(P_H + \Delta P_m)}{(1 - s_{\text{ном}}) \left(\frac{I_K}{I_H} \right)^2 I_H^2} = \frac{1}{3} \cdot \frac{(5,5 \cdot 10^3 + 1,869 \cdot 10^{-6})}{(1 - 0,04) \cdot 7,5^2 \cdot 10,495^2} = 0,308 \text{ Ом.}$$

Визначимо індуктивність статора і ротора:

$$L_s \equiv L_r = \frac{1}{2\pi f_H I_H} \frac{(U_H / \sqrt{3})}{\left(\sqrt{1 - (\cos \varphi)^2} - \cos \varphi s_H / s_K \right)} =$$

$$= \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} \cdot \frac{(380 / \sqrt{3})}{10,495 \left(\sqrt{1 - 0,91^2} - 0,91 \cdot 0,04 / 0,166 \right)} = 0,34 \text{ Гн.}$$

Визначимо індуктивність розсіювання статора і ротора:

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

$$= \frac{1}{4 \cdot 3,14 \cdot 50} \sqrt{\left[(380 / \sqrt{3}) / (7,5 \cdot 10,495) \right]^2 - (0,802 + 0,308)^2} =$$

$$= 4,069 \cdot 10^{-3} \text{ Гн.}$$

Визначимо взаємодукцію:

$$L_m = L_s - L_{1s} = 0,34 - 4,069 \cdot 10^{-3} = 0,336 \text{ Гн.}$$

Перераховуємо конструктивний коефіцієнт:

$$c_1 = 1 + \frac{L_{1s}}{L_m} = 1 + \frac{4,069 \cdot 10^{-3}}{0,336} \approx 1,01.$$

Збіг прийнятого і розрахункового конструктивного коефіцієнта c_1 в межах припустимої похибки досягнуто.

3.2 Вибір перетворювача частоти електропривода гвинтового електронасосного агрегату перекачки мастила

Перетворювачі частоти EA-Technology модель АЕ серії V-81 призначені для керування швидкістю обертання трифазних асинхронних електродвигунів з короткозамкненим ротором потужністю від 0,4 до 450 кВт з живленням від мережі змінного струму напругою 220...380В і частотою 50/60 Гц. Модель V-81

					КРБ.141.4367.ПЗ.РЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

спеціалізована для роботи з електродвигунами у складі насосних та вентиляційних установок.

Таблиця 3.3 – Технічні дані перетворювача фірми EA-Technology серії V-81

Трифазне живлення: змінний струм 380В, 50/60Гц					
Модель	Потужність		Вхідний струм, А	Вихідний струм, А	Габарит
	кВ	к.с.			
AE-V81G-0R7T4B	0,75	1	4,3	2,5	1F4
AE-V81G-1R5T4B	1,5	2	5,2	3,7	1F4
AE-V81G-1R2T4B	2,2	3	6,0	5,1	1F4
AE-V81G-3R7T4B	3,7	5	10,5	8,5	2F4
AE-V81G-5R5T4B	5,5	7,5	15	13	2F4
AE-V81G-7R5T4B	7,5	10	20	16	3F4
AE-V81G-011T4B	11	15	27	25	3F4
AE-V81G-015T4B	15	20	37	32	3F4
AE-V81G-018T4	18,5	25	42	38	4F4
AE-V81G-022T4	22	30	49	45	4F4

Допускається заміна швидкодіючих запобіжників на автомати захисту з тепловим і електромагнітним розчеплювачем з кратністю спрацьовування 3-5 (клас В). У цьому випадку, рекомендується використання мережних реакторів (дроселів), встановлюваних перед введенням мережі в ПЧ. Реактор необхідний для обмеження перехідних струмів, що виникають при різкому підйомі мережевої напруги або розбалансі фаз.

Опис елементів, що використовувались на рис. 3.2, зведений в табл. 3.4.

					КРБ.141.4367.ПЗ.РЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

Таблиця 3.4 – Конфігурація електрообладнання, що встановлюється разом з перетворювачем АЕ-V81

Пристрій	Місце встановлення	Призначення
1	2	3
Автоматичний вимикач	Ввід мережевого живлення ПЧ	Захист ПЧ і підключеного обладнання від струмів перевантаження і КЗ
Контактор	Між ввідним автоматом і ПЧ	Керування силовим живленням ПЧ, аварійне вимкнення ПЧ
Мережевий дросель	На вході ПЧ	Зменшення перенапруги і гармонічних складових струму в мережі живлення. Обмеження лінійного струму.
Вхідний фільтр ЕМС	На вході ПЧ	Використовується для зменшення рівня радіоперешкод наведених перетворювачем частоти в мережі живлення . Потребує обов'язкового підключення до контуру заземлення. Застосовується при підвищених вимогах до ЕМС
Дросель ланцюга постійного струму	Поряд з ПЧ, підключається до відповідних клем ПЧ	Зменшення гармонічних складових струму на стороні живлячої напруги. Для деяких габаритів входить в базову комплекцію, виконаний в корпусі ПЧ і не потребує підключення.
Дросель двигуна	На виході ПЧ	Зменшення перенапруги і гармонічних складових струму на двигуні. Обмеження струму двигуна. Установка обов'язкова при довжині кабелю двигуна більше 100 метрів

Мережний дросель захищає перетворювач частоти при коротких замиканнях на його виході, обмежуючи швидкість наростання струму короткого замикання і сталий струм короткого замикання, сприяючи успішному спрацюванню струмового захисту перетворювача частоти.

За номінальними даними двигуна 4A100L2Y3, виходячи з умови, що потужність перетворювача частоти (ПЧ) повинна дорівнювати або бути більшою за потужність обраного асинхронного двигуна обираємо перетворювач частоти АЕ-

V81G-7R5T4B з номінальною потужністю 7,5 кВт. Номінальний вихідний струм перетворювача частоти ПЧ V81G-7R5T4B – 16 А (більший ніж струм електродвигуна 4A100L2Y3 – 10,495 А).

Рішення про конфігурацію (рис. 3.3) обладнання або про застосування того чи іншого додаткового обладнання користувач приймає самостійно залежно від умов експлуатації, режиму роботи та інших експлуатаційних вимог.

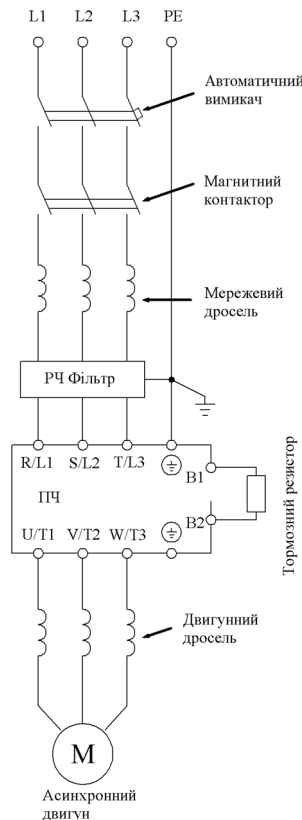


Рисунок 3.3 – Схема керування асинхронним двигуном за допомогою перетворювача частоти

3.3 Синтез структури і розрахунок регуляторів системи керування електропривода гвинтового електронасосного агрегату перекачки мастила

Система частотного керування скалярного типу є найпоширенішою в асинхронному електроприводі. Тип системи керування значною мірою визначається виконавчим механізмом електропривода. Для системи частотного керування скалярного типу характерна технічна простота виміру та 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. 3.4) крім асинхронного двигуна та керованого перетворювача частоти (ПЧ) містить регулятори Р і датчики Д змінних електропривода.

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

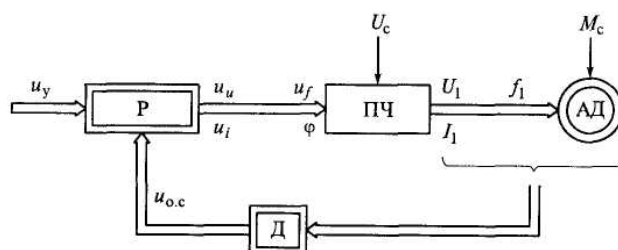


Рисунок 3.4 – Функціональна схема замкнутої системи перетворювач частоти – асинхронний двигун (ПЧ-АД) зі скалярним керуванням

На рис. 3.5 зображено структурну схему лінеаризованої системи, функціональна схема якої приведена раніше, при роботі асинхронного двигуна на ділянці механічної характеристики в межах значень абсолютного ковзання $s_a \leq s_k$.

Модуль жорсткості β лінеаризованої механічної характеристики АД:

$$\beta = \frac{2M_k}{\omega_{0\text{нн}} s_k};$$

$$\beta = \frac{2 \cdot 18,237}{314,159 \cdot 0,093} = 1,599 \approx 1,6.$$

Еквівалентна електромагнітна постійна часу T_e кіл статора й ротора асинхронного двигуна, визначена по формулі:

$$T_e = \frac{1}{\omega_{0\text{сел.ном}} s_k},$$

де $\omega_{0\text{сел.ном}}$ – кутова швидкість електромагнітного поля АД при його номінальній частоті живлення $f_{\text{ном}} = 50\text{Гц}$.

					КРБ.141.4367.ПЗ.РЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

$$T_e = \frac{1}{314,159 \cdot 0,166} = 0,019 \text{ с.}$$

Електромеханічна постійна часу двигуна T_M :

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

де J – зведений момент інерції двигуна.

$$T_M = \frac{0,0075}{1,6} = 4,69 \cdot 10^{-3} \text{ с.}$$

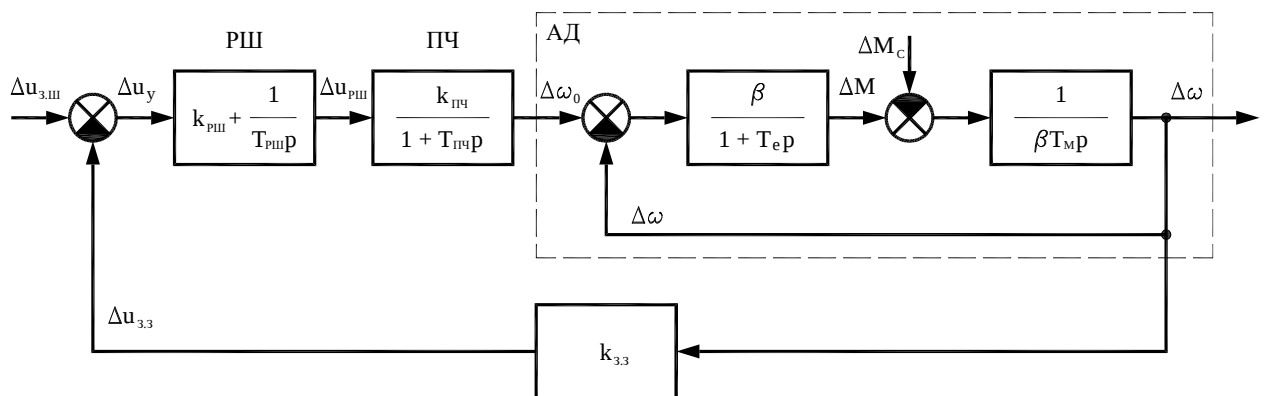


Рисунок 3.5 – Спрощена структурна схема системи ПЧ – АД зі зворотним зв'язком по швидкості

Передавальний коефіцієнт ПЧ $k_{пч}$:

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

де $p_{п}$ – кількість пар полюсів двигуна.

При роботі асинхронного двигуна АД в зоні частот $f_1 \leq f_{1ном} = 50\text{Гц}$ і номінальному сигналі керування перетворювачем $u_{у.ПЧном}$ співвідношення:

$$\frac{\Delta f_1}{\Delta u_{рш}} = \frac{f_1}{u_{у.ПЧном}} = \frac{50}{10} = 5;$$

$$k_{пч} = \frac{2\pi}{p_{п}} \frac{\Delta f}{\Delta u_{рш}} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 50}{1 \cdot 10} = 31,416.$$

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

Передавальна функція ПІ-регулятора швидкості:

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

Передавальна функція ланцюга зворотного зв'язка по швидкості двигуна:

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

При номінальному сигналі керування електроприводом, рівному $u_{3.\text{сн}}^{\text{ном}}$, і відповідної йому номінальної швидкості АД:

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

$$k_{3.3} = \frac{10}{301,593} = 0,033.$$

У відповідності зі структурною схемою АД 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 $T_m \geq 4T_e$

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

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 $T_m = 4T_e = 4 \cdot 0,019 = 0,077$, тоді

$$T_{01} = T_{02} = \frac{1}{\frac{1}{2T_e} \left(1 + \sqrt{1 - \frac{4T_e}{T_m}} \right)} = \frac{1}{\frac{1}{2 \cdot 0,019} \left(1 + \sqrt{1 - \frac{4 \cdot 0,019}{0,077}} \right)} = 0,038 \text{ с.}$$

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

$$T_{\mu} = T_{02} + T_{\text{пч}} = 0,038 + 0,001 = 0,039 \text{ с,}$$

то при налаштуванні електропривода на модульний оптимум постійна

					КРБ.141.4367.ПЗ.РЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

інтегрування й коефіцієнт передачі пропорційної частини регулятора РС визначається так:

$$T_{\text{РШ}} = k_{\text{з.з}} k_{\text{пч}} a_{\mu} T_{\mu}$$

$$T_{\text{РШ}} = 0,033 \cdot 31,146 \cdot 1 \cdot 0,039 = 0,041 \text{ с};$$

$$k_{\text{РШ}} = \frac{T_{01}}{T_{\text{РШ}}}; k_{\text{РШ}} = \frac{0,038}{0,041} = 0,936.$$

3.5 Побудова та аналіз перехідних процесів системи

Для побудови перехідних процесів скористаємось програмою Simulink, яка вбудована в програмний продукт MATLAB.

На рис. 3.6 представлена структурна схема імітаційної моделі системи в програмі Simulink при розрахованих значеннях параметрів, яка відповідає структурній схемі на рис. 3.5. Параметри ПІ-регулятора швидкості наступні: $k_{\text{РШ}} = 0,936$; $T_{\text{РШ}} = 0,041 \text{ с}$.

Графік перехідного процесу за швидкістю показаний на рис. 3.7.

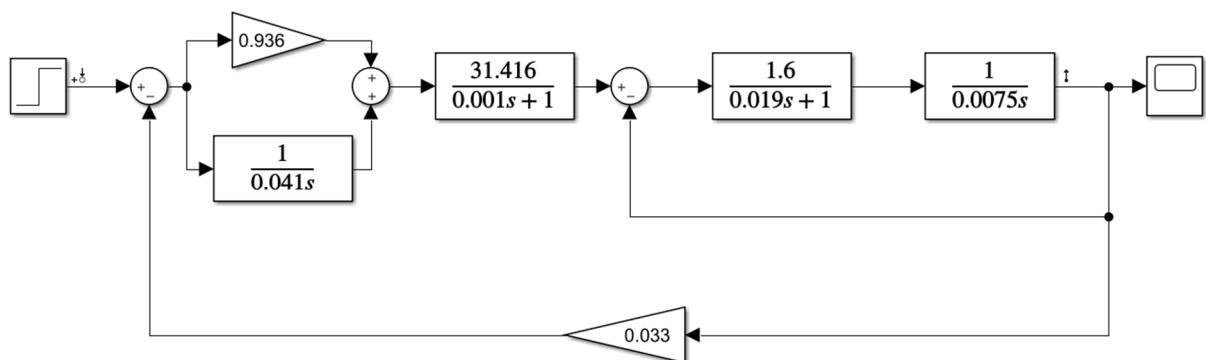


Рисунок 3.6 – Структурна схема імітаційної моделі при параметрах ПІ-регулятора швидкості $k_{\text{РШ}} = 0,936$; $T_{\text{РШ}} = 0,041 \text{ с}$

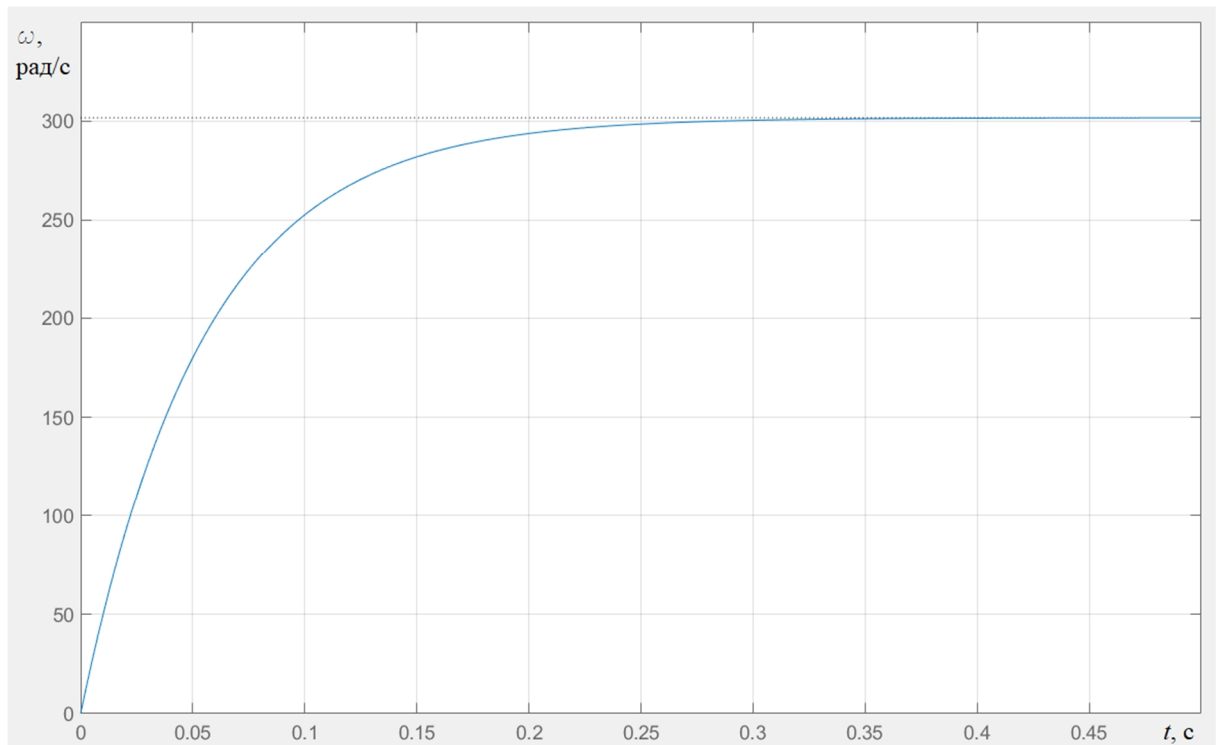


Рисунок 3.7 – Перехідний процес за швидкістю
при $k_{\text{рш}} = 0,936$; $T_{\text{рш}} = 0,041$ с

Показники якості керування перехідного процесу (рис. 3.7) наступні: час перехідного процесу 0,5 с; перерегулювання 0 %.

Отже, результати моделювання вказують на те, що показники якості керування є задовільними, а система – стійкою.

4. ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Пожежна безпека, фізико-хімічні основи горіння та вибуху

Пожежа – це неконтрольоване горіння, яке поширюється в часі і просторі. Вогонь, який вийшов з-під контролю, здатний викликати значні руйнівні та смертельні наслідки. Щорічно в Україні виникає близько 60 000 пожеж. У них гине понад 3500 осіб, збитки від пожеж становлять понад 2 млрд грн на рік. Найпоширенішими причинами пожеж в Україні є:

- необережне поводження з вогнем (61%);
- порушення правил монтажу та експлуатації електроприладів (18%);
- порушення правил монтажу та експлуатації приладів опалення (11%);
- пустощі дітей з вогнем (7%);
- підпали (2%).

Слід особливо підкреслити, що за останні 15-20 років кількість пожеж, які виникають безпосередньо з вини людей внаслідок необережного поводження з вогнем, недотримання вимог пожежної безпеки при виконанні зварювальних робіт неухильно зростає з року в рік. Це означає, що стан і рівень пожежної безпеки в Україні значною мірою обумовлені складним соціально-економічним становищем держави, недостатньою участю у справі пожежної безпеки місцевих органів самоврядування та громадських об'єднань і потребують негайного та суттєвого покращання. Тому поряд із збільшенням фінансування та підвищенням організаційного рівня пожежної безпеки необхідний постійний пошук нових, більш ефективних шляхів вирішення цієї проблеми.

Пожежна безпека об'єкта – це стан об'єкта, при якому з регламентованою імовірністю виключається можливість виникнення і розвитку пожежі та впливу на людей її небезпечних факторів, а також забезпечується захист матеріальних цінностей.

Відповідно до ГОСТ 12.1.004-91 пожежна безпека об'єкта повинна забезпечуватися:

- 1) системою запобігання пожежі;

					КРБ.141.4367.ПЗ.Р4	Арк.
						42
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2) системою протипожежного захисту;

3) системою організаційно-технічних заходів із пожежної безпеки.

Правовою основою діяльності в галузі пожежної безпеки є Конституція України, Закон України «Про пожежну безпеку» та інші закони і нормативно-правові акти.

Горіння – це екзотермічна хімічна реакція окиснення речовини, що супроводжується виділенням диму та виникненням полум'я. Для того щоб виник процес горіння, необхідна одночасна наявність трьох факторів:

- окиснювача;
- горючої речовини;
- джерела запалювання (ДЗ).

Однак наявність цих факторів ще не означає, що обов'язково виникне горіння. Необхідно, щоб були виконані такі умови:

1. Горюче та окислювач повинні утворити суміш у певному співвідношенні одне до одного, щоб утворилася горюча суміш – тобто така суміш, яка здатна самостійно горіти після видалення ДЗ.

2. ДЗ повинне мати достатню енергію та температуру, щоб запалити горючу суміш.

Окиснювачами можуть бути:

- кисень повітря;
- кисень від розкладання певних хімічних речовин: нітратів, хлоратів, перхлоратів, пероксидів, перманганатів, дихроматів, хроматів та інших;
- концентровані азотна, сірчана, хлорна, хлорнувата кислоти, меланж, олеум, тетраоксид та пентаоксид нітрогену;
- галогени: фтор, хлор, бром.

Як горюче можуть застосовуватися різні речовини, які можуть знаходитися в газовому, рідкому або твердому агрегатних станах.

Джерело запалювання – це тіло, яке горить, сильно розжарене, або електрична іскра, розряд, іскри від удару або тертя.

Горіння може бути гомогенним та гетерогенним. При гомогенному горінні горюче та окиснювач знаходяться в одному й тому самому агрегатному стані – газо-

					КРБ.141.4367.ПЗ.Р4	Арк.
						43
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

чи пароподібному. При гетерогенному горінні вони знаходяться в різних агрегатних станах, і є межа поділу фаз у горючій системі. Пожежі переважно характеризуються гетерогенним горінням.

За швидкістю поширення полум'я розрізняють такі види горіння:

1. Дифузійне (дефлаграційне) горіння – швидкість горіння мала, становить декілька м/с. При такому горінні горюча суміш утворюється в процесі горіння. Як правило, це гетерогенне горіння;

2. Кінетичне (вибухове) горіння – дуже швидке горіння, коли швидкість поширення полум'я становить декількох сотень м/с. Утворюються стиснені гази, які викликають появу ударної хвилі – раптового стрибкоподібного зростання тиску. Ударна хвиля поширюється зі швидкістю звуку попереду фронту горіння. При такому горінні горюча суміш надходить у зону горіння вже змішаною. Це гомогенне горіння;

3. Детонаційне горіння – найбільш швидкий вид горіння, коли полум'я поширюється із надзвуковою швидкістю. Також утворюється ударна хвиля, і горюча суміш надходить у зону горіння вже змішаною. Це також гомогенне горіння.

Залежно від агрегатного стану горючих речовин та матеріалів, а також від особливостей їх горіння пожежі за ГОСТ 27331-87, поділяються на такі класи та підкласи:

– клас А – горіння твердих речовин, що супроводжується (підклас А1) або не супроводжується (підклас А2) тлінням;

– клас В – горіння рідких речовин, які розчиняються (підклас В1) або не розчиняються (підклас В2) у воді;

– клас С – горіння газів;

– клас Д – горіння легких металів за винятком лужних (підклас Д1), лужних (підклас Д2) або металовмісних сполук (підклас Д3);

– клас Е – горіння електроустановок під напругою.

Важливе значення для визначення рівня пожежної небезпеки і вибору засобів та заходів профілактики та гасіння пожеж мають пожежовибухонебезпечні властивості речовин та матеріалів. Незалежно від агрегатного стану всі речовини

					КРБ.141.4367.ПЗ.Р4	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

та матеріали поділяють на три групи горючості:

Горючі речовини – здатні до самозаймання або займання від ДЗ і самостійного горіння або тління після його видалення. Як правило, це органічні речовини.

Важкогорючі речовини – речовини і матеріали, які здатні спалахувати, тліти і горіти в присутності ДЗ, але не здатні горіти після його видалення. Це матеріали, які одночасно містять спалимі та неспалимі складові.

Негорючі речовини – це речовини та матеріали, які не здатні до горіння навіть за наявності ДЗ або в умовах високої температури. Це матеріали мінерального походження (пісок, камінь, азбест, більшість металів, неорганічні солі, цегла, бетон і т. ін.).

ГОСТ 12.1.044-89 встановлює номенклатуру показників п-в-н речовин і матеріалів. Залежно від агрегатного стану застосовують ті чи інші показники пожежовибухонебезпечності. При цьому розрізняють такі агрегатні стани:

Гази – речовини, абсолютний тиск пари яких при температурі 50 °С дорівнює або перевищує 300 кПа.

Рідини – речовини з температурою плавлення менше 50 °С.

Тверді речовини – речовини з температурою плавлення більше 50 °С.

Пил – дисперговані тверді речовини з розміром частинок менше 850 мкм.

Горючі гази. Для горючих газів найбільш поширеними показниками пожежовибухонебезпечності є:

1) нижня та верхня концентраційні межі займання (НКМЗ та ВКМЗ) – це такий мінімальний та максимальний вміст горючої речовини в суміші з окиснювачем, при яких можливе займання горючої суміші від ДЗ та поширення полум'я на будь-які відстані від нього. Тобто суміші, які містять горючу речовину нижче НКМЗ або вище ВКМЗ, не горять, а всередині цього інтервалу – горять, тобто такі суміші дуже небезпечні, і їх контакт із ДЗ може призвести до пожежі.

Газ тим небезпечніший, чим нижче його НКМЗ та ширший інтервал від НКМЗ до ВКМЗ, наприклад, аміак має такий інтервал від 15 до 28 %, а ацетилен – від 2,5 до 81 %, тому ацетилен значно небезпечніший у пожежному плані газ, ніж аміак.

Небезпечну область займання можна звужити або розширити за допомогою

					КРБ.141.4367.ПЗ.Р4	Арк.
						45
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

таких факторів:

- тиск;
- температура;
- введення інертних домішок.

Звужує небезпечний інтервал: зменшення тиску; зменшення температури; введення інертних добавок (азот, діоксид карбону, водяна пара).

Розширює: збільшення тиску; збільшення температури;

2) температура самозаймання ($T_{сз}$) – це така температура речовини, при якій відбувається різке збільшення швидкості хімічної реакції, що призводить до виникнення полум'я без ДЗ.

Горючі рідини. Для горючих рідин застосовують такі основні показники пожежовибухонебезпечності :

1) температура спалаху ($T_{сп}$) – це така мінімальна температура рідини, при якій над її поверхнею утворюється пара, яка здатна спалахувати від ДЗ, але швидкість її утворення ще недостатня для стійкого горіння. Наприклад, $T_{сп}$ сірководню ($-50\text{ }^{\circ}\text{C}$), бензину – ($-17,8\text{ }^{\circ}\text{C}$), мастил – $220-240\text{ }^{\circ}\text{C}$.

За температурою спалаху всі горючі рідини поділяють на легкозаймисті (ЛЗР) та горючі (ГР). До ЛЗР відносять рідини, температура спалаху яких не перевищує $61\text{ }^{\circ}\text{C}$ у закритому тиглі або $66\text{ }^{\circ}\text{C}$ у відкритому тиглі. До ГР відносять такі рідини, температура спалаху яких перевищує зазначені температури відповідно;

2) температура займання (T_z) – це така мінімальна температура рідини, при якій над її поверхнею утворюється пара з такою швидкістю, яка достатня для виникнення стійкого горіння. Температура займання характеризує можливість сталого горіння рідини, і якщо вона буде досягнута, це становить більшу небезпеку, ніж досягнення температури спалаху. Однак все ж основною характеристикою п-в-н горючих рідин є температура спалаху. Як правило, для ЛЗР інтервал $T_{сп} - T_z$ малий і становить лише декілька градусів, а для ГР він більший і може становити іноді $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ і більше. Горюча рідина тим небезпечніша, чим менше її $T_{сп}$ та чим менший інтервал $T_{сп} - T_z$;

3) характерною особливістю горіння рідин є те, що горять не саме вони у

					КРБ.141.4367.ПЗ.Р4	Арк.
						46
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

рідкій фазі, а їхня пара, яка змішується з повітрям, тому пожежовибухонебезпечність рідини характеризується таким самим показником, як і газа – величинами НКМЗ та ВКМЗ;

4) температурні межі займання – нижня температурна межа займання та верхня температурна межа займання (НТМЗ та ВТМЗ) – це такі температури, при яких насичена пара рідини утворює з повітрям концентрації, що дорівнюють НКМЗ та ВКМЗ;

5) температура самозаймання (Тсз) – це така мінімальна температура рідини, при якій відбувається різке збільшення швидкості екзотермічних реакцій, що призводить до виникнення полум'я за відсутності ДЗ.

Тверді горючі речовини. Горіння твердих речовин та матеріалів найбільш складне, оскільки вони спочатку прогріваються, розкладаються і лише потім починають горіти їх леткі горючі продукти розкладу. Таким чином, горіння твердих речовин пов'язане з їх розкладом, переходом горючої складової з однієї фази в іншу, утворенням горючої суміші, і лише потім відбувається горіння з появою тління або полум'я.

Показники пожежовибухонебезпечності для твердих горючих речовин:

- 1) температура займання Тз;
- 2) температура самозаймання Тсз .

Характеризуючи здатність твердих горючих речовин горіти, слід зауважити, що найбільшу небезпеку становить пил, тобто такий стан твердої речовини, коли її частинки мають дуже маленькі розміри – до 850 мкм. Якщо частинки зависають у повітрі – це аерозоль, а якщо вони осідають на поверхні – це аерогель.

Пил горить дуже швидко, тому що, по-перше, він має дуже велику питому поверхню, і за одиницю часу згоряє велика кількість речовини, тепла виділяється дуже багато, температура в ділянці горіння зростає, і швидкість горіння також зростає; по-друге, дрібні частинки пилу дуже швидко прогріваються до Тз і відповідно швидко спалахують. Тому пил здатний не тільки горіти, а й вибухати. Як показники пожежовибухонебезпечності пилу застосовують НКМЗ та Тсз .

Пил за НКМЗ поділяють на пожежонебезпечний, коли НКМЗ перевищує 65 г/м³, та вибухонебезпечний, коли НКМЗ менше або дорівнює 65 г/м³. У свою чергу,

					КРБ.141.4367.ПЗ.Р4	Арк.
						47
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

пожежонебезпечний пил поділяють на просто пожежонебезпечний з $T_{сз}$ більше 250 °С та особливо пожежонебезпечний з $T_{сз}$ 250 °С та менше, а вибухонебезпечний пил – на особливо вибухонебезпечний з НКМЗ менше 15 г/м³ та вибухонебезпечний, коли НКМЗ становить від 15 до 65 г/м³.

Існують речовини, які здатні за певних умов спалахувати та горіти без нагріву їх зовнішнім джерелом – тобто вони здатні до самозаймання. Розрізняють три види самозаймання:

- теплове;
- хімічне;
- мікробіологічне.

Теплове самозаймання полягає в тому, що здатні до такого самозаймання речовини при нагріві до помірної температури 60-80 °С далі починають розкладатися все інтенсивніше за рахунок того, що тепловідведення через певні причини відбувається дуже повільно, система починає саморозігріватися, хімічні процеси окиснення та розкладання прискорюються, тепла виділяється все більше і більше, і, нарешті, це призводить до самозаймання. Таке самозаймання притаманне дисперсним речовинам з дуже розвиненою поверхнею, які здатні адсорбувати кисень і вступати з ним у хімічну реакцію. Приклад теплового самозаймання – самозаймання вугілля у купах або штабелях.

Хімічне самозаймання притаманне таким хімічним сполукам, у складі яких є кратні зв'язки, а також є атоми карбону та гідрогену. За кратними зв'язками може відбутися приєднання окиснювачів, що супроводжується виділенням тепла, нагрівом речовини, а за рахунок цього прискорюється і хімічна реакція приєднання за кратними зв'язками. За певних умов цей процес може завершитися самозайманням. Наприклад, вугільний пил із підвищеним вмістом сірки; тканини, просочені нафтопродуктами, здатні до самозаймання. Хімічні речовини, здатні самозайматися, можна поділити на три групи:

- речовини, що самозаймаються при взаємодії з повітрям (лужні метали, сульфіді лужних та лужноземельних металів, білий та червоний фосфор, аерогелі алюмінію і цинку, оліфи, олії);
- речовини, що самозаймаються при взаємодії з водою (лужні метали та їх

					КРБ.141.4367.ПЗ.Р4	Арк.
						48
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

карбіди, гідриди лужних та лужноземельних металів, негашене вапно, сірчистий натрій і т.ін.);

– речовини, що самозаймаються при взаємодії одне з одним (пероксид гідрогену і органічні горючі, концентровані азотна і сірчана кислоти і горючі речовини, пентаоксид нітрогену, хлорна і хлорнувата кислоти, галогени і т.ін.).

Мікробіологічне самозаймання спостерігається у продуктів рослинного походження: деревна тріска, трава, зерно і т. ін. За певних умов зберігання в таких речовинах і матеріалах з'являється грибок, який має назву павутинний глет. Його життєдіяльність викликає підвищення температури, і коли вона сягає 80-90 °С, павутинний глет перетворюється в іншу тонкопоровату форму, яка ще більш здатна до самоокиснення з подальшим підняттям температури, що і призводить до самозаймання. Особливо здатні до самозаймання недосушені матеріали, оскільки волога і тепло сприяють життєдіяльності мікроорганізмів. Більшість мікроорганізмів при температурі 75 °С гине, але підвищення температури не припиняється, тому що деякі органічні сполуки при температурі 70 °С обвуглюються, і пористе вугілля, яке при цьому утворюється, адсорбує газу і пару, і процес саморозігрівання триває. При температурі 200 °С починає розкладатися клітковина, яка входить до складу рослинних олій, і це ще більше прискорює окиснення і призводить до самозаймання.

Для будь-якого з розглянутих видів самозаймання головними умовами є недостатнє тепловідведення, а також наявність окиснювача.

4.2 Чинники, що впливають на тяжкість ураження електричним струмом

Чинники, що впливають на тяжкість ураження людини електричним струмом, діляться на три групи: електричного характеру, неелектричного характеру і чинники виробничого середовища.

Основні чинники електричного характеру – це величина струму, що проходить крізь людину, напруга, під яку вона потрапляє, та опір її тіла, рід і

					КРБ.141.4367.ПЗ.Р4	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

частота струму.

Величина струму, що проходить через людину, безпосередньо і найбільше впливає на тяжкість ураження електричним струмом. За характером дії на організм виділяють:

- відчутний струм – викликає при проходженні через організм відчутні подразнення;
- невідпускаючий струм – викликає при проходженні через організм непереборні судомні скорочення м'язів руки, в якій затиснуто провідник;
- фібриляційний струм – викликає при проходженні через організм фібриляцію серця.

Відповідно до наведеного вище:

– пороговий відчутний струм (найменше значення відчутного струму) для змінного струму частотою 50 Гц коливається в межах 0,6-1,5 мА і 5-7 мА - для постійного струму;

– пороговий невідпускаючий струм (найменше значення невідпускаючого струму) коливається в межах 10-15 мА для змінного струму і 50-80 мА – для постійного;

– пороговий фібриляційний струм (найменше значення фібриляційного струму) знаходиться в межах 100 мА для змінного струму і 300 мА для постійного.

Граничнодопустимий струм, що проходить через людину при нормальному (неаварійному) режимі роботи електроустановки не повинен перевищувати 0,3 мА для змінного струму і 1 мА для постійного.

Величина напруги, під яку потрапляє людина, впливає на тяжкість ураження електричним струмом в тій мірі, що зі збільшенням прикладеної до тіла напруги збільшується струм і зменшується опір тіла людини. Останнє призводить до збільшення струму в мережі замикання через тіло людини і, як наслідок, до збільшення тяжкості ураження.

Граничнодопустима напруга на людині при нормальному (неаварійному) режимі роботи електроустановки не повинна перевищувати 2 – 3 В для змінного струму і 8 В для постійного.

Електричний опір тіла людини. Тіло людини являє собою складний комплекс

					КРБ.141.4367.ПЗ.Р4	Арк.
						50
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

тканин. Це шкіра, кістки, сухожилля, хрящі, жирова та м'язова тканина, кров, лімфа, спинний і головний мозок тощо.

Електричний опір цих тканин суттєво відрізняється. Шкіра є основним фактором, що визначає опір тіла людини в цілому. Опір шкіри різко знижується при ушкодженні її рогового шару, наявності вологи на її поверхні, збільшенні потовиділення, забрудненні. Крім перерахованих чинників, на опір шкіри впливають щільність і площа контактів, величина прикладеної напруги, величина струму і час його дії. Зі збільшенням величини напруги, струму і часу його дії опір шкіри, а також і тіла людини, в цілому, падає. Так, якщо при напрузі в декілька вольт опір тіла людини перевищує 10000 Ом, то при напрузі 100 В він знижується до 1500 Ом, а при напрузі більше 1000 В-до 300 Ом.

Опір тіла людини залежить від її статі і віку: у жінок він менший, ніж у чоловіків, у дітей менший, ніж у дорослих, у молодих людей менший, ніж у літніх. Спричиняється така залежність товщиною і ступенем огрубіння верхнього шару шкіри.

Частота і рід струму. Через наявність в опорі людини ємкісної складової, збільшення частоти прикладеної напруги супроводжується зменшенням повного опору тіла людини і, як наслідок, збільшенням струму через людину. Останнє дає підставу вважати, що тяжкість ураження електричним струмом має зростати зі збільшенням частоти. Але така закономірність спостерігається тільки в межах частот 0...50 Гц. Подальше збільшення частоти, незважаючи на зростання струму, що проходить через людину, не супроводжується зростанням небезпеки ураження.

При частотах 450-500 кГц вірогідність загальних електротравм майже зникає, але зберігається небезпека опіків. При цьому струмові опіки спостерігаються на шкірі і прилеглих до неї тканинах – за рахунок поверхневого ефекту змінного струму.

Як подразнюючий чинник постійний струм викликає подразнення в тканинах організму при замиканні і розмиканні струму, що проходить через людину. В проміжку часу між замиканням і розмиканням цієї мережі дія постійного струму зводиться, переважно, до теплової. Змінний струм викликає більш тривалі інтенсивні подразнення за рахунок пульсації напруги. З цієї точки зору, змінний

					КРБ.141.4367.ПЗ.Р4	Арк.
						51
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

струм є небезпечнішим. В дійсності, ця закономірність зберігається до величини напруги 400-600 В, а при більшій напрузі постійний струм стає більш небезпечний для людини.

Основними чинниками неелектричного характеру є шлях струму через людину, індивідуальні особливості і стан організму людини, час, раптовість і непередбачуваність дії струму.

Шлях струму через тіло людини суттєво впливає на тяжкість ураження. Особливо небезпечно, коли струм проходить через життєво важливі органи і безпосередньо на них впливає.

Якщо струм не проходить через життєво важливі органи, то він може впливати на них тільки рефлекторно – через центральну нервову систему, а вірогідність ураження цих органів менша.

Можливі шляхи струму через тіло людини називають петлями струму: "рука-рука", "голова-ноги", "рука-ноги" тощо. Серед випадків з тяжкими і смертельними наслідками частіше спостерігаються петлі "рука-рука" (40%), "права рука-ноги" (20%), "ліва рука-ноги" (17%). Особливо небезпечними є петлі "голова-руки" і "голова-ноги", але трапляються вони досить рідко.

Індивідуальні особливості і стан організму. До індивідуальних особливостей організму, які впливають на тяжкість ураження електричним струмом, при інших рівних чинниках належать: чутливість організму до дії струму, психічні особливості та риси характеру людини. Аналіз статистики електротравматизму свідчить, що більш чутливі до дії електричного струму холерики і меланхоліки. Вони більше потерпають від дії струму, а фізично здорові і міцні люди – менше.

Крім індивідуальних особливостей організму, тяжкість ураження електричним струмом значною мірою залежить від стану організму. До більш тяжких уражень електричним струмом призводять: стан збурення нервової системи; депресії; захворювання шкіри; серцево-судинної системи, органів внутрішньої секреції, легенів; різного характеру запалення, що супроводжуються підвищенням температури тіла; пітливість тощо. Більш тяжкі наслідки дії струму чітко спостерігаються в стані алкогольного чи наркотичного сп'яніння, а тому допуск до роботи працівників у такому стані забороняється.

					КРБ.141.4367.ПЗ.Р4	Арк.
						52
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Збільшення часу дії струму веде до зменшення опору тіла за рахунок зволоження шкіри від поту та електролітичних процесів в тканинах, поширюється пробій шкіри, послаблюються захисні сили організму, підвищується вірогідність збігу максимального імпульсу струму через серце з фазою розслаблення серцевих м'язів, що, в цілому, призводить до більш тяжких уражень.

Чинник раптовості дії струму обумовлюється тим, що при несподіваному потраплянні людини під напругу захисні функції організму не налаштовані на небезпеку. Експериментально встановлено, якщо людина чітко усвідомлює загрозу можливості потрапити під напругу, то при реалізації цієї загрози значення порогових струмів на 30-50% вищі. Якщо така загроза не усвідомлюється, дія струму проявляється несподівано, то пороговий струм буде меншим.

Чинниками виробничого середовища, які впливають на небезпеку ураження електричним струмом, є умови оточуючого середовища та схема включення людини в електричну мережу.

За чинниками виробничого середовища ПУЕ виділяють такі типи приміщень:

- гарячі, температура в яких впродовж доби перевищує 35°C;
- сухі, відносна вологість в яких не перевищує 60%, тобто знаходиться в межах оптимальної за гігієнічними нормативами;
- вологі, відносна вологість в яких не перевищує 75%, тобто знаходиться в межах допустимої за гігієнічними нормативами;
- сирі, відносна вологість в яких більше 75%, але менше вологості насичення;
- особливо сирі, відносна вологість в яких близька до насичення, спостерігається конденсація пари на будівельних конструкціях, обладнанні;
- запилені, в яких пил проникає в електричні апарати та інші споживачі електроенергії і осідає на струмопровідні частини, при цьому такі приміщення діляться на приміщення зі струмопровідним і неструмопровідним пилом;
- з хімічно агресивним або біологічним середовищем, що у вигляді плісняви утворюється на електрообладнанні, і призводить до порушення ізоляції.

Відповідно до ПУЕ, приміщення за небезпекою електротравм поділяються на три категорії:

					КРБ.141.4367.ПЗ.Р4	Арк.
						53
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- без підвищеної небезпеки;
- з підвищеною небезпекою;
- особливо небезпечні.

Категорія приміщення визначається наявністю в приміщенні чинників підвищеної або особливої небезпеки електротравм.

До чинників підвищеної небезпеки належать:

- температура в приміщенні, що впродовж доби перевищує 35°C;
- відносна вологість більше 75%, але менше повного насичення (100%);
- струмопровідна підлога — металева, бетонна, цегляна, земляна тощо;
- струмопровідний пил;
- можливість одночасного доторкання людини до неструмопровідних частин електроустановки і до металоконструкцій, що мають контакт із землею.

До чинників особливої небезпеки електротравм належать:

- відносна вологість близька до насичення (до 100 %);
- хімічно агресивне або біологічне середовище, що пошкоджує ізоляцію.

Якщо в приміщенні відсутні чинники підвищеної і особливої небезпеки, то воно належить до приміщень без підвищеної небезпеки електротравм.

При наявності одного з чинників підвищеної небезпеки, приміщення належить до приміщень підвищеної небезпеки електротравм.

При наявності одночасно двох чинників підвищеної небезпеки або одного чинника особливої небезпеки, приміщення вважається особливо небезпечним.

Із наведеного видно, що класифікація приміщень за небезпекою електротравм враховує тільки особливості цих приміщень, стан їх середовища і не враховує електротехнічних параметрів електроустановок.

Категорія приміщень є одним з основних чинників, які визначають вимоги щодо виконання електроустановок, безпечної їх експлуатації, величини напруги, заземлення (занулення) електроустановок.

Умови поза приміщеннями прирівнюються до особливо небезпечних.

В табл. 4.1 наведено вплив постійного і змінного струму на організм людини.

					КРБ.141.4367.ПЗ.Р4	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

Таблиця 4.1 – Вплив постійного і змінного струму на організм людини

Значення струму, що проходить через людину, мА	Характер впливу	
	Змінний струм, 50-60 Гц	Постійний струм
0,5-1,5	Початок відчуття, легке подразнення пальців рук	Не відчувається
2,0-3,0	Сильне тремтіння пальців рук. Відчуття доходить до зап'ястя	Не відчувається
5,0-7,0	Легкі судороги в руках. Болеві відчуття в руках	Свербіж. Відчуття нагріву
8,0-10	Руки важко, проте ще можна відвести від електродів. Сильні болі в пальцях, кистях рук і передпліччях	Посилення відчуття нагріву
20-25	Параліч рук, відвести їх від електродів неможливо. Дуже сильні болі. Дихання ускладнено	Ще більше посилення нагріву. Незначне скорочення м'язів рук
50-80	Зупинка дихання. Початок фібриляції серця	Сильне відчуття нагріву. Скорочення м'язів рук. Судороги, ускладнення дихання
90-100	Зупинка дихання. При тривалості 3 с і більше зупинка серця	Зупинка дихання

Як видно з табл. 4.1 силі струму різної величини по різному впливає на організм людини починаючи зі стану, коли струм не відчувається і завершуючи станом зупинки дихання.

Тривалість дії струму на організм людини – один з основних факторів. Чим коротше час дії струму, тим менше небезпека.

Якщо струм невідпускаючий, але ще не порушує дихання і роботи серця, швидке відключення рятує потерпілого, який не зміг би звільнитися сам. При тривалому впливі струму опір тіла людини падає і струм зростає до значення, здатного викликати зупинку дихання або навіть фібриляцію серця.

Зупинка дихання виникає не миттєво, а через кілька секунд, причому чим більше струм через людини, тим менше цей час.

На рис. 4.1 показано електрокардіограму здорової людини.

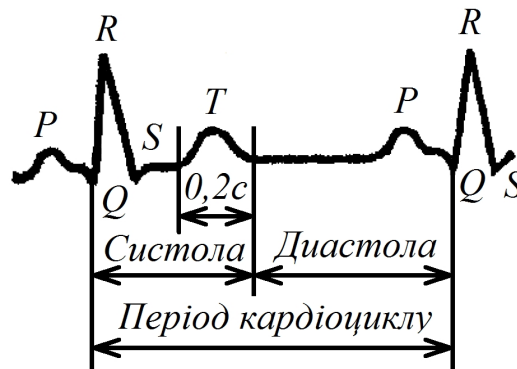


Рис. 4.1. Електрокардіограма здорової людини

Імовірність настання фібриляції, а також зупинки серця залежить від тривалості дії струму. Нормально серце скорочується від 60 до 80 разів за хвилину, тобто можна прийняти тривалість повного циклу (скорочення-розширення) рівною 1 с (рис. 4.1). У кожному циклі протягом проміжку часу 0,15-0,2 с серце найбільш чутливо до струму. Цей проміжок часу називається фазою *T*. Якщо час дії струму не збігається з фазою *T*, великі струми не викликають фібриляції.

ВИСНОВКИ

В кваліфікаційній роботі бакалавра розроблено систему керування електропривода гвинтового насоса перекачки мастила. Розглянуто класифікацію і основні параметри гвинтових насосів, робочий режим даних насосів. Проаналізовано конструкцію тригвинтових насосів.

В якості системи керування електропривода гвинтового насоса перекачки мастила застосовано систему скалярного керування. В автоматизованому електроприводі гвинтового насоса А1 3В 4/25-6,8/10Б перекачки мастила старий приводний асинхронний двигун замінено на новий 4А100L2У3 потужністю 5,5 кВт з номінальною частотою обертання 2880 об/хв та перетворювач частоти АЕ-V81G-7R5T4В потужністю 7,5 кВт. При виборі перетворювача частоти дотримано умову по номінальному струму: $I_{пч}=16 \text{ А} > I_{ном.дв}=10,495 \text{ А}$.

Також, проведено налаштування регуляторів і дослідження динаміки системи. Отримано наступні показники якості керування: час перехідного процесу $t_{пп} = 0,5 \text{ с}$, перерегулювання $\sigma = 0 \%$. Ці показники задовольняють умовам, що поставлені в завданні до кваліфікаційної роботи.

Також, в роботі розглянуті питання охорони праці.

					КРБ.141.4367.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

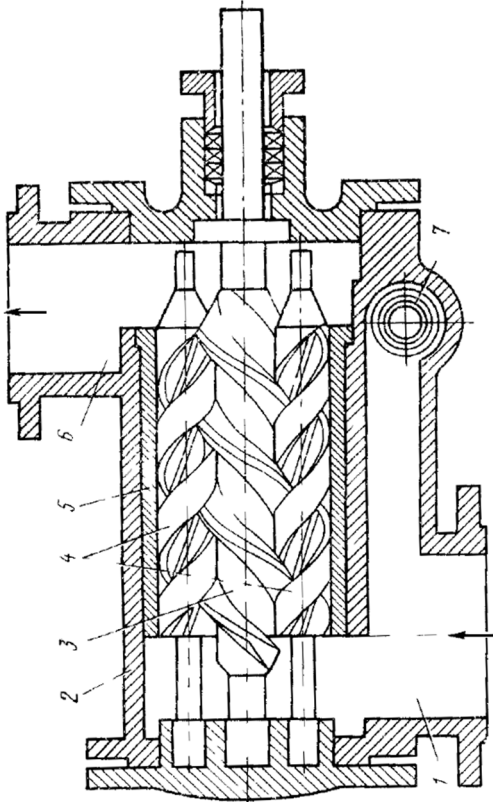
1. Алиев И.И. Асинхронные двигатели в трехфазном и однофазном режимах / И.И. Алиев. – М.: ИП РадиоСофт, 2004. – 128 с.
2. Белов М.П. Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов / М.П. Белов. – М.: «Академия», 2007. – 576 с.
3. Гульков Г.И. Системы автоматизированного управления электроприводами / Г.И. Гульков, Ю.Н. Петренко, Е.П. Раткевич, О.Л. Симоненкова. – Мн.: Новое знание, 2004. – 384 с.
4. Драчев Г.И. Теория электропривода / Г.И. Драчев. – Челябинск: Изд. ЮУрГУ, 2002. – 137 с.
5. Москаленко В.В. Электрический привод / В.В. Москаленко. – Москва: Академия, 2007. – 368 с.
6. Соколовский Г.Г. Электроприводы переменного тока с частотным регулированием / Г.Г. Соколовский. – М.: «Академия», 2006. – 265 с.
7. Терехов В.М. Системы управления электроприводов / В.М. Терехов. – М.: Академия, 2004. – 296 с.
8. Усольцев А.А. Частотное управление асинхронными двигателями / А.А. Усольцев. – СПб.: СПбГУ ИТМО, 2006. – 94 с.
9. Фираго Б.И., Павлячик Л.Б. Регулируемые электроприводы переменного тока / Б.И. Фираго, Л.Б. Павлячик. – Мн.: Техноперспектива, 2006. – 363 с.
10. Шаруда В.Г. Практикум з теорії автоматичного управління / В.Г. Шаруда. – Дніпро: Національна гірнича академія України, 2002. – 414 с.
11. Чиняев И.А. Судовые вспомогательные механизмы / И.А. Чиняев. – М.: Транспорт, 1989. – 295 с.
12. Юдин Е.М. Шестеренные насосы. Основные параметры и их расчет / Е.М. Юдин. – М.: Машиностроение, 1964. – 236 с.

					КРБ.141.4367.ПЗ	Арк.
						58
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ДОДАТОК А

Мультимедійна презентація

Гвинтовий насос А1 3В 4/25-6,8/10Б перекачки мастила



Параметр	Значення
Подача, м ³ /год, не менше	6,8
Тиск на виході з насоса, кгс/см ² найбільше	10
Потужність, що споживається насосом (макс.), кВт	4,5
Частота обертання, об/хв	2900
ККД насоса, %	60
Напруга мережі, В	220/380
Частота струму, Гц	50
Вид струму	змінний
Тип конструкції насоса	гвинтовий

Рисунок А.1 – Слайд 1 мультимедійної презентації

Функціональна схема системи керування електропривода гвинтового насоса перекачки мастила

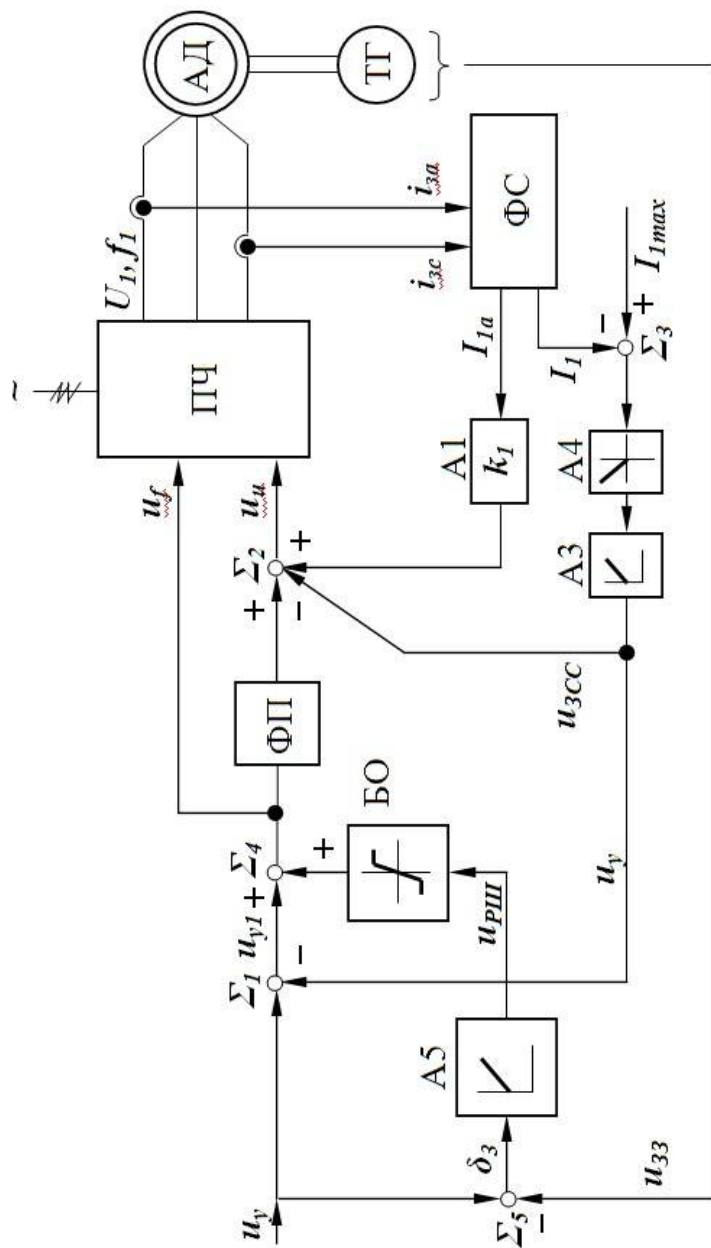


Рисунок А.2 – Слайд 2 мультимедійної презентації

Структурна схема системи керування електропривода гвинтового насоса перекачки мастила

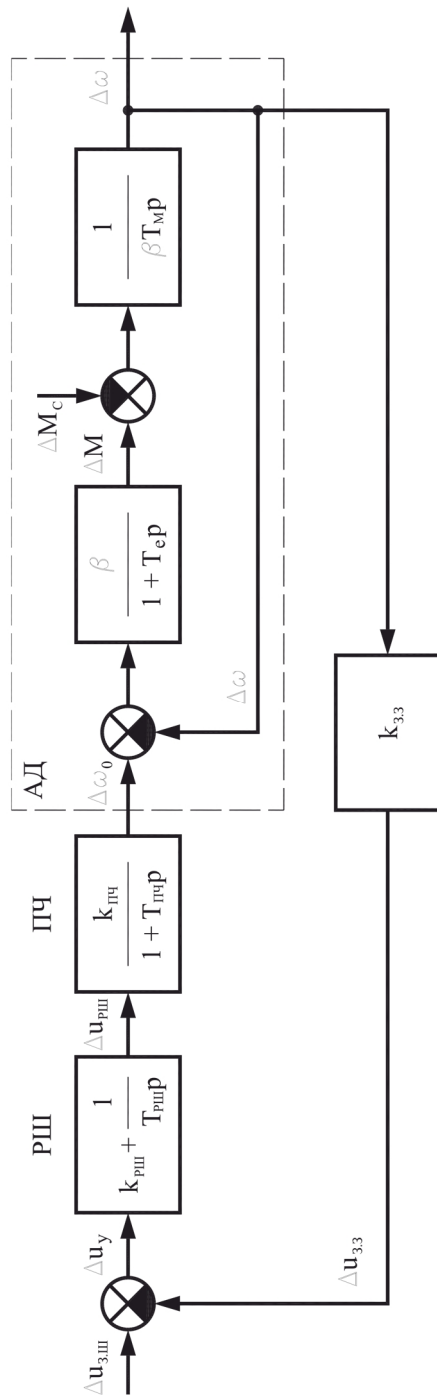
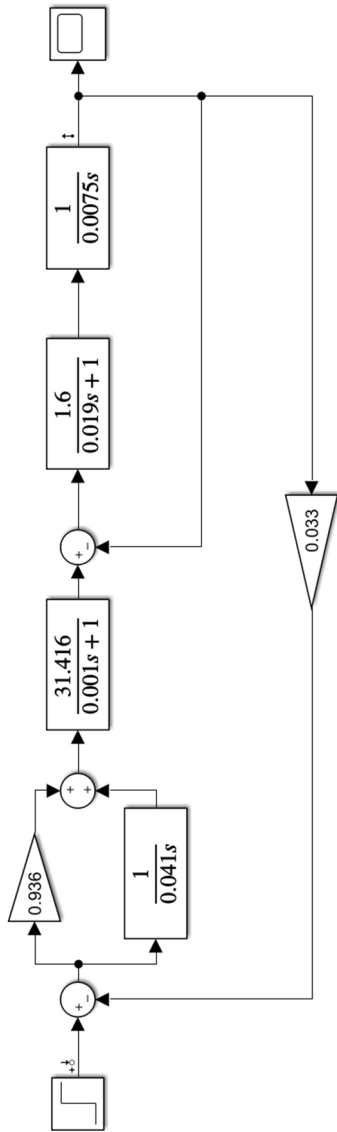
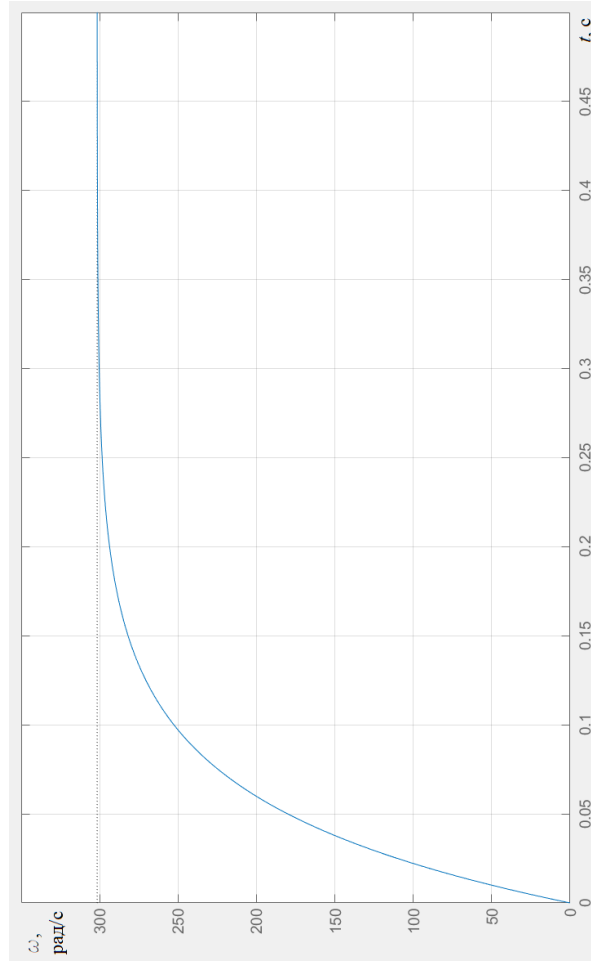


Рисунок А.3 – Слайд 3 мультимедійної презентації

Перехідні процеси за швидкістю



Параметри ПІД-регулятора швидкості: $K=0,936$; $T=0,041$ с.



Параметри ПІД-регулятора швидкості: $K=0,936$; $T=0,041$ с.

Рисунок А.4 – Слайд 4 мультимедійної презентації