

Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»

Інститут Електроенергетики
(інститут)
Електротехнічний факультет
(факультет)
Кафедра електропривода
(повна назва)

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
кваліфікаційної роботи ступеню бакалавра

(бакалавра, спеціаліста, магістра)

студента Галата Ганна Володимирівна

(ПІБ)

академічної групи 141-17-7

(шифр)

спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

(код і назва спеціальності)

спеціалізації¹ _____

за освітньо-професійною програмою Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка (офіційна назва)

на тему Проектування частотно-керованого електропривода відцентрового насосу для лабораторного стенду

(назва за наказом ректора)

Керівники	Прізвище, ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		рейтинговою	інституційною	
кваліфікаційної роботи	Балахонцев О.В.			
розділів:				
Спеціальна частина	Балахонцев О.В.			
Економічна частина	Тимошенко Л.В.			
Охорона праці	Столбченко О.В.			

Рецензент				
-----------	--	--	--	--

Нормоконтролер	Казачковський М.М.			
----------------	--------------------	--	--	--

ЗАТВЕРДЖЕНО:
завідувач кафедри
електропривода
(повна назва)

_____ Казачковський М.М.
(підпис) (прізвище, ініціали)

« _____ » _____ 2021 __ року

ЗАВДАННЯ
на кваліфікаційну роботу
ступеня бакалавра
(бакалавра, спеціаліста, магістра)

студенту Галата Г.В. академічної групи 141-17-7
(прізвище та ініціали) (шифр)

спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

спеціалізації _____

за освітньо-професійною програмою Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(офіційна назва)

на тему Проектування частотно-керованого електропривода відцентрового насосу для лабораторного стенду

затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від 12.04.2021 № 201-С

Розділ	Зміст	Термін виконання
Спеціальний	Технологічна частина	01.03-20.03
	Автоматизований електропривод	20.03-1.04
	Дослідження динаміки	1.04-15.04
Економічна частина	Розрахунок економічної ефективності	15.04-30.05.
Охорона праці	Рекомендації щодо охорони праці	

Завдання видано _____ Балахонцев О.В.
(підпис керівника) (прізвище, ініціали)

Дата видачі 2 вересня 2019

Дата подання до екзаменаційної комісії 14.06.2021

Прийнято до виконання _____ Галата Г.В.
(підпис студента) (прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 51 стор., 23 рис., 6 табл., 10 джерел, 4 листа креслень.

Об'єкт дипломної роботи: електропривод відцентрового насосу.

Мета роботи: надбання необхідних навичок по технічному рішенню завдань при проектуванні системи автоматизованого електроприводу відцентрового насосу для лабораторного стенду. Та освоєння налаштування роботи асинхронного двигуна на підтримку заданого значення технологічного параметру.

У першому розділі розглянуто загальні відомості про насоси, наведено недоліки та переваги використання різних типів електричних двигунів для насосів, та розраховано головні параметри для розробки лабораторного стенду.

У другому розділі обрано насос для стенду, вибрано електричний двигун, підібрано підходящий перетворювач частоти та датчик тиску.

У третьому розділі виконано розрахунок системи автоматичного керування системи. Проведено моделювання за допомогою математичного пакету Matlab/Simulink. На основі отриманих графіків перехідних процесів проведено дослідження динаміки електромеханічної системи.

У четвертому розділі описано головні шкідливі фактори та представлено способи зменшення їх впливу на людину. Розраховано захисне заземлення та описані правила пожежної безпеки.

У п'ятому розділі розрахована економічна частина розробленого стенду.

НАСОСНІ СТАНЦІЇ, НАСОС, РЕГУЛЬОВАНИЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД, АСИНХРОННИЙ ДВИГУН, ПЕРЕТВОРЮВАЧ ЧАСТОТИ, ПІД РЕГУЛЯТОР.

					ЕП.ПД. 00.00.Р.ПЗ	Арк.
						3
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

ABTRACT

Explanatory note: 51 pages., 23 figures, 6 tables, 10 literature sources, 4 drawings.

The object of the thesis work: electric drive of the pump unit.

Purpose of the work: to gain the necessary skills and solve the technical problems in the design of the system of automated electric drive of the pump unit.

In the first section the general information about pumps is considered. Disadvantages and benefits of using different types of electric motors for pumps are shown. The main parameters for the development of the laboratory bench are calculated.

In the second section, the pump for the test bench is chosen. The electric motor, suitable frequency converter and pressure sensor are selected.

In the third section, the design of the automatic control system of the electric drive system is performed. The simulation was carried out with the help of mathematical package Matlab/Simulink. The dynamics of the electromechanical system of the developed laboratory bench is investigated and described.

In the fourth section the main adverse factors and presents ways to reduce their impact on people health are written. The protective grounding is calculated. The rules of fire safety are presented.

In the economic part the total costs of the bench is calculated.

PUMPING STATION, PUMPING UNIT, ADJUSTABLE ELECTRIC DRIVE, ASYNCHRONOUS MOTOR, FREQUENCY CONVERTER, PID REGULATOR.

					ЕП.ПД. 00.00.Р.ПЗ	Арк.
						4
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА.....	7
1.1 Розрахунок падіння тиску в трубопроводі.....	8
2 АВТОМАТИЗОВАНИЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД ..	12
2.1 Вибір насосу для розрахованих параметрах трубопроводу і об'єму резервуара	12
2.2 Розрахунок потужності та вибір електродвигун.....	17
2.3 Вибір частотного перетворювача за паспортними даними двигуна.....	20
2.4 Вибір датчику тиску	25
2.5 Вибір програмного забезпечення для налаштування ПЧ.....	26
3 СИНТЕЗ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ.....	28
3.1 Вибір та опис системи автоматичного керування	28
3.2 Моделювання системи за допомогою пакету MatLab/Simulink	31
4 ОХОРОНА ПРАЦІ.....	35
4.1. Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів.....	35
4.2 Захисні міри по усуненню небезпечних та шкідливих факторів.....	36
4.3 Розрахунок заземлення.....	38
4.4 Пожежна безпека.....	40
5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ.....	42
Вступ.....	42
5.1 Розрахунок капітальних витрат	43
5.2 Розрахунок експлуатаційних витрат.....	45
5.3 Розрахунок амортизаційних відрахувань.....	46
5.4 Визначення річних витрат на технічне обслуговування і поточний ремонт.....	46
5.5 Розрахунок вартості спожитої електроенергії.....	47
ВИСНОВКИ.....	50
Список літератури.....	51

						ЕП.ПД. 00.00.ВС.ПЗ	Арк.
							5
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат			

ВСТУП

Метою дипломного проекту є надбання навичок проектування системи автоматизованого електроприводу відцентрового насосу.

Об'єктом проектування в даній роботі являється лабораторний стенд, який імітує роботу насосної станції з відцентровим насосом.

Основними завданнями дипломного проекту є:

- розрахунок основних параметрів насосної станції;
- вибір відцентрового насосу задовільняючого розраховані параметри системи станції;
- вибір електродвигуна, перетворювача частоти та датчика тиску.
- розрахунок математичної моделі механічної частини приводу насосної станції;
- синтез системи автоматичного керування електроприводу;
- створення моделі електроприводу в середовищі Matlab/Simulink;
- опис шкідливих та небезпечних факторів, способи їх усунення, пожежна безпека та розрахунок заземлення.
- розрахунок техніко-економічної складової проекту.

					ЕП.ПД. 00.00.02.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		6

1 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

1.1 Розрахунок падіння тиску в трубопроводі

На сьогодні важко уявити багатоквартирний будинок без водопроводу чи інших зручностей. Тому, протягом багатьох років відцентрові насоси відіграють важливу роль у житті кожної людини. Вони забезпечують комфортні умови для життя людини та беруть участь в більшості виробничих процесів.

Для лабораторного стенду необхідно розробити насосну станцію з відцентровим насосом, яка підтримуватиме тиск по ПД закону регулювання. Розроблений учбовий стенд дасть змогу заміряти механічні характеристики насосної станції. На рис. 1 представлено загальний вигляд структурної схеми стенду насосної установки. Головними елементами якої є: двигун, перетворювач частоти, насос, трубопровід та датчик тиску.

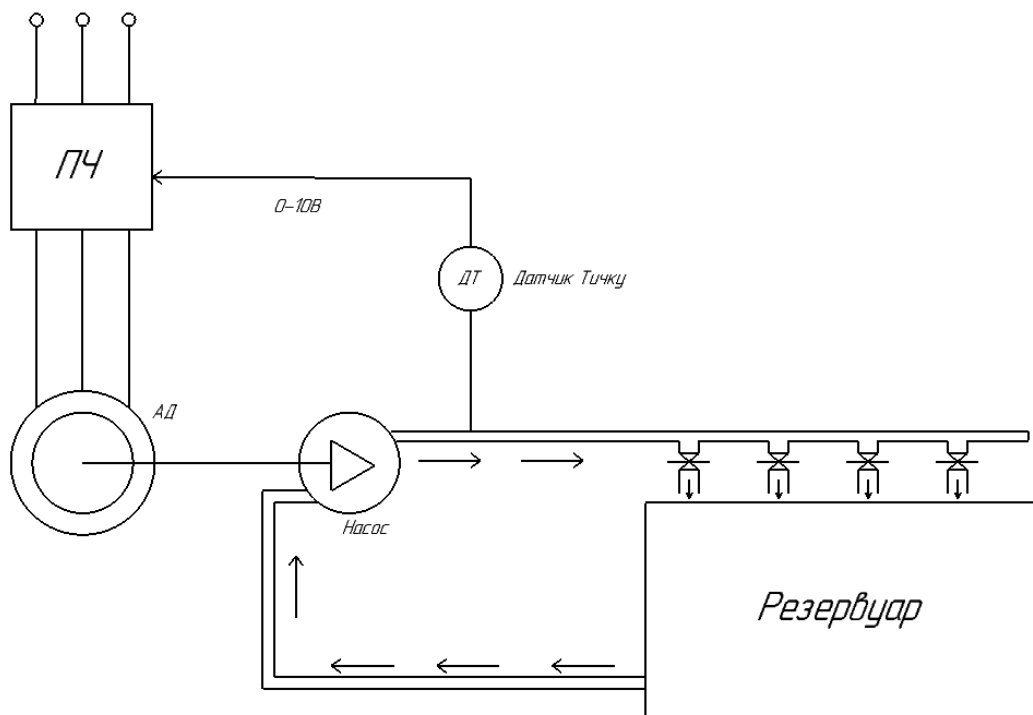


Рис. 1.1- Структурна схема стенду.

На практиці, для регулювання параметрів часто використовується ПД регулятор. Який використовується в системах автоматичного керування для

					ЕП.ПД. 00.00.02.ПЗ	Арк.
						7
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

підтримування заданих якості та точності перехідного процесу. Класичний під регулятор формується із суми інтегральної, пропорційної та диференційної складових сигналу зворотнього зв'язку.

Регулюємий параметр вимірюється за допомогою зовнішнього датчика (у нашому випадку до датчика тиску), який під'єднано безпосередньо, до перетворювача частоти. Сигнал зворотнього зв'язку порівнюється із сигналом завдання, та на виході регулятора формується завдання на вихідну частоту перетворювача частоти.

Знайдемо втрати тиску на тертя Δp у пластиковій трубі. Діаметр труби $d = 13$ мм, довжина труби 4м, довжина a , ширина b та висота h резервуара відповідно 0.45м, 0.5, 0.6м, час наповнення резервуара 4 хвилини.

Знайдемо площу розрізу труби, витрат та швидкість потоку який проходить крізь трубу.

$$Q = \frac{V}{t}, (m^3 / c), (л / хв) \quad (1.1)$$

$$Q = \frac{0.19}{300} = 5.6 \cdot 10^{-4} (m^3 / c)$$

де, V – об'єм рідини, t – час за який протікає рідина.

$$V_{\text{бак}} = a \cdot b \cdot h = 0.45 \cdot 0.5 \cdot 0.6 = 0.135 m^3 \quad (1.2)$$

Знайдемо середню швидкість потоку. Середня швидкість потоку це швидкість руху рідини яка визначається відношенням витрати рідини до площі живого перерізу труби.

$$v_{\text{ср}} = \frac{Q}{\omega}, (m / c) \quad (1.3)$$

В свою чергу, живим перерізом ω м² називають площу поперечного перерізу потоку, перпендикулярну до напрямку течії.

$$\omega = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{3.14 \cdot 0,015^2}{4} = 1.7 \cdot 10^{-4} m^2 \quad (1.4)$$

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат

$$v_{cp} = \frac{5.6 \cdot 10^{-4}}{1.7 \cdot 10^{-4}} = 3.29 (м/с)$$

Знайдемо еквівалентний діаметр труби круглого перерізу.

$$d_{э.кр.} = 4 \frac{\pi d^2}{4\pi d} = 4 \frac{d}{4} = d \quad (1.5)$$

$$d_{э.кр.} = \sqrt{4\omega/\pi} = \sqrt{4 \cdot 1.7 \cdot 10^{-4} / 3.14} = 0.047 м \quad (1.6)$$

Для визначення коефіцієнту гідравлічного тертя знайдемо числа Рейнольдса та відносну шорсткість:

$$R_e = \frac{v \cdot d_{э.кр.}}{\nu} = \frac{3.29 \cdot 0.047}{1.01 \cdot 10^{-6}} \approx 15.4 \cdot 10^4 \quad (1.7)$$

де, v – швидкість потоку;

ν – кінематична в'язкість води при температурі 20°C.

$$\frac{k_s}{d_{э.кр.}} = \frac{5 \cdot 10^{-5}}{0.047} = 1.06 \cdot 10^{-3} \quad (1.8)$$

k_s – еквівалентна рівномірно-зерниста шор кість, яка дорівнює:
 $k_s = 0.05 мм = 5 \cdot 10^{-5} м$.

Розраховане число Рейнольдса показує, що режим переміщення рідини є турбулентним. Турбулентним називають течію рідини або газу, що характеризується нерегулярним або безладним переміщенням об'ємів але в цілому, маючи плавний і регулярний характер.

Розрахуємо коефіцієнт гідравлічного тертя.

Так як число Рейнольдса, де $d, м$ – діаметр труби, Δ – еквівалентна шорсткість труби $\Delta = 0.1 \cdot 10^{-2} мм$, тоді коефіцієнт гідравлічного тертя знайдемо за допомогою формули Альтшуля:

$$\lambda = 0.11 \cdot \left(\frac{\Delta}{d}\right)^{0.25} = 0.11 \cdot \left(\frac{0.1 \cdot 10^{-2}}{15}\right)^{0.25} = 0.0099 \quad (1.9)$$

Втрати тиску на тертя в трубах при густині води $\rho = 998,2 кг/м^3$ розрахуємо за допомогою формули:

$$\Delta p_{кр} = \lambda_{кр} \cdot \frac{100}{Re} \cdot \rho \frac{10^3}{2}, \quad (1.10)$$

					ЕП.ПД. 00.00.02.ПЗ	Арк.
						9
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

$$\Delta p_{кр} = 0,0143 \cdot \frac{100}{15,4 \cdot 10^4} \cdot 998,2 \frac{10^3}{2} = 4,6 Па = 5,54 \cdot 10^{-5} атм$$

Де, $\lambda_{кр}$ – коефіцієнт гідравлічного тертя;

Re– число Рейнольдса;

ρ – густина води при температурі 20⁰С.

Розрахуємо падіння напору із-за тертя:

$$h = \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{v^2}{2g}, \quad (1.11)$$

$$h = 0.0143 \cdot \frac{4}{0,017} \cdot \frac{(3,29)^2}{2 \cdot 9,81} = 1.85 м$$

де $h, м$ – втрата напору ;

λ – коефіцієнт гідравлічного тертя;

$l, м$ – довжина трубопроводу;

$d, м$ – внутрішній діаметр труби;

$v, м/с$ – швидкість потоку рідини;

$g = 9.81, м/с^2$ – прискорення вільного падіння.

Знайдемо втрати туску в трубопроводі на локальні опори. Локальними опорами називають опори які зосереджені на коротких ділянках. Вони з'являються в наслідок локальних відривів вихрів, а також в наслідок порушення структури потоку. Ці процеси, у значній степені, залежать від форми трубопроводу.

Стенд складається із 3 колін та 3 вентилів, коефіцієнти локального опору котрих дорівнює:

$$\zeta_{\kappa} = 0,2 = 0,2 \cdot 3 = 0,6 Ом \quad (1.12)$$

$$\zeta_{\epsilon} = 0,12 = 0,12 \cdot 3 = 0,36 Ом \quad (1.13)$$

Коліном називають частину труби або повітропровід в котрій потік змінює свій напрям.

Вентилем називають клапан для регулювання розхожу пару, газу або рідини.

					ЕП.ПД. 00.00.02.ПЗ	Арк.
						10
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Для розрахунку втрат тиску на локальні опори застосовують наступне рівняння:

$$P_{мест} = W \cdot \frac{v^2 \cdot \rho}{2g}, \quad (1.14)$$

$$P_{мест} = 0,98 \cdot \frac{(3,9)^2 \cdot 998,2}{2 \cdot 9,81} = 0,758 \text{ кПа}$$

де, W – сумарний коефіцієнт локальних опорів;

$v, \text{ м/с}$ – швидкість потоку рідини;

$g = 9,81, \text{ м/с}^2$ – прискорення вільного падіння.

ρ – густина води при температурі 20°C .

$$W = \zeta_k + \zeta_g = 0,6 + 0,36 = 0,98 \text{ Ом} \quad (1.15)$$

В данному розділі було розраховано головні параметри для розробки лабораторного стенду, такі як: витрата потоку, швидкість потоку, площа живого перерізу, еквівалентний діаметр, число Рейнольдса, коефіцієнт гідравлічного тертя, втрати тиску, падіння напору на тертя, втрати напору на локальні опори.

Таблиця 1 – результати розрахунків.

Q ($\text{м}^3/\text{с}$)	v_{cp} ($\text{м}/\text{с}$)	ω м	$d_{экв.}$ м	Re	λ	$\Delta p_{кр}$ атм	h м	$P_{мест}$ кПа
$5,6 \cdot 10^{-4}$	3.29	$1,7 \cdot 10^{-4}$	0,047	$15,4 \cdot 10^4$	0.0143	$5,54 \cdot 10^{-5}$	1.85	0,758

2. АВТОМАТИЗОВАНИЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД

2.1 Вибір насосу для розрахованих параметрах трубопроводу і об'єму резервуара

Відцентровим називають один із видів лопатевих насосів, які здатні забезпечити безперервний потік рідини завдяки обертанню ротора двигуна. Потік створюється завдяки відцентровій силі.

Коли в робочу камеру насосного агрегату подається рідина, вона підхвачується обертальними лопатями. В результаті цього на стінках робочої камери утворюється зона високого тиску. Цей тиск допомагає видавлювати рідину до вихідного патрубку. Одночасно з цим, у стінок вхідного патрубку створюється зона низького тиску, що забезпечує всмоктування нової порції рідини до робочої камери.

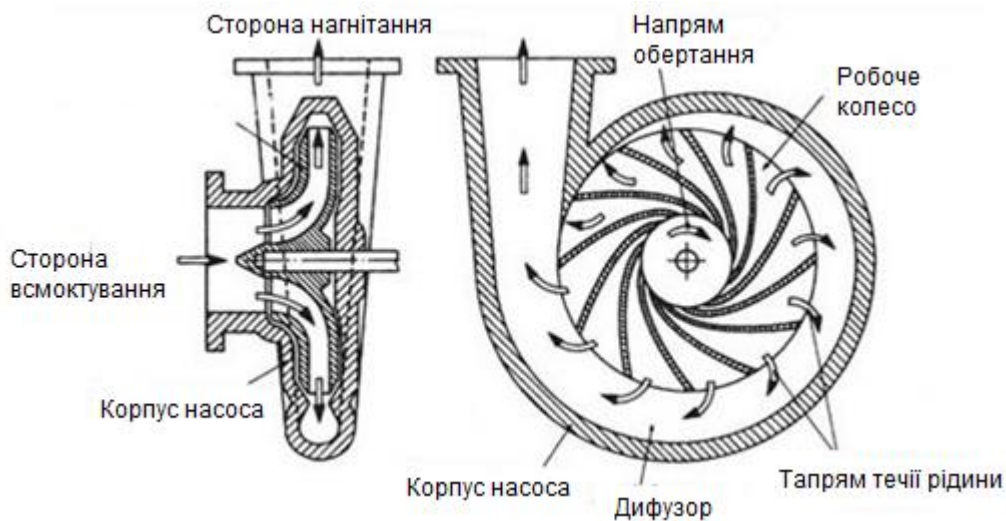


Рис. 2.1 – Конструкція відцентрового насосу.

Подачею рідини називають об'єм рідини, який подається насосом за одиницю часу. Вона виражається в літрах в секунду або кубометрах в годину.

Натиском називають різницю питомих енергій рідини в перерізах до та після насоса. Виражається в метрах водного стовпа.

В насосах об'ємного типу використовують поняття тиск, котре виражається в атмосферах $\text{кгс}/\text{см}^2$.

					ЕП.ПД. 00.00.02.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		12

Для порівнювання різних насосів використовують напірну характеристику насосу. Вона характеризує основні споживчі характеристики насосу. Тому що, кожен насос підбирається виходячи із напору (тиску) та подачі.

Одним із найважливіших гідравлічних параметрів насосу є допустима вакууметрична висота всмоктування, що характеризує нормальні умови надходження рідини до робочої камери. Вона виражається при нормальному атмосферному тиску, при температурі 20 ° С та виражається в метрах водяного стовпа.

При експлуатації насоса може виникати кавітація. Кавітацією називають утворення газових бульбашок в рідині. Це призводить до швидкого зносу насоса, або його руйнування підшипників в наслідок вібрацій.

Одним із найважливіших параметрів насоса ,особливо для великої потужності, являється коефіцієнт корисної дії (ККД). Він визначається характером взаємодії робочого колеса та рідини.

Для обертання робочого колеса насосу, необхідно використовувати електричний двигун. На вибір двигуна впливають такі фактори як: в'язкість та питома вага рідини. Чим більша в'язкість, тим потужніший двигун потрібен для її перекачування.

Регулювання насоса здійснюється шляхом регулювання швидкості обертання обраного двигуна. Під регулювання насоса мається на увазі процес зміни співвідношень між подачею та напором. Регулювання насосу здійснюється такими способами:

- конструктивна зміна характеристики насоса;
- зміна частоти обертання робочого двигуна.

При зміні частоти обертання двигуна необхідно мати на увазі, що подача залежить від частоти обертання, а напір в квадратичній залежності (для нашого типу насосу). Рис. 3. показує залежності подачі від напору, потужності та ККД. Дані характеристики наведені лише для одної швидкості обертання двигуна. Для інших швидкостей характеристики змінять свій вид.

					ЕП.ПД. 00.00.02.ПЗ	Арк.
						13
Зм.	Арк.	№ док.ум.	Підпис	Дат		

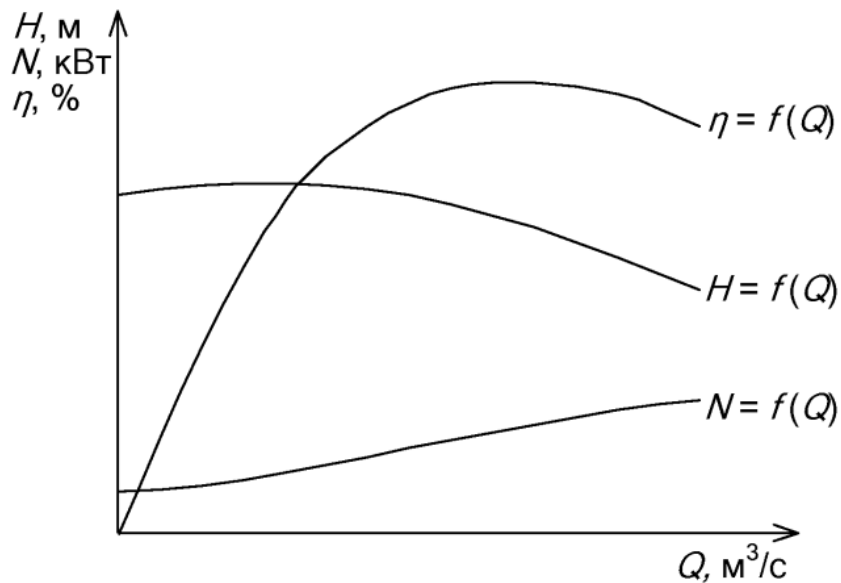


Рис. 2.2 - Загальний вигляд характеристик відцентрових насосів.

Робоча точка насоса залежить від опору мережі. Якщо змінювати опір мережі, наприклад, закриваючи засувку, то і робоча точка буде зміщуватися вліво по кривій, тобто насос буде вибирати режим роботи на меншій подачі, так як "змушений" працювати з великим напором, щоб подолати додатковий опір засувки.

Існує ще один спосіб зміни умов роботи насоса на мережу - це установка регульованого або нерегульованого перепуску з напірної лінії на всмоктування. По відношенню до насоса це аналогічно зниженню опору. По відношенню до споживчої мережі це зниження подачі рідини. В результаті робоча точка (Q-H) зміститься вниз, тобто в споживчій мережі можна отримати одночасно менший натиск і меншу подачу.

При експлуатації відцентрових насосів слід виконувати дві основні умови:

- пуск насоса слід здійснювати при заповненому рідиною насосі та і закритою напірної засувки;
- забороняється здійснювати пуск насоса при закритій або не повністю відкритою всмоктуючої засувці, а також працювати більше 2 ... 3 хвилин при закритій напірній засувці.

					ЕП.ПД. 00.00.02.ПЗ	Арк.
						14
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Із розрахованих даних – довжина та діаметр труби, витрата потоку, об'єм рідини і тд. Оберемо насос типу MHL 102.



Рис. 2.3 - Зовнішній вигляд обраного насосу.

Таблиця 2 – Параметри насоса MHL 102.

Параметр	Значення
Температура рідини	-15...+90 °С
Температура навколишнього середовища	40 °С
Максимальний тиск на вході	6 бар
Максимальний робочий тиск	10 бар
Ступінь захисту	IP54
Напруга мережі	3-400 В
Частота мережі	50 Гц
Номінальна потужність двигуна	0.55 кВт
Номінальна споживана потужність	0.95 кВт

Таблиця 2 – продовження.

Номінальний струм	4.1 А
ККД двигуна	64%

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат	ЕП.ПД. 00.00.02.ПЗ	Арк.
						15

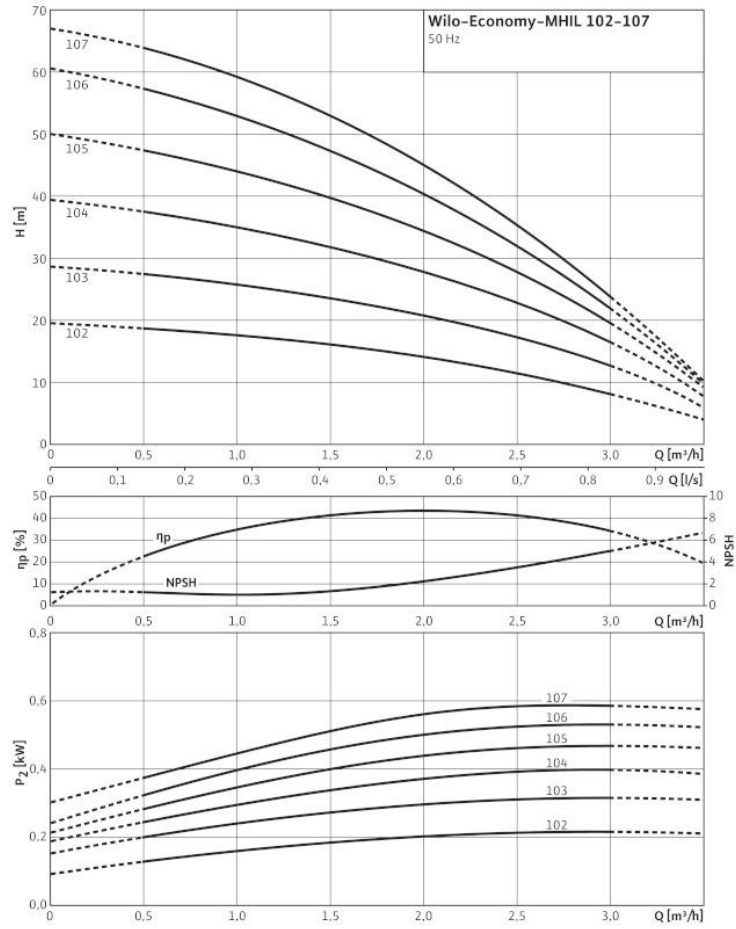


Рис. 2.4 - Напірні характеристики обраного насосу.

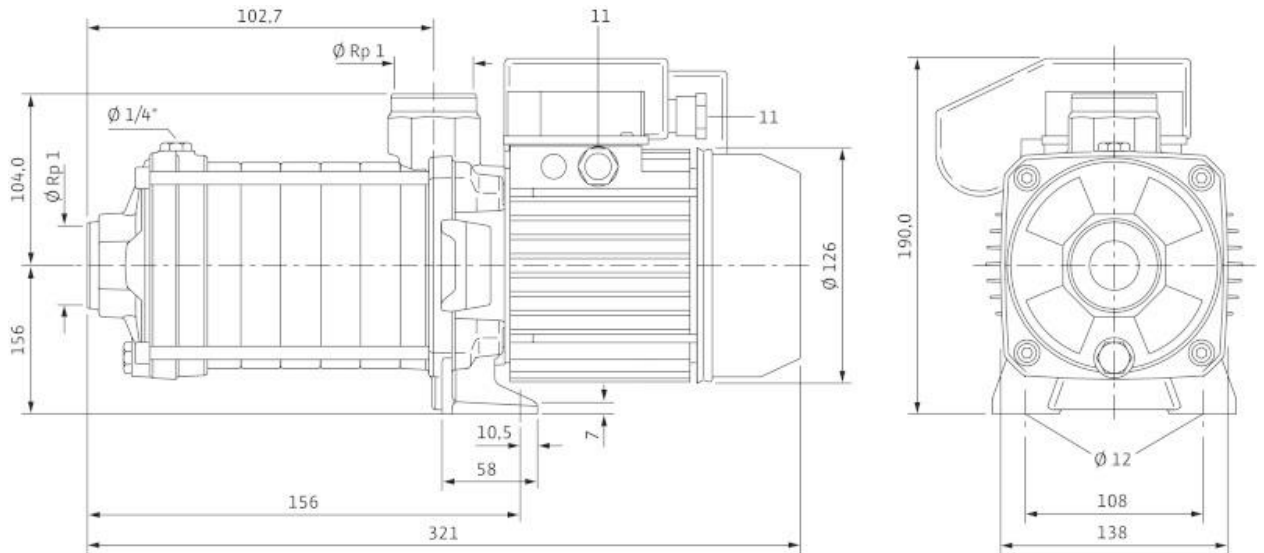


Рис. 2.5 – Габаритні розміри насоса Wilo Economy MHIL 902

2.2 Розрахунок потужності та вибір електродвигуна

					ЕП.ПД. 00.00.02.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		16

На насосних станціях в основному застосовують асинхронні і синхронні електродвигуни змінного трифазного струму. Для насосних агрегатів потужністю до 200 кВт застосовують низьковольтні електродвигуни на напругу 220, 380. Для насосних агрегатів більшої потужності використовуються високовольтні електродвигуни на напругу 6, 10 кВ.

Найбільш простими і поширеними електродвигунами є асинхронні електродвигуни. Асинхронний двигун з короткозамкнутим ротором давно зарекомендував себе як один з найпопулярніших типів двигунів, завдяки своїм перевагам, таким як:

- легкість обслуговування і експлуатації;
- надійність;
- відносно низька ціна .

Короткозамкнені асинхронні електродвигуни можна включати без додаткових пускових пристроїв. Пусковий струм у асинхронних електродвигунах може бути в 3-7 разів вище номінального значення струму, тому асинхронні електродвигуни з коротко замкнутим ротором з безпосереднім включенням можна застосовувати тільки невеликої потужності. Єдиним недоліком таких моделей вважається чутливість малого і великого спускових струмів до змін параметрів мережі. Для вирішення цієї проблеми потрібно використовувати перетворювач частоти. На насосних станціях застосовуються асинхронні електродвигуни серії СД2, СДН2, СДЗ потужністю від 132 до 4000 кВт, напругою 300-6000 В при частоті обертання 100-1500 об / хв,

Асинхронні двигуни з фазним ротором дозволяють знизити пускові струми, тим самим збільшити пусковий момент. Однак через більш складної конструкції і високу вартість застосування таких електродвигунів обмежена. Найчастіше їх використовують як приводи механізмів з важкими пусковими умовами.

					ЕП.ПД. 00.00.02.ПЗ	Арк.
						17
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Інший вид асинхронних двигунів має фазний ротор. Безсумнівним плюсом таких двигунів є можливість знизити пусковий струм, а значить збільшити пусковий момент. Однак через більш складної конструкції і високу вартість застосування таких електродвигунів обмежена. Найчастіше їх використовують як приводи механізмів з важкими пусковими умовами.

Синхронні електродвигуни застосовуються для насосів великої потужності. Ротор синхронного електродвигуна відрізняється від ротора асинхронного наявністю робочої обмотки для створення постійного магнітного поля, що взаємодіє з обертовим магнітним полем статора. Синхронні електродвигуни вимагають попереднього розгону ротора, для цього використовується додаткова обмотка в роторі. Додаткова обмотка служить також для згладжування коливань частоти обертання ротора і струму статора при зміні частоти струму або напруги в мережі. Синхронні електродвигуни мають високий коефіцієнт потужності і досить стійко працюють при коливаннях напруги в мережі.

Розрахунок потужності електродвигуна відцентрового насоса здійснюється за наступної формули:

$$P = \frac{K_z \cdot \gamma \cdot Q \cdot H}{\gamma \cdot \eta_n \cdot \eta_m} = \frac{1.1 \cdot 1000 \cdot 0.003 \cdot 38}{1000 \cdot 0.65 \cdot 1} = 0,2 \text{ кВт}, \text{ де} \quad (2.1)$$

де, K_z - коефіцієнт запасу, для відцентрового насоса $K_z = 1.1 - 1.4$;

γ – густина робочої рідини. Густина води при температурі $t = 20^\circ\text{C}$ дорівнює $\gamma \approx 1 \text{ кг/м}^3$;

Q – продуктивність насоса. Для обраного насоса $Q = 0.003 \text{ м}^3/\text{с}$

H – натиск насосу. Для обраного насоса $H = 38 \text{ м}$.

η_n - коефіцієнт корисної дії насоса. Для обраного насоса $\eta_n = 65\%$;

η_m - коефіцієнт корисної дії передаточного механізму. В нашому випадку, насос підключається напряму до двигуна, то $\eta_m = 1$.

					ЕП.ПД. 00.00.02.ПЗ	Арк.
						18
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

По розрахованій потужності підбирають найближчий комплектуючий двигун. Частота обертання для обраного насоса – 2900 об/хв.

Оберемо асинхронний двигун АИР 63А2 УЗ. Він задовольняє всі вищеперераховані умови.

Таблиця 3: Технічні характеристики двигуна АИР 63А2 УЗ.

Параметр		Значення
Потужність	P	0.37 кВт
Частота обертання	n	3000 (2730) об/хв
Струм	A	1 А
ККД	η	70%
Коефіцієнт потужності	$\cos\varphi$	0.81
Момент інерції	j	0.0003 кг·м ²
Вага	m	5 кг

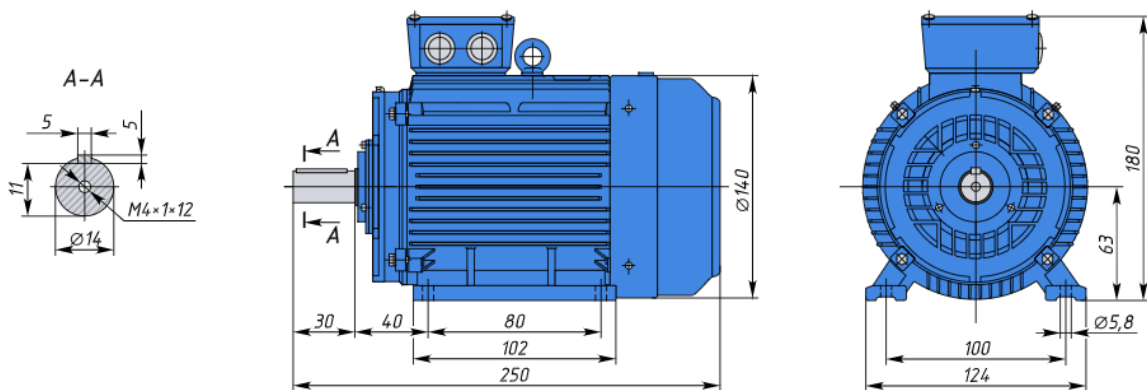


Рис. 2.6 - Габаритні розміри двигуна АИР 63А2 УЗ.

Розрахуємо активну потужність. Активна потужність це величина яка характеризує перетворювання одного виду енергії в інший.

Знайдемо активну потужність трьохфазної мережі:

$$P = 3 \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi = 3 \cdot 220 \cdot 1 \cdot 0,81 = 534,6 \text{ Вт} \approx 0,534 \text{ кВт}, \quad (2.2)$$

де U – середньоквадратичне значення напруги;

I - середньоквадратичне значення струму;

					ЕП.ПД. 00.00.02.ПЗ	Арк.
						19
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

2.3 Вибір частотного перетворювача за паспортними даними двигуна

Всі перетворювачі частоти складаються з таких простіших частин як: випрямляч, ланка постійного струму та інвертор. Для покращення характеристик живлячої мережі використовують входні фільтри. На Рис 3. Зображена електрична схема з'єднання перетворювача частоти з двигуном трьох фазного змінного струму. Зазвичай, перед двигуном перетворювачем частоти встановлюються захисні запобіжники для захисту системи від аварійних ситуацій. Запобіжники захищають електричні прибори від токів короткого замикання. Вхідні або мережеві дроселі допомагають:

- зменшити гармоніки у живлячи мережі;
- захищає перетворювач частоти від мережевих різких підвищень напруги;
- перешкоджає нарощуванню напруги в електромережі. Так, при виході з ладу перетворювача частоти пошкодження виявляться незначними, адже у вхідного автомата буде достатньо часу на те, щоб вимкнути живлення в звичайному режимі.

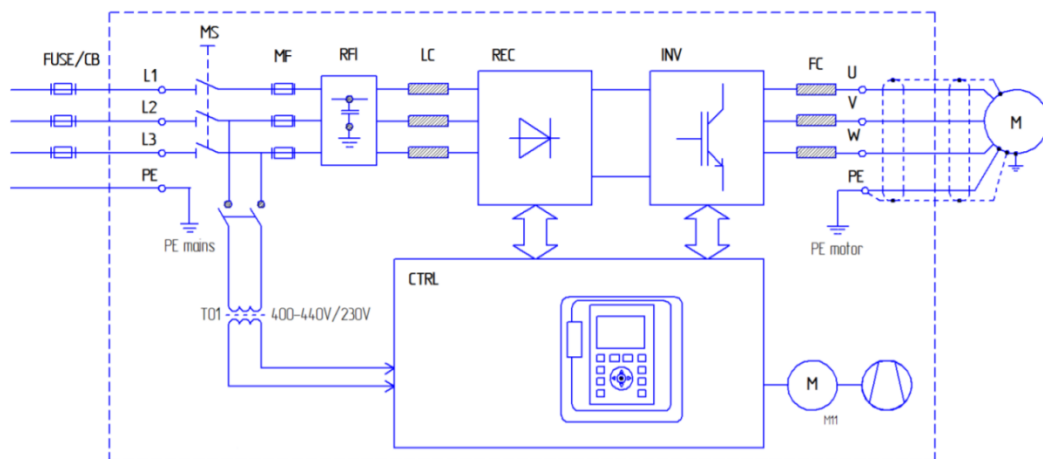


Рис. 2.7 - Загальний вигляд електричної схеми з'єднання перетворювача частоти з двигуном змінного струму.

Перетворювачі частоти мають свої спеціально вбудовані мікроконтролери, котрі дозволяють з відносною легкістю сконфігурувати

					ЕП.ПД. 00.00.02.ПЗ	Арк.
						20
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

перетворювач частоти, та запрограмувати його на потрібний технологічний процес.

Компанія Schneider Electric має серії перетворювачів частоти, котрі можуть використовуватися у будь-якій сфері людської діяльності.

Серія перетворювачів частоти Altivar 61 відповідає найсуворішим вимогам застосувань завдяки використанню різноманітних законів управління двигуном і численним функціональними можливостями. Вона адаптована для вирішення найбільш важких завдань електроприводу, таких як:

- містить безліч параметрів аналогових і дискретних входів і виходів для того, щоб його можна було оптимізувати.
- підтримує протоколи Modbus і CANopen для того, щоб збільшити продуктивність системи керування. Також підтримує основні промислові шини і може легко вбудовуватися в системи HVAC за допомогою додаткових карт.
- підтримує карти перемикання насосів, які дозволяють здійснювати гнучке і просте управління насосами.
- володіє захисною функцією блокування частотного перетворювача, що виключає несанкціонований пуск двигуна.
- функція безпеки Power Removal дозволяє включати перетворювач частоти в якості складової в ланцюг безпеки системи управління з програмним управлінням, що відноситься до безпеки виробничого механізму або технологічного процесу.

Перетворювачі частоти Altivar 61 спеціально розроблені та активно використовуються у системах вентиляції; кондиціонування повітря та насосних агрегатах. Вони розраховані на трифазні двигуни потужністю від 1,5 до 800 кВт. Що з легкістю вписується у наші потреби.

Серія перетворювачів частоти Altivar 61 має ряд особливостей та функцій спеціально розроблених насосних і вентиляторних агрегатів, як:

					ЕП.ПД. 00.00.02.ПЗ	Арк.
						21
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

- енергозбереження, квадратичний закон по 2 або 5 точкам
- автоматичне підхоплення обертових навантаження з пошуком швидкості
- адаптація обмеження струму в залежності від швидкості
- придушення шуму і резонансу за допомогою частоти комутації, яка, в залежності від номінального навантаження, може бути встановлена до 16 кГц під час роботи
- встановлені швидкості
- вбудований ПД - регулятор, з попередньо встановленими значеннями ПД і режимами автоматичний / ручний ("Auto / Man")
- лічильник напруження і енергоспоживання
- визначення відсутності рідини, визначення нульової швидкості потоку, обмеження швидкості потоку
- функція "сон", функція "пробудження"
- клієнтські настройки з відображенням фізичних значень: бар, л / с,

На Рис. 2.8 зображена електрична схема підключення ПЧ до асинхронного двигуна.

Таблиця 2.2 – параметри обраного ПЧ Altivar 61 ATV 61H075M3.

Параметр	Одиниця вимірювання	Значення
Тип		ATV 61H075M3
Номінальна потужність	кВт	0.75

Таблиця 2.2 – продовження.

					ЕП.ПД. 00.00.02.ПЗ	Арк.
						22
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Номінальний вихідний струм	А	4.8
Номінальна частота комутації	кГц	2,5
Маса	кг	3

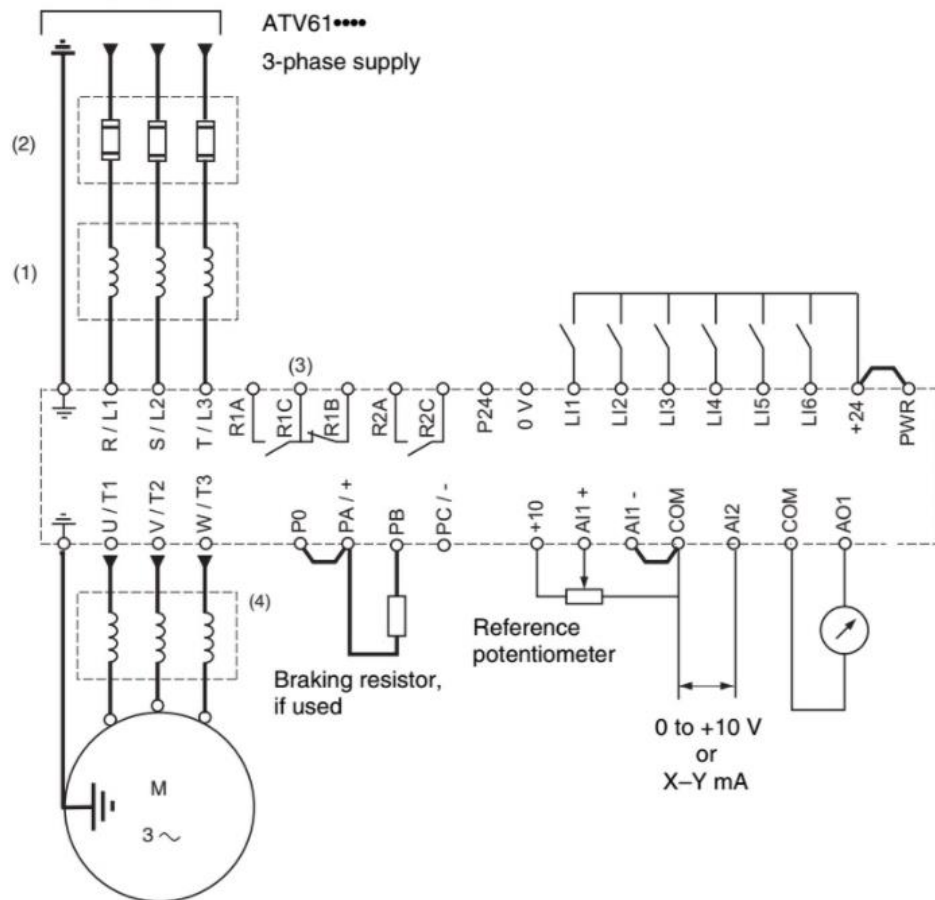
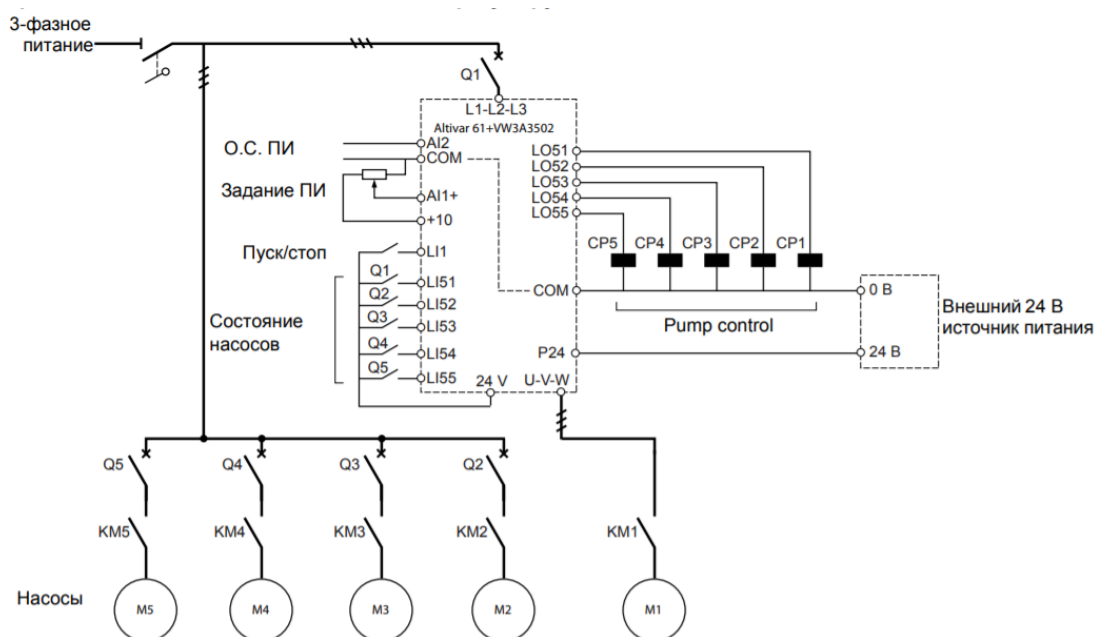


Рис. 2.8 - Електрична схема підключення ПЧ Altivar 61 до асинхронного двигуна.



Рис. 2.9 - Зовнішній вигляд перетворювача частоти ATV 61H075M3.

На Рис. 6. Представлено схему підключення перетворювача частоти та п'яти моторів. Для коректного керування мотором, на кожний мотор потрібно встановлювати свій перетворювач напруги. Тому, керуванім являється лише перший мотор. Чотири двигуна, які підключені безпосередньо до мережі живлення не являються керуваними. Вони можуть бути відключені від мережі або працювати в номінальному режимі роботи. Такий спосіб застосовують для корегування тиску у трубах .



									Арк.
									24
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат	ЕП.ПД. 00.00.02.ПЗ				

Рис. 2.11 – Схема електричного підключення п'яти двигунів до перетворювача частоти.

2.4 Вибір датчику тиску

Так як у трубопровідних система повинен підтримуватися заданий рівень тиску повинно бути щось, що слугуватиме зворотнім зв'язком для системи керування. В данній системі керованою величиною є датчик тиску. Для системи було обрано датчик тиску XLM-F010D2115 від компанії Schneider Electric. На **Рис. 2.12** представлено зображення обраного датчика тиску.



Рис. 2.12 – Датчик тиску.

Вибраний датчик тиску має високу сумісність обумовлену застосуванням ємнісного чутливого елемента (сенсора). Виходом датчику тиску є аналоговий сигнал в діапазоні від 0 до 10 В, який пропорційний тиску.

Таблиця 2.3 – параметри обраного датчику тиску.

Параметри	Значення
Діапазон вимірювання	від 0 до 10 бар
Напруга живлення	24В
Похибка	± 2,5
Перегрузка	40 бар

Таблиця 2.3 – продовження.

					ЕП.ПД. 00.00.02.ПЗ	Арк.
						25
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

2.5 Вибір програмного забезпечення для налаштування ПЧ

Перетворювачі частоти компанії Schneider Electric можливо налаштувати як за допомогою лицевої панелі так і за допомогою спеціального програмного забезпечення. Використання ПО дозволяє гнучко налаштувати процеси в ПЧ. Зняти та зберегти графіки перехідних процесів.

Для програмування ПД-регулятора використовувалась лицева панель перетворювача. За допомогою клавіш можна легко настроїти перетворювач частоти на заданий режим роботи.



Рис. 2.13 - Лицева панель ПЧ.

1. Графічний дисплей;
2. Функціональні клавіші F1, F2, F3, F4 назначені на:
 - Діалогові функції: прямий доступ, справочна система, навігація;
 - Прикладні функції: локальне/дистанційне керування, завдання швидкості;
3. Клавіша Stop/Reset: локальне керування двигуном, скидання несправностей системи;
4. Клавіша RUN : локальний запуск двигуна;
5. Ручка навігатора;
6. Клавіша FWD/REV: зміна напрямку обертання двигуна;

					ЕП.ПД. 00.00.02.ПЗ	Арк.
						26
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

7. Клавiша ESC: вiдказ вiд поточноi уставки, параметра або меню для повернення до попереднього вибору.

Аналіз налаштувань та перехiдних процесiв було знято за допомогою програми SoMove. Для перетворювачiв частоти (ПЧ) тут запропонований iнструмент «Осцилограф» («Scope») i «Панель оператора» («Operate», «Dashboard»).

Рис. 5 показує головну сторiнку з вибраним перетворювачем частоти, його параметрами та серійними номерами.

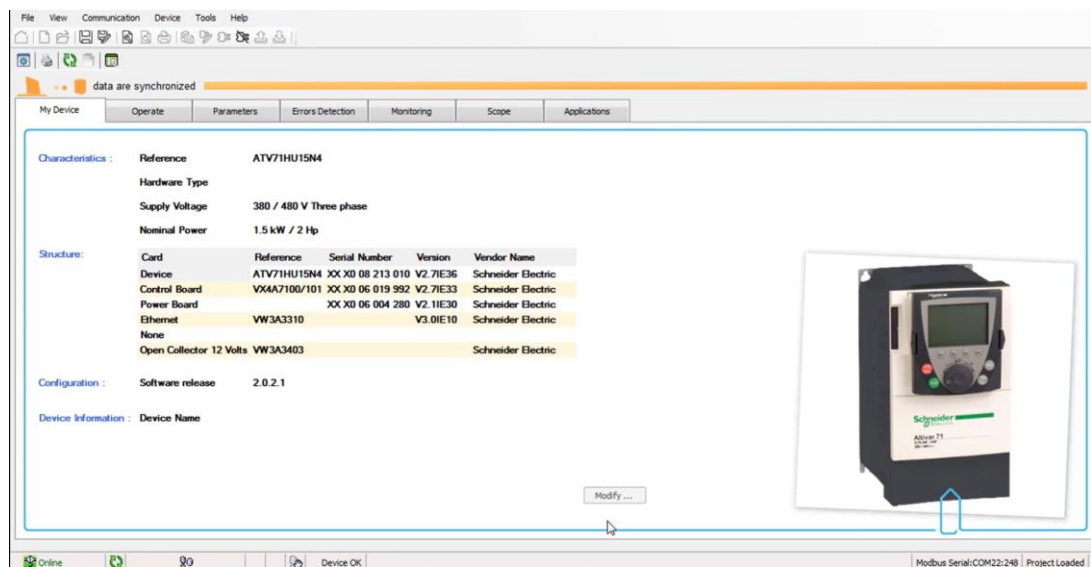


Рис. 2.15 – Головна сторiнка програмного забезпечення SoMove вiд Schneider Electric.

3 Синтез системи автоматичного керування.

3.1 Вибір та опис системи автоматичного керування

На сьогоднішній день асинхронні привода з короткозамкненими роторами дуже поширені. Вони використовуються в місцях де точність, швидкодія та діапазон регулювання не є найважливішим критерієм. Такими приводами можуть бути привода вентиляторів, компресорів, насосів і так далі. При цьому використовуються стандартні та добре досліджені системи скалярного керування електроприводами.

Скалярне керування це метод керування асинхронним двигуном, котрий заключається у підтриманні постійного відношення U/f . Великим плюсом скалярного керування є відносна простота реалізації. Головними недоліками скалярного керування є:

- неможливість керувати моментом асинхронного двигуна;
- потрібен датчик швидкості, для реалізації зворотнього зв'язку, для того щоб підтримувати задане значення швидкості при зміні навантаження на валу двигуна.

Для більш точного керування асинхронним двигуном застосовують векторний спосіб керування. Він є більш точним, та має свої переваги. Але, вимагає використання більш потужного мікроконтролера який займається обчисленням миттєвих значень параметрів асинхронного двигуна. Для простих завдань електропривода недоцільно використовувати векторний закон керування.

На Рис.3.1 зображено функціональну схему скалярного керування асинхронного двигуна із зворотнім зв'язком за швидкістю. Вона складається із основних блоків, таких як: задатчик інтенсивності ЗІ, регулятор швидкості РШ, регулятор частоти РЧ, регулятор напруги РН, датчик напруги ДН, датчик струму ДС, та коефіцієнту зворотнього зв'язку датчику швидкості, функціонального математичного перетворювача ФМП.

					ЕП.ПД. 00.00.02.ПЗ	Арк.
						28
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

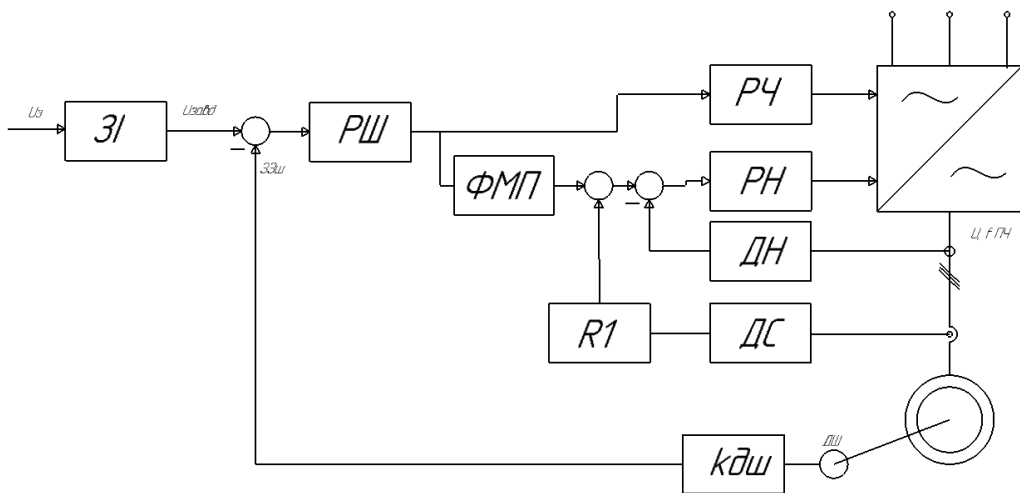


Рис.3.1– Функціональна схема скалярного керування асинхронним двигуном із зворотнім зв'язком за швидкістю.

На Рис.3.2 зображено функціональну схему скалярного керування асинхронного двигуна без зворотнього зв'язку за швидкістю. Так як у системі не використовується датчик швидкості, а лише, тиску, тому ця схема більш підходить для нашого випадку. Частота на виході перетворювача частоти формується завданням на швидкість. Математичний блок ФМП являє собою Lookup Table блок, що реалізує математичну залежність вихідної частоти від напруги. Так як, із-за часу затримки відкриття IGBT ключів інвертора, напруга на виході не завжди відповідає напрузі завдання. Тому в схему включено зворотній зв'язок по напрузі який компенсує падіння напруги в провідниках та похибку напруги із-за затримки відкриття ключів.

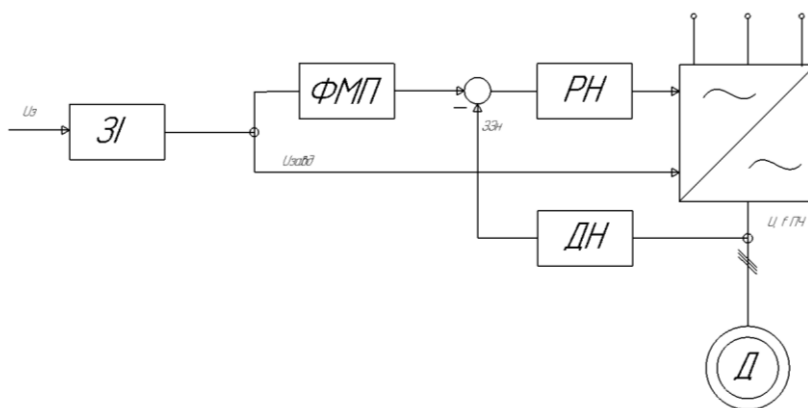


Рис.3.2 – Функціональна схема скалярного керування асинхронним двигуном без зворотнього зв'язку.

При моделюванні частотно-регульованих електроприводів зі скалярним керуванням результуючий вектор управління U визначають через комутаційні вектор функції безперервного скалярного аргументу θ_u у вигляді:

$$\bar{F} = \begin{bmatrix} f_A \\ f_B \\ f_C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{sign}(\sin \theta_u) \\ \text{sign}(\sin \theta_u - \varphi) \\ \text{sign}(\sin \theta_u + \varphi) \end{bmatrix} \quad (3.1)$$

де f_A, f_B, f_C – Фазні комутаційні функції; $\varphi=2\pi/3$ – зсув фаз між напругами.

Розрахувавши значення складових вектор функції F , визначають проєкції цього вектора по осях $\alpha, \beta, 0$, які відповідають проєкція керуючого вектора U в відносних одиницях на дані осі.

$$U_\alpha(t) = \frac{2}{\pi} U_m f_\alpha(t) \quad (3.2)$$

$$U_\beta(t) = \frac{2\sqrt{3}}{\pi} U_m f_\beta(t) \quad (3.3)$$

де $f_\alpha(t), f_\beta(t)$ – проєкції вектор функції по осям α та β , U_m – амплітудне значення напруги живлення.

Використавши класичну математичну модель асинхронного двигуна, представлену в нерухомих осях $\alpha, \beta, 0$, можна оцінити вплив гармонійного складу напруги живлення на перехідні процеси в двигуні. В наданому електроприводі присутня механічна передача, тому в моделі вона теж враховується.

					ЕП.ПД. 00.00.02.ПЗ	Арк.
						30
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

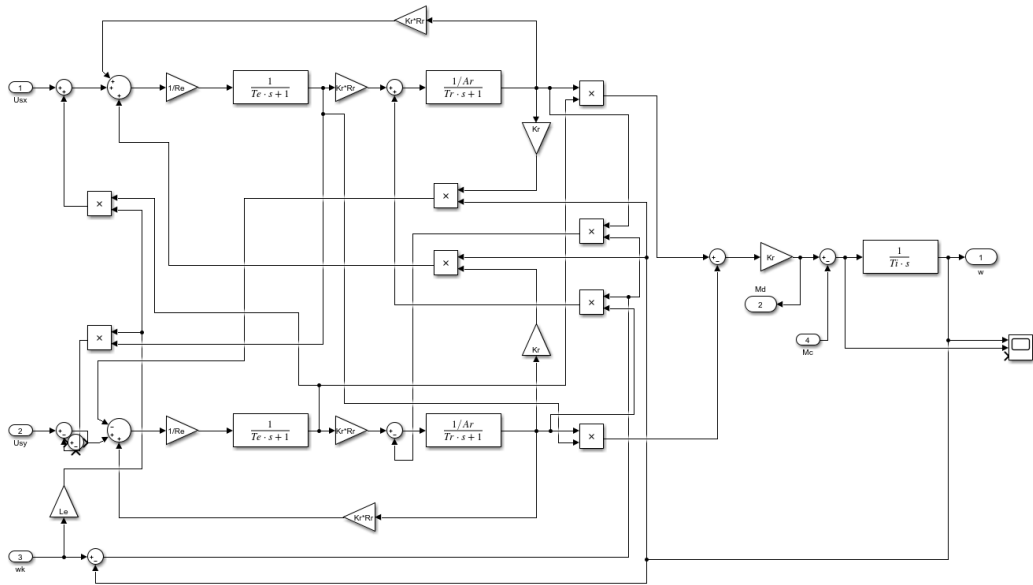


Рис.3.3 – Структурна схема скалярного керування асинхронним двигуном

На Рис.3.3 зображено структурну схему скалярного керування. Вона складається із двох контурів струму. На вхід котрих подається напруга, а на виході моделюється значення швидкості АД.

L_e – індуктивний опір АД;

R_e – активний опір;

A_r – коефіцієнт затухання ротора;

T_r – постійна часу ротора;

K_r – коефіцієнт підключення ротора;

T_i – механічна постійна часу;

T_e – еквівалентна постійна часу;

R_r – опір ротора.

3.2 Моделювання системи за допомогою пакету MatLab/Simulink

Підставивши параметри електродвигуна у математичну модель, а також задавши параметри системи отримаємо математичну модель системи скалярного керування перетворювач частоти двигун.

Так як для насосів існує своя залежність напорі від об'єму, момент супротиву для системи реалізує блок Q-H характеристики Рис. 3.4.

					ЕП.ПД. 00.00.02.ПЗ	Арк.
						31
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

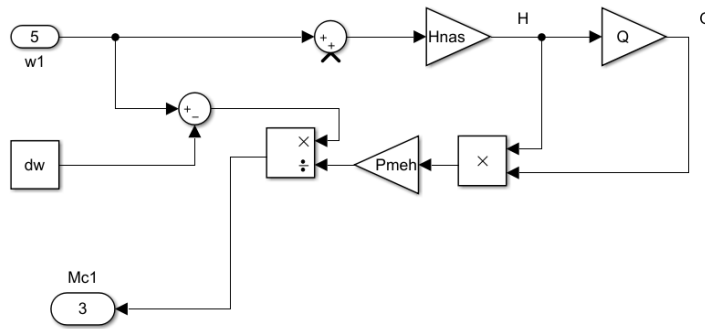


Рис. 3.4 – Підсистема Q-H характеристики насоса.

На Рис. 3.5 зображено графіки перехідних процесів в електроприводі. При запуску асинхронного двигуна без навантаження, момент двигуна досягає номінального значення, а після розгону до заданої швидкості дорівнює моменту навантаження.

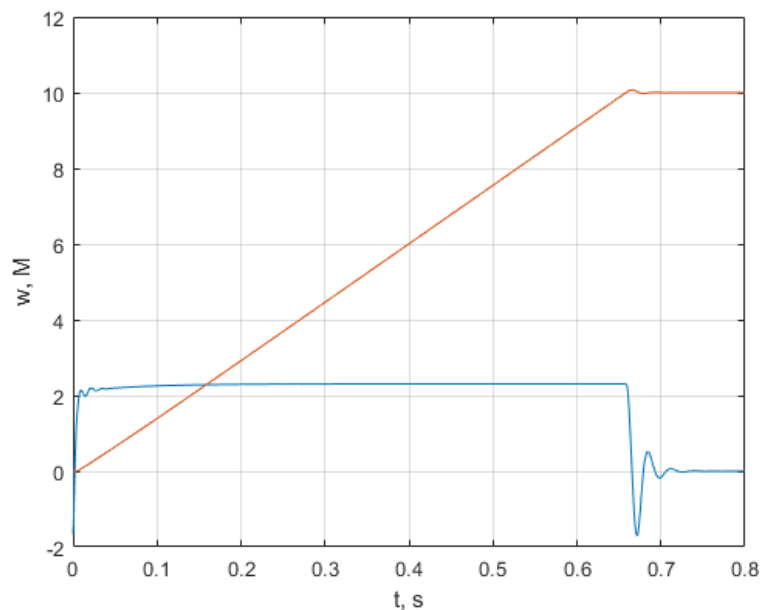


Рис. 3.5 – Перехідні процеси при скалярному керуванні АД.

На Рис. 3.6 зображено графіки перехідних процесів в електроприводі двигуна з навантаженням. Навантаженням виступає насос, котрий підключено до валу електродвигуна.

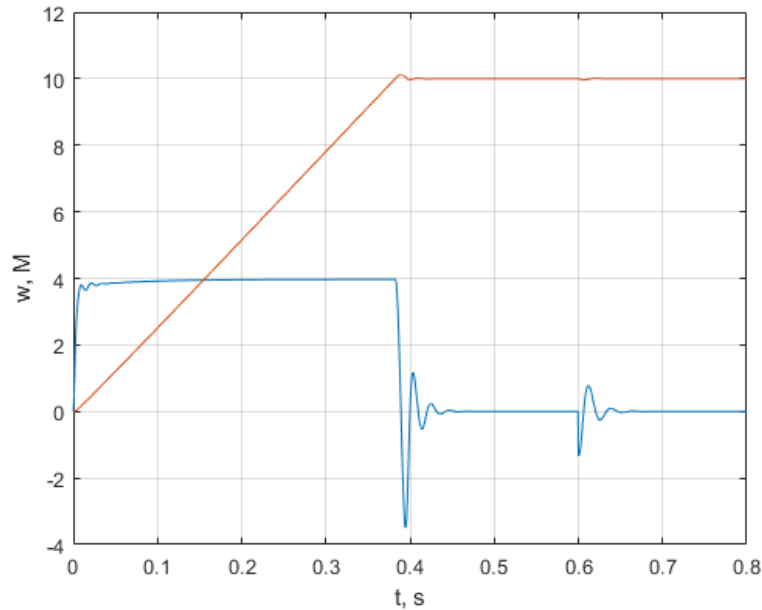


Рис. 3.6 – Перехідні процеси в електроприводі при поданні навантаження.

Після підставлення розрахованих коефіцієнтів регулятора до ПЧ, та замкнення контуру шляхом під'єднання ЗЗ до входу АІ2. Отримаємо замкнену систему. Але, коефіцієнти ПД регулятора будуть відрізнятися від тих, яку було отримано для спрощеної моделі в Matlab. Після корегування на реальному об'єкті, отримаємо графіки ПП (Рис. 3.7) в системі. Скореговані коефіцієнти ПД регулятора дорівнюють: $K = 3, T_i = 2.5, T_d = 0.03$.

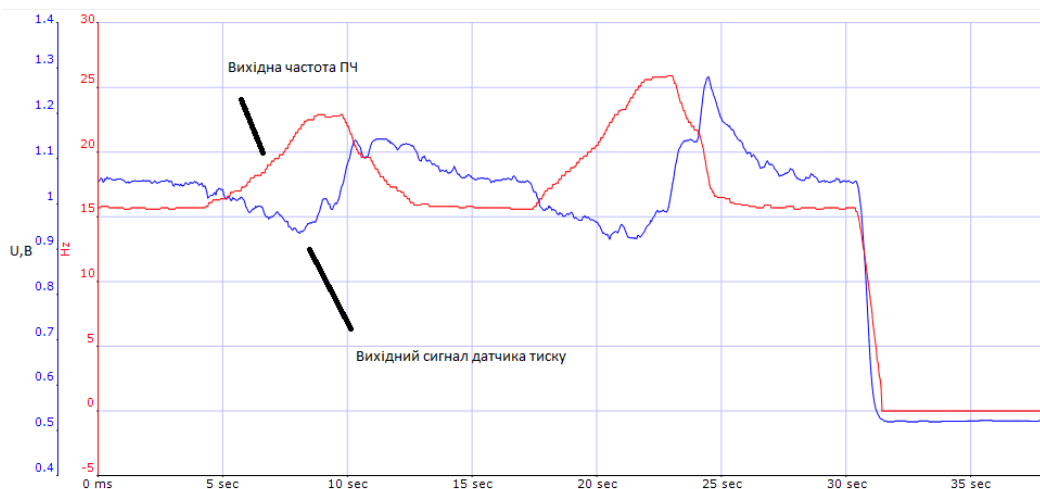


Рис. 3.7 – Вихідна частота перетворювача частоти в залежності від значення тиску у трубі.

Висновки

У даному розділі описано принцип роботи скалярного керування, який є найбільш підходящим для лабораторного стенду насосної станції. За допомогою математичного пакету MatLab/Simulink змодельовано математичну модель електроприводу, а також отримано графіки перехідних процесів. Налаштовано перетворювач частоти та отримано систему підтримання заданого тиску у трубі.

					ЕП.ПД. 00.00.02.ПЗ	Арк.
						34
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дат</i>		

4. ОХОРОНА ПРАЦІ

Вступ

Безпека усіх технологічних процесів, механізмів, устаткування, машин, стан засобів колективного та індивідуального захисту повинні відповідати вимогам нормативно - правових актів України про охорону праці. Тому, навіть при створенні лабораторного стенду для зняття механічних характеристик асинхронного двигуна та насосу потрібно піклуватися про охорону праці. До роботи з лабораторним стендом допускаються лише повнолітні особи, які пройшли інструктаж з пожежної безпеки, електричної безпеки та охорони праці. За стендом дозволяється працювати лише при роботі за ним двох та більше людей. Такі норми становлені правилами електробезпеки.

4.1 Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів

При роботі насосного устаткування присутні наступні шкідливі та небезпечні виробничі фактори:

- недостатнє освітлення робочої зони;
- підвищений рівень вібрацій;
- підвищений рівень шуму;
- висока напруга.

При роботі людини з високою напругою завжди наявна ймовірність дотику до устаткування яке опинилося під високою напругою. У свою чергу, електричний струм, який проходить крізь тіло людини викликає термічне, біологічне та електролітичну дію на організм людини. Термічна дія струму на організм людини полягає у виникненні опіків, нагріві кровоносних судів та других тканин людського організму. Електролітична дія полягає у розпаді органічних рідин у тілі людини, що викликає значну зміну їх хімічних і фізичних властивостей. Біологічна дія полягає у тому, що струм діє на організм людини специфічним образом, який властивий лише людській матерії: подразнення, збудження живих

					ЕП.ПД. 00.00.02.ПЗ	Арк.
						35
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

тканин, та порушення внутрішніх біоелектричних процесів. Які забезпечують нормальне функціонування людського організму, та при порушенні, можуть принести значну зміну дії організму людини. Вони можуть призвести до відказу органів, які у свою чергу, можуть призвести до смерті людини.

Як відомо, збільшений рівень шуму не є корисним для людини. А при роботі насосного агрегату шум є достатньо не комфортним для людини. Цей шум створюють механічні, аеродинамічні та електричні явища, котрі є наслідком деяких неточностей в конструкції, характером роботи установки, та режимами роботи.

Нестача світла на робочому місці призводить до послаблення зору людини, а також до нервово-емоційної напруги. Як наслідок, людина працює за несприятливих умов. При цьому, зростає шанс аварійно-небезпечної ситуації.

4.2 Захисні міри по усуненню небезпечних та шкідливих факторів

Захисними мірами безпеки при забезпеченні електробезпеки є: ізоляція струмоведучих частин електроустаткування, електричне розділення мереж, занулення. Захисним заземленням називають умисне з'єднання земляного контакту РЕ із металевим корпусом електричної машини. Завдяки цьому при пробі ізоляції струм витоку надходить до землі, та не зашкодить здоров'ю людини. Захисне занулення є умисним підключенням нульового провідника із металевими не струмоведучими частинами агрегату, які під дією тих чи інших причин можуть опинитися під високою напругою. Взагалі, не рекомендується робити занулення побутових приладів, так як при цьому фаза мережі може опинитися на корпусі прибору, що призведе до ураження струмом.

Для відключення агрегатів від мережі у разі виникнення пробі ізоляції використовують диференційні автомати. Вони здатні відчувати зміну струму фази або нуля, та безпечно відключити агрегат від мережі.

					ЕП.ПД. 00.00.02.ПЗ	Арк.
						36
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Для захисту від вібрації застосовують наступні методи: вібродемпфування, віброгасіння, віброізоляція, та уникнення резонансних частот.

Віброгасіння являє собою збільшення маси системи. Полягає в установці агрегату на масивний бетонний фундамент. Цей спосіб найбільш ефективно приміняється при установці насосів, вентиляторів, молотів та пресів. Є найбільш ефективним для середніх та низьких частот.

4.3 Розрахунок заземлення

Розрахунок захисного заземлення здійснюється для того щоб розрахувати опір, форму та розмір контура заземлення. Контур заземлення складається із заземлюючого провідника, горизонтальних та вертикальних заземлювачів. Вертикальні заземлювачі розміщуються в землі на деякій відповідній глибині, та з'єднуються за допомогою горизонтальних заземлювачів, та з електрощитом за допомогою заземлюючого провідника. Кількість та розміри таких заземлювачів, відстань між ними та питомий опір ґрунту, в якому встановлено заземлення впливають на параметри заземлення.

Початкові дані для розрахунку захисного заземлення:

$d = 50$ мм – діаметр заземлюючого стержня;

$\rho_{\text{екв}} = 50$ Ом·м - еквівалентний питомий опір ґрунту;

$L = 1.7$ м – довжина стержня;

$T = 1$ м – відстань від поверхні землі до середини стержня;

$\psi = 4$ – сезонний кліматичний коефіцієнт;

$R_n = 30$ Ом – нормований опір розтікання струму заземлювального пристрою;

$t = 0,8$ м – заглиблення вертикального заземлювача;

$L_r = 12$ мм – довжина заземлювача;

$b = 3$ мм – ширина заземлювача;

$n_r = 0.55$ – коефіцієнт попиту горизонтальних заземлювачів

					ЕП.ПД. 00.00.02.ПЗ	Арк.
						37
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Опір розтікання струму R_0 одного вертикального заземлювача (стержня) знайдемо за наступною формулою:

$$R_0 = \frac{\rho_{\text{экс}}}{2\pi \cdot L} (\ln(\frac{2L}{d}) + 0.5 \ln(\frac{4T+L}{4T-L})) \quad (4.1)$$

$$R_0 = \frac{50}{2 \cdot 1.7 \cdot 1.5} (\ln(\frac{2 \cdot 1.7}{50 \cdot 10^{-6}}) + 0.5 \ln(\frac{4 \cdot 1 + 1.7}{4 \cdot 1 - 1.7})) = 105 \text{ Ом} \quad \dots\dots(4.2)$$

Розрахуємо кількість стрижнів заземлення, без урахування опору горизонтального заземлення, за формулою:

$$n_0 = \frac{R_0 \cdot \psi}{R_n} = 14, \text{ шт} \quad (4.3)$$

$$n_0 = \frac{105 \cdot 4}{30} = 14, \text{ шт} \dots \quad \dots\dots(4.4)$$

Знайдемо опір розтікання струму для горизонтального заземлювача:

$$R_r = 0.366 (\frac{\rho_{\text{экс}} \cdot \psi}{L_r \cdot \eta_r}) \cdot \lg(\frac{2L_r^2}{b \cdot t}) = 64, \text{ Ом} \dots \quad \dots\dots(4.5)$$

$$R_r = 0.366 (\frac{50 \cdot 4}{12 \cdot 10^{-6} \cdot 0.55}) \cdot \lg(\frac{2 \cdot (12 \cdot 10^{-6})^2}{4 \cdot 10^{-6} \cdot 0.8}) = 64, \text{ Ом} \quad \dots \dots\dots(4.6)$$

Визначимо опір вертикального заземлювача з урахуванням опору розтікання струму горизонтальних заземлювачів:

$$R_e = \frac{R_r \cdot R_n}{(R_r - R_n)}, \text{ Ом} \dots \quad \dots\dots(4.7)$$

$$R_e = \frac{64 \cdot 30}{(64 - 30)} = 56, \text{ Ом} \dots\dots \quad \dots\dots(4.8)$$

Загальна кількість вертикальних заземлювачів визначається за формулою:

$$n = \frac{R_0}{R_e \cdot \eta_e}, \text{ шт} \dots \quad \dots\dots(4.7)$$

$$n = \frac{105}{56 \cdot 0,78} = 2, \text{ шт} \dots \quad \dots\dots(4.8)$$

Стрижні заземлювача знаходяться не в приміщенні, тому ми підключаємося до нього з вулиці.

					ЕП.ПД. 00.00.02.ПЗ	Арк.
						38
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

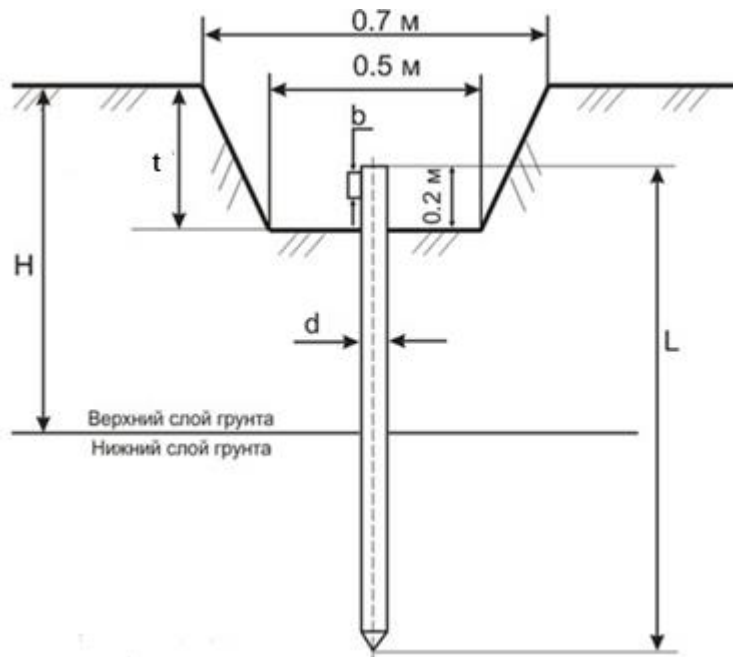


Рис. 4.1 Схема заземления

4.4 Пожежна безпека

Вогонь, підвищена температура, продукти горіння, дим та понижена концентрація кисню, всі ці фактори являються небезпечними для здоров'я та життя людини. Тому, потрібно виконувати наступні правила, для забезпечення комфорту та безпеки здоров'я людини.

Протипожежні системи, та устаткування приміщень, будівель і споруд які виконують цілодобовий моніторинг, повинні постійно утримуватися у справному робочому стані. До таких систем відносяться системи водопостачання, системи протипожежного захисту, пожежні виходи, решітки на вікнах тощо.

Усі будівлі та приміщення повинні своєчасно очищатися від горючого сміття, відходів виробництва і постійно утримуватися в чистоті. Технологічні регламенти встановлюють терміни та порядок таких очищень.

Приміщення лабораторії, де розміщується насосний стенд, по пожежній безпеці відноситься до категорії «В».

Порядок дії при пожежі.

У разі виявлення пожежі або ознак горіння необхідно:

					ЕП.ПД. 00.00.02.ПЗ	Арк.
						39
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

- негайно повідомити про це по телефону 101 і викликати пожежну охорону. При цьому необхідно назвати адресу об'єкта, вказати кількість поверхів будівлі, місце виникнення пожежі, наявність людей, а також повідомити своє прізвище;
- прийняти (по можливості) заходи по евакуації людей, гасіння (локалізації) пожежі та збереження матеріальних цінностей;
- якщо пожежа виникла на підприємстві, повідомити про неї керівника чи відповідну компетентну посадову особу та (або) чергового на об'єкті;
- у разі необхідності викликати інші аварійно-рятувальні служби.

Висновки

У даному розділі було описано найнебезпечніші фактори, котрі впливають на здоров'я та життя людини. Такими факторами являються: недостатнє освітлення робочої зони, підвищений рівень вібрацій, підвищений рівень шуму, висока напруга. Надано рекомендації щодо усунення небезпечних факторів впливаючих на комфорту роботу людини. Описано способи захисту людини від ураження електричним струмом. Та розраховано систему захисного заземлення насосної установки. Описано правила пожежної безпеки, та надано порядок дій яких потрібно дотримуватися у разі виникнення загрози пожежі у лабораторії.

					ЕП.ПД. 00.00.02.ПЗ	Арк.
						40
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ

Вступ

Метою даного дипломного проекту є розробка навчального стенду що імітує електропривод насосів насосної станції. Суть полягає у повному циклі розробки, від розрахунку характеристик насосу, до налаштування перетворювача частоти на технічний оптимум.

Впровадження частотного регулювання електроприводів насосних станцій дозволяє:

- підвищити надійність роботи і системи в цілому;
- автоматизувати підтримування заданої величини;
- підвищити точність регулювання;
- економити ресурси і електроенергію.

Частотне регулювання ефективно застосовується на підприємствах, в промисловості та комунальних господарствах. Та надає великий спектр переваг при регулюванні асинхронних двигунів:

- підвищений момент та підвищена точність при роботі на низьких швидкостях, поліпшені динамічні характеристики з алгоритмами векторного керування потоком розімкнутої або замкнутої систем приводу;
- модернізація діючих агрегатів відбувається без заміни основного устаткування і практично без перерв в його роботі;
- точність підтримки швидкості і енергозбереження для розімкнутого приводу з синхронним двигуном;
- розширений діапазон вихідної частоти для високошвидкісних двигунів;
- плавне управління незбалансованими механізмами за допомогою системи адаптації потужності від Schneider Electric.

					ЕП.ПД. 00.00.02.ПЗ	Арк.
						41
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Для обґрунтування економічної доцільності пропонованого в дипломному проекті обладнання необхідно вирішити наступні завдання:

1. Розрахувати капітальні витрати;
2. Розрахувати експлуатаційні витрати;
3. Розрахувати і проаналізувати показники економічної ефективності.

5.1 Розрахунок капітальних витрат

Для визначення капітальних витрат можна скористатися формулою

$$K_{пр} = K_{об}(\sum Ci) + Z_{тзс} + Z_{м} + Z_{н} + Z_{пр} \text{ грн.}$$

де $K_{об}(\sum Ci)$ - це вартість придбання устаткування для стану (електричний двигун, насос, труби, клапани, датчик тиску та перетворювач частоти), яке необхідно для реалізації лабораторного стану.

$Z_{тзс}$ - транспортно-заготівельні і складські витрати;

$Z_{м}$ - витрати на монтажні витрати;

$Z_{н}$ - витрати на налагоджувальні витрати;

$Z_{пр}$ - інші одноразові вкладення грошових коштів.

Свідка капітальних витрат занесена до таблиці 4.1.

Таблиця 5.1. Зведення капітальних витрат

№п/п	Найменування технічних засобів (комплектуючих виробів)	Кількість	Ціна за одиницю, грн	Сума, грн.
1	Асинхронний двигун АИР 63А2 УЗ	1	1478	1478

Продовження Таблиці 5.1.

2	Перетворювач частоти Altivar 61 ATV 61H075M3	1	5300	5300
3	Датчик тиску XLM-F010D2115	1	3140	3140
4	Пластикові труби	10	150	1500
5	Перехідники	10	50	500
6	Клапан аварійного скидання тиску	1	1000	1000
7	Ручний регулятор тиску	1	240	240
	ВСЬОГО			13158

Вартість транспортно-заготівельних і складських витрат ($З_{тзс}$) визначається виходячи з:

1. Відстані доставки устаткування від місця придбання до місця експлуатації;
2. Кількості, маси і габаритів устаткування;
3. Виду транспортних засобів;
4. Транспортних тарифів;
5. Розцінок на навантажувально-розвантажувальні роботи;
6. Витрат на складську обробку.

Вартість перевезення устаткування різна. Тому що, всі компоненти придбані в різних магазинах. Доставка перетворювача частоти та датчика

					ЕП.ПД. 00.00.02.ПЗ	Арк.
						43
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

тиску коштує 450 грн. З урахуванням габаритів устаткування. Електричний двигун, труби та клапани придбані у місцевому магазині.

Витрати на монтажні (Z_m) і налагоджувальні роботи (Z_n) можна визначити таким чином:

$$Z_m = \sum (C_i \cdot a_i \cdot t_i) \cdot K_d \cdot K_{cm} \cdot K_{np} = 2 \cdot 68,93 \cdot 80 \cdot 1,2 \cdot 1,375 \cdot 1,1 + 500 = 20\,517,2 \text{ грн.}$$

де C_i - чисельність працівників i -го розряду, необхідних для виконання певного об'єму монтажних (налагоджувальних) робіт, чел.

a_i - часова тарифна ставка 4-го розряду.

t_i - час, необхідний для виконання певного об'єму монтажних (налагоджувальних) робіт, години

K_d - коефіцієнт, що враховує розмір доплат;

K_{cz} - коефіцієнт, що враховує відрахування на соціальні заходи;

K_i - коефіцієнт, що враховує інші витрати на здійснення монтажних (налагоджувальних) робіт.

Інші одноразові вкладення грошових коштів (Z_{np}) можуть включати витрати:

1. На демонтаж застарілого устаткування;
2. На проведення проектно-конструкторських робіт;
3. На підготовку персоналу;
4. На придбання готового програмного забезпечення.

Капітальні витрати:

					ЕП.ПД. 00.00.02.ПЗ	Арк.
						44
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

$$K_{np} = 13158 + 20\,517,2 + 450 = 34125,2 \text{ грн.}$$

5.2 Розрахунок експлуатаційних витрат

Експлуатаційні витрати - це поточні витрати на експлуатацію і обслуговування об'єкту проектування за певний період (рік), виражені в грошовій формі.

До основних статей експлуатаційних витрат по електротехнічному устаткуванню відносяться:

1. Амортизаційні відрахування (C_a);
2. Заробітна плата обслуговуючого персоналу (C_3);
3. Відрахування на соціальні заходи від заробітної плати (C_c);
4. Витрати на технічне обслуговування і поточний ремонт устаткування (C_t);
5. Вартість електроенергії, споживаної об'єктом проектування (C_9);
6. Інші експлуатаційні витрати (C_i).

Таким чином, річні експлуатаційні витрати складуть:

$$C = C_a + C_3 + C_c + C_t + C_9 + C_{np}$$

Розрахунок експлуатаційних витрат ведеться по проектному і базовому варіанту паралельно.

5.3 Розрахунок амортизаційних відрахувань

					ЕП.ПД. 00.00.02.ПЗ	Арк.
						45
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Річний фонд амортизаційних відрахувань визначається у відсотках від суми капітальних витрат по видах основних фондів і нематеріальних активів по розділах зведення капітальних витрат для проектного варіанту і за даними підприємства про балансову вартість замінюваного устаткування для базового варіанту.

$$C_a = 20\% \text{ від } K_{np}$$

$$C_a = \frac{K_{np} \cdot 20\%}{100\%} = \frac{34125,2 \cdot 20}{100} = 6825 \text{ грн}$$

5.4 Визначення річних витрат на технічне обслуговування і поточний ремонт

Річні витрати на технічне обслуговування і поточний ремонт електротехнічного устаткування включають витрати на матеріали, запасні частини, заробітну плату ремонтним робітником і можуть визначатися за фактичними даними підприємства.

Витрати на поточний ремонт апаратури автоматики і систем автоматизації можна розрахувати по формулі:

$$Z_{m.p.} = \sum_{i=1}^n R_i \cdot T_i \cdot m_i \cdot R_{\sum i} + \frac{s_i \cdot \Pi_i}{T_i} \cdot T_{\Phi}$$

де: n - число пристроїв автоматики, що підлягають ремонту;

R_i - годинна ставка робочих, виконуючих ремонт, грн. (68,93 грн);

T_i - трудомісткість одного ремонту при категорії складності ремонту в одну ремонтну одиницю залежно від виду ремонту, год/од.: (середнього – 7 год) ;

		пі - число ремонтів за рік,			ЕП.ПД. 00.00.02.ПЗ	Арк.
						46
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

R_{Σ} - сумарна категорія складності ремонту залежно від виду електроустаткування :

S_i - вартість однотипних замінюваних елементів, грн.;

Π - кількість однотипних замінюваних елементів;

$T_{ф}$ - середній термін служби деталей цього типу, ч.;

$T_{ф}$ - число годин роботи апаратури в рік, ч.

$$Z_{m.p.} = 68,93 \cdot 7 \cdot 1 \cdot 1,2 + \frac{10 \cdot 3}{1500} \cdot 1500 = 1251,8 \text{ грн.}$$

5.5 Розрахунок вартості спожитої електроенергії

Вартість електроенергії, споживаної об'єктом проектування впродовж року, визначається виходячи з його встановленої потужності і річного фонду робочого часу об'єкту проектування по формулі:

$$C_{e.np} = W_p \cdot C_e = 99,9 \cdot 2,02 = 201,79 \text{ грн.}$$

де: W_p - кількість спожитої за рік електроенергії, кВт·год.;

C_e - тариф на електроенергію, грн./кВт·год.

2,02 грн./кВт год - вартість електроенергії для підприємств станом на 22.11.20;

Кількість електроенергії яку споживатиме стенд за рік, розраховуємо по формулі:

$$W_{e.np.} = t_d \cdot t_h \cdot t_n \cdot P_n = 20 \cdot 1,5 \cdot 9 \cdot 0,37 = 99,9 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

					ЕП.ПД. 00.00.02.ПЗ	Арк.
						47
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

де: t_d - кількість робочих днів в місяць;

t_h - кількість робочих годин стенду;

t_t - кількість місяців на рік (12 – 3 = 9 учбових місяців);

P_H - потужність електродвигуна.

Таким чином, річні експлуатаційні витрати у проектному варіанті:

$$C_{\text{пр}} = C_a + C_c + C_э = 6\,825 + 1\,251.8 + 201.79 = 8\,278,59 \text{ грн.}$$

					ЕП.ПД. 00.00.02.ПЗ	Арк.
						48
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Висновки

У розрахунках економічного розділу були отримані значення проектних капіталовкладень, витрат на монтажні і налагоджувальні роботи, річних експлуатаційних витрат, вартості електроенергії, споживаної об'єктом проектування впродовж року, витрат на поточний ремонт апаратури автоматики і систем автоматизації, річна економія від впровадження модернізації, коефіцієнта ефективності капітальних витрат та терміну окупності капітальних витрат.

Річна економія від модернізації запропонованого устаткування складає гривень, розрахунковий коефіцієнт ефективності складає 0,37 і розрахунковий термін окупності капітальних вкладень складає 2,6 років.

Таким чином, можна сказати, що заміна старого обладнання на нове є економічно вигідним рішенням. Система асинхронний двигун - перетворювач частоти не тільки покращить якість регулювання, перехідних процесів а й зекономить значну кількість грошей.

					ЕП.ПД. 00.00.02.ПЗ	Арк.
						49
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

ВИСНОВКИ

У дипломному проекті було успішно розроблено лабораторний стенд який імітує насосну станцію. У першому розділі розраховано основні параметри насосної станції: натиск, потік, об'єм резервуара тощо. Для розрахованих параметрів підібрано підходящий відцентровий насос, асинхронний електричний двигун, датчик тиску та перетворювач частоти.

На базі обраних компонентів створена математична модель електропривода у пакеті Matlab/Simulink. Отримані графіки перехідних процесів електроприводу при подачі на вхід сигналу завдання на швидкість. Проаналізовано та описано.

У розділі охорони праці описано шкідливі та небезпечні фактори, які можуть нанести шкоду людському здоров'ю або, навіть, життю. Розраховано параметри захисного заземлення установки. Надано основні рекомендації щодо пожежної безпеки.

У розділі економіки шляхом розрахунків встановлена повна вартість лабораторного стенду: розраховані значення проектних капіталовкладень, витрат на монтажні і налагоджувальні роботи, витрати на поточний ремонт, річні експлуатаційні витрати та вартість електроенергії, споживаної об'єктом проектування впродовж року.

Аналізуючи все вищезазначене можна сказати, що в диплом виконано в повній мірі.

					ЕП.ПД. 00.00.02.ПЗ	Арк.
						50
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Черкасский В.М. «Насосы, вентиляторы, компрессоры.» Учебное пособие для ВУЗов. - М.: Энергоатомиздат, 1984. - 416 с., илл.
2. Val S. Lobanoff Robert R. Ross «Centrifugal Pumps: Design and Application».
3. Копылов И.П. Электрические машины: Учебник для вузов. — М.: Энергоатомиздат, 1986. – 360 с.
4. Колб А.А., Колб А.А. Теорія електроприводу: Навч. посібник. Д.: НГУ. – 2006.
5. Книга Лезнова Б.С «Частотно-регулируемый электропривод насосных установок»
6. Новиков Г.В. «Частотное управление асинхронными электродвигателями» 2016.
7. Преобразователи частоты Altivar. Руководство.
8. Преобразователи частоты Altivar. Каталог.
9. Методичні вказівки до виконання розділу „Охорона праці“ в дипломних проектах (роботах) бакалаврів інституту електроенергетики / В.І. Голінько, В.Ю. Фрундін, Ю.І. Чеберячко, М.Ю. Іконніков. – Д.: Державний ВНЗ «Національний гірничий університет», 2012. – 8 с.
10. Методичні вказівки до виконання економічної частини кваліфікаційної роботи для студентів напряму підготовки 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / Укладач: Л.В. Тимошенко - Дніпро: НТУ «ДП», 2019. - 18 с.

					ЕП.ПД. 00.00.Д.ПЗ	Арк.
						51
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		