

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 Хасанов Бобомухаммад  
(ПІБ)

академічної групи 141-17-4  
(шифр)

спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка  
(код і назва спеціальності)

спеціалізації \_\_\_\_\_

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

на тему Система автоматичного керування електроприводом насосної станції

(назва за наказом ректора)

Керівники	Прізвище, ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		рейтинговою	інституційною	
кваліфікаційної роботи	Боровик Р.О.			
розділів:				
Технологічна частина	Боровик Р.О.			
Автоматизований електропривод	Боровик Р.О.			
Дослідження динаміки електропривода	Боровик Р.О.			
Охорона праці	Столбченко О.В.			
Техніко-економічне обґрунтування	Тимошенко Л.В.			
Рецензент				
Нормоконтролер	Казачковський М.М.			

Дніпро  
2021

**ЗАТВЕРДЖЕНО:**

завідувач кафедри  
електропривода

\_\_\_\_\_ (повна назва)

\_\_\_\_\_ Казачковський М.М.  
(підпис) (прізвище, ініціали)

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ року

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

студенту Хасанов Бобомухаммад академічної групи 141-17-4  
(прізвище та ініціали) (шифр)  
спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

спеціалізації<sup>1</sup> \_\_\_\_\_  
за освітньо-професійною програмою Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка  
(офіційна назва)

на тему Система автоматичного керування електроприводом насосної станції

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

Розділ	Зміст	Термін виконання
Технологічна частина	Опис конструкції установки, вимоги до електроприводу.	02.05 – 08.05
Автоматизований електропривод	Розрахунок потужності та вибір двигуна, перетворювача і додаткового електричного обладнання насосної станції.	09.05 – 15.05
Дослідження динаміки електропривода	Розрахунок параметрів електропривода та регуляторів, дослідження динаміки електропривода, перевірка якості перехідних процесів системи.	16.05 – 24.05
Охорона праці	Аналіз шкідливих і небезпечних факторів та заходи щодо їх усунення	25.05 – 31.05
Техніко-економічне обґрунтування	Розрахунок основних техніко-економічних показників впровадження проєкту.	01.06 – 07.06

Завдання видано \_\_\_\_\_  
(підпис керівника) (прізвище, ініціали)

Дата видачі 12 квітня 2021

Дата подання до екзаменаційної комісії \_\_\_\_\_

Прийнято до виконання \_\_\_\_\_  
(підпис студента) (прізвище, ініціали)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 55 стор., 13 таблиць, 20 рисунків., 15 джерел.

Мета проекту: розробка системи автоматичного керування насосними установками цеха водопостачання.

У введени представлені сучасні тенденції у розвитку систем керування насосними установками, визначено напрямки досліджень.

У розділі 1 приведено опис насосної установки, проаналізовано наявні способи регулювання продуктивності насосів. Також здійснено вибір насоса.

У розділі 2 «Автоматизований електропривод» розраховано потужність приводного двигуна, побудовані регулювальні характеристики насоса, розроблено систему регулювання. Вибрано перетворювач частоти.

У розділі 3 «Дослідження динаміки електропривода» представлена математична модель системи регульованого електропривода насосної установки. Приведено результати моделювання.

У розділі 4 розглянуто шкідливі виробничі фактори, запропоновані інженерно-технічні заходи з охорони праці, виконано розрахунок освітлення.

В економічній частині проекту розраховані капітальні й експлуатаційні витрати.

**САР ТИСКУ, ПЕРЕТВОРЮВАЧ ЧАСТОТИ, ЧАСТОТНО-КЕРОВАНИЙ  
ЕЛЕКТРОПРИВОД, МОДЕЛЮВАННЯ**

						Арк.
						3
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## Abstract

Master's thesis: 55 pages, 13 tables, 20 figures, 15 reference sources.

The project goal: development of automatic control system for the pumping installations of the water supply station.

Modern trends in the pumping stations' management systems are given in the introduction.

Chapter 1 gives the detailed description of the pumping installation; the existing pumping rate control principles are analyzed. The pumping unit is selected as well.

Chapter 2, "The automated electric drive", is devoted to the dimensioning of the pump's drive motor, evaluation of regulation curves and development of the control system. The frequency converter is selected in the chapter.

In the chapter 3, "Research of electric drive's dynamics" the mathematical model of the pumping installation's electric drive is given. The simulation results are shown.

In the 4<sup>th</sup> chapter the dangerous industrial factors are considered, the artificial lighting parameters are calculated.

The economical part of thesis contains the calculation of necessary capital investments and maintenance costs.

AUTOMATIC PRESSURE CONTROL, VARIABLE FREQUENCY  
CONVERTER, VARIABLE FREQUENCY DRIVE, SIMULATION

						Арк.
						4
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## Зміст

Реферат .....	3
Abstract.....	4
1. Технологічна частина .....	7
1.1 Опис об'єкту.....	7
1.2 Способи регулювання насосів.....	11
2. Автоматизований електропривод .....	16
2.1 Розрахунок потужності двигуна відцентрового насоса.....	16
2.2 Розрахунок і побудова статичних характеристик регульованого насоса і електропривода.....	17
2.3 Побудова механічних характеристик асинхронного двигуна при частотному керуванні.....	21
2.4 Розробка системи автоматичного регулювання і визначення її параметрів.....	24
2.5 Вибір перетворювача частоти і розробка схеми підключення .....	32
3. Дослідження динаміки електропривода.....	36
4. Охорона праці. Безпека при надзвичайних ситуаціях .....	39
4.1 Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів.....	39
4.2 Інженерно-технічні заходи з охорони .....	39
4.3 Розрахунок штучного освітлення .....	40
4.4 Пожежна безпека .....	44
4.5 Безпека при надзвичайних ситуаціях .....	44
5. Техніко-економічне обґрунтування .....	46
5.1 Розрахунок капітальних витрат.....	46
5.2 Розрахунок експлуатаційних витрат.....	48
5.2.1 Амортизаційні відрахування.....	49
5.2.2 Розрахунок вартості спожитої електроенергії.....	50
5.2.3 Витрати на технічне обслуговування й поточний ремонт .....	51
Висновки .....	53
Список літератури .....	54

						Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ВСТУП

Насоси – найпоширеніші типи механізмів у всіх галузях промисловості й комунального господарства. Споживання електроенергії цими механізмами складає більшу частину електричної енергії, що виробляється. Зазвичай більшість насосів нерегульовані. Проте є установки, що вимагають регулювання технологічних параметрів – подавання і тиску. Їх кількість постійно зростає. У зв'язку з цим організація режиму роботи насосу, що дозволяє знизити енергоспоживання, витрати ресурсів і зменшити ризик техніки – наразі є актуальною задачею.

Традиційно регулювання натиску і подавання насосу здійснюють шляхом дроселювання (введення додаткового гідравлічного опору) або байпасування (перепускання частини потоку з виходу на вхід). Вказані способи регулювання вкрай ефективні, оскільки спостерігається різке зменшення експлуатаційного ресурсу механізмів і значна (примусова) перевитрата електроенергії.

Усі ці недоліки відсутні при використанні частотно-регульованого електропривода (ЧРЕП) і різноманітних регуляторів технологічних параметрів. Таке регулювання дозволяє вельми скоротити витрати електроенергії й значно збільшити ресурс електродвигунів (практично вдвічі), а також забезпечити необхідний графік зміни параметрів в часі. Завдяки розвитку цифрової і силової електроніки застосування ЧРЕП де-факто стає промисловим стандартом. Його застосування може бути виправдано і на установках, що не вимагають регулювання, з метою підвищення їх енергоефективності і ресурсозбереження

Метою роботи є розробка системи автоматизованого електропривода насосної станції з використанням частотно-регульованого електропривода й регуляторів технологічних параметрів.

<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розробив</i>					<i>Система автоматичного керування електроприводом насосної станції</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушів</i>
<i>Перевірив</i>								6
						<i>НТУ «Дніпровська політехніка», гр. 141-17-4</i>		

# 1. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

## 1.1 Опис об'єкту

Об'єктом проектування є насоси станції водопостачання, що забезпечують подавання води для технологічного процесу підготовки сировини. Витрати води протягом доби непостійні. Графік зміни витрат наведено на рис. 1.1. Як видно з графіку, витрати змінюються в широкому діапазоні від 150 до 300 м<sup>3</sup>/год.

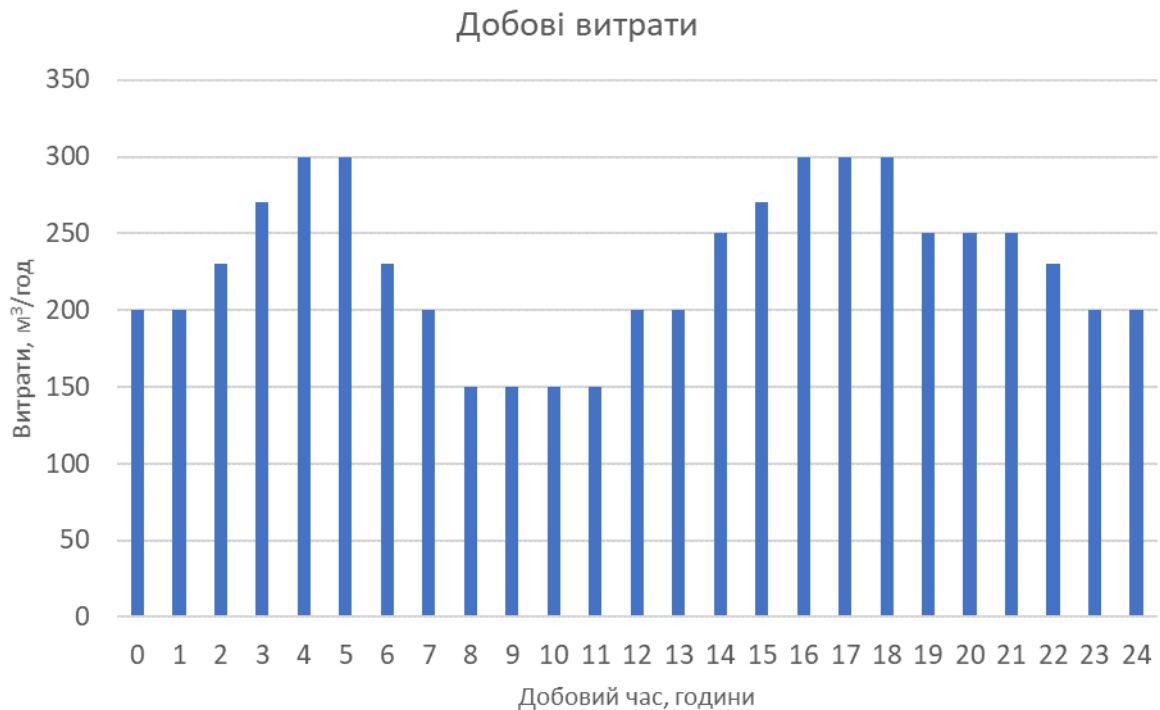


Рисунок 1.1 – Графік добових витрат

Схема насосної установки наведена на рис. 1.2. Вона складається з двох насосів –робочого і резервного. Насос, який працює в даний момент, подає воду до одного з трубопроводів – *Трубопровод №1* або *Трубопровод №2*. Вибір трубопроводу і насоса здійснюється системою вентилів. Після кожного насосу в трубопроводі, що нагнітає встановлюється зворотній клапан. Він потрібен для захисту насоса від гідравлічних ударів і зливу води при відключенні насоса. Забір води здійснюється із водозбірника через трубопровід, що всмоктує. Перед трубопроводом, що всмоктує встановлюється фільтр для захисту від потрап-

						Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ляння твердих часточок до трубопроводу і насосу. Після фільтру встановлюється зворотній клапан, який запобігає зливу води з насосу.

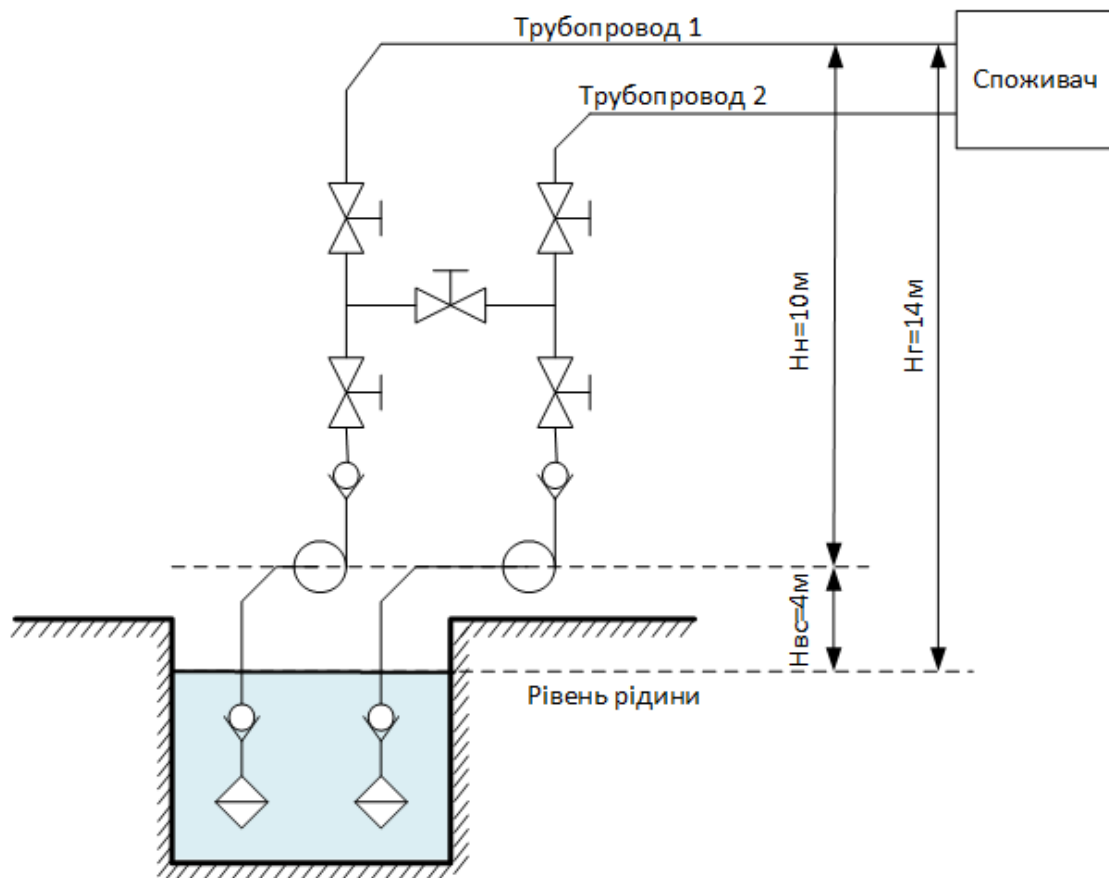


Рисунок 1.2 – Схема насосної установки

Висота всмоктування насоса складає  $H_{BC}=4\text{ м}$ . Насос подає воду на висоту  $H_N=10\text{ м}$ . Загальна геометрична висота підйому води дорівнює  $H_G=14\text{ м}$ .

Після виконання гідравлічних розрахунків службою головного механіка для встановлювання було обрано насос типу 1Д315-50 [1], технічні характеристики якого наведено в табл. 1.1 і на рис. 1.3.

Таблиця 1.1 Технічні характеристики насоса

Тип насоса	1Д315-50
Номінальна подача, $\text{м}^3/\text{год}$	315
Номінальний напір, м	50
Номінальна частота обертання, об/хв	2900
Номінальний ККД насоса	0,83

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Арк.
					8



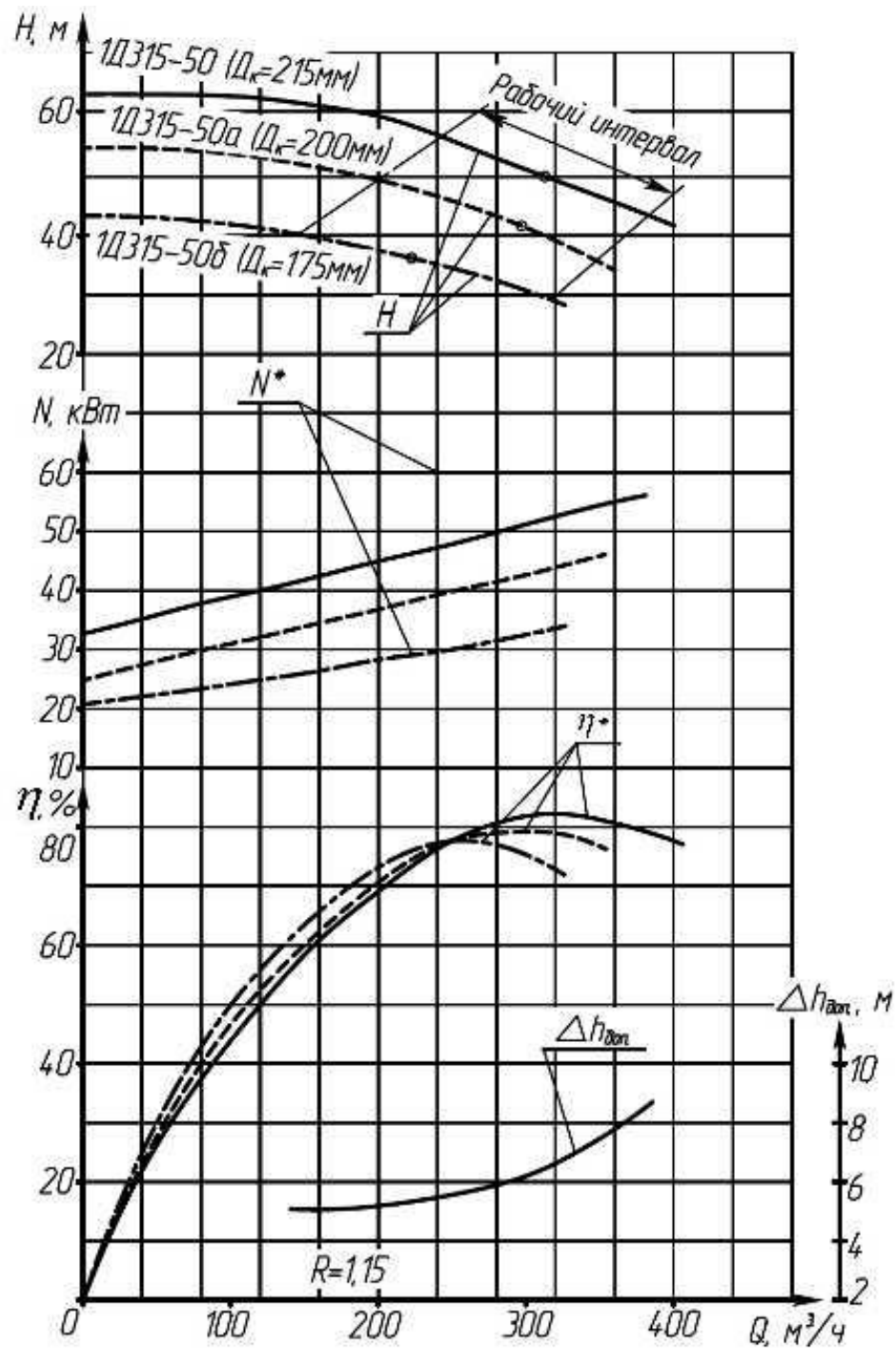


Рисунок 1.3 – Характеристики насоса 1Д315-50

(<https://fairway.com.ua/ua/nasosy/nasosy-dvuhstoronnego-vhoda/nasosy-1d/315-50>)

Також за результатами попереднього розрахунку визначено гідравлічний опір мережі  $R$  (постійна мережі). Даний коефіцієнт враховує конфігурацію трубопроводу й який опір трубопровід завдає потоку рідини.

$$R = 0,000395.$$

					Арк.
					9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

Характеристика зовнішньої мережі насосної установки описується рівнянням:

$$H_M = H_T + RQ^2,$$

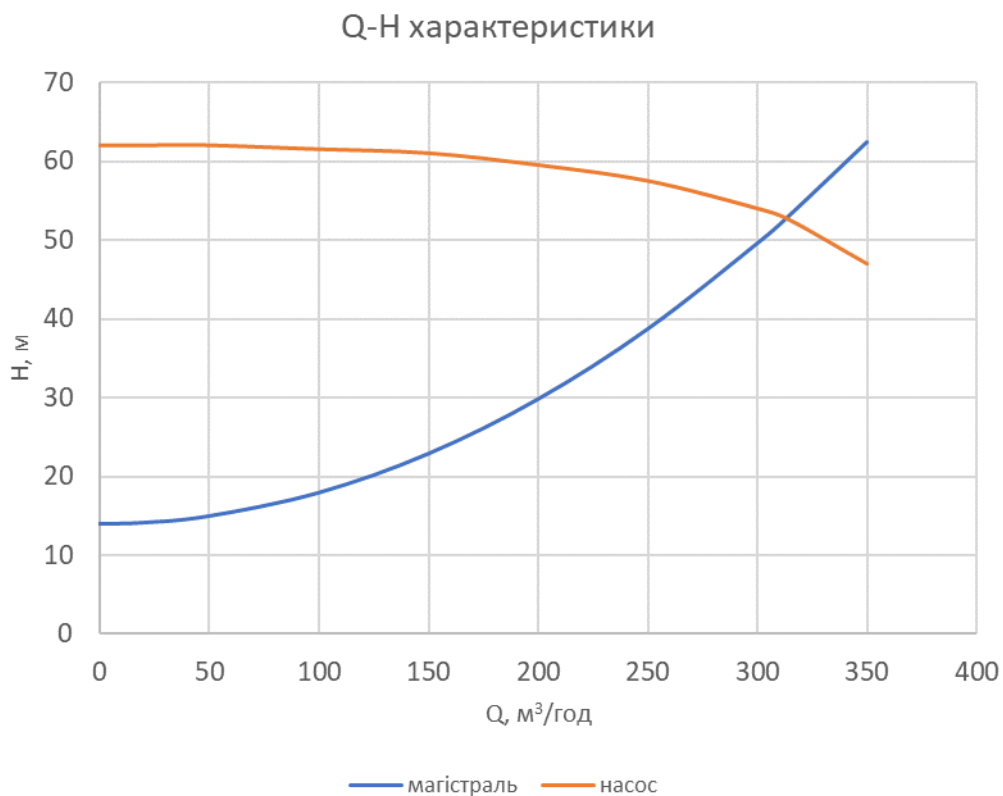
де  $H_M$  – напір, який необхідно створити в мережі;  $H_T$  – геометрична висота підйому води;  $Q$  – витрати води в трубопроводі.

Результати розрахунку характеристики мережі за вищенаведеною формулою надано в табл. 1.2. На рис. 1.4 наведено  $H-Q$  характеристики насоса (номінальна) і магістралі.

Таблиця 1.2

 $H-Q$  характеристика магістралі

$Q, \text{ м}^3/\text{год}$	0	20	50	100	150	200	250	300	315	350
$H_M, \text{ м}$	14,00	14,16	14,99	17,95	22,89	29,80	38,69	49,55	53,19	62,39

Рисунок 1.4 –  $H-Q$  характеристика насоса (номінальна) і магістралі

Оскільки витрати протягом доби змінні (рис. 1.1), необхідно забезпечити регулювання подачі насоса. Для цього проаналізуємо найпоширеніші способи регулювання продуктивності насосів.

										Арк.
										10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

## 1.2 Способи регулювання насосів

Під регулюванням насоса розуміють процес довільної зміни його подачі для забезпечення необхідної її величини.

Насос і зовнішня мережа створюють єдину систему. Стан її рівноваги визначається матеріальним і енергетичним балансом. Матеріальний баланс – коли подача насоса дорівнює витраті у зовнішній мережі. Енергетичний баланс – коли напір насоса дорівнює напору, що споживається мережею.

Графічно умова матеріального і енергетичного балансу системи визначається точкою перетину характеристик насоса і мережі (рис. 1.4). За даних характеристик насоса і мережі існує тільки одна точка, що відповідає умовам стійкої рівноваги. Величина водоспоживання змінюється в часі й, відповідно до цього, має переміщатися робоча точка системи. З цією метою необхідно регулювати подачу насоса [11].

Робоча точка системи визначається характеристиками насоса і мережі. Тому регулювати подачу можна зміною характеристики мережі (кількісний метод) і зміною характеристики насоса (якісний метод).

Якісно робота системи «насос-мережа» регулюється зміною частоти обертання робочого колеса насоса, геометрії проточних каналів насоса і кінематики потоку на вході в робоче колесо. Більшою мірою користуються кількісним методом регулювання.

Кількісні способи регулювання:

- дроселювання напірної сторони насоса;
- дроселювання сторони насоса, що всмоктує;
- перепуск (байпасування);
- скидання частини піднятої кількості води до нижнього б'єфу;
- впуск повітря у трубу насоса, що всмоктує;
- авторегулювання (зміна статичної складової напору);
- застосування баків-гідроаккумуляторів.

Якісні способи регулювання:

- зміна частоти обертання робочого колеса;

						Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- зміна кута установки лопатей направляючого апарату на вході в робоче колесо насоса;
- зміна кута установки лопатей направляючого апарату на виході з робочого колеса насоса
- зміна ширини робочого колеса;
- зміна кута установки лопатей робочого колеса;
- обточування робочого колеса.

Нижче розглянуто основні способи регулювання подачі і напору насосного агрегату:

- перепуск (байпасування). При регулюванні подачі насоса цим способом необхідна витрата рідини в системі забезпечується відводом частини рідини, що перекачується насосом, до трубопроводу, що всмоктує з напірного через перепускний трубопровід. Даний спосіб регулювання більш економічний для насосів, у яких споживча потужність знижується при збільшенні подачі. У відцентрових насосів регулювання байпасуванням призведе до зростання потужності насосу і може спровокувати перевантаження електродвигуна.

- Дроселювання – пригнічення частини напору, створюваного насосом, за допомоги штучно введеного до лінії, що всмоктує або напірної лінії гідравлічного опору. Зазвичай дроселювання здійснюється частковим закриттям засувки на напірному трубопроводі насоса. Даний спосіб найпростіший і найпоширеніший. Проте цей спосіб і найменш економічний, оскільки частина напору марно витрачається на подолання опору засувки й при цьому розсіюється відповідна потужність.

- Зміна числа обертів валу агрегату – досягається шляхом застосування спеціальних пристроїв (наприклад перетворювачів частоти), що дозволяють змінювати число обертів валу електродвигуна. Цей спосіб регулювання найбільш економічний.

						Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

При зміні частоти обертання робочого колеса насоса з  $n_1$  до  $n_2$  його характеристики (подача  $Q$ , напір  $H$ , потужність  $N$ ) змінюються за законом подібності [1]:

$$\frac{N_1}{N_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^3 \quad \frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2, \quad \frac{Q_1}{Q_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right).$$

Оскільки в усіх режимах роботи напір насоса дорівнює опору мережі, то скорочуються непромислові витрати в системі «насос-мережа». Економічність при регулюванні насосів зміною частоти обертання  $n$  знижується лише від того, що робоча точка системи при зміні  $n$  відхиляється від режиму максимального ККД [11]. Це відхилення більше при збільшенні статичної складової опору мережі.

Аби мати уявлення про переваги і недоліки того чи іншого способу регулювання роботи насосів, варто їх порівняти.

На рис. 1.5 наведено порівняння кількісного та якісного способів регулювання. Вихідний режим знаходиться в точці 1. Подача в цьому режимі дорівнює  $Q_1$ . Від вихідного режиму необхідно перейти до режиму з подачею  $Q_i$ . При дроселюванні точкою спільної роботи насоса і мережи стане точка 3, при зміні частоти  $n$  – точка 2. Проведемо через точку 3 параболу подібних режимів  $H_p$ , а зміну частоти при переході від характеристики  $Hh1$  до  $Hh2$  будемо вважати незначною. Оскільки напір  $H$  пропорційний до  $n^2$ , то  $\Delta H \approx 2n \Delta n$ .

						Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

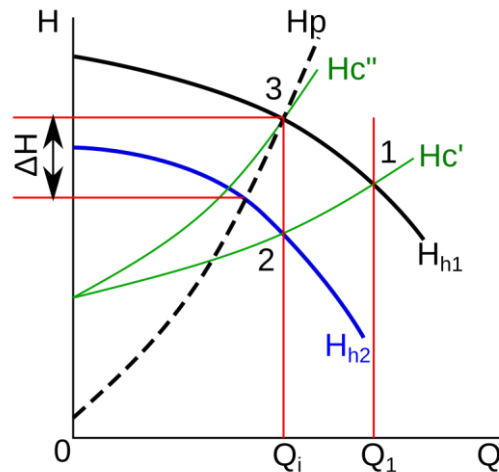


Рисунок 1.5 – Порівняння якісного і кількісного методів регулювання подачі

Втрати при дросельному регулюванні  $h_{др} = H_3 - H_2$  будуть більші, ніж  $\Delta H$ .

Зниження ККД насосної установки:

- при дросельному регулюванні  $\Delta\eta > \frac{2\Delta n}{n}$ ;
- при регулюванні подачі зміною частоти  $n$   $\Delta\eta > \frac{\Delta n}{n}$ .

Таким чином зниження ККД при кількісному способі перевищує зниження ККД при якісному способі регулювання більш ніж удвічі.

Автоматизований частотно-регульований електропривод додатково забезпечує наступні функції:

- знижує зношення запірної арматури, оскільки більшість часу засувки повністю відчинені;
- більшість часу насоси працюють при зниженому тиску, що зменшує протікання в системі водопостачання;
- мінімізує зношення комутаційної апаратури, оскільки вона перемикається за відсутності струму;
- знижує зношення підшипників двигуна, насоса і крильчатки за рахунок плавної зміни числа обертів, відсутності великих пускових струмів;
- зменшує небезпеку аварій за рахунок виключення гідравлічних ударів;

						Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- забезпечується одночасний захист двигуна від струмів короткого замикання, замикання на землю, струмів перевантаження, неповнофазного режиму, неприпустимої перенапруги;
- знижується рівень шуму, що вкрай важливо при розташуванні насосів не-подалік від житлових або службових приміщень;
- спрощується подальша комплексна автоматизація об'єктів системи водо-постачання.

						Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 2. АВТОМАТИЗОВАНИЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД

### 2.1 Розрахунок потужності двигуна відцентрового насоса

Розрахунок потужності двигуна відцентрового насоса здійснюють за формулою:

$$P_{ДВ} \geq \frac{Q_H H_H \rho g}{\eta_H \eta_P},$$

де  $Q_H$  – номінальна подача насоса, м<sup>3</sup>/год;

$H_H$  – номінальний напір насоса, м;

$\rho$  – щільність рідини, що транспортується, для води  $\rho=1000$  кг/м<sup>3</sup>;

$g$  – прискорення вільного падіння,  $g=9,81$  м/с<sup>2</sup>,

$\eta_H$  – коефіцієнт корисної дії насоса, для номінального режиму;

$\eta_P$  – коефіцієнт корисної дії редуктора. Оскільки в нашому випадку редуктор відсутній, то  $\eta_P=1$ .

Користуючись вихідними даними для насоса (рис. 1.3 і табл. 1.1) визначимо необхідну потужність двигуна:

$$P_{ДВ} \geq \frac{315 \times 50 \times 1000 \times 9,81}{0,83 \times 1 \times 3600} = 51709,3 \text{ Вт.}$$

За отриманими значеннями потужності і номінальної швидкості обертання насоса (2900 об/хв, табл. 1.1) обираємо двигун більшої потужності типу 4А225М2У3 [2]. У табл. 2.1 наведені дані привідного двигуна насоса.

Таблиця 2.1

Дані асинхронного двигуна 4А225М2У3

Номінальна потужність двигуна $P_H$ , кВт	55
Номінальна напруга двигуна $U_H$ , В;	380
Номінальний фазний струм двигуна $I_{фн}$ , А	99,5
Номінальна швидкість обертання $n_H$ , об/хв;	2950
Номінальний коефіцієнт корисної дії $\eta_H$ , %	91
Номінальне ковзання $S_H$ , %	1,8
Критичне ковзання $S_{кр}$ , %	11
Відношення $m=M_{кр}/M_H$	2,5
Номінальний $\cos\phi$	0,92

					Арк.
					16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	



## 2.2 Розрахунок і побудова статичних характеристик регульованого насоса і електропривода

Для побудови сімейства  $H-Q$  характеристик [1] насоса при різних швидкостях обертання на номінальній  $H-Q$  характеристиці (рис. 2.1) позначимо точки А, В, С, D, Е, F:

$$\begin{aligned} Q_A &= 0 \text{ м}^3/\text{ГОД}; & H_A &= 62 \text{ м}; \\ Q_B &= 100 \text{ м}^3/\text{ГОД}; & H_B &= 61,5 \text{ м}; \\ Q_C &= 160 \text{ м}^3/\text{ГОД}; & H_C &= 60,5 \text{ м}; \\ Q_D &= 240 \text{ м}^3/\text{ГОД}; & H_D &= 57 \text{ м}; \\ Q_E &= 300 \text{ м}^3/\text{ГОД}; & H_E &= 52 \text{ м}; \\ Q_F &= 360 \text{ м}^3/\text{ГОД}; & H_F &= 45 \text{ м}. \end{aligned}$$

Побудову нових характеристик робимо за формулою:

$$Q_i = Q_{\text{НОМ}} \cdot \frac{\omega_i}{\omega_{\text{НОМ}}},$$

де  $Q$  – продуктивність насоса, м<sup>3</sup>/ГОД;  $Q_{\text{НОМ}}$  – номінальна продуктивність насоса, м<sup>3</sup>/ГОД;  $\omega_i$  – задана частота обертання, рад/с;  $\omega_{\text{НОМ}}$  – номінальна частота обертання, рад/с.

За отриманими значеннями подачі знаходимо відповідні значення напору. Результати розрахунків наведено у табл. 2.2, а графіки – на рис. 2.2.

						Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

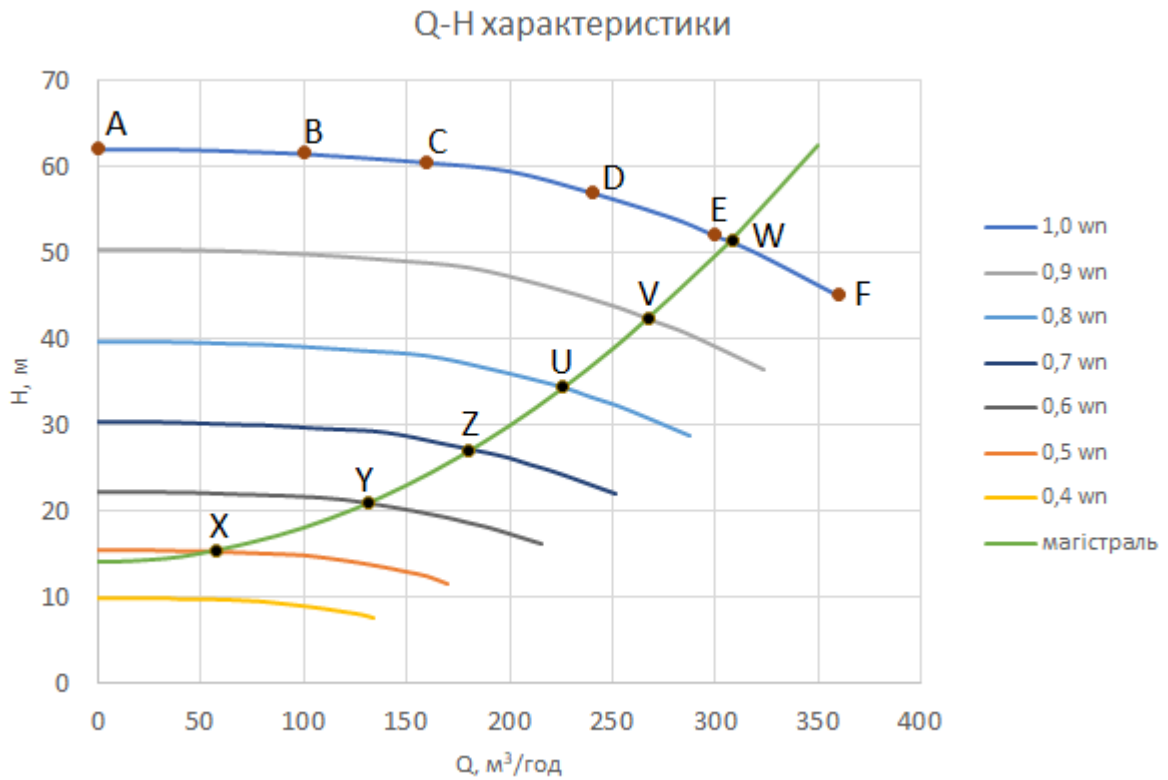


Рисунок 2.2 – Q-H характеристики насоса при регулюванні швидкості обертання

Таблиця 2.2

*H-Q* характеристики насоса при регулюванні швидкості обертання

Частота обертання $\omega_n$									
1,0 $\omega_n$		0,9 $\omega_n$		0,8 $\omega_n$		0,7 $\omega_n$		0,6 $\omega_n$	
H, м	Q, м³/го	H, м	Q, м³/го	H, м	Q, м³/го	H, м	Q, м³/го	H, м	Q, м³/го
62,0	0,0	50,2	0,0	39,7	0,0	30,4	0,0	22,3	0,0
62,0	40,0	50,2	36,0	39,7	32,0	30,4	28,0	22,3	24,0
61,7	80,0	50,0	72,0	39,5	64,0	30,2	56,0	22,2	48,0
61,5	100,0	49,8	90,0	39,4	80,0	30,1	70,0	22,1	60,0
61,2	120,0	49,6	108,0	39,2	96,0	30,0	84,0	22,0	72,0
60,5	160,0	49,0	144,0	38,7	128,0	29,6	112,0	21,8	96,0
59,5	200,0	48,2	180,0	38,1	160,0	29,2	140,0	21,4	120,0
57,0	240,0	46,2	216,0	36,5	192,0	27,9	168,0	20,5	144,0
54,0	280,0	43,7	252,0	34,6	224,0	26,5	196,0	19,4	168,0
52,0	300,0	42,1	270,0	33,3	240,0	25,5	210,0	18,7	180,0
50,0	320,0	40,5	288,0	32,0	256,0	24,5	224,0	18,0	192,0
45,0	360,0	36,5	324,0	28,8	288,0	22,1	252,0	16,2	216,0

Таблиця 2.2 Продовження  
 $H-Q$  характеристики насоса при регулюванні швидкості обертання

Частота обертання $\omega_n$									
0,5 $\omega_n$		0,4 $\omega_n$							
H, м	Q, м <sup>3</sup> /Го д	H, м	Q, м <sup>3</sup> /Го д	H, м	Q, м <sup>3</sup> /Го д	H, м	Q, м <sup>3</sup> /Го д	H, м	Q, м <sup>3</sup> /Го д
15,5	0,0	9,9	0,0						
15,5	20,0	9,9	16,0						
15,4	40,0	9,9	32,0						
15,4	50,0	9,8	40,0						
15,3	60,0	9,8	48,0						
15,1	80,0	9,7	64,0						
14,9	100,0	9,5	80,0						
14,3	120,0	9,1	96,0						
13,5	140,0	8,6	112,0						
13,0	150,0	8,3	120,0						
12,5	160,0	8,0	128,0						
11,6	170,0	7,6	134,0						

Оскільки в магістралі є статичний напір, то розрахунок залежності  $M_c=f(\omega)$  робимо наступним чином. Визначимо значення напору в точках X, Y, Z, U, V, W перетину характеристики магістралі з  $Q-H$  характеристиками насоса

$$Q_X = 60 \text{ м}^3/\text{ГОД}; \quad H_X = 15,8 \text{ м};$$

$$Q_Y = 130 \text{ м}^3/\text{ГОД}; \quad H_Y = 20 \text{ м};$$

$$Q_Z = 180 \text{ м}^3/\text{ГОД}; \quad H_Z = 27 \text{ м};$$

$$Q_U = 225 \text{ м}^3/\text{ГОД}; \quad H_U = 34 \text{ м};$$

$$Q_V = 268 \text{ м}^3/\text{ГОД}; \quad H_V = 42 \text{ м};$$

$$Q_W = 308 \text{ м}^3/\text{ГОД}; \quad H_W = 51 \text{ м}.$$

Залежність ККД насоса від подачі  $\eta = f(Q)$  наведено на рис. 1.2. За даними цього графіка знаходимо значення ККД насоса для вищенаведених подач насоса.

$$\eta_X = 0,3; \quad \eta_U = 0,72;$$

$$\eta_Y = 0,52; \quad \eta_V = 0,78;$$

$$\eta_Z = 0,65; \quad \eta_W = 0,83;$$

									Арк.
									19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

Розрахунок статичного моменту опору робимо за формулою:

$$M_C = \frac{Q H \rho g}{3600 \eta (k \omega_H)}$$

де  $Q$  – продуктивність насоса, м<sup>3</sup>/год;  $H$  – напір, м;  $g$  – прискорення вільного падіння, м/с<sup>2</sup>;  $\eta_H$  – коефіцієнт корисної дії насоса;  $\rho$  – щільність рідини кг/м<sup>3</sup>;  $k$  – коефіцієнт кратності швидкості по відношенню до номінальної

При  $\omega = \omega_{\text{ном}}$ :

$$M_{CW} = \frac{Q_W H_W \rho g}{3600 \eta_W \omega_H} = \frac{308 \times 51 \times 1000 \times 9,81}{3600 \times 0,83 \times 303,68} = 169,82 \text{ Нм}$$

Розрахунки для решти точок наведені у табл. 2.3

Таблиця 2.3

## Розрахунок моменту статичного опору насоса

Щільність рідини 1000 кг/м <sup>3</sup>		Номінальна частота обертання $\omega_n = 303,68$ рад /с				
Точки	$Q$ , м <sup>3</sup> /год	$H$ , м	$\eta$	$k$	$M_C$ , Нм	$\omega$ , рад/с
					20	0
					30	50
					40	100
X	60	16	0,3	0,5	57,43	151,84
Y	130	20	0,52	0,6	74,78	182,208
Z	180	27	0,65	0,7	95,85	212,576
U	225	34	0,72	0,8	119,18	242,944
V	268	42	0,78	0,9	143,88	273,312
W	308	51	0,83	1	169,82	303,68

За отриманими точками будуємо характеристику  $M_C = f(\omega)$  (рис. 2.3).

						Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

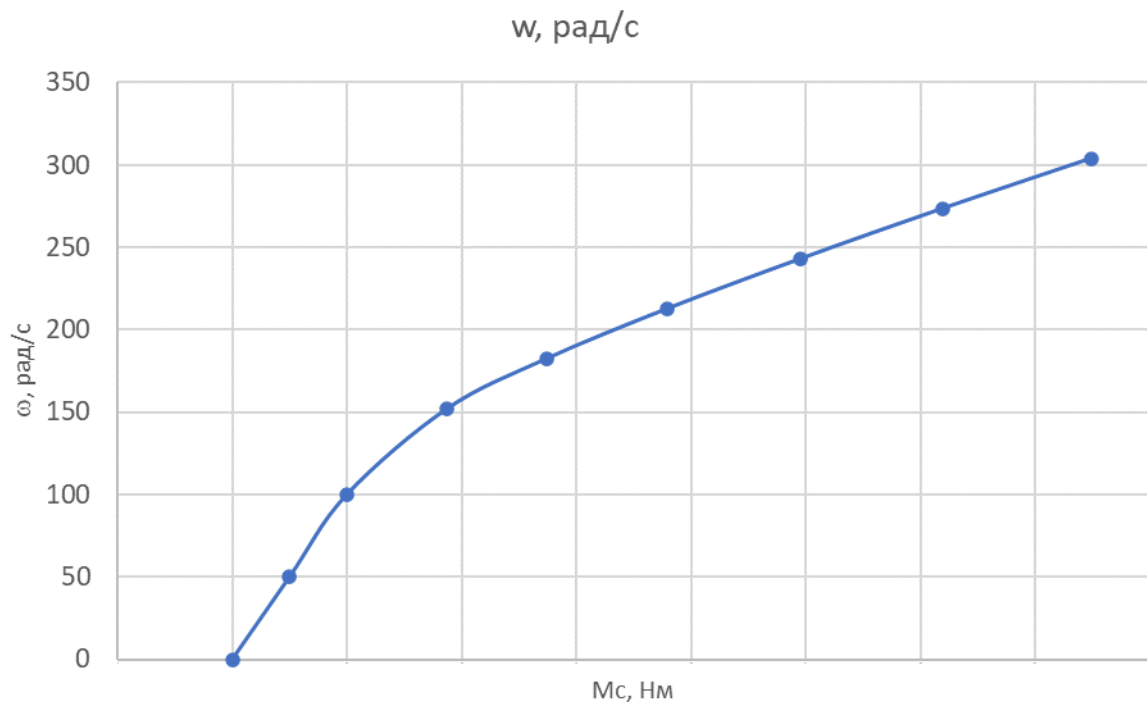


Рисунок 2.3 – Залежність моменту опору на валу насоса від швидкості обертання  $M_c=f(\omega)$

### 2.3 Побудова механічних характеристик асинхронного двигуна при частотному керуванні

Номінальні дані привідного асинхронного двигуна насоса було наведено у табл. 2.1. У табл. 2.4 наведено значення параметрів схеми заміщення асинхронного двигуна у відносних одиницях [2].

Таблиця 2.4  
Параметри схеми заміщення асинхронного двигуна 4A225M2У3

Активний опір обмотки статора $R_1^*$ , в.о.	0,026
Індуктивний опір обмотки $X_1^*$ , в.о.	0,092
Приведений активний опір обмотки ротора $R_2^*$ , в.о.	0,019
Приведений індуктивний опір обмотки ротора $X_2^*$ , в.о.	0,12
Індуктивний опір кола намагнічування $X_\mu^*$ , в.о.	5,6

Номінальний момент визначимо як:

$$M_H = \frac{30 P_H}{\pi n_{\text{НОМ}}} = \frac{30 \cdot 55000}{\pi \cdot 2950} = 178 \text{ Нм}$$

					Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	21

Для побудови механічних характеристик переведемо опір в абсолютні одиниці, попередньо визначимо базовий опір:

$$Z_b = \frac{U_{\phi n}}{I_{\phi n}} = \frac{220}{99,5} = 2,21 \text{ Ом}$$

Формула переведа має вигляд:

$$Z = Z' * Z_b ,$$

де  $Z_b$  – базовий опір;  $Z'$  – опір у відносних одиницях.

Активний опір статора:

$$R_1 = 0,026 \times 2,21 = 0,057 \text{ Ом},$$

активний опір ротора:

$$R_2 = 0,019 \times 2,21 = 0,042 \text{ Ом},$$

індуктивний опір статора:

$$X_1 = 0,092 \times 2,21 = 0,2 \text{ Ом},$$

індуктивний опір ротора:

$$X_2 = 0,12 \times 2,21 = 0,26 \text{ Ом},$$

індуктивний опір кола намагнічування:

$$X_\mu = 5,6 \times 2,21 = 12,38 \text{ Ом},$$

індуктивний опір короткого замикання:

$$X_K = X_1 + X_2 = 0,2 + 0,26 = 0,46 \text{ Ом}.$$

Частота живильної мережі:

$$\omega_0 = 2\pi f = 2\pi \times 50 = 314,159 \text{ с}^{-1}$$

При частотному регулюванні турбомеханізмів, статичний момент яких зменшується при зменшенні швидкості і частоти, немає потреби у підтриманні постійного критичного моменту у всьому діапазоні регулювання. Аби жорсткість характеристики не змінювалася, а критичний момент зменшувався пропо-

						Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

рційно швидкості обертання, варто одночасно з частотою змінювати напругу живлення, щоб їх відношення залишалось постійним за законом [6,10]:

$$\frac{U}{f^2} = const, \text{ звідки} \quad U = f^2 \cdot K.$$

$$K_U = \frac{U_{\Phi H}}{f_H^2} = \frac{220}{50^2} = 0,088.$$

Для побудови механічних характеристик для різних частот живильної напруги скористаємося формулою:

$$M = \frac{3 \cdot (U_{\Phi H} \cdot (f^*)^2)^2 \cdot \frac{R_2'}{s}}{\omega_{0H} f^* \left[ \left( R_1 + C_F \frac{R_2'}{s} \right)^2 + f^{*2} (X_1 + C_F X_2')^2 \right]}$$

Задаємо декілька значень частот живильної напруги, для яких побудуємо механічні характеристики:

$$f = [5 \ 10 \ 20 \ 30 \ 40 \ 50] \text{ Гц.}$$

Визначимо відносне значення (в.о. – відносні одиниці) частоти живильної мережі. Для цього розділимо задану частоту на частоту мережі:

$$f^* = \frac{f}{f_H} = [0,1 \ 0,2 \ 0,4 \ 0,6 \ 0,8 \ 1] \text{ в.о.}$$

Для розрахунків слід визначити коефіцієнт  $C_F$ , що характеризує відношення напруги, що підводиться до фази статора до напруги на затискачах контуру намагнічування при синхронному ході двигуна [9, 10]:

$$C_F = \frac{1}{R_0^2 + X_0^2 f^{*2}} \sqrt{A + B},$$

$$A = \left[ (R_1 + R_0)R_0 + (X_1 + X_0)X_0 f^{*2} \right]^2,$$

$$B = \left[ (R_1 + R_0)X_0 f^* - (X_1 + X_0)R_0 f^* \right]^2.$$

Частота обертання двигуна у функції ковзання:

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

$$\omega = \omega_0 \cdot (1 - s).$$

Для розрахунків ковзанням задаватимемося у діапазоні [0...1]. Результати розрахунків наведено у табл. 2.2 і на рис. 2.2. Отримані розрахунки у вигляді графіка наведено на рис. 2.4.

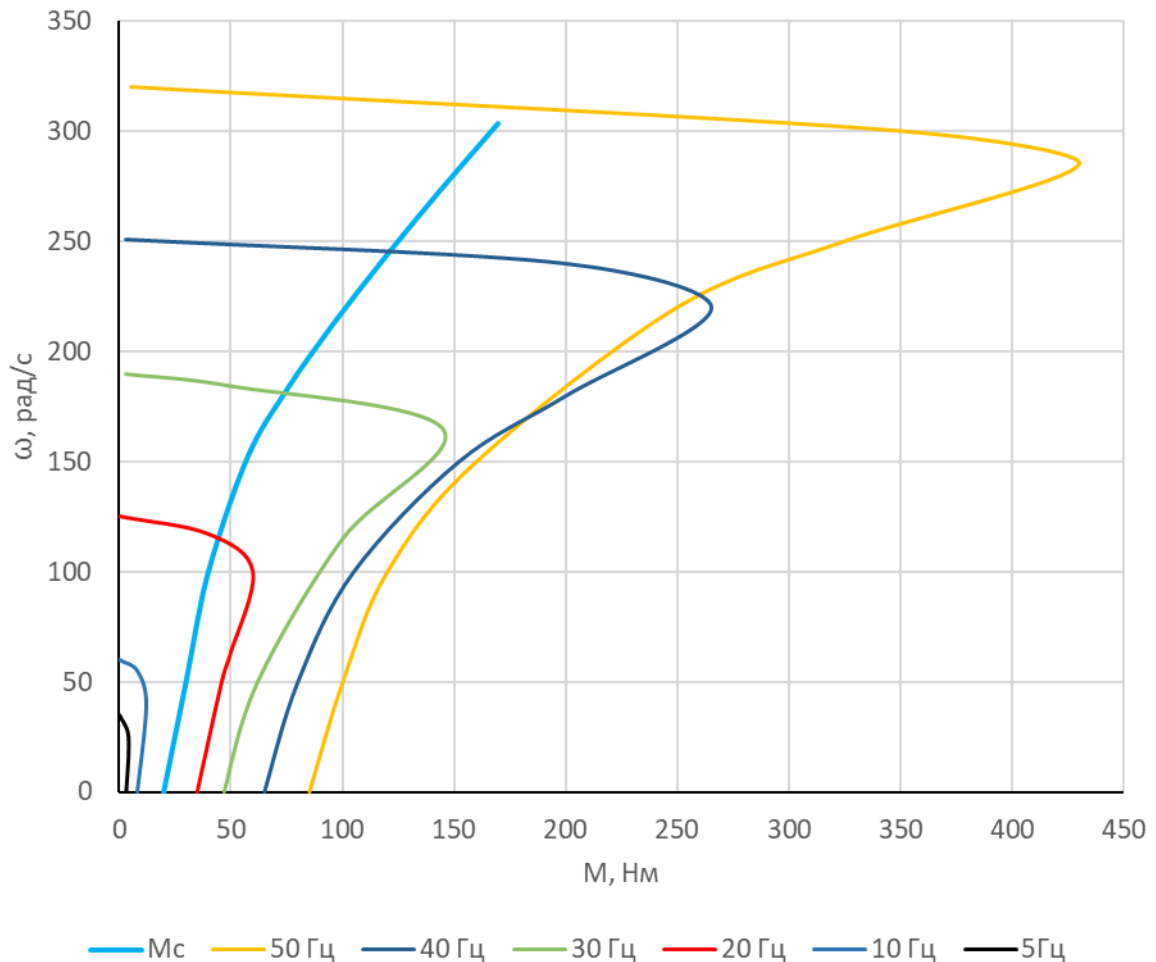


Рисунок 2.4 – Механічні характеристики асинхронного двигуна при частотному керуванні і механічна характеристика насоса

Як видно з рис. 2.4, аби завжди підтримувати потрібний момент на валу двигуна, достатньо міняти частоту в межах 20-50 Гц.

## 2.4 Розробка системи автоматичного регулювання і визначення її параметрів

Загальну структурну схему системи регулювання [3] можна представити у вигляді, зображеному на рис. 2.5:

						Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



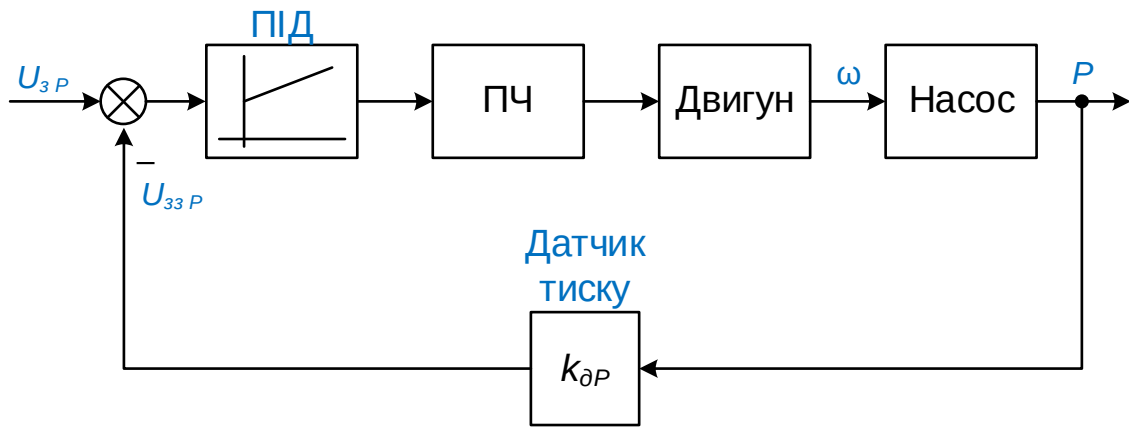


Рисунок 2.5 – Функціональна схема системи регулювання

### Асинхронний двигун і перетворювач частоти

При роботі асинхронного двигуна в системі ПЧ – АД структурна схема АД може мати вигляд, що зображений на рис. 2.6:

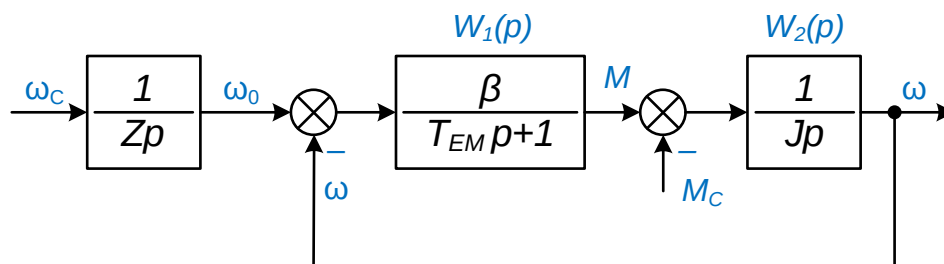


Рисунок 2.6 – Структурна схема асинхронного двигуна при частотному керуванні

У даній структурній схемі добутком  $(\omega_{д0} - \omega)$  на  $\beta$  пряма гілка механічної характеристики АД ( $M=0 \dots M_{кр}$ ,  $S=0 \dots S_{кр}$ ), коефіцієнти передаточної функції визначаються за наступними виразами. Модуль жорсткості  $\beta$  лінеаризованої механічної характеристики АД має вигляд:

$$\beta = \frac{2M_K}{\omega_{0H} S_K},$$

де  $\omega_{0H}$  – номінальна кутова швидкість поля статора двигуна, рад/с;  $M_K$  – критичний момент двигуна, Н·м;  $S_K$  – критичне ковзання двигуна.

Номінальна кутова швидкість поля статора двигуна рад/с:

					Арк.
					25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

$$\omega_0 = \frac{2\pi f_1}{Z_p},$$

де  $f_1$  – частота живильної напруги, Гц;  $p_{II}$  – число пар полюсів.

Електромагнітна постійна часу  $T_{em}$  характеризує швидкість протікання перехідних процесів у двигуні і визначається за формулою:

$$T_{em} = \frac{1}{\omega_1 s_K},$$

Критичний момент двигуна, Н·м:

$$M_K = \frac{Z_p \cdot m_1 \cdot U_1^2}{2 \cdot \omega_0 (R_1 + \sqrt{R_1^2 + X_k^2})},$$

де  $U_1$  – напруга, В;  $R_1$  – активний опір статора, Ом;  $X_k$  – індуктивний опір короткого замикання.

Критичне ковзання двигуна:

$$s_K = \frac{R_2'}{\sqrt{R_1^2 + X_k^2}},$$

де  $R_2$  – активний опір ротора, Ом.

При керуванні асинхронним двигуном за законом  $\frac{U}{f^2} = const$  на різних частотах величина критичного моменту двигуна матиме різне значення. При цьому міняється жорсткість механічної характеристики. Враховуючи цю особливість розрахунок критичного ковзання і моменту проведемо для кожного значення частоти й відповідної йому напруги. Дане рішення відобразимо структурною схемою:

						Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

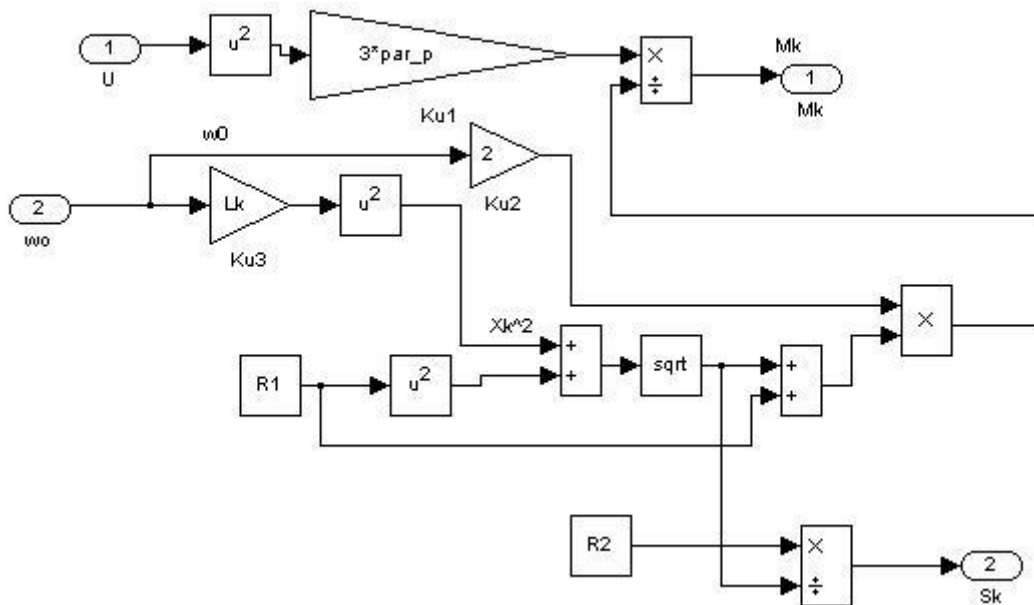


Рисунок 2.7 – Структурна схема обчислення критичного моменту  $M_K$  і критичного ковзання  $S_K$ .

При вольт-частотному керуванні таке відображення правомірне, оскільки двигун від миті пуску до точки сталої роботи працює на прямолінійних ділянках механічної характеристики.

Структурна схема асинхронного двигуна спільно з ПЧ [б]представлена на рис. 2.8

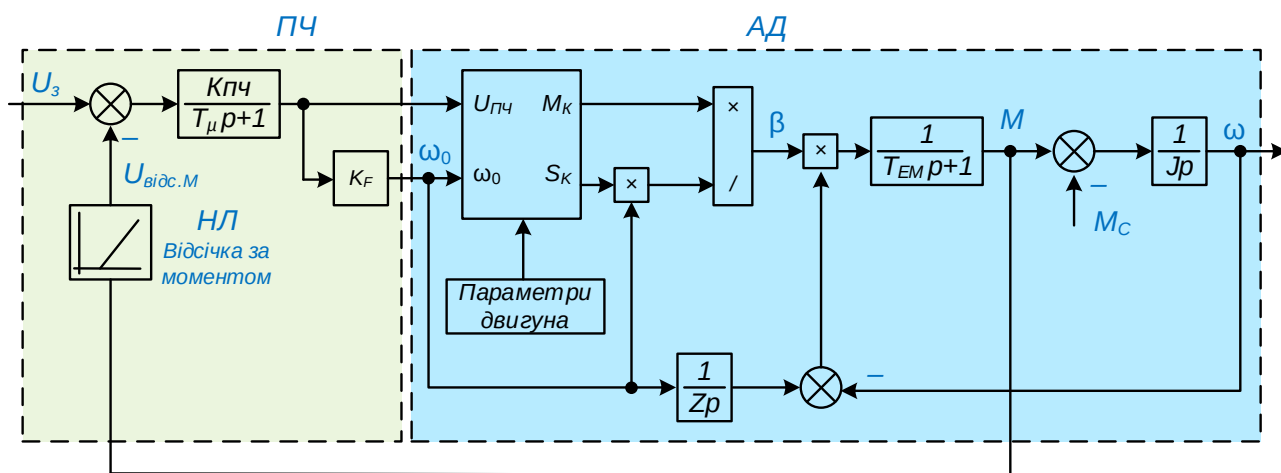


Рисунок 2.8 – Структурна схема асинхронного двигуна з ПЧ

У цій структурній схемі передаточна функція перетворювача представлена у вигляді аперіодичної ланки з постійною часу  $T\mu = 0,001$  с.

$$W_{ПЧ}(p) = \frac{K_{ПЧ}}{T_{\mu}p + 1}.$$

Коефіцієнт перетворювача по напрузі розрахуємо за формулою:

$$K_{ПЧ} = \frac{U_{ФН}}{U_{ЗМАХ}} = \frac{220}{10},$$

де  $U_{ФН} = 220$  В – номінальна фазна напруга двигуна;

$U_{ЗМАХ} = 10$  В – максимальна напруга завдання в системі керування.

Для формування каналу частоти і визначення синхронної кутової частоти використовується функціональний коефіцієнт  $K_F$ :

$$\omega_0 = U_{\Phi} K_F = 2\pi \sqrt{\frac{U_{\Phi}}{K_U}} = 2\pi \sqrt{\frac{U_{\Phi}}{0,088}}.$$

На вхід перетворювача також подається сигнал нелінійної ланки  $НЗ$ . Нелінійна ланка призначена для обмеження моменту під час пуску та можливих перевантажень при роботі й налаштовується під конкретний механізм.

### Насос

Згідно з [2] в межах робочої зони напірна характеристика турбомеханізму доволі точно можна представити параболою:

$$H = H_0 \left( \frac{n}{n_{НОМ}} \right)^2 - CQ^2,$$

де  $H_0$  – напір при відчиненій засувці ( $Q=0$ ),  $Q$  – подача,  $n$  – швидкість обертання, об/хв,  $C$  – коефіцієнт, що визначається за номінальними даними турбомеханізму.

$$C = \frac{H_0 - H_{НОМ}}{Q_{НОМ}^2} = \frac{62 - 50}{315^2} = 12 \times 10^{-5}.$$

						Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Відповідно до вищенаведених виразів, структурна схема насоса має вигляд як на рис. 2.9. Передаточна функція  $W_3(p)$  характеризує інерційність насоса і рідини при заповненій системі водопостачання. Постійну часу приймемо рівною  $T_{\text{нас}}=2$  с. Якщо помножимо напір  $H$  на прискорення вільного падіння  $g$  ( $9.81 \text{ м/с}^2$ ) і щільність води  $\rho$  ( $1000 \text{ кг/м}^3$ ), то перейдемо до тиску в Паскалях, а через коефіцієнт  $10^{-5}$  – до тиску в атмосферах.

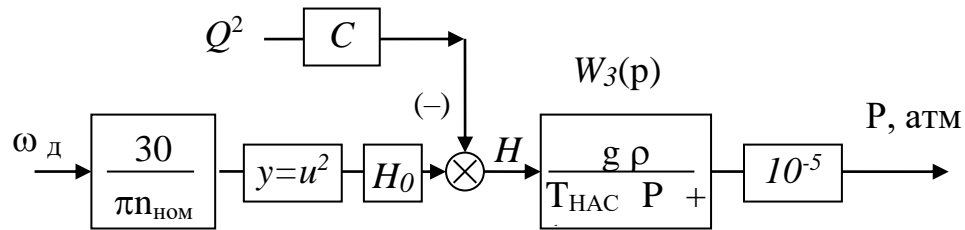


Рисунок 2.9 – Структурна схема насоса

### Система регулювання

Повна структурна схема системи регулювання представлена на рис. 2.10. Завдання на тиск в системі порівнюється з сигналом зворотного зв'язку і подається на вхід ПІД-регулятора тиску. ПІД-регулятор формує завдання на напругу та частоту перетворювача й швидкість двигуна. Блок обмеження на виході регулятора обмежує завдання на максимальну частоту. На вхід ПЧ сигнал поступає через задатчик інтенсивності для виключення динамічних перевантажень й гідравлічних ударів при пусках і переході з однієї швидкості на іншу

Перетворювач частоти формує на виході напругу заданого рівня й частоти. Залежно від отриманої напруги і частоти змінюється швидкість та момент двигуна, а відповідно й швидкість насоса.

Від швидкості насоса буде залежати подача й напір в системі. При зниженні споживання води двигун, аби стабілізувати тиск в системі, за завданням регулятора буде зменшувати оберти, а при збільшенні споживання – навпаки підвищуватиме.

Для розрахунку коефіцієнтів ПІД-регулятора отримаємо передаточні функції об'єктів:

						Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Згорнута передаточна функція двигуна має вигляд:

$$W_d(p) = \frac{W_1(p)W_2(p)}{W_1(p)W_2(p) + 1} = \frac{\frac{\beta}{T_{em}p + 1} \frac{1}{J_{\Sigma}p}}{\frac{\beta}{T_{em}p + 1} \frac{1}{J_{\Sigma}p} + 1} = \frac{\beta}{(T_{em}p + 1)J_{\Sigma}p + \beta}$$

Передаточна функція об'єкта регулювання:

$$W_o(p) = W_{ПЧ}(p)W_d(p)W_3(p)K_1K_2K_3K_4K_5$$

$$W_o(p) = \left( \frac{30}{\pi p_{II} n_{ном}} \right)^2 10^{-5} H_0 g p \frac{1}{T_{нас}p + 1} \times \frac{\beta}{(T_{em}p + 1)J_{\Sigma}p + \beta} \times \frac{K_{ПЧ}}{T_{\mu}p + 1}.$$

Як видно з отриманого виразу, об'єкт являє собою ланку високого порядку (більше 3-го), а також містить нелінійну функцію піднесення сигналу до другого степеня.

Налаштування подібних систем можна здійснити шляхом послідовного підбору коефіцієнтів регулятора: спочатку пропорційного, потім інтегрального і диференційного. При цьому за сигналом зворотного зв'язку контролюється якість перехідного процесу за величиною, що регулюється.

В інструкціях до перетворювачів частоти, як то ALTIVAR бхх, наведено рекомендації з налаштування вбудованих ПІД-регуляторів для схожих систем.

В розділі «Дослідження динаміки електропривода» після створення моделі запропонованої системи було підбрано коефіцієнти ПІД-регулятора за вказаною методикою. При визначенні коефіцієнтів регулятора орієнтувалися на критерії якості перехідних процесів, що притаманні модульному критерію оптимізації (перерегулювання не більше 4,3%). Після налаштування отримано наступні значення коефіцієнтів:

- пропорційна частина  $K_P = 4$ ;
- інтегральна частина  $K_I = 0,4$ ;
- диференціальна частина  $K_D = 1,5$ .

						Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

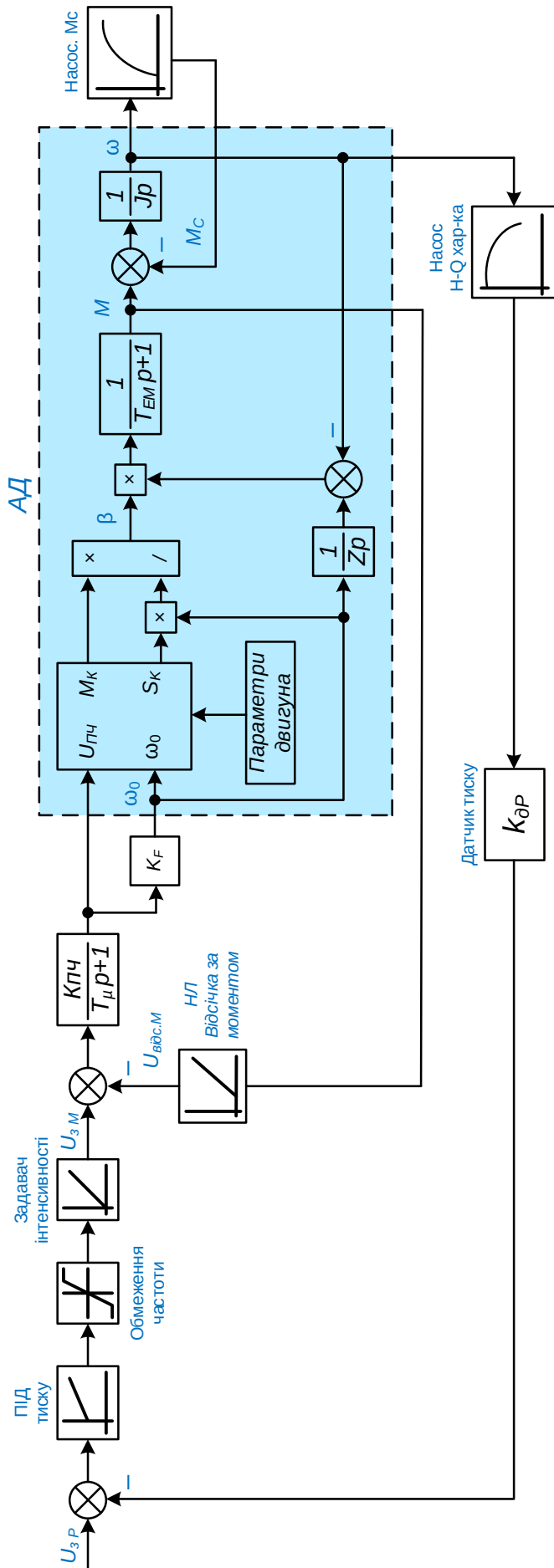


Рисунок 2.10 – Структурна схема системи регулювання тиску.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

## 2.5 Вибір перетворювача частоти і розробка схеми підключення

Для керування асинхронними двигуном насоса виберемо перетворювач частоти ALTIVAR 600 компанії Шнейдер Електрик. При виборі враховані наступні фактори:

- наявність офіційного представника на території України і розвинута мережа дистрибуції;
- наявність центрів навчання і підготовки кваліфікованих працівників;
- наявність в перетворювачі прикладних функцій, орієнтованих на застосування в насосних установках;
- можливість працювати як самостійна одиниця, так і наявність функцій інтеграції в системи АСУ верхнього рівня з використанням мережевих технологій;
- простий і зручний інтерфейс користувача через графічний термінал;
- зручна інструкція з програмування;
- веб-інтерфейс.

За потужністю двигуна і каталогом на ALTIVAR 600 [4] обираємо перетворювач частоти типу ATV650D55N4 з наступними параметрами (талб. 2.5):

Таблиця 2.5

Преобразователь частоты ATV650D55N4

Номинальна потужність, кВт	55
Номинальна вхідна напруга, В	380-480
Максимальний сталий струм на виході, А	106
Максимальний перехідний струм на виході 60 с, А	116,6
Максимальна вихідна частота, Гц	до 599
Допустиме перевантаження по моменту 60 с, %.	1.5 x In
Вбудований мережевий протокол	Ethernet, Modbus
Вбудований ПД-регулятор	так
Дискретних входів, шт.	Від 6-до 14*
Аналогових входів, шт.	Від 2-до 4*

						Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Дискретних виходів, шт.	Від 2-до 6*
Аналогових виходів, шт.	Від 1-до 4*
Кількість функцій	>150

Перетворювачі частоти Altivar 600 Process [4] із вбудованими інтелектуальними сервісами і має наступні функції:

- вимірювання потужності та панель інструментів енергоспоживання;
- контроль і керування технологічним процесом;
- вбудовані напірно-витратні графіки насоса (можливість задати 5 точок графіка);
- низький рівень гармонік (THDi < 48% при навантаженні 80% або THDi < 5% для перетворювачів типу LHD Low Harmonic Drive);
- моніторинг і захист виконавчого механізму;
- моніторинг відхилення поточного режиму насоса від точки максимальної ефективності;
- надійне охолодження і технологія зменшення гармонік;
- повний набір функцій керування.

Схему підключення ПЧ відображено на рис. 2.11.

						Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

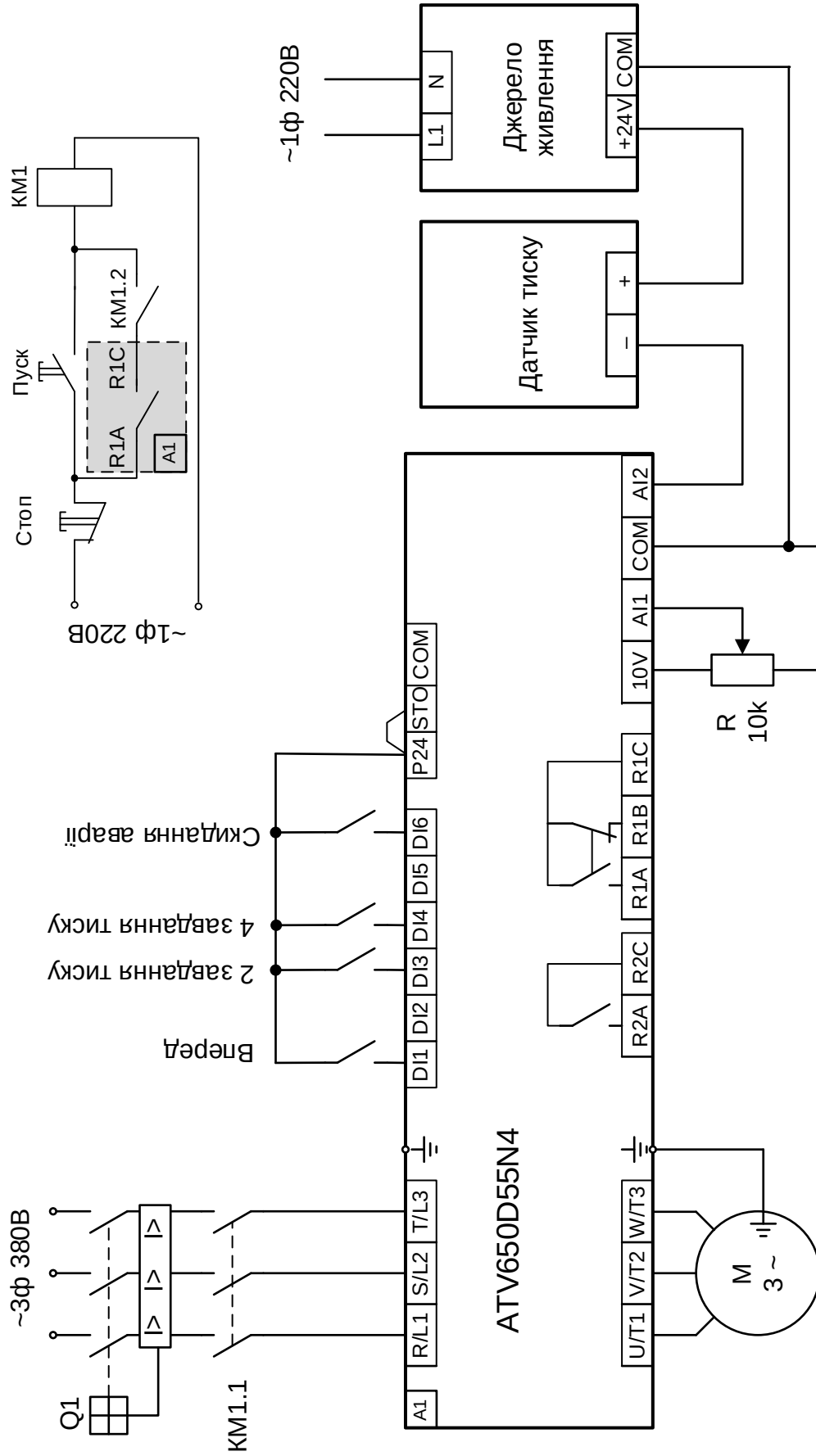


Рисунок 2.11 – Схема підключення ПЧ АЛТИВАР 650 і датчика тиску

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Арк.
					34

За каталогом обираємо додаткове обладнання (табл. 2.6):

Таблиця 2.6

## Додаткове обладнання до ПЧ ATV650D55N4

Автоматичний вимикач 3P3D MA150 NSX160H	LV430834
Мережевий контактор	LC1D95B7
Блок живлення модульний 220/24 В	ABLM1A24012

У табл. 2.7 наведено декілька основних параметрів ПЧ й їх значення для розв'язуваної задачі.

Таблиця 2.7

## Основні налаштування ALTIVAR 650 для режиму ПІД-регулювання[5]

Код	Параметр	Значення
ACC	Час розгону	3 сек
DEC	Час гальмування	3 сек
CFG	Макроконфігурація	ПІД-регулятор
nPr	Номінальна потужність двигуна	55 кВт
UnS	Номінальна напруга	380 В
nCr	Номінальний струм	99,5
FrS	Номінальна частота	50 Гц
LSP	Нижня швидкість	0 Гц
HSP	Верхня швидкість	50 Гц
Ctt	Закон керування двигуном	U/F квадратичний
AI1A	Конфігурація аналогового входу AI1	0-10 В
AI2A	Конфігурація аналогового входу AI2	4-20 mA
PIF	Призначення зворотного зв'язку ПІД-регулятора	AI2

						Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### 3. ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІКИ ЕЛЕКТРОПРИВОДА

За структурною схемою, що отримана в попередньому розділі в системі MATLAB, середовище SIMULINK було створено математичну модель системи регулювання тиску, яка наведена на рис. 3.1. У моделі досліджувалися наступні режими:

- пуск насоса на замкнену засувку;
- збільшення витрат до 150 м<sup>3</sup>/год;
- збільшення витрат до 300 м<sup>3</sup>/год;
- зниження витрат до 200 м<sup>3</sup>/год.

Результати моделювання наведені на рис. 3.2 і рис. 3.3. На рис. 3.2 показано графіки зміни витрат насоса і тиску, а на рис. 3.3 – графік частоти обертання і моменту двигуна.

До моменту часу 5 с відбувається пуск насоса на замкнену засувку. Оскільки розгін і досягнення заданого тиску відбувається раніше, ніж початок споживання води, насос скидає швидкість до значення, на якому відбувається падіння тиску до заданого рівня. Як видно з графіку, перерегулювання за тиском має невелике значення і складає менше 4%.

Після 5 с витрати збільшуються до 150 м<sup>3</sup>/год. Оскільки у момент значення витрат 150 м<sup>3</sup>/год тиск значно вищий заданого, він продовжує знижуватися до заданого рівня. В момент збільшення витрат до 300 м<sup>3</sup>/год тиск падає нижче заданого. Просідання складає менше 5%. При зниженні витрат до 200 м<sup>3</sup>/год тиск трохи зростає, не більше 3%. За результатами моделювання можна сказати, що за отриманих коефіцієнтів регулятора роботу системи можна вважати задовільною. Фактично система є статичною. Статична похибка не перевищує 1-2% від заданої величини.

						Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

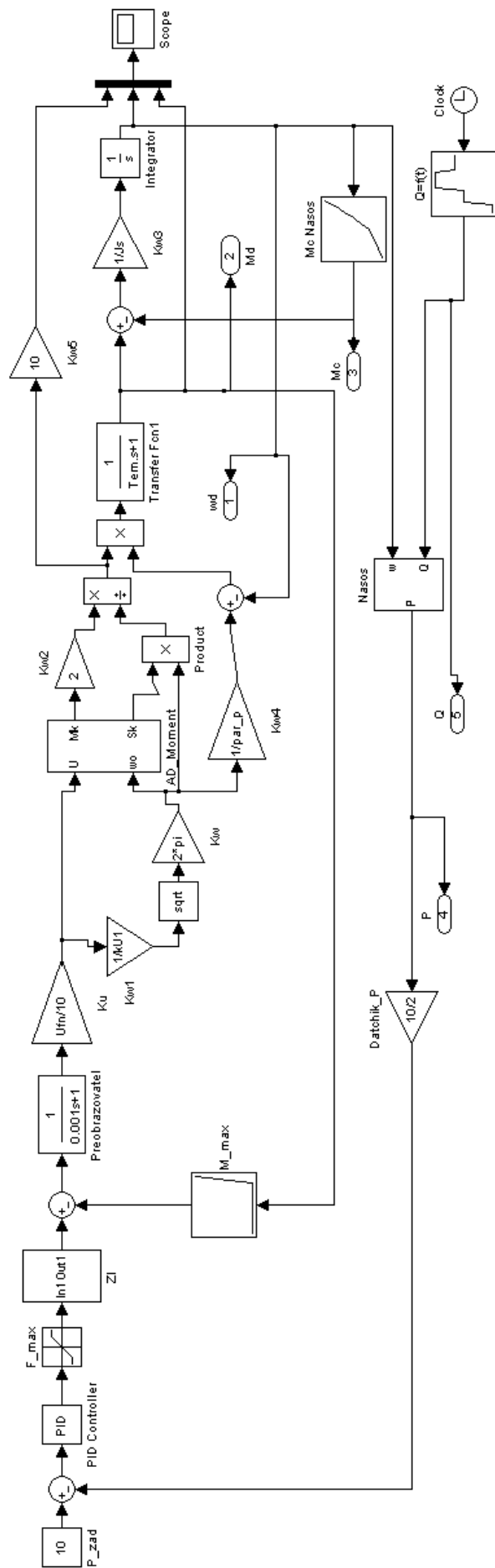


Рисунок 3.1 – Модель системи регулювання тиску

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата



## **4. ОХОРОНА ПРАЦІ. БЕЗПЕКА ПРИ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ**

### **4.1 Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів**

Об'єктом дослідження з розробки інженерно-технічних заходів з охорони праці є насосна установка, розташована в цеху водопідготовки і призначена для подачі води у виробничій цех. В цеху водопідготовки знаходиться декілька насосних установок, що працюють одночасно.

Для забезпечення потреб цеха в електричній енергії підведено трифазна електрична мережа частотою 50 Гц і напругою 380 В.

За безпеки ураження електричним струмом приміщення відноситься до приміщень з підвищеною небезпекою, оскільки існує реальна можливість одночасного дотику до з'єднаних із землею металоконструкцій й корпусів електричних апаратів.

До шкідливих і небезпечних виробничих факторів при роботі в цеху водопідготовки відносяться:

- струмопровідні підлоги;
- підвищений шум і вібрація від роботи насосів і двигунів;
- наявність трубопроводів з рідиною під тиском;
- наявність рухомих частин (вали насосів і двигунів);
- наявність електричної напруги і металоконструкцій, що можуть опинитися під напругою.

### **4.2 Інженерно-технічні заходи з охорони**

Для зниження вібрації агрегати встановлюють на масивні фундаменти і закріплюють жорстко.

Для зменшення шуму, що виникає при роботі обладнання, його варто розташовувати в окремому відгородженому приміщенні. Приміщення всередині обладнати шумопоглинаючими матеріалами. Доступ в приміщення має бути обмежений для сторонніх осіб.

						Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Кожна установка має бути оснащена приборами, що відображає режим її роботи, а також сигналізацією аварійних станів.

У цеху має знаходитися диспетчер, що контролює роботу насосних установок. Уся інформація з приладів поступає на його централізований пункт керування.

Диспетчер є відповідальною особою і організовує роботу цеху водопідготовки. До обслуговування електроустановок до 1000 В допускається спеціально навчений технічний персонал, який має допуск до обслуговування електроустановок до 1000 В. Група допуску електромонтерів має бути не нижче III. Персонал має знати діючі ПТЕ і ПТБ, склад і принципи роботи електроустаткування.

Співробітники, що обслуговують електроустановки, забезпечуються необхідними інструментами, протипожежним інвентарем і засобами захисту з електробезпеки (діелектричні рукавички, килимки або калоші).

Виконання електроустаткування (електродвигунів, апаратів тощо) має відповідати умовам експлуатації і навколишньому середовищу.

Рекомендована напруга електродвигунів змінного і постійного струму й перетворювальних агрегатів (статичних або обертових), що встановлюються у цеху водопідготовки, має бути не вище за 1 кВ.

Електроустаткування має бути розташоване у навмисно відведеному приміщенні, куди мають допуск лише особи, що обслуговують його.

Кабелі мають бути прокладені в спеціальні кабельні канали або тунелі.

Всі роботи в електроустановках слід оформлювати спеціальним нарядом допуском, де вказано початок робіт, перерви, час закінчення робіт й осіб, відповідальних за виконання робіт.

### **4.3 Розрахунок штучного освітлення**

Мета розрахунку: вибрати систему освітлення, джерело світла й світильники, визначити кількість світильників для забезпечення нормованої освітленості й розташувати їх на плані приміщення.

						Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Освітлення робочого місця нормується згідно з Державними будівельними нормами України: ДБН В.2.5-28-2006 Інженерне обладнання будинків і споруд. Природне і штучне освітлення. [15]

Вихідні дані: висота приміщення  $H=10$  м, довжина приміщення  $A=40$  м, ширина приміщення  $B=24$  м. Цех належить до виробничих приміщень з повітряним простором, що в робочій зоні містить менше  $1\text{мг/м}^3$  пилу, диму і кіптяви.

Розрахунок освітленості виконаємо методом коефіцієнта використання світлового потоку.

У цеху є бічні вікна. Приміщення належить до 4 розряду із зоровою роботою середньої точності. Розмір об'єкту розпізнавання  $>0,5$  мм. За малих контрастів і темного фону необхідна освітленість при загальному освітленні – 100 лк.

В якості джерела світла обираємо газорозрядні лампи. Будемо використовувати світильники з дугорозрядними лампами РСП05/Г03.

Розрахунок освітлення методом коефіцієнта використання виконується за формулою:

$$F = \frac{E S k z}{N \eta},$$

де  $F$  – необхідний світловий потік ламп в кожному світильнику, лм;

$E$  – нормована мінімальна освітленість, лк;

$S$  – площа освітлення,  $\text{м}^2$ ;

$k$  – коефіцієнт запасу (для ламп типу ДРЛ, ДРІ  $k = 1,3$ );

$z$  – коефіцієнт мінімальної освітленості (за оптимальних співвідношеннях відстані між світильниками до розрахункової висоти, для ДРЛ  $z = 1,15$ );

$N$  – число світильників у приміщенні;

$\eta$  – коефіцієнт використання світлового потоку.

Приймаємо наступні значення:  $E = 100\text{лк}$ ;  $k = 1,3$ ;  $z = 1,15$ , при загальному освітленні. Площу освітлення приміщення визначимо за формулою:

$$S = A \cdot B,$$

						Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де  $S$  – площа освітлення,  $\text{м}^2$ ;  
 $A = 40$  – довжина приміщення, м;  
 $B = 24$  – ширина приміщення, м;

$$S = 40 \cdot 24 = 960 \text{ м}^2.$$

Розрахункова висота підвісу світильників  $h$  завдається розмірами приміщення. Найвигідніше співвідношення  $\lambda$  між світильниками  $L$  до розрахункової висоти підвісу  $h$  приймається залежно від типової кривої сили світла світильника. Для наших розрахунків  $\lambda = 1$  (за глибокої типової кривої).

Визначимо розрахункову висоту підвісу за формулою:

$$h = \frac{H - h_{\text{св}} - h_{\text{рп}}}{\lambda},$$

де  $h$  – розрахункова висота підвісу, м;  
 $H = 10$  – висота приміщення, м;  
 $h_{\text{св}} = 1$  – висота звисання світильника (від перекриття), м;  
 $h_{\text{рп}} = 0,8$  – висота робочої поверхні над підлогою, м.

$$h = \frac{10 - 1 - 0,8}{1} = 8,2 \text{ м};$$

Відстань між рядами світильників знаходимо за формулою:

$$L_{\text{рсв}} = \lambda \cdot h = 1 \cdot 8,2 = 8,2 \text{ м};$$

Кількість світильників у приміщенні:

$$N = \frac{S}{L_{\text{рсв}}^2} = \frac{960}{8,2^2} = 14,4 \text{ шт.}$$

Відстань між крайніми світильниками й стіною:

$$L_{\text{рсв}} = \frac{L_{\text{рсв}}}{2} = \frac{8,2}{2} = 4,1 \text{ м}.$$

Для визначення коефіцієнта використання знайдемо індекс приміщення  $i$ :

$$i = \frac{A \cdot B}{h \cdot (A + B)} = \frac{40 \cdot 24}{8,2 \cdot (40 + 24)} = 1,83 \approx 2$$

Коефіцієнти відображення поверхонь цеху:

						Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- стелі –  $p_{\text{п}} = 70 \%$ ;
- стін –  $p_{\text{с}} = 50 \%$ ;
- підлоги –  $p_{\text{р}} = 10 \%$ .

За отриманих значень  $i$  й  $p$  визначимо величину коефіцієнту використання світлового потоку для РСП05/Г03  $\eta=74\%$ .

Визначимо необхідний світловий потік у кожному світильнику як:

$$F = \frac{100 \cdot 960 \cdot 1,3 \cdot 1,15}{15 \cdot 0,74} = 12929,73 \text{ лм.}$$

Розташування світильників у приміщенні цеха наведено на рис. 4.1.

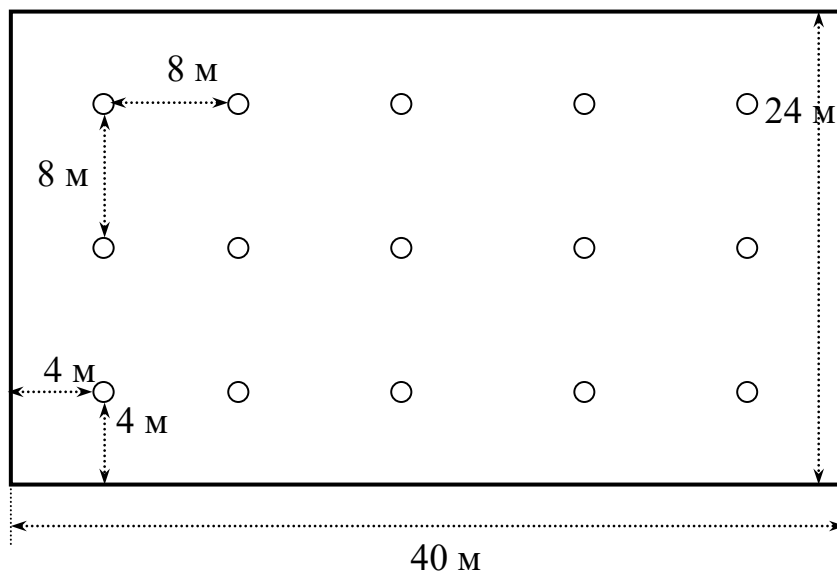


Рисунок 4.1 – Розташування світильників у цеху

Обираємо лампу ДРЛ250.

Стислі технічні характеристики обраної лампи: потужність – 250 Вт; напруга – 145 В; світловий потік після 100 годин горіння – 13500 лм.

Відхилення розрахункової освітленості від нормованої складає:

$$\frac{13500}{13500} = 100\%$$

Відхилення знаходиться в допустимих межах. Отже лампа ДРЛ250 відповідає умовам і може використовуватися в цеху як джерело світла.

						Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

#### 4.4 Пожежна безпека

Цех водопідготовки має бути обладнаний первинними засобами пожежо-гасіння – ящиком з сухим піском, ручними вуглекислотними вогнегасниками типу ОУ-2, ОУ-5, ОУ-8. Ці вогнегасники призначені для гасіння незначних загорянь усіх типів.

Електроустановки – основний осередок, де може виникнути пожежа в цеху. Вони мусять бути обладнані засобами захисту від перевантажень і струмів короткого замикання. Рекомендується використовувати кабельно-провідникову продукцію з негорючими оболонками, електротехнічні вироби з негорючих пластиків, тощо.

#### 4.5 Безпека при надзвичайних ситуаціях

При роботі насосних установок в цеху водопідготовки можуть виникнути наступні аварійні ситуації:

- прориви (розриви) трубопроводів в результаті виходу з ладу запірної арматури й старіння (корозії) трубопроводів, що призводить до витікання води в цех;
- вихід з ладу електроустаткування (двигуни, електричні апарати) з-за перевантаження або короткого замикання з можливим загорянням кабелів, обмоток електричних машин;

За виникнення надзвичайних ситуацій диспетчеру цеха слід повідомити про НС відповідальній особі.

Диспетчер оцінює фактор небезпеки ситуації і можливі наслідки, пропонує рішення й знає правила поведінки в аналогічних ситуаціях. Відмикає електроустановку, забезпечуючи видимий розрив електричного кола й унеможливорює вмикання сторонніми особами. Самостійно або разом з іншими співробітниками приймає міри щодо усунення наслідків НС.

За неможливості ліквідувати аварію, дочекатися відповідний персонал (співробітників МНС), вести спостереження за станом ситуації й вчасно інформувати відповідальних осіб.

						Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

За виникнення безпосередньої загрози життю залишити небезпечну територію. При виході із небезпечної зони обмежити доступ в неї стороннім особам до прибуття відповідного персоналу.

						Арк.
						45
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

## 5. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ

Основним завданням цього розділу є визначення капітальних і експлуатаційних витрат на впровадження даного варіанта модернізації електропривода насосної установки цеху водовідведення.

Об'єктом проектування є система електропривода на базі перетворювача частоти ATV650D55N4.

### 5.1 Розрахунок капітальних витрат

До впровадження проектного варіанту в якості привідного двигуна насоса використовувався нерегульований асинхронний двигун, а регулювання тиску здійснювалося за допомогою дроселювання вихідного потоку. Розрахунки спеціальної частини проекту показують доцільність застосування системи ПЧ-АД (перетворювач частоти – асинхронний двигун).

Капітальні інвестиції – це кошти, призначені для створення і придбання основних фондів і нематеріальних активів, що підлягають амортизації. В даному випадку це грошові кошти, призначені для придбання електрообладнання, що підлягає амортизації, транспортно-заготівельні і складські витрати, монтаж і налагодження системи управління.

$$K_{np} = K_{об} \left( \sum_i^k C_i \right) + Z_{тзс} + Z_m + Z_n + Z_{np}$$

де  $K_{об} \left( \sum_i^k C_i \right)$  – сумарна вартість комплектуючих виробів;

$Z_{тзс}$  – транспортно-заготівельні та складські витрати;

$Z_m$  – витрати на монтажні роботи;

$Z_n$  – витрати на налагоджувальні роботи;

$Z_{np}$  – інші одноразові вкладення грошових коштів.

Розрахунок капітальних витрат оформлюється у вигляді зведення капітальних витрат по розділах (табл. 5.1).

						Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## Зведення капітальних витрат

№ з/п	Найменування розділів	Проектний варіант, грн
1.	Електроустаткування:	
	Електропривод ATV650D55N4	149 664,86
	Вимикач автоматичний	10 183,72
	Контактор	5 406,37
	Блок живлення	1 221,79
	Усього	166 476,74
2.	Витрати на монтаж і налаштування	1621,19
3.	Демонтажні роботи	810,6
	<b>РАЗОМ</b>	<b>168908,53</b>

Транспортно-заготівельні витрати внесені у вартість електроустаткування оскільки фірма-продавець здійснює його доставку згідно з договором.

Монтажно-налагоджувальні роботи здійснюються на виробництві штатними електромеханіками й розраховуються за формулою:

$$Z_{m(n)} = \sum (C_i \cdot a_i \cdot t_i) \cdot K_{\partial} \cdot K_{cm} \cdot K_{np},$$

де  $C_i = 2$  – кількість робітників  $i$ -го розряду, що задіяні в монтажі (електромонтер 3 розряду);

$t_i = 16 \text{ год}$  – час на налагодження;

$K_{cm} = 1,22$  – коефіцієнт, що враховує єдиний соціальний внесок;

$K_{\partial} = 1,0$  – коефіцієнт, що враховує розмір доплат;

$a_i = 36,11 \text{ грн}$  – погодинна тарифна ставка робітників (електромонтер 3-го розряду) [13];

$K_{np} = 1,15$  – коефіцієнт, що враховує інші витрати на здійснення

монтажно-налагоджувальних робіт.

$$Z_m = (2 \cdot 16 \cdot 36,11) \cdot 1 \cdot 1,22 \cdot 1,15 = 1621,19 \text{ грн.}$$

						Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Демонтажні роботи здійснюються на виробництві штатними електромеханіками і розраховуються за формулою:

$$Z_{\partial} = \sum (C_i \cdot a_i \cdot t_i) \cdot K_{\partial} \cdot K_{cm} \cdot K_{np}$$

де  $t_i = 8$  год – час на демонтаж;

$a_i = 36,11$  грн – погодинна тарифна ставка робітника (електромонтер 3-го розряду);

$C_i = 2$  – кількість робітників  $i$ -го розряду, що задіяні в монтажі.

$$Z_{\partial} = (2 \cdot 8 \cdot 36,11) \cdot 1 \cdot 1,22 \cdot 1,15 = 810,6 \text{ грн.}$$

Таким чином, капітальні витрати на здійснення проєктного варіанту складають:

$$K_{np} = K_{об} \left( \sum_i^k C_i \right) + Z_m + Z_{\partial}$$

$$K_n = K_{об} + M + D$$

де  $K_{об} \left( \sum_i^k C_i \right) = 166476,74$  грн – вартість обладнання (див. табл. 5.1).

$$K_{np} = 166476,74 + 1621,19 + 810,6 = 168908,53 \text{ грн.}$$

## 5.2 Розрахунок експлуатаційних витрат

Експлуатаційні витрати – це поточні витрати на експлуатацію й обслуговування об'єкта проєктування за певний період, виражені у грошовій формі.

До основних статей експлуатаційних витрат на електротехнічне обладнання належать:

- амортизаційні відрахування ( $C_a$ );
- заробітна плата обслуговуючого персоналу ( $C_3$ );
- єдиний соціальний внесок ( $C_c$ );
- витрати на технічне обслуговування і поточний ремонт обладнання і мереж ( $C_m$ );
- вартість електроенергії, що споживає об'єкт проєктування ( $C_e$ ).

						Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Таким чином, річні експлуатаційні витрати складають:

$$C = C_a + C_z + C_c + C_m + C_e, \text{ грн.}$$

У процесі впровадження проектного варіанта не планується змінювати кількість обслуговуючого персоналу. Тому розрахунок річного фонду заробітної плати і відрахувань на соціальні заходи не здійснюється.

$$C = C_a + C_m + C_e, \text{ грн.}$$

Розрахунок експлуатаційних витрат ведеться за проектним варіантом.

### 5.2.1 Амортизаційні відрахування

Річний фонд амортизаційних відрахувань визначається у відсотках від суми капітальних витрат за видами основних фондів і нематеріальних активів за розділами зведення капітальних витрат (табл. 5.2).

Перетворювач частоти й асинхронний двигун проектного варіанту системи автоматичного керування насосними установками цеха водопідготовки належать до 4 групи основних засобів. Мінімумально допустимий термін корисного використання становить 5 років. [7]

Норма амортизації постійна протягом усього амортизаційного періоду і дорівнює:

$$H_a = \frac{1}{T_n} \cdot 100\%$$

де  $T_n = 5$  – термін корисного використання (амортизаційний період)

Таблиця 5.2

#### Амортизаційні відрахування

№	Найменування	Капітальні витрати, грн	Норма амортизації, %	Сума амортизації, грн.
1.	Проектний варіант	168908,53	20	33781,71

						Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### 5.2.2 Розрахунок вартості спожитої електроенергії

Кількість спожитої за рік електроенергії у проектному варіанті:

$$W_{pn} = \frac{\Sigma P \cdot T_H \cdot K_{int}}{KKД_n}$$

$$W_{pn} = \frac{55 \cdot 4380 \cdot 1}{0,83} = 290240,96 \text{ кВт}\cdot\text{год}$$

де  $T_H$  – номінальний час роботи насоса за рік, 4380 годин (365 днів  $\times$  12 год.);

$\Sigma P = 55$  – встановлена потужність обладнання у проектному варіанті, кВт;

$K_{int}$  – інтегральний коефіцієнт використання потужності, прийmemo

$K_{int}=1$  при безперервній роботі;

$KKД_n$  – ККД електродвигуна у проектному варіанті, прийmemo

$KKД_n=0,83$ .

Вартість електроенергії, що споживається об'єктом протягом року, визначається з його встановленої потужності й річного фонду робочого часу об'єкту проектування, втрат електроенергії та тарифу за формулою:

$$C_e = W_{pn} \cdot C_e$$

Вартість електроенергії, що споживається об'єктом проектування протягом року (табл. 5.3):

$$C_e = 290240,96 \cdot 1,68 = 487604,82 \text{ грн}$$

де  $C_e$  – тариф 1 кВт·год електроенергії. За даними «Дніпрообленерго»

станом на 28.05.2021 для споживачів I класу дорівнює 1,68 грн з ПДВ [14]

Таблиця 5.3

#### Витрати на електроенергію

№	Найменування	Потужність електрообладнання, кВт	ККД електропривода	Споживана електроенергія, кВт·год	Вартість спожитої електроенергії, грн
1.	Проектний варіант	55	0,83	290240,96	487604,82
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Арк.
					50



Таким чином річні експлуатаційні витрати для проєктного варіанта:

$$C_{np} = 33781,71 + 487604,82 + (25196,52 + 23818,97) = 570402,02 \text{ грн.}$$

За результатами розрахунків загальна сума капітальних й експлуатаційних витрат складає –  $K_{np} = 168908,53$  грн.  $C_{np} = 570402,02$  грн.

						Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ВИСНОВКИ

1. Під час виконання проєкту проаналізовано наявний спосіб керування насосними установками. Проведено порівняльний аналіз можливих способів регулювання продуктивності насосів. Запропоновано варіант системи автоматичного керування насосними установками цеха водопідготовки на базі системи ПЧ-АД (перетворювач частоти – асинхронний двигун) з ПД-регулюванням тиску.

2. Було розраховано  $H-Q$  характеристики насоса при регулюванні його частоти обертання. Запропоновано модель асинхронного двигуна при частотному керуванні насосної установки. Розроблено модель системи автоматичного регулювання. Проведене математичне моделювання типових режимів роботи насосної установки при змінних витратах підтвердило ефективність запропонованої системи.

3. Обрано перетворювач та основну комутаційну апаратуру, розроблено принципову електричну схему підключень обладнання.

4. Зроблено огляд шкідливих виробничих факторів, запропоновано інженерно-технічні заходи з охорони праці, виконано розрахунок освітлення.

5. У проєкті розраховано капітальні і експлуатаційні витрати на впровадження запропонованої системи.

						Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Методика розрахунків водовідливних установок гірничих підприємств. Методичні вказівки для студентів напряму підготовки 0902 Інженерна механіка / Уклад. М.В. Холоменюк. – Д.: Національний гірничий університет, 2007. – 67 с. <http://ir.nmu.org.ua/handle/123456789/2170>
2. Кравчик А.Э., Шлаф М.М., Афонин А.И., Соболенская Е.А. Асинхронные двигатели серии 4А. – М.: Энергоатомиздат, 1982. – 504с.
3. Справочник по автоматизированному электроприводу / Под ред. В.А. Елисеєва и А.В. Шинянского. – М.: Энергоатомиздат, 1983. - 616 с.
4. [www.se.com/ua/uk/](http://www.se.com/ua/uk/) АЛТИВАР 600. Каталог.
5. [www.se.com/ua/uk/](http://www.se.com/ua/uk/) АЛТИВАР 600. Руководство по программированию.
6. Казачковський М. М. Автономні перетворювачі та перетворювачі частоти: навч. посіб. [Електронний ресурс] / М. М. Казачковський ; М-во освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т. – Електрон. текст. дані. – 2-ге вид., випр. та допов. – Дніпро.: НГУ, 2017. – 324 с.
7. Методичні вказівки до виконання економічної частини дипломної роботи для студентів спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / Укладачі: Л.В. Тимошенко, Н.В. Дементьєва - Дніпро: НГУ, 2021. - 14 с.
8. 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.
9. Вешеневский С.Н. Характеристики двигателей в электроприводе. Изд. 6-е, исправленное. М.: «Энергия», 1977. – 432 с.
10. Усольцев А.А. Частотное управление асинхронными двигателями / Учебное пособие. СПб: СпбГУ ИТМО, 2006. – 94 с.
11. Енергоефективність: переваги застосування частотно-регульованого приводу в насосних, вентиляційних і компресорних установках: Технічна колекція Schneider Electric, вип. № 27. 2009. - 36 с.

						Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- 12.Методичні рекомендації до передатестаційної практики та підготовки кваліфікаційної роботи бакалаврів спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» (професійне спрямування «Електромеханічні системи автоматизації та електропривод») [Електронний ресурс] / М.М. Казачковський. А.О. Сьомін – Дніпро: Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», 2019. – 18 с.
- 13.Закон України «Про Державний бюджет України на 2021 рік», стаття 8.
- 14.<https://www.dtek-dnem.com.ua/ua>
- 15.Державні будівельні норми України: ДБН В.2.5-28-2006 Інженерне обладнання будинків і споруд. Природне і штучне освітлення.

						Арк.
						55
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		