

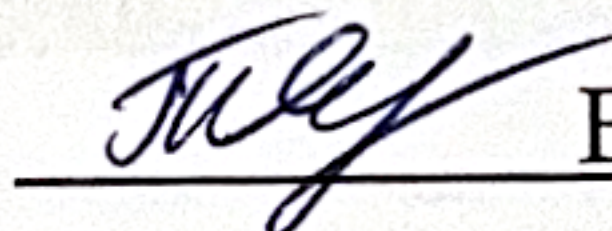
Вінницький національний технічний університет
(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет електроенергетики та електромеханіки
(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

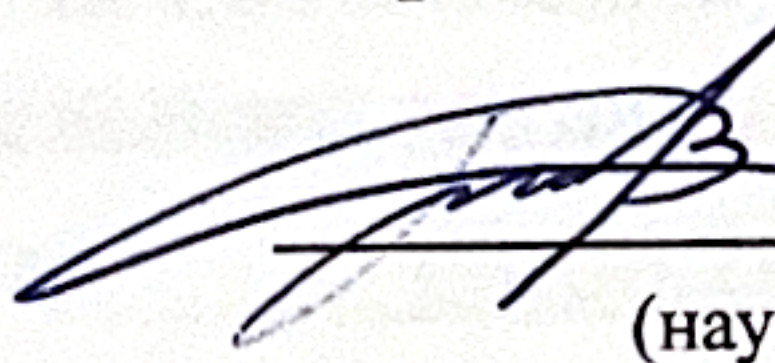
Кафедра комп'ютеризованих електромеханічних систем і комплексів
(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

БАКАЛАВРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
на тему:
**«МОДЕРНІЗАЦІЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДА НАСОСНОГО АГРЕГАТУ
НАФТОПЕРЕРОБНОГО ЗАВОДУ»**

Виконав: студент 4 курсу, гр. ЕМСА-23мс
спеціальності 141 – Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка
(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)

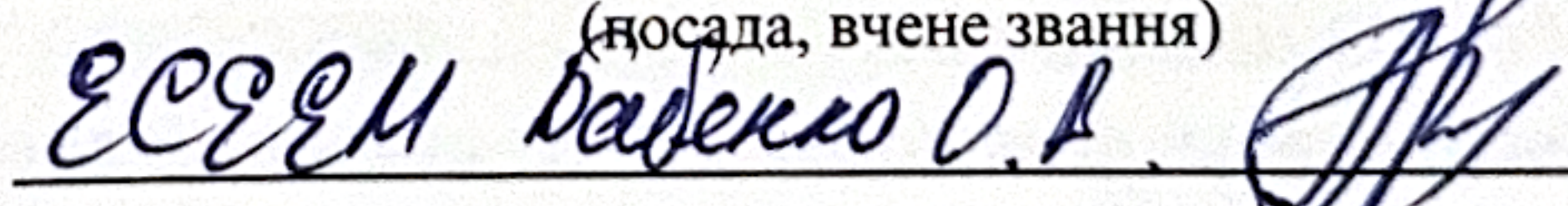
 Віктор ТКАЧУК
(прізвище та ініціали)

Керівник К.Т.Н. ст.викл. каф. КЕМСК
(посада, вчене звання)

 Вадим БОМБИК
(науковий ступінь, прізвище та ініціали)

« 20 » травня 2025 р.

Рецензент К.Т.Н., доц. Олександр Карсун
(посада, вчене звання)

 Олег БАБЕНКО О.В.
(науковий ступінь, прізвище та ініціали)

« 10 » червня 2025 р.

Допущено до захисту
Завідувач кафедри КЕМСК
К.Т.Н., доц. Мошноріз М.М.
(прізвище та ініціали)

« 3 » червня 2025 р.

м. Вінниця – 2025 рік

Вінницький національний технічний університет
Факультет Електроенергетики та електромеханіки
Кафедра Комп'ютеризованих електромеханічних систем і комплексів
Освітній ступінь перший (бакалаврський)
Галузь знань 14 – Електрична інженерія
Спеціальність 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
Освітня програма «Електромеханічні системи автоматизації»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри КЕМСК

к.т.н., доц. Микола МОШНОРІЗ

“18” лютого 2025 року

З А В Д А Н Н Я
НА БАКАЛАВРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Ткачуку Віктору Валерійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Модернізація електропривода насосного агрегату нафтопереробного заводу

керівник роботи Бомбик Вадим Сергійович, к.т.н., ст. викл. каф. КЕМСК

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від “20” березня 2025 року № 97

2. Строк подання студентом роботи 03.06.2025

3. Вихідні дані до роботи: Технічна документація на насосний агрегат нафтопереробного заводу

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): 1 Аналіз технологічного процесу установки. 2 Проектування функціональної схеми автоматизованого електропривода. 3 Вибір електродвигуна та перетворювача електричної енергії. 4 Проектування системи автоматичного керування. 5 Моделювання характеристик електропривода. 6 Розробка системи автоматизації електропривода насосного агрегату. 7 Розробка схеми автоматизованої системи електропривода насосного агрегату. 8 Охорона праці

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

Структурна схема насосної установи. Функціональна схема електроприводу насоса. Характеристики насосного агрегату. Структурна схема автоматизованого електроприводу при стабілізації напору. Моделі насоса, регулятора тиску та системи управління перетворювачем. Імітаційна модель автоматизованого електроприводу насоса. Результати моделювання системи.

6. Консультанти розділів роботи

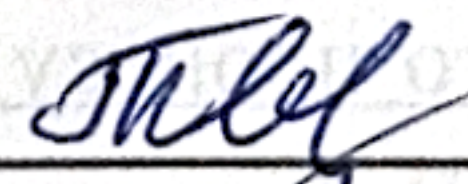
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Спеціальна частина	к.т.н., ст. викл. каф. КЕМСК Бомбик В.С.	18.02.2025	06.05.2025
Охорона праці	Зав. каф. БЖДПБ, д.пед.н., проф. Кобилянський О. В.	18.02.2025	06.05.2025

7. Дата видачі завдання 18.02.2025

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Формування та затвердження теми бакалаврської кваліфікаційної роботи (БКР)	18.02.2025	вик
2	Виконання спеціальної частини БКР. Перший рубіжний контроль виконання БКР	06.05.2025	вик
3	Виконання спеціальної частини БКР. Другий рубіжний контроль виконання БКР	20.05.2025	вик
4	Виконання розділу «Охорона праці»	20.05.2025	вик
5	Попередній захист БКР	03.06.2025	вик
6	Нормоконтроль БКР	03.06.2025	вик
7	Рецензування БКР	10.06.2025	вик
8	Захист БКР	20.06.2025	вик

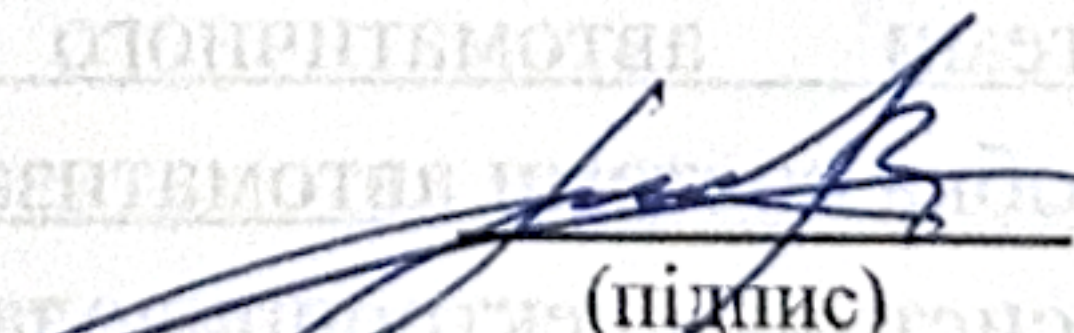
Здобувач освіти


(підпис)

Віктор ТКАЧУК

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи


(підпис)

Вадим БОМБИК

(прізвище та ініціали)

АНОТОЦІЯ

Ткачук В. В. Модернізація електропривода насосного агрегату нафтопереробного заводу. Бакалаврська кваліфікаційна робота. – Вінниця : ВНТУ. 2025.– 85 с. Бібліогр. : 26. Іл. : 22. Табл. : 15.

В роботі здійснено модернізацію системи електропривода насосного агрегату нафтопереробного заводу. Виконано моделювання системи. Здійснено розрахунок і аналіз динамічних і статичних характеристик автоматизованого електропривода. Було спроектовано схеми електропостачання та електричного захисту промислової установки.

Ключові слова: насосний агрегат, автоматизована система керування, перетворювач частоти.

ANNOTATION

Tkachuk V. V. Modernization of the electric drive of the pump unit of the oil refinery. Bachelor's qualification work. – Vinnytsia: VNTU. 2025.— 85 p. Bibliography: 26. Ill.: 22. Table: 15.

The work involves the modernization of the electric drive system of the pump unit of the oil refinery. The system is modeled. The calculation and analysis of the dynamic and static characteristics of the automated electric drive are carried out. The power supply and electrical protection schemes of the industrial installation are designed.

Keywords: pump unit, automated control system, frequency converter.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
1 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ УСТАНОВКИ	7
1.1 Опис промислової установки	7
1.2 Аналіз технологічного процесу промислової насосної установки	10
1.3 Основні вимоги до автоматизованого електропривода	11
2 ПРОЕКТУВАННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДА	13
2.1 Вибір раціональної системи електропривода	13
2.2 Розробка функціональної схеми автоматизованого електропривода.....	14
3 ВИБІР ЕЛЕКТРОДВИГУНА ТА ПЕРЕТВОРЮВАЧА ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ	17
3.1 Розробка розрахункової системи механічної частини електропривода....	17
3.2 Механічні характеристики і навантажувальна діаграма механізму	19
3.3 Попередній вибір двигуна	24
3.4 Вибір номінальної швидкості і типорозмірів двигуна.....	27
3.5 Навантажувальна діаграма електропривода	31
3.6 Перевірка вибраного електродвигуна.....	34
3.7 Обґрунтування вибору виду перетворювача електричної енергії.....	36
3.8 Розрахунок параметрів і вибір елементів силового кола.....	39
4 ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ.....	41
4.1 Вибір датчиків системи автоматичного керування електропривода.....	41
4.2 Розробка моделі автоматизованого електропривода	41
4.3 Розрахунок параметрів об'єкта управління.....	45
4.4 Параметри керуючого пристрою	47
5 МОДЕЛЮВАННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ЕЛЕКТРОПРИВОДА.....	49
5.1 Розробка імітаційної моделі електропривода	49
5.2 Дослідження перехідних процесів і визначення показників якості	51
5.3 Побудова статичних характеристик	54

6 РОЗРОБКА СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ЕЛЕКТРОПРИВОДА НАСОСНОГО АГРЕГАТУ	55
6.1 Перевірка коректності вибору електродвигуна	55
6.2 Розробка системи автоматизації промислової установки	55
7 РОЗРОБКА СХЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПРИВОДА НАСОСНОГО АГРЕГАТУ	59
7.1 Вибір апаратів, проводів та кабелів	59
7.2 Вибір теплових реле	59
7.3 Вибір автоматичних вимикачів	60
7.4 Схема електрична загальна і підключення автоматизованого електропривода	60
7.5 Економічне обґрунтування технічних рішень	62
8 ОХОРОНА ПРАЦІ	70
8.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації об'єкта	70
8.1.1 Електробезпека	73
8.1.2 Мікроклімат	75
8.1.3 Склад повітря робочої зони	76
8.1.4 Виробниче освітлення	77
8.1.5 Виробничий шум	77
8.1.6 Виробничі вібрації	78
8.2 Пожежна безпека	79
ВИСНОВОК	82
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	83
Додаток А Технічне завдання	86
Додаток Б Ілюстративні матеріали	87

ВСТУП

Електропривод — це електромеханічна система, що складається з електродвигуна, перетворювальних, передавальних і керувальних пристроїв, яка призначена для приведення в дію виконавчих механізмів робочої машини та керування її рухом [1].

Аналіз сучасного вітчизняного й міжнародного досвіду у сфері електроприводів свідчить, що одним із ключових напрямів розвитку насосного обладнання є розширення діапазону регулювання режимів роботи електродвигунів за умови мінімізації енергоспоживання. У зв'язку з цим надзвичайно важливо обґрунтовано обрати ефективну систему керування, зокрема для асинхронного двигуна, який часто використовується у водопостачальних установках.

Сучасні системи керування електроприводом повинні забезпечувати високу енергоефективність, точне регулювання частоти обертання, оптимальні алгоритми керування, надійність та помірну вартість. Зазначені вимоги найкраще реалізуються за допомогою мікропроцесорних технологій, які дають змогу досягти високої точності регулювання технологічних параметрів.

Контроль та керування насосною установкою з частотним регулюванням здійснюється за допомогою програмованого контролера. Сигнал зворотного зв'язку від датчика тиску порівнюється з заданим значенням, і у разі відхилення формується команда на перетворювач частоти. Останній змінює частоту обертання електродвигуна, тим самим стабілізуючи тиск у системі.

При зростанні витрат перетворювач підвищує частоту обертання насоса; якщо досягнуто межі, вмикається додатковий насос. У разі зниження витрат частота обертання зменшується, а при досягненні мінімального рівня насоси вимикаються послідовно. Така система забезпечує стабільну роботу установки в межах заданого діапазону, а при виникненні аварійної ситуації — переходить в автоматичний режим з резервним керуванням.

Метою кваліфікаційної роботи є розробка автоматизованої системи електроприводу насосної установки з урахуванням сучасних вимог до енергоефективності, керованості та надійності.

1 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ УСТАНОВКИ

1.1 Опис промислової установки

Склад насосної станції включає три консольно-моноблочні насоси марки Grundfos NB/NK50-200/210 (рисунок 1.1), з яких один працює в основному режимі, один призначений для резервного включення, а ще один виконує функцію аварійного, керованого вручну. Номінальні параметри кожного насоса становлять: подача $Q = 80 \text{ м}^3/\text{год}$, напір $H = 57 \text{ м}$, частота обертання вала $n = 2900 \text{ об/хв}$.

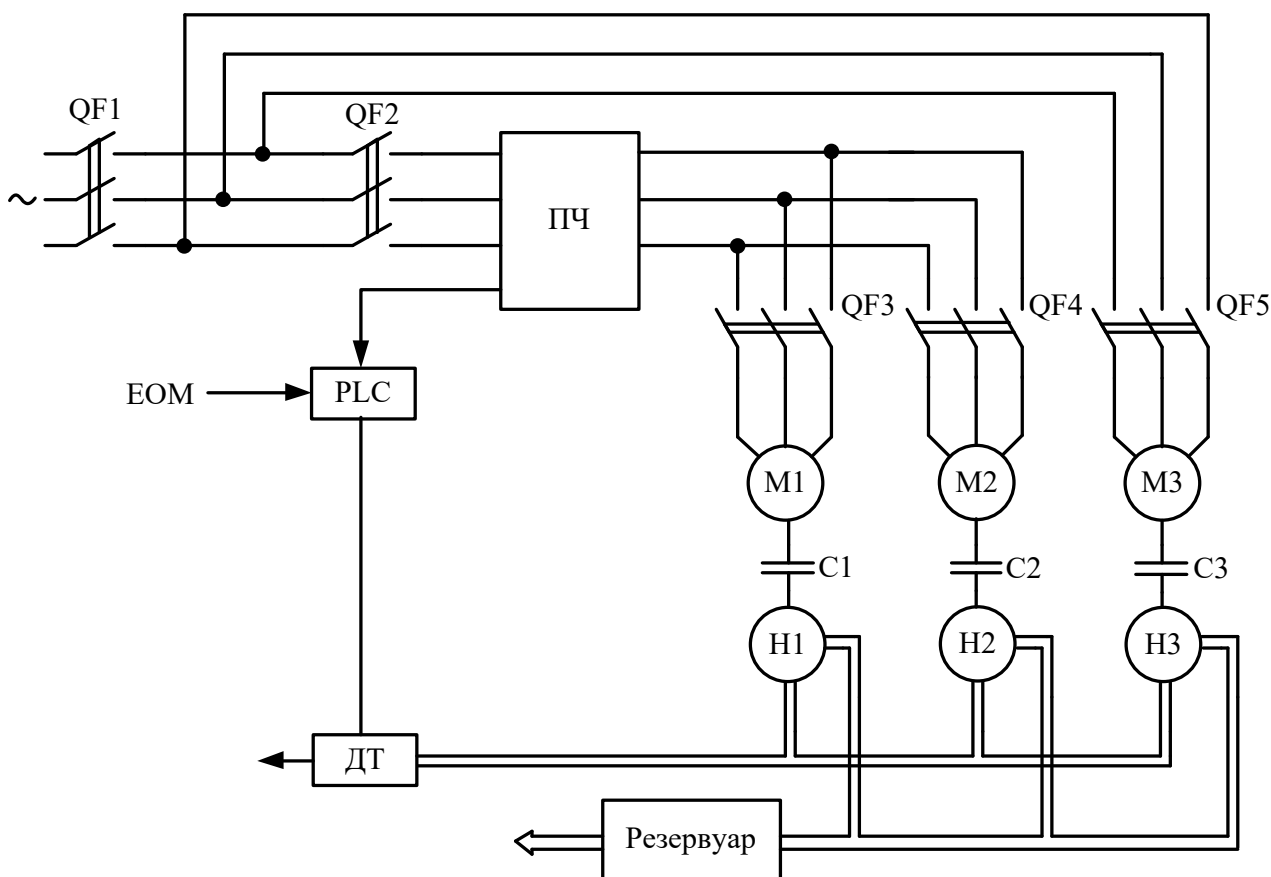


Рисунок 1.1 – Спрощена схема насосної установки

На рисунку 1.1 зображено: ПЧ – перетворювач частоти; PLC – програмований логічний контролер; ДТ – датчик тиску; Н1, Н2, Н3 – насоси робочий, резервний і з ручним управлінням відповідно; М1, М2, М3 –

двигуни які відносяться до насосів Н1, Н2, Н3 відповідно; QF1-QF5 – автоматичні вимикачі.

Основні параметри та характеристики насосного обладнання включають тиск, напір, подачу та споживану потужність.

Тиск, який створюється насосом, визначається як різниця питомої енергії робочої рідини між всмоктувальним і напірним патрубками.

$$P = P_H - P_B + \frac{(V_H^2 - V_B^2)}{2\rho} + \rho \cdot g \cdot (Z_H - Z_B). \quad (1.1)$$

де P_H і P_B – абсолютний тиск на виході і вході, Па;

V_H і V_B – швидкість рідини на виході і вході, м / с;

Z_H і Z_B – висоти точок заміру тиску від площини порівняння, м;

ρ – щільність рідини, кг/м³;

g – прискорення вільного падіння ($g=9,8$ м/с²).

Швидкості рідини на вході V_B виході V_H :

$$V_H = \frac{Q}{S_H}, \quad (1.2)$$

$$V_B = \frac{Q}{S_B}. \quad (1.3)$$

де Q – подача насоса, м³/с;

S_H і S_B – площі прохідного перетину в місцях вимірювання тисків P_H і P_B , м².

Напір:

$$H = \frac{P}{\rho \cdot g}. \quad (1.4)$$

Підставивши маємо:

$$H = \frac{P_H - P_B}{\rho \cdot g} + \frac{V_H^2 - V_B^2}{2 \cdot g} + (Z_H - Z_B). \quad (1.5)$$

Подача насоса Q — це об'єм (або маса) робочого середовища, який насос переміщує за одиницю часу ($\text{м}^3/\text{с}$, $\text{м}^3/\text{год}$, $\text{л}/\text{с}$, $\text{л}/\text{хв}$). Масова подача Q_m вимірюється в $\text{кг}/\text{с}$, $\text{т}/\text{год}$. Якщо відома масова подача, то об'ємну подачу можна визначити за формулою: $Q = Q_m/\rho$, де ρ — густина рідини.

У технічних характеристиках насосів розрізняють:

- оптимальну подачу $Q_{\text{опт}}$ — подача, при якій досягається максимальний ККД насоса;
- номінальну подачу $Q_{\text{ном}}$ — встановлена технічними умовами характеристика насоса;
- мінімальну $Q_{\text{мін}}$ та максимальну $Q_{\text{макс}}$ подачу — крайні значення, в межах яких насос може працювати стабільно та без перевантаження.

Потужність насоса (або компресора) P — це механічна потужність, що передається від приводу (наприклад, електродвигуна) до вала насоса. Її зазвичай вимірюють у кіловатах (кВт).

Корисна потужність визначається як частина потужності, що ефективно витрачається на переміщення робочого середовища.

$$P_p = \frac{\rho \cdot g \cdot H \cdot Q}{1000}. \quad (1.6)$$

Потужність, яку споживає насос, завжди перевищує його корисну потужність на величину внутрішніх втрат енергії, що виникають у процесі роботи. Ці втрати враховуються через коефіцієнт корисної дії (ККД). ККД визначається як відношення корисної потужності до спожитої потужності: $\eta = P_p/P$. Для сучасних насосів та компресорів значення ККД зазвичай коливається в межах від 0,4 до 0,9.

У процесі експлуатації основні робочі параметри насоса – подача, напір і споживана потужність – можуть змінюватися. Тому важливо мати дані, які описують взаємозв'язок між цими параметрами в широкому діапазоні режимів роботи.

Одна з головних таких залежностей — це напірна характеристика насоса, тобто залежність напору від подачі $H(Q)$. Ця характеристика є

ключовою для підбору насосного обладнання, визначення умов його встановлення та експлуатації, а також для забезпечення узгодженості між параметрами насоса й гідравлічними характеристиками мережі.

1.2 Аналіз технологічного процесу промислової насосної установки

Особливості функціонування насосної установки підприємства:

1. У технологічній схемі передбачено встановлення трьох підкачувальних насосів: один працює у штатному режимі, один резервується на випадок виходу з ладу основного, а третій – аварійний, з ручним режимом управління.

2. Основний насос і резервні повинні бути ідентичними та взаємозамінними, тому усі розрахунки виконуються для одного типового насоса.

3. Гідравлічна характеристика трубопровідної мережі та напірна характеристика насосного агрегату подані на рисунку 1.2. Робоча точка системи (взаємодія насоса з мережею) визначена як: подача $Q = 80 \text{ м}^3/\text{год}$, напір $H = 57 \text{ м}$.

4. Оскільки подача нафти здійснюється в одному фіксованому напрямку, реверсивна робота електропривода є недопустимою.

5. Насосна установка працює в режимі безперервного навантаження.

6. Завданням насосів є підтримання сталого тиску в системі перекачування нафти, тому їхня робота повинна коригуватися відповідно до зміни напору.

На рисунку 1.1 показано: 1 – гідравлічна характеристика мережі; 2 – характеристика $H = f(Q)$ насоса Grundfos NB 50-200/210.

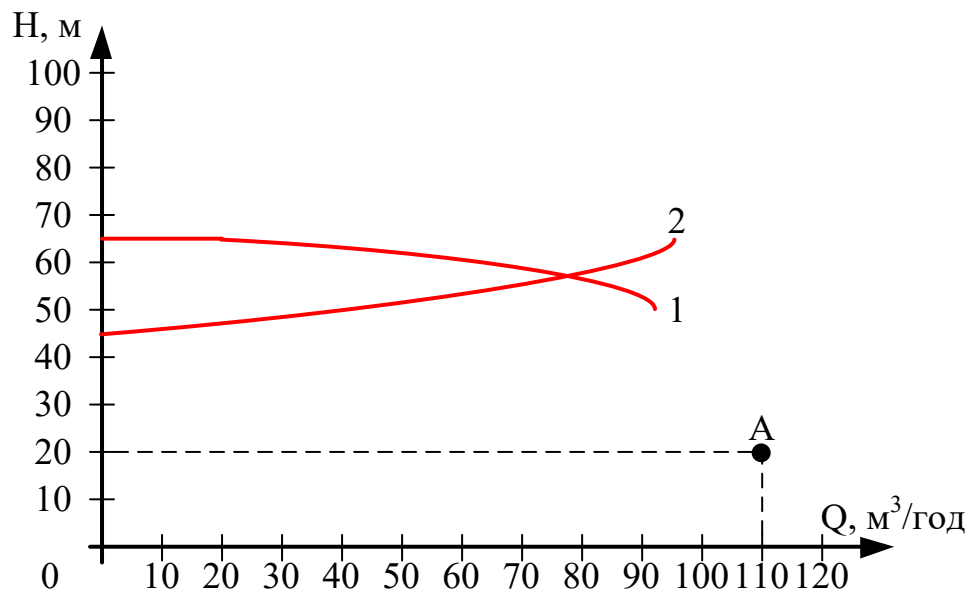


Рисунок 1.2 – Гідравлічна характеристика мережі і характеристика $H = f(Q)$ насоса Grundfos NB 50-200/210

З огляду на вищезазначені особливості технологічного процесу, в якості керованої координати електропривода доцільно обрати швидкість обертання, що регулюється залежно від тиску в системі.

1.3 Основні вимоги до автоматизованого електропривода

Вимоги до системи керування електроприводом формуються з урахуванням необхідності забезпечення стабільного функціонування та керованості технологічного процесу. Серед основних вимог до автоматизованої системи електроприводу можна виокремити наступні:

- стабілізація напору на заданому рівні є ключовою вимогою. У разі відмови перетворювача частоти система автоматизації повинна забезпечувати перехід до режиму нерегульованої роботи насоса або вмикати резервний насос – наприклад, при зростанні споживання понад можливості одного агрегату або у випадку його виходу з ладу;

- енергоефективне перекачування робочого середовища за продуктивності $Q = 80 \text{ м}^3/\text{год}$, що дозволяє відмовитися від використання регулюючих клапанів, які зазвичай неефективні при обмеженні витрати.

Завдяки цьому також усувається потреба у недовантаженні насосів при роботі на фіксованій швидкості;

- плавний пуск електропривода, що сприяє уникненню гідравлічних ударів та різких пікових навантажень на трубопровід. Це зменшує ймовірність аварій, витоків, а також знижує рівень вібрацій і шумів, що супроводжуються характерними "ударними" звуками;

- наявність режиму байпасу – резервного способу живлення електродвигуна з обходом перетворювача частоти. У цьому режимі двигун підключається напряму до мережі, що дозволяє зберегти працездатність системи у разі аварії перетворювача;

- надійність роботи електропривода – критичний фактор для забезпечення безпеки та стабільної експлуатації всієї промислової установки;

- компактні габарити обладнання, що полегшує його інтеграцію в існуючу інфраструктуру;

- енергоощадність, яка досягається за рахунок оптимізації керування швидкістю та навантаженням двигуна;

- дотримання вимог техніки безпеки та охорони праці, що є обов'язковими для промислових об'єктів;

- забезпечення протипожежної безпеки при експлуатації обладнання;

- захист від радіоперешкод та придушення власних електромагнітних завад, що передбачає застосування екранованих кабелів і входних реакторів у силовій частині схеми;

- пило- та вологозахист системи на рівні не нижче IP44, що гарантує працездатність обладнання в умовах підвищеної запиленості та вологості.

2 ПРОЕКТУВАННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДА

2.1 Вибір раціональної системи електропривода

Процес вибору системи керування електроприводом ґрунтується на порівняльному аналізі технічних характеристик, до яких належать:

- діапазон регулювання швидкості;
- спосіб керування;
- ресурс та зносостійкість;
- діапазон допустимих потужностей електроприводів;
- енергетичні та динамічні показники;
- експлуатаційні умови.

Крім технічних параметрів, важливо враховувати економічну ефективність системи. Вартість володіння включає не лише початкові капіталовкладення, але й експлуатаційні витрати: витрати на обслуговування, ремонт та енергоспоживання. Найоптимальнішим є варіант, який забезпечує мінімальні сукупні витрати при довготривалому використанні.

У випадку, коли економічна ефективність кількох альтернатив є близькою, додатково розглядаються масогабаритні характеристики та умови встановлення обладнання.

На сучасному етапі найбільшого поширення набули системи електроприводів змінного струму, які відрізняються вищою надійністю, меншою вартістю порівняно з аналогами на постійному струмі, а також простішим обслуговуванням.

Для реалізації керування насосною установкою обирається скалярний тип управління асинхронними двигунами, що має низку важливих переваг:

- Енергозбереження: використання частотних перетворювачів дозволяє оптимізувати роботу насосного обладнання, зменшуючи споживання електроенергії в середньому на 30–60%, залежно від умов експлуатації.

- Зменшення витрати енергії та втрат у мережі – до 5%, завдяки стабілізації тиску і усуненню надлишкового напору.

- Оптимізація напору при збереженні стабільної продуктивності подачі.

- Зниження навантаження на механічну частину установки та зменшення споживаної потужності за рахунок регулювання швидкості обертання.

- Виключення втрат, пов'язаних із дроселюванням потоку, оскільки керування здійснюється не за допомогою клапанів, а шляхом зміни частоти обертання двигуна.

- Зниження реактивної потужності, що зменшує навантаження на мережу живлення.

Усі ці переваги роблять скалярне управління доцільним і ефективним рішенням для насосної установки в умовах сучасного виробництва.

2.2 Розробка функціональної схеми автоматизованого електропривода

Проектований автоматизований електропривод насосної установки включає в себе датчик тиску та регулятор тиску, на вхід якого подається сигнал, що є різницею між заданим значенням і сигналом зворотного зв'язку, отриманим від датчика.

Для підвищення точності регулювання до системи введено також зворотний зв'язок по струму електродвигуна, який дозволяє компенсувати падіння напруги на активному опорі обмотки статора. Цей сигнал вираховується з заданого значення ЕРС (електрорушійної сили) статора і подається на блок регулятора напруги.

Підтримання стабільного тиску в системі здійснюється шляхом зміни швидкості обертання електродвигуна за допомогою регулятора частоти.

У блоці керування силовими ключами обробляються сигнали, що надходять від регуляторів частоти та напруги. На основі цих сигналів

формується система керуючих імпульсів, які подаються на транзистори перетворювача частоти з імпульсним живленням (ПЧІН).

Функціональну схему системи зображено на рисунку 2.1.

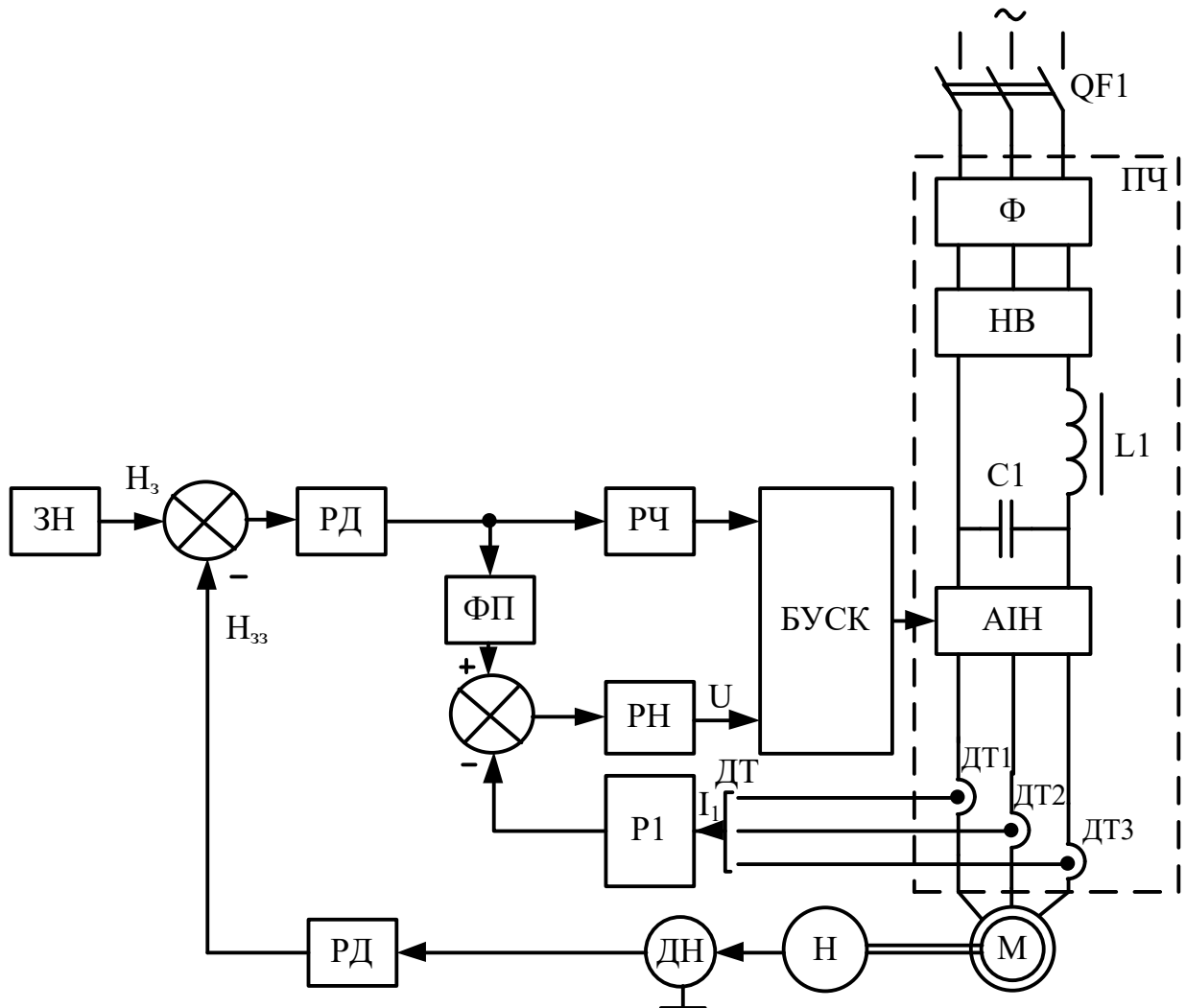


Рисунок 2.1 – Функціональна схема електроприводу насоса

На рисунку 2.1 позначено:

ЗН – задатчик напору;

H_3 – напруга сигналу задання напору;

H_{33} – напруга сигналу зворотного зв'язку за вимірюваним напором;

РД – регулятор тиску;

ФП – функціональний перетворювач ЕРС;

РЧ – регулятор частоти;

РН – регулятор напруги;

М – двигун;
Ф – фільтр;
L – індуктивність фільтра;
C1 – конденсатор фільтра;
Н – насос;
ПЧ – перетворювач частоти;
ДТ1-ДТ3 – датчики струму;
АІН – автономний інвертор напруги;
ДН – датчик напору;
НВ – некерований випрямляч;
R1 – активний опір статора;
E_з – задане значення ЕРС статора;
I₁ – струм статора,
f – частота,
K_{дн} – коефіцієнт зворотного зв'язку по напору,
U – напруга.

3 ВИБІР ЕЛЕКТРОДВИГУНА ТА ПЕРЕТВОРЮВАЧА ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

3.1 Розробка розрахункової системи механічної частини електропривода

У конструкції відцентрового насоса Grundfos NB 50-200/210 (рисунок 3.1) кінематична схема не передбачає використання муфт, редукторів або інших передавальних елементів.

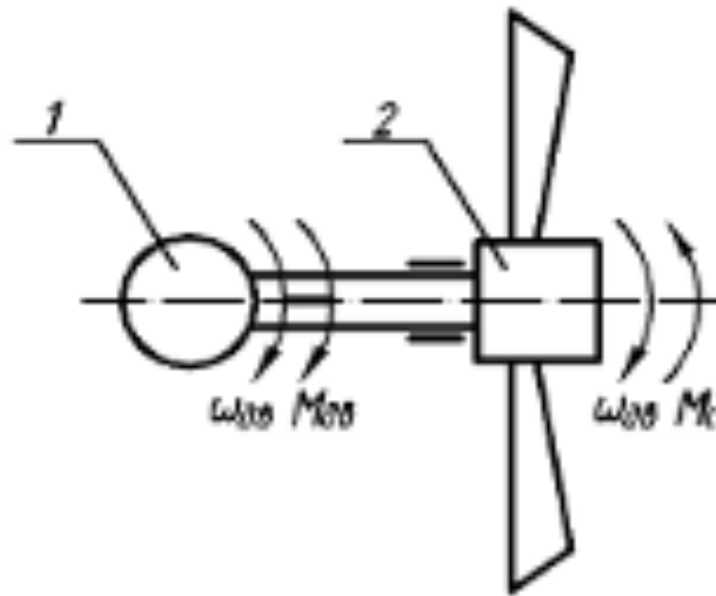


Рисунок 3.1 – Кінематична схема електроприводу

На рисунку 3.1: 1 – електродвигун; 2 – робоче колесо насоса.

Для проведення аналізу механічної частини електропривода реальний виконавчий механізм замінюється динамічно еквівалентною моделлю — наведеною розрахунковою схемою, яка включає дискретні інерційні елементи, з'єднані між собою пружними зв'язками, та має еквівалентний енергетичний запас порівняно з реальною системою.

Дискретним інерційним елементом вважається тіло з певним моментом інерції, де деформацією можна знехтувати. Пружна зв'язка — це елемент з пружними властивостями, маса якого в розрахунках не враховується. У

спрощеній моделі всі інерційні елементи здійснюють обертальний рух, розміщуючись на одній загальній осі.

Параметри такої системи можуть бути наведені до будь-якого вибраного пружного елемента механізму, найчастіше — до одного з валів. У цьому випадку формується розрахункова модель обертальної системи (див. рисунок 3.2), де:

- навантаження описуються крутними моментами (M),
- інерційні властивості — моментами інерції (J),
- пружні елементи — коефіцієнтами крутильної жорсткості (жорсткість на кручення).

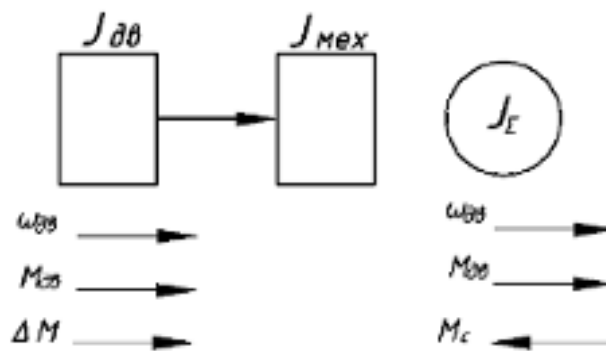


Рисунок 3.2 – Розрахункова наведена схема обертальної системи

Сумарний момент інерції електроприводу визначається як:

$$J = J_{dv} + J_{mex}. \quad (3.1)$$

Момент інерції двигуна дано в каталозі, а момент інерції робочого колеса насоса:

$$J_{mex} = k \cdot m \cdot R^2 = k \cdot \pi \cdot R^2 \cdot h \cdot \rho_{ст} \cdot R^2 = k \cdot \pi \cdot h \cdot \rho_{ст} \cdot R^4 \quad (3.2)$$

де h – товщина сталі робочого колеса насоса ($h=3$ мм);

$\rho_{ст}$ – щільність сталі ($\rho_{ст}=7,8$ т/м³);

R – радіус робочого колеса насоса ($R=105$ мм);

k – коефіцієнт, що враховує масу лопаток та інших частин механізму.

3.2 Механічні характеристики і навантажувальна діаграма механізму

На початковому етапі запуску електродвигуна, до моменту досягнення номінального тиску в системі та відкриття зворотного клапана, перекачуване середовище (нафта) циркулює в обмеженому об'ємі всередині насоса. У цей період гідравлічні втрати незначні, оскільки потік майже не проходить через трубопровідну мережу.

Механічне навантаження на вал двигуна при цьому визначається зміною опору робочого середовища, і змінюється згідно з наступним виразом:

$$M = M_0 \cdot \left(\frac{\omega}{\omega_n} \right)^2. \quad (3.3)$$

де M_0 – момент розвивається двигуном при нульовій витраті.

Після відкриття зворотного клапана в системі починається рух нафти по трубопроводу, що супроводжується виникненням гідравлічних втрат на тертя об стінки трубопроводу. Внаслідок цього навантаження на вал електроприводу змінюється відповідно до закону:

$$M = \frac{H \cdot Q \cdot \gamma}{\eta \cdot \omega}. \quad (3.4)$$

Для побудови технологічних характеристик необхідно використовувати умова стійкої роботи магістралі і турбомеханізму:

$$H_0 \left(\frac{\omega}{\omega_n} \right)^2 - (H_0 - H_n) \cdot \left(\frac{Q}{Q_n} \right)^2 = H_{n.маг} \cdot \left(\frac{Q}{Q_n} \right)^2. \quad (3.5)$$

При чому: $H_{н,т/м} = 57$ м; $H_0 = 65$ м; $Q_n = 80$ м³/год; $H_{н.маг} = 0,9$ м; $H_n = 0,9$ м.

$$Q_{н.маг} = 1,2 \cdot Q_n, \quad (3.6)$$

$$Q_{н.маг} = 1,2 \cdot 80 = 96 \text{ (м}^3 \text{ / год)}.$$

Підставимо початкові умови в (3.5):

$$H_0 \left(\frac{\omega}{\omega_H} \right)^2 - (H_0 - H_H) \cdot \left(\frac{Q}{Q_H} \right)^2 = 0,9 \cdot H_H \cdot \left(\frac{Q}{Q_H} \right)^2. \quad (3.7)$$

Виразимо Q через ω з (3.7). отримаємо залежність $Q=f(\omega)$:

$$Q = Q_H \sqrt{\frac{H_0 \cdot \left(\frac{\omega}{\omega_H} \right)^2}{H_0 - 0,1 \cdot H_H}}, \quad (3.8)$$

$$Q = Q_H \sqrt{\frac{65 \cdot \left(\frac{\omega}{303,5} \right)^2}{65 - 0,1 \cdot 57}}.$$

З рівняння (3.1) можна також виразити ω через Q:

$$\omega = \omega_H \sqrt{\frac{\left(\frac{Q}{Q_H} \right)^2 \cdot (H_0 - 0,1 \cdot H_H)}{H_0}}, \quad (3.9)$$

$$\omega = 303,5 \cdot \sqrt{\frac{\left(\frac{Q}{Q_H} \right)^2 \cdot 59,3}{65}}.$$

Характеристика магістралі розраховується по залежності:

$$H_{\text{маг}} = H_{\text{ст}} + H_{\text{дин}} = H_{\text{ст}} + K_{\text{маг}} \cdot \left(\frac{Q}{Q_{\text{н.маг}}} \right)^2. \quad (3.10)$$

Рівняння мережі при $H_{\text{ст}} = 0$ має вигляд:

$$H_{\text{маг}} = H_{\text{н.маг}} \cdot \left(\frac{Q}{Q_{\text{н.маг}}} \right)^2. \quad (3.11)$$

$$H_{\text{маг}} = 51,3 \cdot \left(\frac{Q}{80} \right)^2 = 0,00802 \cdot Q^2. \quad (3.12)$$

Якщо в (3.12) замість $H_{\text{маг}}$ підставити $H_{\text{т/м}}$ і прирівняти до (3.2), то отримаємо залежність $H = f(Q)$ насоса при даній швидкості ω .

$$H_0 \left(\frac{\omega}{\omega_H} \right)^2 - (H_0 - H_H) \cdot \left(\frac{Q}{Q_H} \right)^2 = H_{\text{т/м}}, \quad (3.13)$$

$$65 \cdot \left(\frac{\omega}{303,5} \right)^2 - (65 - 57) \cdot \left(\frac{Q}{80} \right)^2 = H_{\text{т/м}}.$$

Приклад розрахунку для подачі $Q=35 \text{ м}^3/\text{год}$.

$$\omega = 303,5 \cdot \sqrt{\frac{\left(\frac{35}{80} \right)^2 \cdot 59,3}{65}} = 126,83 (\text{рад/с}).$$

Змінюючи в формулі (3.13) значення подачі Q в діапазоні від 0 до 75 $\text{м}^3/\text{год}$, за допомогою програмного середовища Mathcad будуємо залежності $H=f(Q)$ для кожного значення кутової швидкості ω_i , що представлені на рисунку 3.3

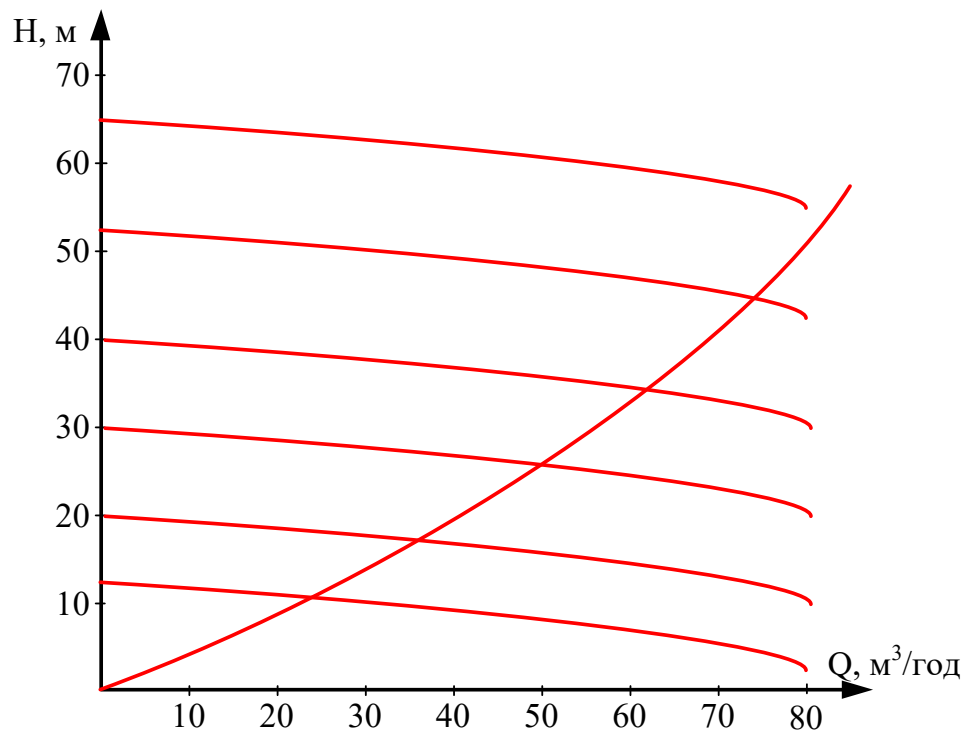


Рисунок 3.3 – Характеристики $H(Q)$ при зміні ω

З рисунку 3.3 видно, щоб підтримувати початковий натиск стабілізації $H_{\text{стаб.поч}} = 43$ м необхідно обчислити мінімальну об'ємну подачу:

$$Q = Q_n \sqrt{\frac{H}{H_{n.\text{маг}}}}, \quad (3.14)$$

$$Q = 80 \cdot \sqrt{\frac{43}{51,3}} = 73,25 (\text{м}^3 / \text{год}).$$

Таким чином, якщо об'єм споживаної нафти для подальшої переробки становитиме менше ніж $73,25 \text{ м}^3/\text{год}$, система керування підтримуватиме мінімальний (стабілізуючий) напір шляхом утримання швидкості обертання насоса на заданому рівні.

Враховуючи відоме значення об'ємної подачі Q , можна розрахувати відповідну кутову швидкість ω , за якої забезпечується необхідний мінімальний напір.

$$\omega = 303,5 \cdot \sqrt{\frac{\left(\frac{73,25}{80}\right)^2 \cdot 59,3}{65}} = 265,43 (\text{рад/с}).$$

При знайденій швидкості буде підтримуватися початковий стабілізуючий напір $H_{\text{стаб.поч}} = 43$ м.

Сумарні втрати:

$$P_{\Sigma} = \Delta P_{\text{мех}} + P_{\text{гідр}}. \quad (3.15)$$

де $P_{\text{мех}}$ – механічні втрати;

$P_{\text{гідр}}$ – гідравлічні втрати.

При $H_{\text{ст}}=0$ отримаємо $\eta_{\text{гідр}} = \eta_{\text{т/м}} = \text{const}$. Тоді:

$$P_{\Sigma} = \alpha_{\text{мех}} \cdot M_n \cdot \omega_n + \frac{Q_n \cdot H_n \cdot \gamma}{\eta_n} \cdot \left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^3, \quad (3.16)$$

Обертаючий момент:

$$M = \frac{P_{\Sigma}}{\omega}, \quad (3.17)$$

Здійснивши перетворення отримаємо:

$$M = M_H \cdot \left[\alpha_{\text{мех}} + \left(\frac{\omega}{\omega_H} \right)^2 \right]. \quad (3.18)$$

Номінальна потужність насоса:

$$P_{\text{ном.т/м}} = \frac{H_H \cdot \gamma \cdot Q_H}{\eta_H}, \quad (3.19)$$

$$P_{\text{ном.т/м}} = \frac{57 \cdot 9810 \cdot 80}{0,784 \cdot 3600} = 15849,5 \text{ (Вт)}.$$

Номінальний момент:

$$M = \frac{P_{\text{ном.т/м}}}{\omega_H}, \quad (3.20)$$

$$M = \frac{15849,5}{303,5} = 52,22 \text{ (Н} \cdot \text{м)}.$$

Підставляємо відомі дані та отримаємо

$$M = 52,22 \cdot \left[0,09 + \left(\frac{\omega}{303,5} \right)^2 \right]. \quad (3.21)$$

Змінюючи значення кутової швидкості ω в діапазоні від 0 до номінального значення $\omega_{\text{ном}}$, за допомогою програми Mathcad будуємо графік залежності крутного моменту від кутової швидкості $M=f(\omega)$, який представлено на рисунку 3.4.

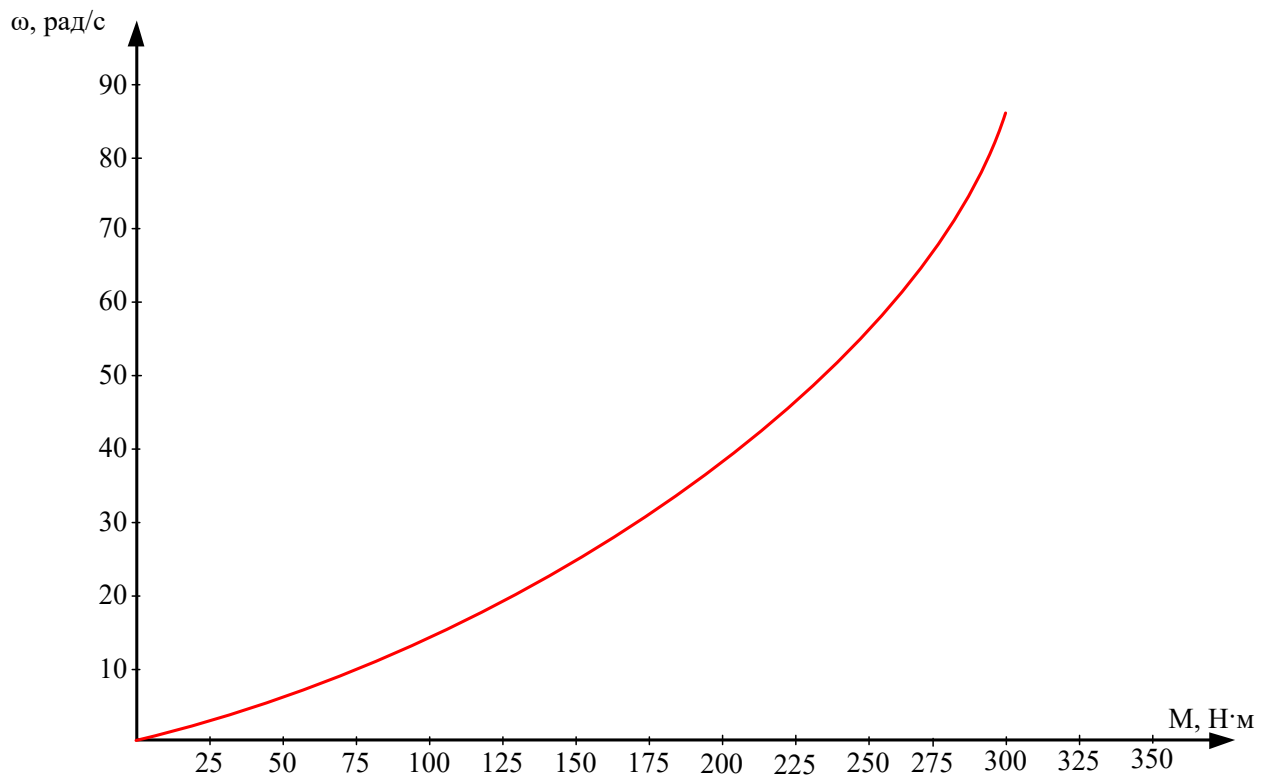


Рисунок 3.4 – Механічна характеристика насоса

3.3 Попередній вибір двигуна

На основі відомих значень подачі (продуктивності) насоса або сумарного напору розраховується потужність на валу приводного електродвигуна. Відповідно до отриманого значення здійснюється підбір необхідної потужності двигуна. Для відцентрового насоса визначення потужності на валу ґрунтується на розрахунку енергії, яка передається рідині за одиницю часу. Нехай:

F – перетин нафтопроводу, м^2 ;

m – маса нафти за секунду, кг/с ;

v – швидкість руху нафти, м/с ;

ρ – щільність нафти, м^3 ;

η_v, η_n – ККД насоса і використовуваної передачі.

Відомо:

$$n = F \cdot v \cdot \rho. \quad (3.22)$$

Тоді енергія рухомої води буде:

$$W = \frac{m \cdot v^2}{2} = \frac{F \cdot v^3 \cdot p}{2}. \quad (3.23)$$

Потужність на валу приводного двигуна:

$$P = \frac{F \cdot v^3 \cdot p}{2 \cdot \eta_b \cdot \eta_n} \cdot 10^{-3}. \quad (3.24)$$

В (3.24) можна виділити групи величин, відповідних подачі і натиску насоса:

$$Q = F \cdot v, \quad (3.25)$$

$$H = \frac{v^2 \cdot p}{2}. \quad (3.26)$$

З наведених виразів видно:

$$Q = c_1 \cdot \omega^2, \quad (3.27)$$

$$H = c_2 \cdot \omega^2. \quad (3.28)$$

де c , c_1 , c_2 – постійні величини.

З урахуванням спрощень, для відцентрових насосів прийнято, що між потужністю на валу двигуна та частотою обертання ротора існує степенева залежність. Проте через наявність статичного напору в системі, а також конструктивні особливості самого насоса, показник ступеня в правій частині рівняння (3.24) може дещо відрізнятись від ідеального значення.

Таким чином отримаємо:

$$P = \frac{Q \cdot H}{\eta_b \cdot \eta_n} = c \cdot \omega^3, \quad (3.29)$$

$$M = \frac{P}{\omega} = c \cdot \omega^3. \quad (3.30)$$

Основною робочою характеристикою насосів, вентиляторів і компресорів є залежність створюваного напору H від об'ємної подачі Q . Такі залежності, як правило, подаються у вигляді графіків $Q(H)$ для різних значень швидкості обертання механізму.

У даній роботі обрано насос Grundfos NB 50-200/210 з діаметром робочого колеса 200 мм. Його основні технічні параметри: подача — $Q = 80$ м³/год, напір — $H = 22 \cdot 10^{-3}$ м/с, коефіцієнт корисної дії — $\eta = 0,784$.

Для врахування додаткових навантажень приймаємо коефіцієнт запасу потужності $k_{\text{зап}} = 1,11$.

Необхідна для забезпечення стабільної роботи турбомеханізму потужність електродвигуна визначається за відповідною розрахунковою формулою.

$$P_n = k_z \cdot \left((1 + \alpha_{\text{мех}}) \cdot \frac{H_n \cdot \gamma \cdot Q_n}{\eta_{\text{нт/м}}} \right), \quad (3.31)$$

$$P_n = 1,1 \cdot \left((1 + 0,09) \cdot \frac{57 \cdot 9810 \cdot 80}{0,784 \cdot 3600} \right) = 17275 \text{ (Вт)}.$$

Розрахункова потужність електродвигуна з урахуванням запасу на пусковий момент:

$$P_{\text{розр}} = k_{\text{зап}} \cdot P_{\text{дв}}. \quad (3.32)$$

Коефіцієнт запасу потужності на пусковий момент для різних потужностей електродвигунів (таблиця 3.1).

Таблиця 3.1 – Коефіцієнт запасу потужності на пусковий момент

Потужність Р _{эд} , кВт	К зап. потуж.
до 0,5	1,5 - 2,0
Від 0,5-1,0	1,4
1,0-2,0	1,3
2,0-5,0	1,2
Більше 5,0	1,15

3.4 Вибір номінальної швидкості і типорозмірів двигуна

Двигун вибираємо за умови:

$$P_{\text{н.ад}} \geq P_{\text{н1}}. \quad (3.33)$$

Насоси Grundfos NB 50-200/210 комплектуються стандартними електродвигунами, що відповідають нормам ІЕС і DIN. Для вибору доступні двигуни двох класів енергоефективності: «Standart» (EFF2) та «Premium» (EFF1), зі швидкістю обертання 2900 об/хв.

Враховуючи вищезазначене, для насоса Grundfos NB 50-200/210 обираємо електродвигун серії «Standart» типу MMG 160L-E потужністю 18,5 кВт. Оскільки технічні характеристики та параметри схеми заміщення цього двигуна в каталогах відсутні, розрахунки будемо виконувати за даними аналогічного двигуна серії 4A (4A160M2).

Технічні параметри обраного двигуна наведені у таблиці 3.2

Таблиця 3.2 – Технічні параметри двигуна

Параметр	Значення
Потужність, кВт	18,5
Ковзання, %	2,3
ККД, %	88,5
Cos φ	0,92
Відношення максимального моменту до номінального $M_{\text{max}}/M_{\text{ном}}$	2,2
Відношення пускового моменту до номінального $M_{\text{п}}/M_{\text{ном}}$	1,4
Відношення мінімального моменту до номінального $M_{\text{мін}}/M_{\text{ном}}$	12,5

Продовження таблиці 3.2.

Відношення пускового струму до номінального $I_{\Pi}/I_{\text{ном}}$	7,5
Момент інерції двигуна $J_{\text{д}}$, $\text{кг}\cdot\text{м}^2$	0,053
Опір намагнічування x_{μ}^*	4,5
Приведений активний опір статора R_1^* , Ом	0,049
Приведений індуктивний опір статора x_1^* , Ом	0,092
Приведений активний опір ротора R_2^* , Ом	0,022
Приведений індуктивний опір ротора $x_2'^*$, Ом	0,12

Для побудови механічної характеристики двигуна необхідно визначити наступне.

Номінальний струм статора:

$$I_{1\text{ном}} = \frac{P_{\text{ном}}}{3 \cdot U_{\phi.\text{ном}} \cdot \eta_{\text{ном}} \cdot \cos\varphi_{\text{ном}}}, \quad (3.34)$$

$$I_{1\text{ном}} = \frac{18500}{3 \cdot 220 \cdot 0,885 \cdot 0,92} = 34,4 (\text{А}).$$

Повний фазний опір:

$$Z_{\phi} = \frac{U_{\phi.\text{ном}}}{I_{1\text{ном}}}, \quad (3.35)$$

$$Z_{\phi} = \frac{220}{34,4} = 6,4 (\text{Ом}).$$

Знайдемо абсолютні параметри двигуна:

$$X_{\mu} = X_{\mu}^* \cdot Z_{\phi}, \quad (3.36)$$

$$X_{\mu} = 4,5 \cdot 6,4 = 28,8 (\text{Ом}),$$

$$X_1 = X_1^* \cdot Z_{\phi}, \quad (3.37)$$

$$X_1 = 0,092 \cdot 6,4 = 0,59 (\text{Ом}),$$

$$X_2 = X_2^* \cdot Z_{\phi}, \quad (3.38)$$

$$X_2 = 0,12 \cdot 6,4 = 0,77 (\text{Ом}),$$

$$R_1 = R_1^* \cdot Z_{\phi}, \quad (3.39)$$

$$R_1 = 0,049 \cdot 6,4 = 0,31 (\text{Ом}),$$

$$R_2 = R_2^* \cdot Z_{\phi}, \quad (3.40)$$

$$R_2 = 0,022 \cdot 6,4 = 0,14 (\text{Ом}).$$

Природна механічна характеристика при $s < s_{\text{кр}}$ визначається за уточненою формулою Клосса:

$$M = \frac{2 \cdot M_{\text{к}} \cdot (1 + a \cdot |s_{\text{к}}|)}{\frac{s}{s_{\text{к}}} + \frac{s_{\text{к}}}{s} + 2 \cdot a \cdot |s_{\text{к}}|}, \quad (3.41)$$

$$M_{\text{к}} = \frac{3 \cdot U_{\text{ф.ном}}^2}{2 \cdot \omega_0 \cdot (R_1 \pm \sqrt{R_1^2 + X_{\text{к}}^2})}, \quad (3.42)$$

$$a = \frac{R_1}{R_2}, \quad (3.43)$$

$$a = \frac{0,31}{0,14} = 2,21,$$

$$X_{\text{к}} = X_1 + X_2^I, \quad (3.44)$$

$$X_{\text{к}} = 0,59 + 0,77 = 1,36 (\text{Ом}),$$

$$M_k = \frac{3 \cdot 220^2}{2 \cdot 303,5 \cdot (0,31 + \sqrt{0,31^2 + 1,36^2})} = 140,3 \text{ (Н} \cdot \text{м)},$$

$$M = \frac{2 \cdot 140,3 \cdot (1 + 2,21 \cdot 0,12)}{\frac{s}{0,12} + \frac{0,12}{s} + 2 \cdot 2,21 \cdot 0,12} = \frac{355}{\frac{s}{0,12} + \frac{0,12}{s} + 0,53}.$$

При $s > s_{кр}$ застосуємо формулу Чекунова:

$$K_s = \frac{\frac{\lambda_n}{\lambda_m} \cdot \left(\frac{1}{s_k} + s_k \right) - 2}{1 - s_k^2}, \quad (3.45)$$

$$\lambda_n = \frac{M_{пуск}}{M_{ном}} = 1,4,$$

$$\lambda_m = \frac{M_{макс}}{M_{ном}} = 2,2,$$

$$\omega = \omega_0 \cdot (1 - s), \quad (3.46)$$

$$\omega = 314 \cdot (1 - s),$$

$$K_s = \frac{\frac{1,4}{2,2} \cdot \left(\frac{1}{0,12} + 0,12 \right) - 2}{1 - 0,12^2} = 3,43,$$

$$M = M_k \cdot \frac{2 + (s^2 - s_k^2) \cdot K_s}{\frac{s}{s_k} + \frac{s_k}{s}}, \quad (3.47)$$

$$M = 140,3 \cdot \frac{2 + (s^2 - 0,12^2) \cdot 3,43}{\frac{s}{0,12} + \frac{0,12}{s}}.$$

Змінюючи значення S від 0 до $S_{кр}$ за уточненою формулою Клосса, а також від $S_{кр}$ до 1 за формулою Чекунова за допомогою програми Mathcad будемо графік залежності $M = f(\omega)$ (рисунок 3.5).

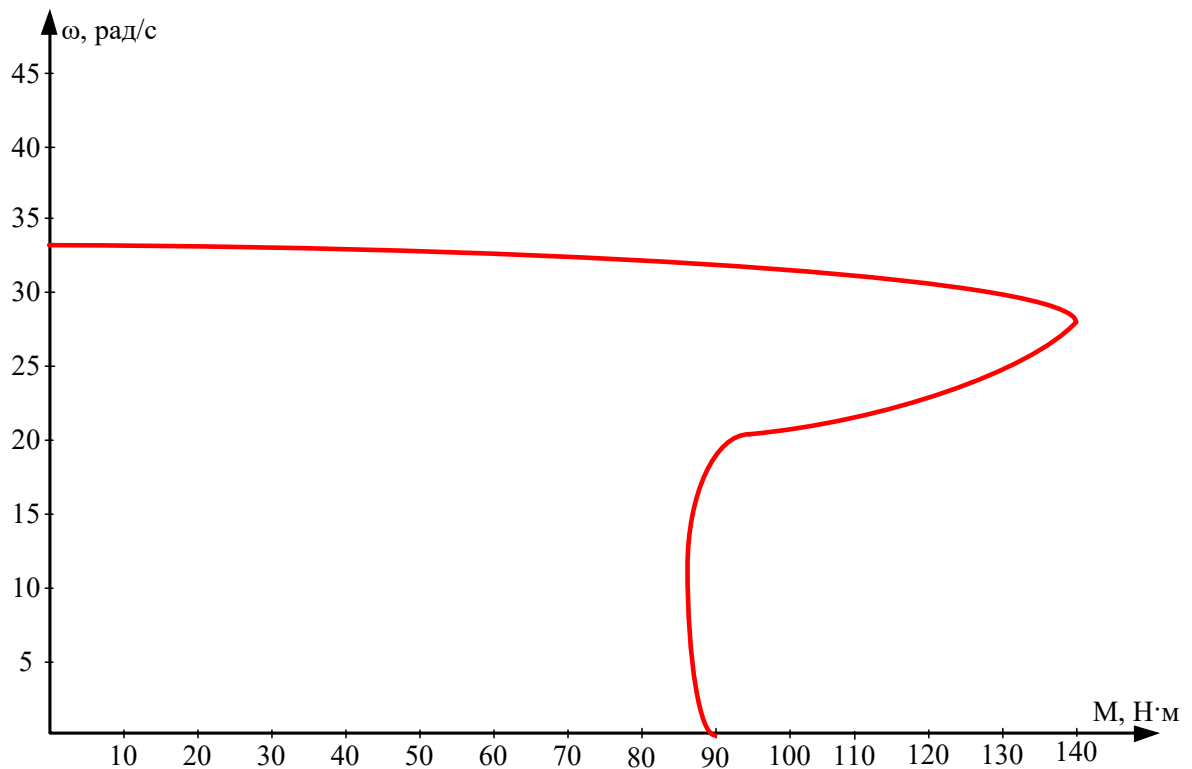


Рисунок 3.5 – Природна механічна характеристика двигуна

3.5 Навантажувальна діаграма електропривода

Оскільки момент і струм мають лінійну залежність, навантажувальну діаграму будують для моменту, який визначається за основним рівнянням руху електроприводу:

$$M = M_{\text{ст}} + J \frac{d\omega}{dt} = M_{\text{ст}} + M_{\text{дин}}, \quad (3.48)$$

де $M_{\text{ст}}$ – статичний момент на валу двигуна, Н·м;

J – сумарний момент інерції електроприводу, кг·м²;

ω – кутова швидкість двигуна, рад / с.

Динамічний момент електроприводу $M_{\text{дин}}$ попередньо оцінюють наближено, виходячи з припущення лінійної зміни швидкості:

$$M_{\text{дин}} = J \frac{d\omega}{dt} \approx J \frac{\omega_y}{t_{\text{п,г}}}. \quad (3.49)$$

де ω_y – стала швидкість двигуна на даному інтервалі швидкісний діаграми, рад / с,

$t_{п, т}$ – час пуску (гальмування), с.

Час пуску:

$$t_{п} = (J_{дв} + J_{мех}) \frac{\omega_{н}}{M_{дин.ср}}. \quad (3.50)$$

Момент інерції робочого колеса насоса:

$$M_{дин.ср} = M_{ад.ср} - M_{мех.ср}, \quad (3.51)$$

$$M_{ад.ср} = \frac{1}{\omega_{ном}} \int_0^{\omega_{ном}} M_{ад}(\omega) d\omega, \quad (3.52)$$

$$\begin{aligned} M_{мех.ср} &= \frac{1}{\omega_{ном}} \int_0^{\omega_{ном}} M_{т/м}(\omega) d\omega = \frac{1}{\omega_{ном}} \int_0^{\omega_{ном}} M_{т/м} \left(\frac{\omega}{\omega_{ном}} \right)^3 d\omega = \\ &= \frac{H_{ном} \cdot Q_{ном} \cdot \gamma}{4 \cdot \eta_{т/м.ном} \cdot \omega_{ном}}, \end{aligned} \quad (3.53)$$

$$M_{мех.ср} = \frac{57 \cdot 0,02222 \cdot 9,81 \cdot 10^3}{4 \cdot 0,784 \cdot 303,5} = 13,1 (\text{Н} \cdot \text{м}).$$

Для визначення $M_{ад.ср}$ потрібно обчислити площу фігури, обмеженої віссю X та кривою $M=f(\omega)$ на природній механічній характеристиці. Отримане значення слід поділити на номінальну швидкість $\omega_{ном}$.

Щоб знайти площу, природну механічну характеристику розбивають на декілька елементарних ділянок і обчислюють суму їх площ.

$$s = \frac{314 + 302}{2} \cdot 85 + \frac{5 \cdot 100}{2} + \frac{202 \cdot 55,3}{2} = 32015,$$

$$M_{ад.ср} = \frac{5914,3}{303,5} = 19,5 (\text{Н} \cdot \text{м}),$$

$$t_{п} = (0,053 + 0,018) \cdot \frac{303,5}{19,5 - 13,1} = 3,36 (\text{с}).$$

Динамічний момент :

$$M_{\text{дин}} = J_{\Sigma} \cdot \frac{\omega_{\text{ном}}}{t_{\text{п}}}, \quad (3.54)$$

$$M_{\text{дин}} = 0,071 \cdot \frac{303,5}{3,36} = 6,41 (\text{Н} \cdot \text{м}).$$

Подальше побудова навантажувальної діаграми здійснюється з урахуванням того, що під час пуску електроприводу його навантажувальна діаграма визначається за наступною формулою:

$$M_{\text{п}} = M_{\text{ст}} + M_{\text{дин}}. \quad (3.55)$$

Після досягнення електроприводом сталої швидкості навантажувальна діаграма описується наступним рівнянням:

$$M_{\text{уст}} = M_{\text{ст}}. \quad (3.56)$$

На ділянках зменшення швидкості рівняння руху електроприводу має такий вигляд:

$$M_{\text{т}} = M_{\text{ст}} - M_{\text{дин}}. \quad (3.57)$$

На основі раніше отриманих даних для побудови навантажувальної діаграми механізму, побудуємо навантажувальну діаграму електроприводу, що наведена на рисунку 3.6.

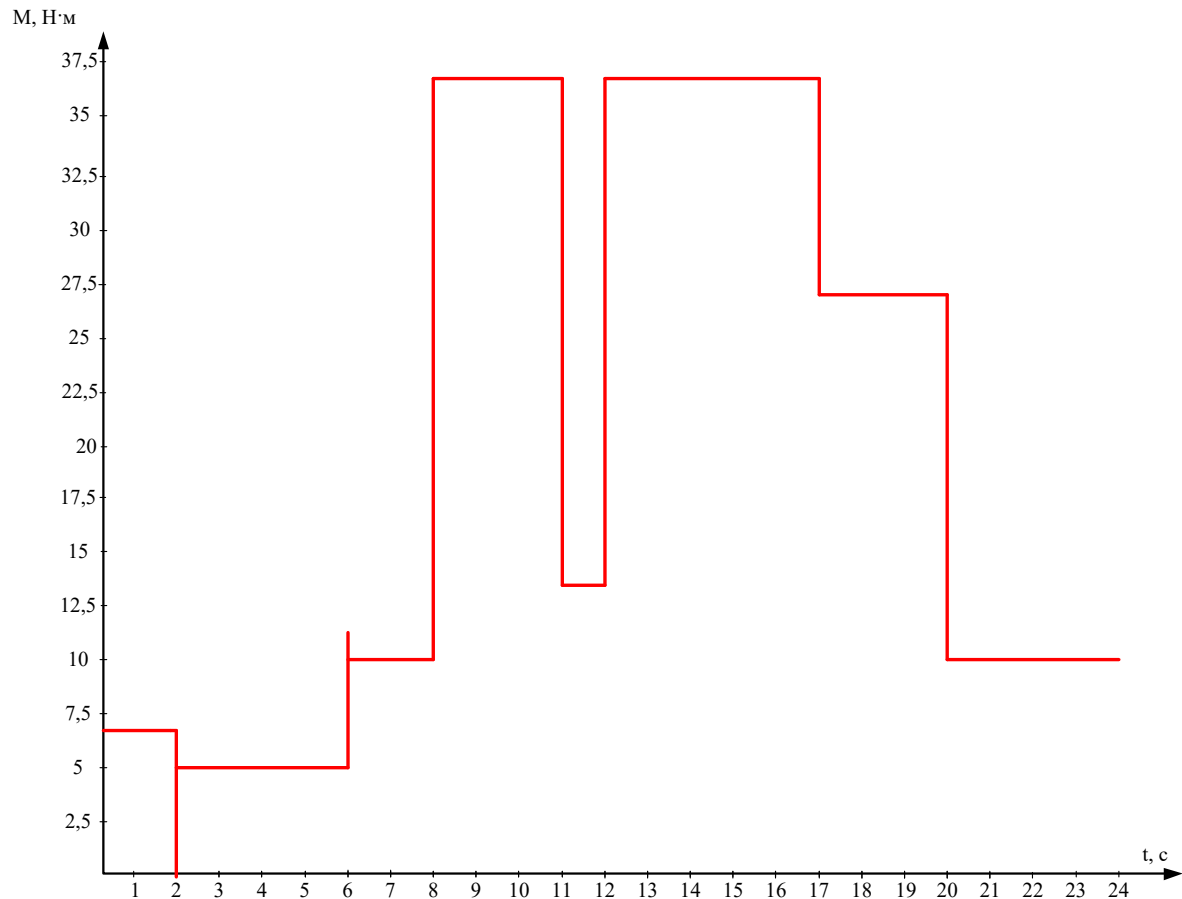


Рисунок 3.6 – Навантажувальна діаграма електроприводу

3.6 Перевірка вибраного електродвигуна

Зробимо перевірку обраного електродвигуна по нагріванню.

Температура нагріву двигуна:

$$Q_{\pi} = Q_0 + v_{\tau} \cdot t_{\pi}. \quad (3.58)$$

де Q_0 – температура початкового підігріву двигуна;

v_{τ} – швидкість наростання температури обмотки електродвигуна. З [6]

$$v_{\tau} = 10,3 \text{ }^{\circ}\text{C}/\text{с};$$

t_{π} – час прямого пуску електродвигуна ($t_{\pi} = 3,36 \text{ с}$).

Температура початкового підігріву двигуна:

$$\Theta_0 = \Theta_c + (\Theta_{\text{ном}} - 45) \cdot \frac{\Delta P_p}{\Delta P_n}. \quad (3.59)$$

де: Θ_c – температура середовища насосної станції.

Виходячи з умов роботи установки температура нафти у видатковому резервуарі коливається в межах:

1. Взимку температура води становить 7 ... 12 °С;
2. Влітку температура води становить 16 ... 20 °С.

Прийmemo найбільш важкий режим роботи і прийmemo $\Theta_c = 20$ °С.

$\Theta_{\text{ном}} = 150$ °С – номінальна температура нагріву ізоляції класу F.

$$\Delta P_n = P_n \cdot \frac{1 - \eta_n}{\eta_n}, \quad (3.60)$$

$$\Delta P_n = 18500 \cdot \frac{1 - 0,885}{0,885} = 2403 \text{ (Вт)},$$

$$\Delta P_p = \Delta P_n \cdot \frac{M_{n,n}}{M_n}, \quad (3.61)$$

$$\Delta P_p = 2403 \cdot \frac{52,22}{60,96} = 2058 \text{ (Вт)}.$$

Температура початкового підігріву двигуна:

$$\Theta_0 = 20 + (150 - 45) \cdot \frac{2058}{2403} = 94,5 \text{ (}^\circ\text{C)}.$$

Обчислимо температуру нагрівання двигуна:

$$Q_n = 94,5 + 10,3 \cdot 3,36 = 129,1 \text{ (}^\circ\text{C)}.$$

Якщо двигун підходить по нагріванню, то має виконуватися умова:

$$\Theta_n \leq \Theta_{\text{доп}}. \quad (3.62)$$

де: $\Theta_{\text{доп}}$ – температура, яку одноразово може перевищити двигун за час прямого пуску. Для ізоляції класу F допустима температура дорівнює $\Theta_{\text{доп}} = 200$ °С.

Умова виконується, так як $129,1 \leq 200 \text{ }^{\circ}\text{C}$, і отже двигун по нагріванню підходить.

Далі необхідно виконати перевірку обраного електродвигуна по перевантажувальній здатності.

Проведемо перевірку двигуна з урахуванням можливого зниження напруги мережі на 10%.

$$M_{\text{доп}} = 0,9^2 \cdot \lambda_m \cdot M_{\text{ном}}, \quad (3.63)$$

$$M_{\text{доп}} = 0,9^2 \cdot 2,2 \cdot 60,96 = 108,63 (\text{Н} \cdot \text{м}).$$

Так як двигун працює в безперервному режимі, то максимальний момент навантаження:

$$M_{\text{нагр.мак}} = \frac{P_{\text{ном.т/м}}}{\omega_{\text{ном}}}, \quad (3.64)$$

$$M_{\text{нагр.мак}} = \frac{15849,5}{303,5} = 52,22 (\text{Н} \cdot \text{м}).$$

Умова вибору електродвигуна по перевантажувальній здібності:

$$M_{\text{нагр.мак}} < M_{\text{доп}},$$

$$52,22 (\text{Н} \cdot \text{м}) < 108,63 (\text{Н} \cdot \text{м}).$$

Умова виконується, значить двигун по перевантажувальній здатності підходить.

3.7 Обґрунтування вибору виду перетворювача електричної енергії

Переваги використання частотних перетворювачів у системах електроприводу

1. Спрощення конструкції та зменшення витрат: Частотне регулювання дозволяє відмовитися від використання редукторів, дроселів та інших елементів механічного регулювання. Це істотно спрощує механічну частину установки, підвищує її надійність і зменшує витрати на обслуговування.

2. Плавний пуск і продовження ресурсу: пуск електродвигуна здійснюється поступово, без стрибків струму та ударних навантажень. Завдяки цьому зменшується знос обладнання, підвищується надійність і подовжується термін експлуатації двигуна і привідної механіки.

3. Висока точність і адаптивність керування: застосування частотних перетворювачів зі зворотним зв'язком забезпечує стабільну підтримку швидкості обертання навіть при змінних навантаженнях. Це суттєво покращує якість технологічного процесу.

4. Енергоефективність: частотний перетворювач споживає тільки ту кількість енергії, яка дійсно необхідна для виконання роботи. При цьому він виступає активним навантаженням для електромережі, мінімізуючи втрати енергії.

5. Альтернатива постійному струму: у поєднанні з асинхронним двигуном частотний перетворювач може замінити приводи постійного струму, зменшуючи експлуатаційні витрати і підвищуючи надійність та перевантажувальну здатність системи.

6. Значна економія енергії: застосування частотного регулювання дозволяє зменшити непродуктивні втрати енергії (наприклад, на дроселювання) до 80%, залежно від характеру навантаження.

Функціональні можливості частотного перетворювача

- Широкий діапазон частот: регулювання частоти в межах від 0 до 400 Гц.
- Гнучке керування розгоном та гальмуванням: налаштування часу в межах 0,1 с – 30 хв; можливий плавний реверс.
- Підвищення пускового моменту: до 150% від номінального значення.
- Захист обладнання: повний електронний захист двигуна і ПЧ від перевантажень, перегріву, витоку на землю, обривів ліній.
- Моніторинг: відображення основних параметрів (швидкість, частота, струм, потужність, стан входів тощо).

- Гнучке налаштування вольт-частотної характеристики: можливість використання стандартних або користувацьких кривих.

Режим енергозбереження

Ця функція дозволяє зменшити споживання електроенергії на 5–30% за рахунок підтримки двигуна в зоні максимальної ефективності. Частотник автоматично регулює напругу, орієнтуючись на струм споживання і навантаження. Це особливо ефективно при:

- регулюванні обертів вентиляторів і насосів;
- роботі з обладнанням, що має змінне навантаження;
- використанні в системах, де двигуни тривалий час працюють з частковим навантаженням

Для вибору перетворювача частоти необхідно, щоб виконувались умови:

1. Напруга вихідна напруга перетворювача $U_{\text{пр}} \geq 380\text{В}$.
2. Номінальний струм перетворювача не менше:

$$I_{\text{ном}} = \frac{P_{\text{ном}}}{3U_{\text{ф.ном}} \cdot \eta_{\text{ном}} \cdot \cos \varphi_{\text{ном}}}, \quad (3.65)$$

$$I_{\text{ном}} = \frac{18500}{3 \cdot 220 \cdot 0,885 \cdot 0,92} = 34,4(\text{А}).$$

3. Кратність максимального струму перетворювача 2.
4. Мінімальна ціна перетворювача.
5. Ступінь захисту корпусу – IP44.
6. Наявність макропрограми для управління двома насосами за наступною схемою: один основний, другий – резервний.

Цим умовам відповідає перетворювач частоти фірми АВВ типу ACS550-01-012A-4. Його параметри представлені в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Технічні параметри перетворювача частоти ACS550-01-038A-4

$P_{\text{ном}}, \text{кВт}$	$I_{\text{ном}}, \text{А}$	$U_{\text{ном}}, \text{В}$
18500	38	380-480

3.8 Розрахунок параметрів і вибір елементів силового кола

Для силового кола потрібно розрахувати ємність С-фільтра (рисунок 3.7).

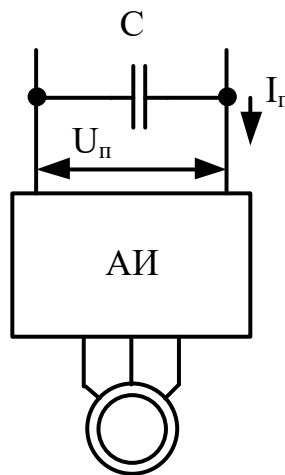


Рисунок 3.7 – Силове коло з ємністю

Струм, який протікає по силовому колу:

$$\Delta U_{\text{п}} = 380 \cdot \sqrt{3} \cdot 0,05 = 33 (\text{В}).$$

Струм:

$$I_{\text{п}} = 2 \cdot \frac{3 \cdot U_{\text{лн}} \cdot I_{\text{лн}} \cdot \cos \varphi_{\text{н}}}{U_{\text{п}}}, \quad (3.66)$$

$$I_{\text{п}} = 2 \cdot \frac{3 \cdot 220 \cdot 34,4 \cdot 0,92}{380 \cdot \sqrt{3}} = 63,5 (\text{А}).$$

Ємність обчислюємо за формулою:

$$C = \frac{I_n \cdot \Delta t}{\Delta U_n}, \quad (3.67)$$

$$\Delta t = \frac{1}{f_k}, \quad (3.68)$$

$$\Delta t = \frac{1}{2000} = 0,0005(\text{с}),$$

$$C = \frac{34,4 \cdot 0,0005}{33} = 521(\text{мкФ}).$$

4 ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ

4.1 Вибір датчиків системи автоматичного керування електропривода

Вибираємо датчик зворотного зв'язку по тиску – CS-PT100, основні технічні дані якого наведені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Основні технічні дані датчика тиску CS-PT100

Параметр	Значення
Діапазон вимірювання	0 ~ 12.6 бар
Перевантаження тиску	250%
Вихідний сигнал	4 ~ 20 мА
Напруга живлення	24V DC
Сумарна похибка	0,5%
Час спрацювання	10 мсек
Температура термокомпенсації	10 ~ +60°C
Робоча температура	-40 ~ +85°C
Ступінь захисту	IP65

4.2 Розробка моделі автоматизованого електропривода

Автоматизований електропривод складається з:

- асинхронного двигун з короткозамкненим ротором;
- перетворювач частоти з системою управління;
- відцентровий насос.

При формуванні моделі трифазного асинхронного двигуна будемо дотримуватися наступних припущень:

- 1) рівномірний повітряний зазор;

- 2) відсутність втрат на гістерезис і вихрові струми;
- 3) обмотки статора і ротора симетричні та зсунуті на 120° ;
- 4) обмотки статора і ротора синусоїдально розподілені в просторі;
- 5) магнітна система машини не насичена.

Система рівнянь для трифазного асинхронного двигуна через струми і потокозчеплення статора і ротора в природній системі координат:

$$u_{1a} = i_{1a} \cdot R_1 + \frac{d\psi_{1a}}{dt}, \quad (4.1)$$

$$u_{1b} = i_{1b} \cdot R_1 + \frac{d\psi_{1b}}{dt}, \quad (4.2)$$

$$u_{1c} = i_{1c} \cdot R_1 + \frac{d\psi_{1c}}{dt}, \quad (4.3)$$

$$0 = i_{2a}^I \cdot R_2^I + \frac{d\psi_{2a}}{dt} + \frac{p_n \cdot \omega}{\sqrt{3}} \cdot (\psi_{2b} - \psi_{2c}), \quad (4.4)$$

$$0 = i_{2b}^I \cdot R_2^I + \frac{d\psi_{2b}}{dt} + \frac{p_n \cdot \omega}{\sqrt{3}} \cdot (\psi_{2c} - \psi_{2a}), \quad (4.5)$$

$$0 = i_{2c}^I \cdot R_2^I + \frac{d\psi_{2c}}{dt} + \frac{p_n \cdot \omega}{\sqrt{3}} \cdot (\psi_{2a} - \psi_{2b}), \quad (4.6)$$

$$\psi_{1a} = L_{1a} \cdot i_{1a} - \frac{L_m}{2} \cdot i_{1b} - \frac{L_m}{2} \cdot i_{1c} + L_m \cdot \left(i_{2a}^I - \frac{i_{2b}^I}{2} - \frac{i_{2c}^I}{2} \right), \quad (4.7)$$

$$\psi_{1b} = L_{1b} \cdot i_{1b} - \frac{L_m}{2} \cdot i_{1a} - \frac{L_m}{2} \cdot i_{1c} + L_m \cdot \left(i_{2b}^I - \frac{i_{2a}^I}{2} - \frac{i_{2c}^I}{2} \right), \quad (4.8)$$

$$\psi_{1c} = L_{1c} \cdot i_{1c} - \frac{L_m}{2} \cdot i_{1a} - \frac{L_m}{2} \cdot i_{1b} + L_m \cdot \left(i_{2c}^I - \frac{i_{2a}^I}{2} - \frac{i_{2b}^I}{2} \right), \quad (4.9)$$

$$\psi_{2a} = L_{2a} \cdot i_{2a}^I - \frac{L_m}{2} \cdot i_{2b}^I - \frac{L_m}{2} \cdot i_{2c}^I + L_m \cdot \left(i_{1a} - \frac{i_{1b}}{2} - \frac{i_{1c}}{2} \right), \quad (4.10)$$

$$\psi_{2b} = L_{2b} \cdot i_{2b}^I - \frac{L_m}{2} \cdot i_{2a}^I - \frac{L_m}{2} \cdot i_{2c}^I + L_m \cdot \left(i_{1b} - \frac{i_{1a}}{2} - \frac{i_{1c}}{2} \right), \quad (4.11)$$

$$\psi_{2c} = L_{2c} \cdot i_{2c}^I - \frac{L_m}{2} \cdot i_{2a}^I - \frac{L_m}{2} \cdot i_{2b}^I + L_m \cdot \left(i_{1c} - \frac{i_{1a}}{2} - \frac{i_{1b}}{2} \right), \quad (4.12)$$

$$M = p_n \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot L_m \cdot \left[\left(i_{1a} \cdot i_{2c}^I + i_{1b} \cdot i_{2a}^I + i_{1c} \cdot i_{2b}^I \right) - \left(i_{1a} \cdot i_{2b}^I + i_{1b} \cdot i_{2c}^I + i_{1c} \cdot i_{2a}^I \right) \right]. \quad (4.13)$$

$$L_{1a} = L_{1b} = L_{1c} = L_m + L_{1\sigma} = L_{1\phi}, \quad (4.14)$$

$$L_{2a} = L_{2b} = L_{2c} = L_m + L_{2\sigma} = L_{2\phi}, \quad (4.15)$$

де $L_{1\phi}$ – повна індуктивність фази статора;

$L_{2\phi}$ – повна індуктивність фази ротора;

L_m – максимальне значення взаємної індуктивності між фазами статора і ротора;

$L_{1\sigma}$ – індуктивність розсіювання фази статора;

$L_{2\sigma}$ – індуктивність розсіювання фази ротора.

У нашому випадку при регулюванні тиску асинхронний двигун працює на лінійній частині механічної характеристики, тому:

$$T_e \frac{dM}{dt} + M = \beta \cdot (\omega_0 - \omega). \quad (4.16)$$

де T_e – електромагнітна постійна часу, с;

β – жорсткість статичної характеристики асинхронного двигуна.

Рівняння руху електроприводу має вигляд:

$$M - M_c = J_c \frac{d\omega}{dt}. \quad (4.17)$$

За відсутності протитиску статичний момент відцентрового насоса має квадратичну залежність від швидкості:

$$M_c = M_{тр} + M_0 \cdot \left(\frac{\omega}{\omega_{ном}} \right)^2. \quad (4.18)$$

де $M_{тр}$ – момент від сил тертя.

Об'єкт керування можна відносно напору H на виході трубопроводу при змінній витраті Q нафти:

$$H = H_0 \left(\frac{\omega}{\omega_{\text{ном}}} \right)^2 - C \cdot Q^2. \quad (4.19)$$

де H_0 – напір при закритій засувці;

C – коефіцієнт;

Q – витрата рідини.

Регулювання тиску при змінній витраті Q здійснюється за рахунок зміни швидкості двигуна при регулюванні частоти на виході перетворювача:

$$\omega = \omega_0 (1 - s) = \frac{2 \cdot \pi \cdot f_1}{p_n} \cdot (1 - s). \quad (4.20)$$

Керуючий пристрій передбачає ПІ-регулятор тиску з передавальною функцією:

$$W_p = k_p + \frac{k_p}{T_i \cdot p}. \quad (4.21)$$

де k_p – коефіцієнт посилення регулятора,

T_i – постійна часу інтегратора регулятора тиску.

На підставі (4.16) - (4.21) складаємо структурну схему моделі автоматизованого електроприводу для стабілізації напору при змінній витраті (рисунок 5.1).

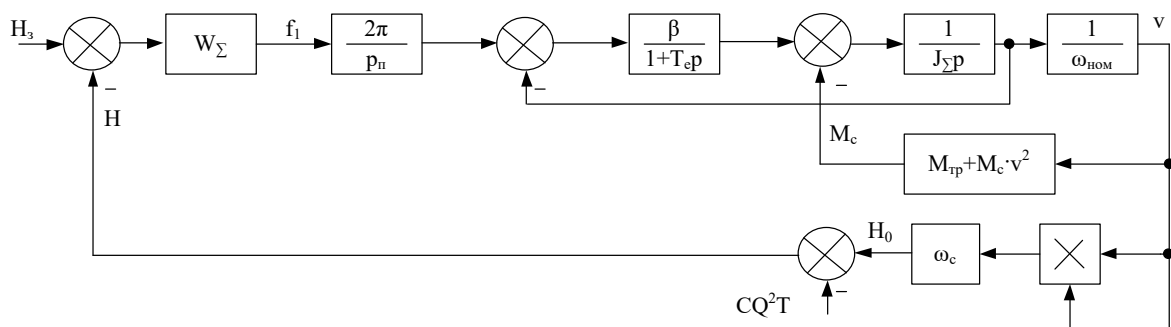


Рисунок 5.1 – Структурна схема автоматизованого електроприводу при стабілізації напору

4.3 Розрахунок параметрів об'єкта управління

Розрахуємо параметри схеми заміщення.

Повний фазний опір:

$$Z_{\phi} = \frac{U_{\phi H}}{I_H}, \quad (4.22)$$

$$Z_{\phi} = \frac{220}{34,4} = 6,4(\text{Ом}).$$

Параметри асинхронного двигуна в абсолютних одиницях:

$$X_{\mu} = X_{\mu}^* \cdot Z_{\phi}, \quad (4.23)$$

$$X_{\mu} = 4,5 \cdot 6,4 = 28,8(\text{Ом}),$$

$$X_1 = X_1^* \cdot Z_{\phi}, \quad (4.24)$$

$$X_1 = 0,092 \cdot 6,4 = 0,59(\text{Ом}),$$

$$X_2^I = X_2^* \cdot Z_{\phi}, \quad (4.25)$$

$$X_2^I = 0,12 \cdot 6,4 = 0,77(\text{Ом}),$$

$$R_1 = R_1^* \cdot Z_{\phi}, \quad (4.26)$$

$$R_1 = 0,049 \cdot 6,4 = 0,31(\text{Ом}),$$

$$R_2 = R_2^* \cdot Z_{\phi}, \quad (4.27)$$

$$R_2 = 0,022 \cdot 6,4 = 0,14(\text{Ом}),$$

$$X_k = X_1 + X_2^I, \quad (4.28)$$

$$X_k = 0,59 + 0,77 = 1,36(\text{Ом}).$$

Жорсткість статичної механічної характеристики двигуна:

$$\beta = \frac{2M_k}{\omega_{0H} \cdot S_k}, \quad (4.29)$$

$$\beta = \frac{2 \cdot 2,2 \cdot 60}{314 \cdot 0,12} = 7 \left(\frac{\text{Н} \cdot \text{м} \cdot \text{с}}{\text{рад}} \right).$$

Електро механічна стала часу:

$$T_m = \frac{J}{\beta}, \quad (4.30)$$

$$T_m = \frac{0,071}{7} = 0,01(\text{с}).$$

Електромагнітна стала часу:

$$T = \frac{1}{\omega_{0H} \cdot S_k}, \quad (4.31)$$

$$T = \frac{1}{314 \cdot 0,12} = 0,026(\text{с}).$$

Лінеаризуємо механічну характеристику насоса на ділянці від $\omega = 213$ рад/с до $\omega = 307$ рад/с, що відповідає роботі насоса з тиском 30-60 м.

Коефіцієнт жорсткості механічної характеристики механізму:

$$\beta = \frac{M_{\text{НОМ}} - M_{\text{МІН}}}{\omega_{\text{НОМ}} - \omega_{\text{МІН}}}, \quad (4.32)$$

$$\beta = \frac{53,4 - 25,7}{307 - 213} = 0,295 \left(\frac{\text{Н} \cdot \text{м} \cdot \text{с}}{\text{рад}} \right).$$

Для синтезу регулятора тиску лінеаризуєм об'єкт:

$$H_1 = \frac{H_0}{\omega_{\text{НОМ}}} \cdot \omega = k_H \cdot \omega, \quad (4.33)$$

$$k_H = \frac{H_0}{\omega_{\text{НОМ}}}, \quad (4.34)$$

$$k_H = \frac{62}{307} = 0,2 \left(\frac{\text{м} \cdot \text{с}}{\text{рад}} \right).$$

4.4 Параметри керуючого пристрою

Після перетворення структурної моделі електроприводу використаємо лінеаризовану схему, представлену на рисунку 4.2.

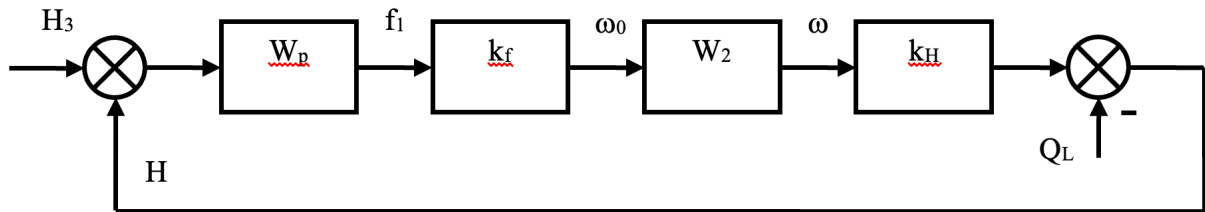


Рисунок 4.2 – Лінеаризована структурна схема

Позначення:

$$k_f = \frac{2\pi}{p_n}, \quad (4.35)$$

$$W_2 = \frac{k_\beta}{(1 + T_c \cdot p) \cdot (1 + T_c \cdot p)}, \quad (4.36)$$

$$Q_L = C \cdot Q^2, \quad (4.37)$$

$$T_c = \frac{J_\Sigma}{\beta_c}, \quad (4.38)$$

$$k_\beta = \frac{\beta}{\beta_c}. \quad (4.39)$$

Передавальна функція Q_L при $H_3(p) = 0$:

$$\frac{H(p)}{Q_L(p)} = \frac{1}{1 + W_0}, \quad (4.40)$$

$$W_0 = W_p \cdot k_f \cdot W_2 \cdot k_H. \quad (4.41)$$

Підставивши W_p и W_2 в (4.40) маємо:

$$W_0 = \frac{k_p \cdot (1 + T_\mu p)}{T_i p} \cdot \frac{k_1}{(1 + T_c p)(1 + T_c p)}, \quad (4.42)$$

$$k_1 = k_f \cdot k_n \cdot k_p. \quad (4.43)$$

Нехтуючи коефіцієнтом T_e , T_c при p_2 і позначивши $T_1 = T_e + T_c$ маємо:

$$W_0 = \frac{k_1 \cdot k_p (1 + T_i p)}{T_i p} \cdot \frac{1}{1 + T_i p}. \quad (4.44)$$

У результаті перетворень передавальна функція збуренню буде:

$$\frac{H(p)}{Q_L(p)} = \frac{1}{1 + W_0} = \frac{1}{1 + \frac{k_1 \cdot k_p}{T_i p}} = \frac{T_i p}{T_i p + k_1 \cdot k_p}. \quad (4.45)$$

Коефіцієнт k_p визначимо з умови:

$$H_3 = k_p \cdot f_{\text{ном}}. \quad (5.46)$$

де H_3 – заданий натиск ($H_3 = 57$ м).

$f_{\text{ном}}$ – номінальна частота мережі ($f_{\text{ном}} = 50$ Гц).

Знаходимо чисельне значення коефіцієнтів k_p і T_i :

$$T_c = \frac{0,071}{0,295} = 0,24(\text{с}),$$

$$T_i = 0,026 + 0,24 = 0,266(\text{с}),$$

$$k_p = \frac{57}{50} = 1,44(\text{м/Гц}).$$

Математична модель автоматизованого електроприводу представлена на рисунку 4.3.

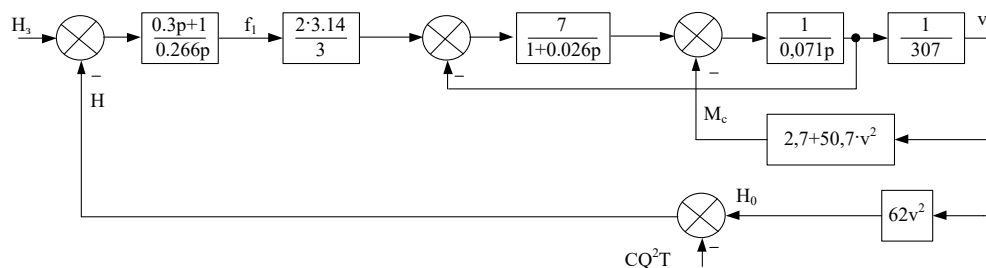


Рисунок 4.3 – Математична модель автоматизованого електроприводу

5 МОДЕЛЮВАННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ЕЛЕКТРОПРИВОДА

5.1 Розробка імітаційної моделі електропривода

Для реалізації комп'ютерного моделювання було створено програмне забезпечення у середовищі Matlab/Simulink. У результаті розробки побудовано імітаційну модель автоматизованого електроприводу, яка включає такі основні компоненти:

1. Модель асинхронного короткозамкненого електродвигуна, реалізована за допомогою стандартного блоку *"Asynchronous Machine SI Units"* з бібліотеки SimPowerSystems.

2. Модель силової частини перетворювача: ланка постійного струму змодельована як ідеальне джерело постійної напруги *"Vdc"*, а автономний інвертор представлений стандартним блоком *"IGBT Inverter"*.

3. Модель насосного агрегату, побудована із використанням стандартних блоків бібліотеки Simulink. Вона реалізована у вигляді окремої підсистеми (див. рисунок 5.1).

4. Модель системи керування, яка включає:

- блок регулятора тиску (рисунок 5.2);
- підсистему управління перетворювачем частоти (рисунок 5.3).

Повна імітаційна модель електроприводу в природній системі координат подана на рисунку 5.4.

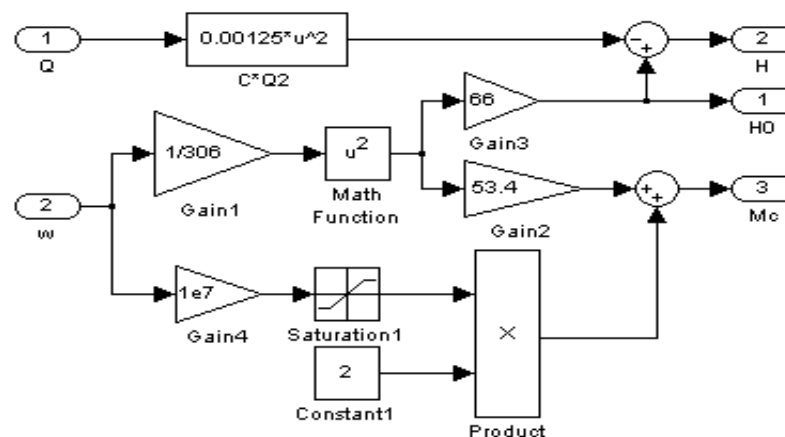


Рисунок 5.1 – Модель насоса

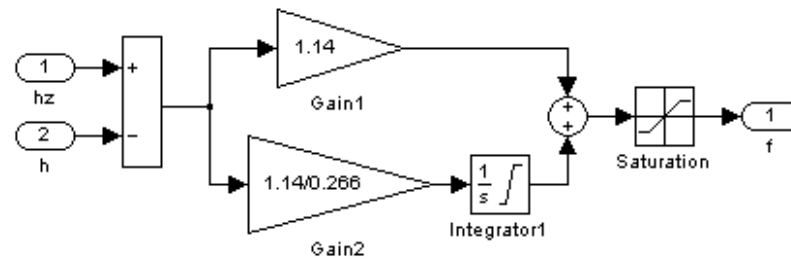


Рисунок 5.2 – Модель регулятора тиску

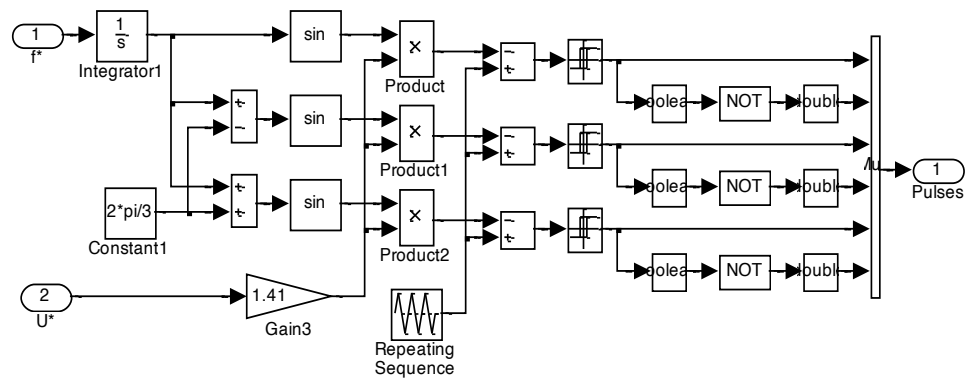
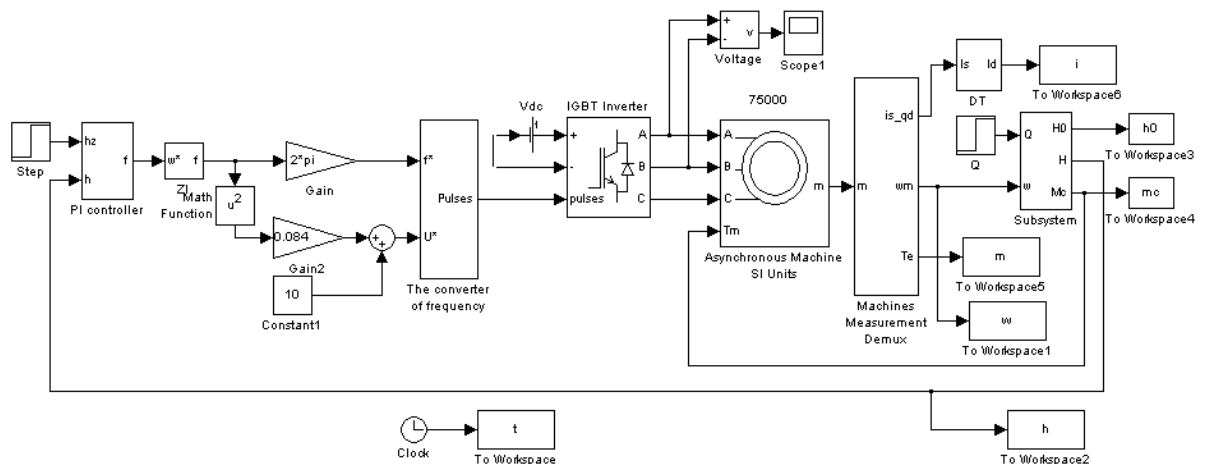


Рисунок 5.3 – Модель системи управління перетворювачем

Рисунок 5.4 – Імітаційна модель автоматизованого електроприводу
насоса

5.2 Дослідження перехідних процесів і визначення показників якості

Було проведено моделювання роботи електропривода в двох основних режимах:

- режим пуску,
- режим стабілізації напору при змінній витраті.

У першому випадку запуск електропривода здійснюється при нульовій витраті до досягнення номінального значення напору. У другому режимі досліджується стабілізація напору при змінюваній витраті нафти – від нуля до номінального значення.

За підсумками моделювання отримано графіки перехідних процесів ключових параметрів системи:

- електричного струму,
- обертового моменту,
- швидкості обертання,
- напору.

Ці графіки представлені на рисунках 5.5 – 5.10 для етапу пуску приводу та на рисунках 5.11 – 5.14 для режиму стабілізації напору.

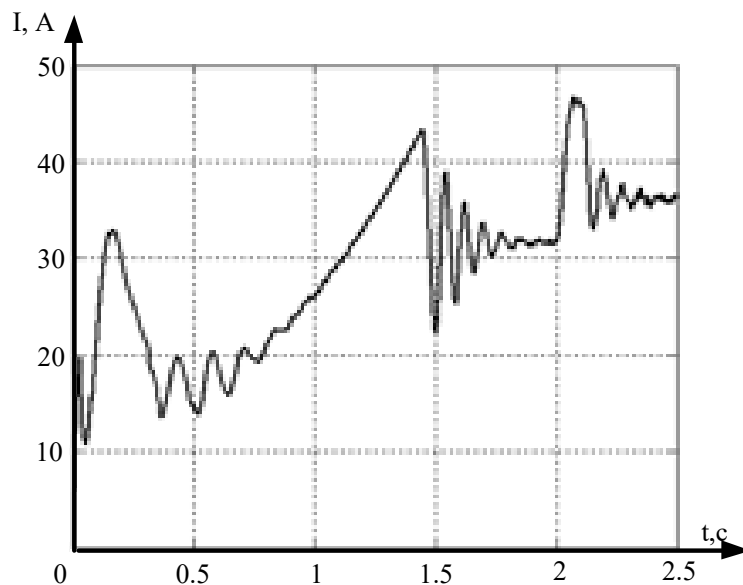


Рисунок 5.5 – Значення струму статора

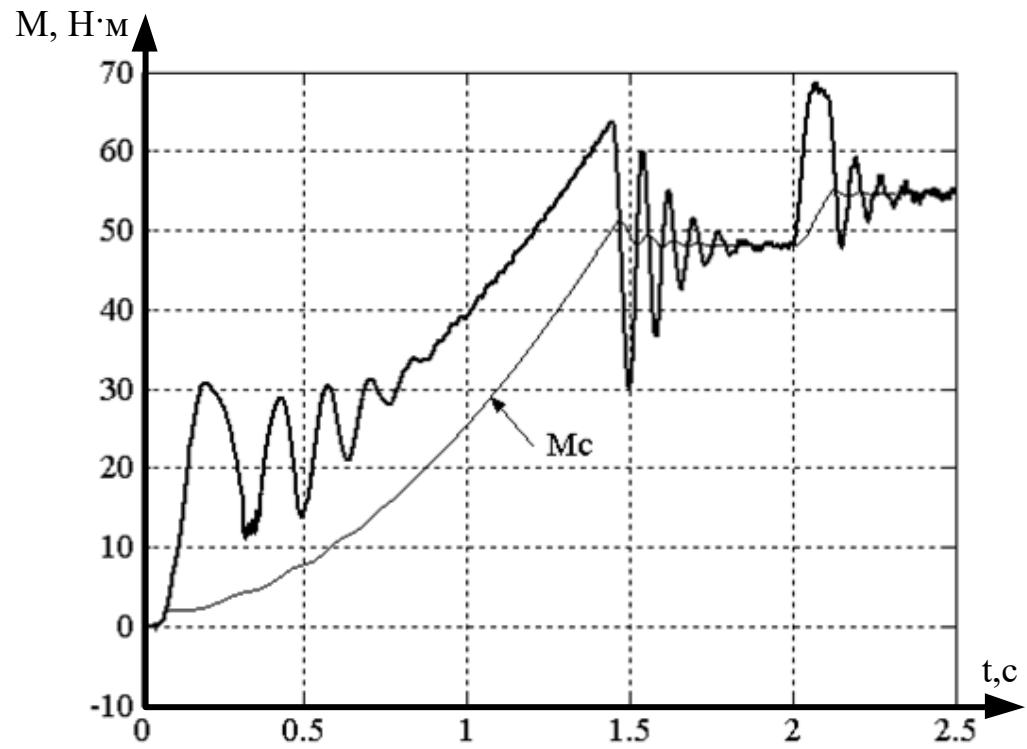


Рисунок 5.6 – Момент двигуна

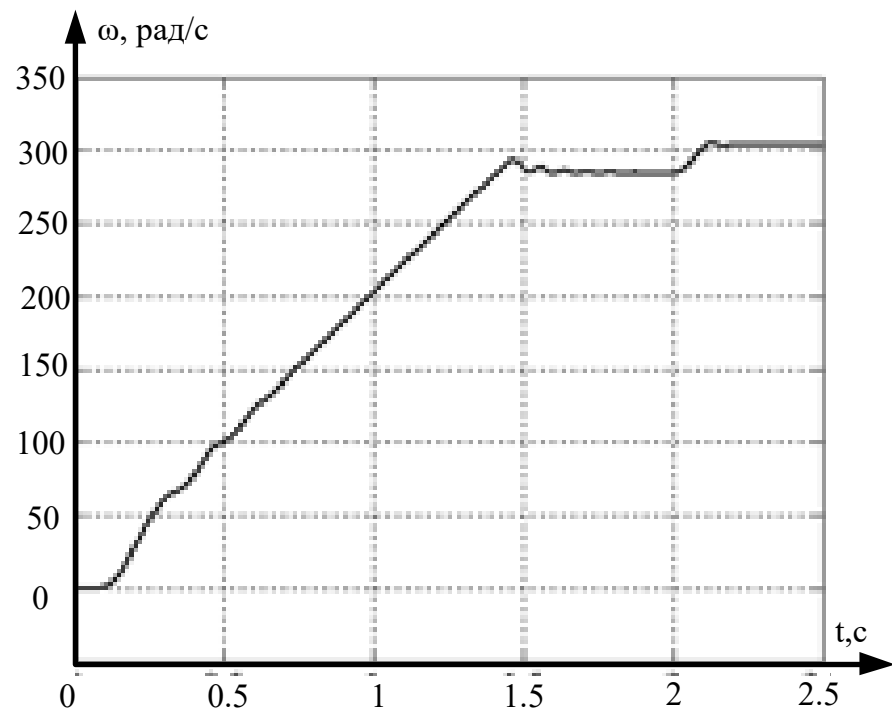


Рисунок 5.7 – Швидкість двигуна

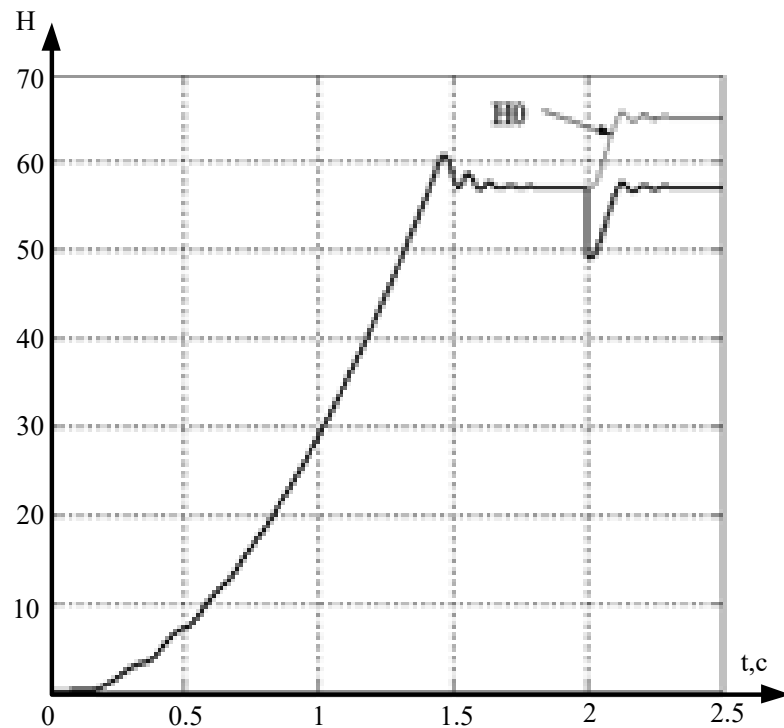


Рисунок 5.8 – Напір

Аналіз отриманих графіків показує, що перехідні процеси в режимі пуску проходять стабільно, без значних коливань або відхилень регульованого параметра від заданого рівня. Розгін системи відбувається майже з постійним прискоренням.

У режимі стабілізації напору при змінній витраті спостерігається плавна адаптація системи, без різких стрибків або небажаних коливань, що свідчить про ефективність і надійність реалізованого алгоритму керування.

За результатами моделювання маємо:

- 1) максимальне значення струму статора не перевищує максимально-допустимого значення перетворювача частоти;
- 2) перерегулювання за швидкістю при пуску однакове:

$$\sigma_w = \frac{\omega_{\max} - \omega_{\text{уст}}}{\omega_{\text{уст}}} \cdot 100\%, \quad (5.1)$$

$$\sigma_w = \frac{295 - 285}{285} \cdot 100\% = 3,5\%.$$

3) перерегулювання по напору при пуску однакове:

$$\sigma_H = \frac{h_{\max} - h_{\text{уст}}}{h_{\text{уст}}} \cdot 100\%, \quad (5.2)$$

$$\sigma_H = \frac{60,8 - 57}{57} \cdot 100\% = 6,7\%.$$

4) статична помилка по напору дорівнює нулю.

5.3 Побудова статичних характеристик

За умови використання ПІ-регулятора тиску, статичні характеристики системи стають астатичними, тобто встановлене відхилення тиску дорівнює нулю. Це пояснюється тим, що в сталому режимі вхідний сигнал інтегрувальної ланки дорівнює нулю, що дозволяє записати відповідне рівняння:

$$\int (H_{\text{зад}} - H(t))dt = 0 \quad (5.3)$$

Отже: $H = H_{\text{зад}}$.

Статичні характеристики представлені на рисунку 5.9

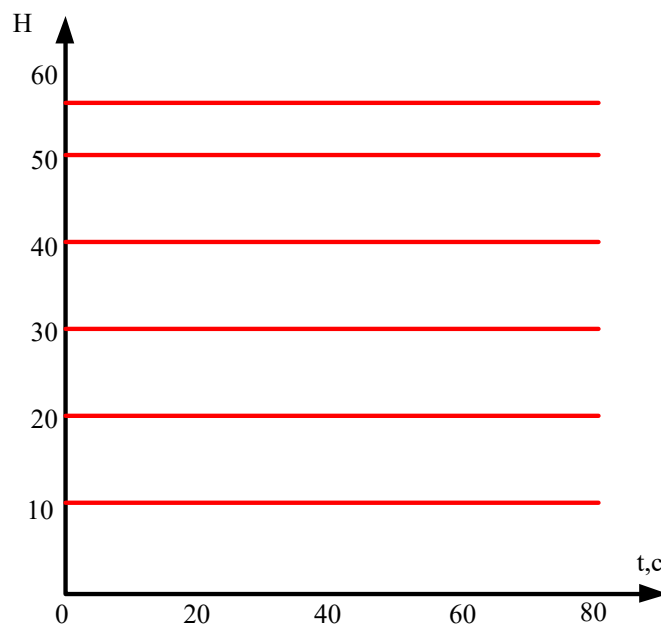


Рисунок 5.9 – Статичні характеристики

6 РОЗРОБКА СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ЕЛЕКТРОПРИВОДА НАСОСНОГО АГРЕГАТУ

6.1 Перевірка коректності вибору електродвигуна

Оскільки насосна установка функціонує у тривалому режимі з поодинокими пусками та зупинками, немає потреби в побудові детальної навантажувальної діаграми на повний цикл роботи автоматизованого електроприводу.

Натомість перевіримо коректність вибору електродвигуна за умовами пуску. Вибір двигуна вважається правильним, якщо його пусковий момент перевищує пусковий момент навантаження.

$$M_{\text{п}} > M_{\text{п.с}} \quad (6.1)$$

За результатами моделювання перехідних процесів маємо (пусковий момент механізму $M_{\text{п.с}} = 95 \text{ Н} \cdot \text{м}$).

$$2 \cdot M_{\text{н}} \geq M_{\text{п.с}}, \quad (6.2)$$

$$2 \cdot 61 (\text{Н} \cdot \text{м}) \geq 95 (\text{Н} \cdot \text{м}),$$

$$122 (\text{Н} \cdot \text{м}) \geq 95 (\text{Н} \cdot \text{м}).$$

Врахуємо падіння напруги на 10%

$$0,9^2 \cdot 2 \cdot M_{\text{н}} \geq M_{\text{п.с}}, \quad (6.3)$$

$$0,81 \cdot 2 \cdot 61 (\text{Н} \cdot \text{м}) \geq 95 (\text{Н} \cdot \text{м}),$$

$$98,8 (\text{Н} \cdot \text{м}) \geq 95 (\text{Н} \cdot \text{м}).$$

Умова виконується, отже двигун обраний вірно.

6.2 Розробка системи автоматизації промислової установки

Керування насосною станцією для подачі нафти

Насосна станція призначена для транспортування нафти у внутрішню мережу заводу. У разі виходу з ладу частотного перетворювача передбачено автоматичний перехід до нерегульованого режиму роботи. При аварійній зупинці одного з насосів система повинна забезпечити запуск і стабільну роботу іншого насоса. Якщо продуктивності одного агрегату недостатньо для підтримання необхідного тиску, вмикається додатковий насос.

Для реалізації зазначених вимог використовується макропрограма PFC (Pump and Fan Control) частотного перетворювача ACS550, яка забезпечує керування насосами та вентиляторами.

Макропрограма PFC підтримує керування до чотирьох насосів, що працюють паралельно. У випадку трьох насосів реалізується такий принцип:

- Перетворювач ACS550 безпосередньо керує насосом №1, змінюючи його швидкість для регулювання подачі.
- Насоси №2 і №3 підключені до живлення напряму, без регулювання швидкості.
- У міру зростання навантаження ACS550 автоматично підключає насос №2, а за потреби — і насос №3. Ці насоси виконують функцію допоміжних.
- ПД-регулятор частотника керує швидкістю насоса №1, підтримуючи тиск відповідно до заданої уставки, орієнтуючись на сигнал зворотного зв'язку.

Якщо продуктивності першого насоса недостатньо (досягнуто максимальної частоти), активується допоміжний насос. Швидкість основного насоса при цьому зменшується, компенсуючи внесок додаткового агрегату. Алгоритм повторюється в разі подальшого зростання потреби в подачі.

При зменшенні витрати до рівня, коли частота обертання основного насоса знижується нижче мінімального значення (встановленого користувачем), система автоматично вимикає допоміжний насос, збільшуючи швидкість основного.

Функція блокування дозволяє виключати несправні або відключені насоси з логіки керування. Автоматичне чергування (при наявності

відповідного обладнання) забезпечує рівномірне використання ресурсів агрегатів, змінюючи їх порядок увімкнення.

У конкретному випадку діапазон частот обертання двигуна:

- Нижня межа — $0,6 \times \omega_{\text{ном}}$;
- Верхня межа — $1,1 \times \omega_{\text{ном}}$. Верхня межа відповідає робочій області насоса, нижня — мінімальній витраті, що забезпечує необхідний тиск.

Стандартна схема керування за допомогою PFC:

- Опорний сигнал (уставка) — аналоговий вхід AIN1.
- Сигнал зворотного зв'язку — AIN2.
- Команди Пуск/Стоп — цифровий вхід DI1.
- Контроль стану: DI4 (регульований двигун) та DI5 (нерегульований двигун).

- Дозвіл на пуск — DI2.
- Активація/деактивація PFC — DI3.
- Вихідна частота — через аналоговий вихід AOOUT1.

У разі перемикавання перетворювача в локальний режим (ЛОК) керування насосами автоматично блокується, ПД-регулятор не активується, двигун з постійною швидкістю не запускається.

Функції вбудованого ПД-регулятора ACS550:

- Вимикання ПД при досягненні мінімального вихідного сигналу.
- Автоматичне відновлення регулювання при зниженні фактичного значення нижче порогового.
- Задання затримок на вмикання/вимикання.
- Можливість перемикавання між двома наборами параметрів через цифровий вхід.
- Параметри ПД налаштовуються в групах 40 і 41.

Перетворювач має два релейні виходи (R01, R02), якими керують параметри 1401 і 1402. При виборі макропрограми PFC обидва виходи за замовчуванням використовуються для керування насосами.

Модулі розширення введення/виводу (NDIO):

Застосовуються, якщо:

- Потрібно більше входів/виходів;
- Стандартні входи/виходи вже задіяні;
- Підключено більше ніж два допоміжних двигуни.

NDIO з'єднуються з ACS550 через оптоволоконний інтерфейс DDCS.

Для цього потрібен DDCS-комутатор. Можна підключити до двох модулів NDIO, кожен з яких має два цифрових входи і два релейних виходи.

7 РОЗРОБКА СХЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПРИВОДА НАСОСНОГО АГРЕГАТУ

7.1 Вибір апаратів, проводів та кабелів

Для запуску електродвигунів як пускові апарати доцільно використовувати магнітні пускачі типу ПМЛ, які підбираються відповідно до робочої напруги, номінального струму навантаження та типу виконання:

$$I_{п.н} \geq I_{дв.н}, \quad (7.1)$$

$$I_{п.н} \geq 34,4 (A).$$

Вибираємо магнітні пускачі типу ПМЛ 310004 з номінальним струмом 40 А.

7.2 Вибір теплових реле

Теплові реле призначені для захисту електродвигунів від тривалих перевантажень струмом, а також від роботи у разі обриву однієї з фаз. У випадку тривалого режиму експлуатації двигуна номінальний струм нагрівального елемента теплового реле I_n підбирається відповідно до номінального струму електродвигуна I_n , згідно зі встановленим співвідношенням:

$$I_{н.е} \geq I_{дв.н}, \quad (7.2)$$

$$I_{н.е} \geq 34,4 (A).$$

Обираємо теплове реле типу РТЛ 1009 з номінальним струмом 40 А і струмом спрацьовування нагрівального елемента 36 А.

7.3 Вибір автоматичних вимикачів

Номинальні струми автоматичного вимикача I_{HA} та його розчеплювачів I_{HP} підбираються відповідно до тривалого розрахункового струму лінії I_P . Прийmemo $I_P = I_{дв.н.}$.

$$I_{HA} \geq I_{дв.н.}, \quad (7.3)$$

$$I_{HP} \geq I_{дв.н.}, \quad (7.4)$$

$$I_{HP} \geq 34,4 (A).$$

Струм спрацьовування електромагнітного розчіплювача перевіряється по максимальному короткочасному струму лінії.

$$I_{Cpe} \geq 1,25 \cdot I_{кр}, \quad (7.5)$$

$$I_{Cpe} \geq 1,25 \cdot k_{п} \cdot I_{дв.н.}, \quad (7.6)$$

$$I_{Cpe} \geq 1,25 \cdot 7 \cdot 34,4,$$

$$I_{Cpe} \geq 301 (A).$$

7.4 Схема електрична загальна і підключення автоматизованого електропривода

Схему електрообладнання заданого електроприводу розробимо на підставі схеми підключення вибраного перетворювача.

Схема підключення ACS550-01-012A-4 показана на рисунку 7.1.

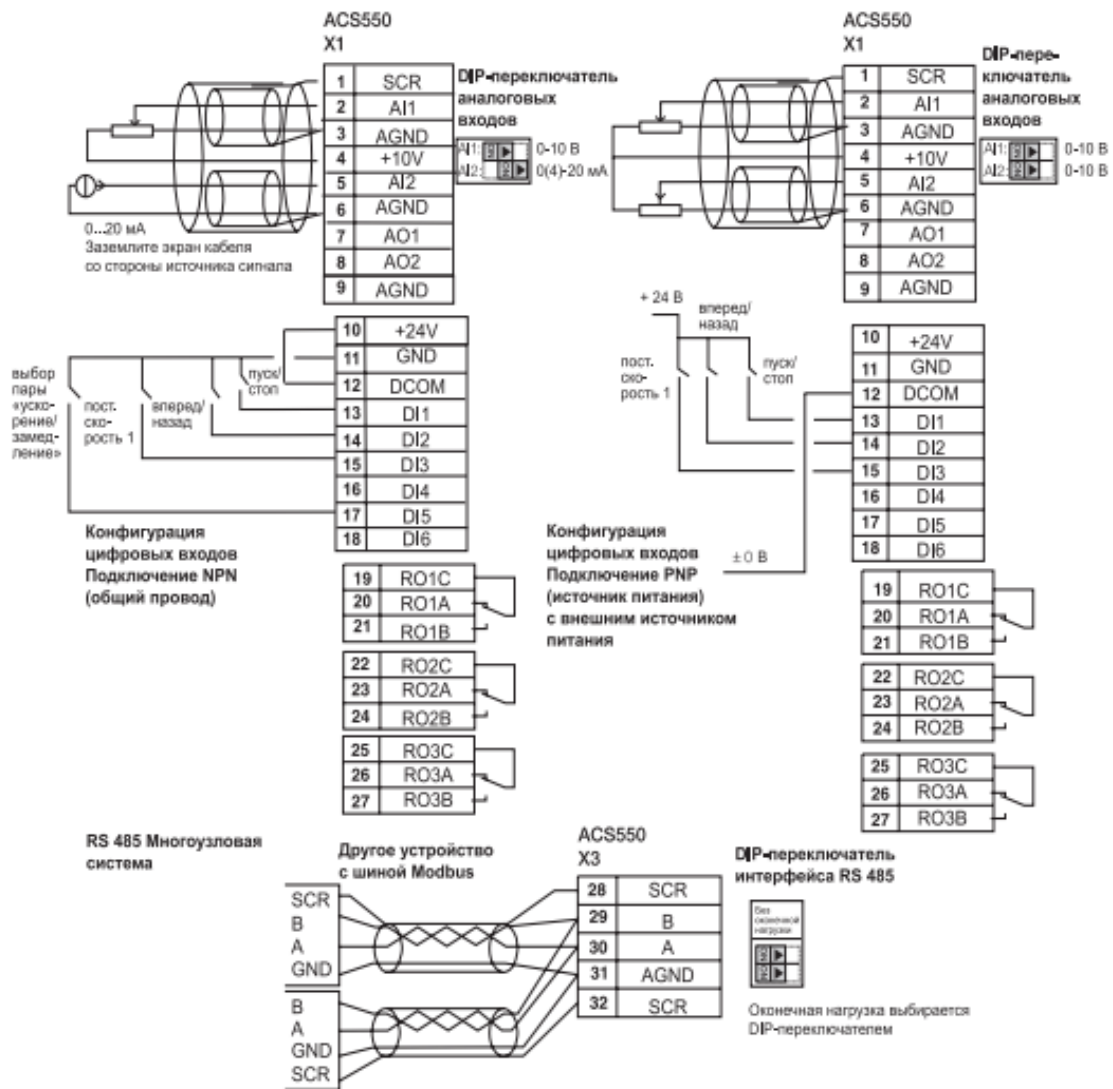


Рисунок 7.1 – Схема підключення перетворювача частоти

Макроси використовуються для автоматичного присвоєння групам параметрів попередньо визначених значень, що дозволяє мінімізувати необхідність ручного налаштування. При виборі певного макросу всі параметри приймають стандартні значення за замовчуванням.

За потреби, після вибору макросу, ці значення можна скоригувати вручну через панель керування.

Активізація прикладних макросів виконується за допомогою параметра 9902. Для реалізації управління трьома насосами (основним і двома резервними) застосовується макропрограма керування насосами та вентиляторами.

Як засіб зворотного зв'язку по тиску використовується датчик CS-PT100, основні характеристики якого наведені в таблиці 7.1.

Таблиця 7.1 – Основні технічні дані датчика тиску CS - PT100

Параметр	Значення
Діапазон вимірювання	0 ~ 12.6 бар
Перевантаження тиску	250%
Вихідний сигнал	4 ~ 20 мА
Напруга живлення	24V DC
Сумарна похибка	0,5%
Час спрацювання	10 мсек
Температура термокомпенсації	10 ~ +60°C
Робоча температура	-40 ~ +85°C

7.5 Економічне обґрунтування технічних рішень

Розрахунок техніко-економічних показників виконується на основі порівняльного аналізу технічних характеристик двох альтернативних варіантів систем електроприводу. Економічна ефективність визначається за критерієм мінімізації загальних витрат, до яких входять: початкові інвестиції, експлуатаційні витрати, витрати на електроенергію, а також втрати, пов'язані з можливими простоями обладнання.

З технічної точки зору оптимальним визнано електропривод змінного струму з частотним перетворювачем.

До моменту модернізації регулювання продуктивності вентилятора здійснювалося шляхом зміни положення заслінки.

Основою для оцінки економічного ефекту обрано залежність споживаної потужності від продуктивності при повністю відкритій засувці. У розрахунок включено добовий режим експлуатації з поділом на періоди роботи з різною завантаженістю.

У цьому дипломному проєкті порівнюється робота насоса з регульованим електроприводом і традиційним нерегульованим варіантом, тому необхідно обґрунтувати доцільність переходу на регульований привід.

Споживана потужність електронасосів у дросельному режимі регулювання на природній характеристиці та їхній коефіцієнт корисної дії розраховуються за відповідною формулою:

$$P_{\text{ЕД.ДРi}} = \frac{Q_i \cdot H_{\text{вi}} \cdot \gamma}{3600 \cdot \eta_{\text{вi}}} \cdot 10^{-3}. \quad (7.7)$$

де Q_i – продуктивність в i -му режимі роботи залежно від тиску в трубопроводі, м/год;

$H_{\text{вi}}$ – створюваний натиск при Q_i витраті при природній напорній характеристиці ($n=n_{\text{ном}}$), м;

$\eta_{\text{вi}}$ – ККД насоса на природній характеристиці ККД в i -му режимі роботи.

Під час частотного регулювання швидкості обертання електродвигуна насоса здійснюється регулювання подачі насоса Q_i відповідно до тиску в трубопроводі. У цьому режимі споживана насосом потужність визначається за такою формулою:

$$P_{\text{ЕД.ПЧi}} = \frac{Q_i \cdot H_{\text{рег.i}} \cdot \gamma}{3600 \cdot \eta_{\text{рег.i}} \cdot \eta_{\text{ПЧ}}} \cdot 10^{-3}. \quad (7.8)$$

де $\eta_{\text{рег.i}}$ – ККД насоса при регулюванні його швидкості в режимі стабілізації тиску при $n < n_{\text{ном}}$;

$\eta_{\text{ПЧ}}$ – ККД перетворювача частоти ($\eta_{\text{ПЧ}}=0,98$);

$H_{\text{рег.i}}$ – створюваний натиск при Q_i витраті при штучній напірній характеристиці ($n < n_{\text{ном}}$), м.

Витрата енергії визначається за такими формулами:

$$W_{\text{ЕД.ДРi}} = P_{\text{ЕД.ДРi}} \cdot t_{\text{роб.i}}. \quad (7.9)$$

де $t_{\text{роб.i}}$ – час роботи агрегату на рік при i -му режимі, год.

$$W_{\text{ЕД.ПЧi}} = P_{\text{ЕД.ПЧi}} \cdot t_{\text{роб.i}}. \quad (7.10)$$

Енергозбереження, досягнуте шляхом переходу на регулювання подачі насоса шляхом зміни частоти обертання електродвигуна за допомогою перетворювача частоти ACS400, розраховується за наступною формулою:

$$\Delta W_{\text{ЕКі}} = W_{\text{ЕД.ДРі}} - W_{\text{ЕД.ПЧі}}. \quad (7.11)$$

Розрахунок параметрів енергоспоживання та економії електроенергії при застосуванні перетворювача частоти серії ACS400 фірми "ABB" (таблиця 7.2).

Річна економія електроенергії в результаті впровадження перетворювача частоти визначається за формулою:

$$\Pi_{\text{СПЧ}} = \sum_{i=1}^n E_{\text{ПЧі}}, \quad (7.12)$$

Величина сумарних витрат з впровадження частотного регульованого електроприводу насоса визначається як:

$$C_{\text{СЕРП}} = K_{\text{доп}} \cdot C_{\text{ПЧ}}. \quad (7.13)$$

де $C_{\text{ПЧ}}$ – ціна пристрою автоматизованого частотного регулювання у складі мережевого реактора і перетворювача частоти, грн;

$K_{\text{доп}}$ – коефіцієнт збільшення витрат на додаткові проектно-конструкторські роботи, монтаж, наладку і запуск обладнання, залежно від потужності перетворювача ($K_{\text{доп}}=1,15-125$).

Таблиця 7.2 – Розрахункові показники

Т, час	Q_i , мі/час	H_{ei} , м	H_{regi} , м	η_{ei} %	η_{regi} %	$P_{\text{ЭД ДРі}}$, кВт	$P_{\text{ЭД ПЧі}}$, кВт	$\Delta W_{\text{ЭКі}}$, кВт·г	$\mathcal{E}_{\text{ПЧі}}$, т·грн
1460	55	60	28	71	75	12,7	5,6	10366	3036
1095	60	58	32	74	77	12,8	6,8	6570	1924
1825	75	55	51	77	78	14,6	13,6	1825	535
1825	70	57	43	76	77,5	14,3	10,6	6752	1978
2555	50	61	22	66	73	11,4	4,1	18651	5463

Тоді термін окупності проекту:

$$T_{\text{ок}} = \frac{C_{\Sigma\text{ЕП}}}{\Pi_{\Sigma\text{ПЧ}}}. \quad (7.14)$$

Отримані економічні показники проекту наведені в таблиці 7.2. Розрахуємо вартість сумарних витрат з впровадження частотного регульованого електроприводу насоса:

$$C_{\Sigma\text{ЕП}} = 1,15 \cdot 24000000 = 27600000 (\text{грн}).$$

Річна економія електричної енергії від впровадження перетворювача частоти:

$$\Pi_{\Sigma\text{ПЧ}} = \sum_{i=1}^n E_{\text{ПЧ}i} = 3531 (\text{грн}).$$

Тоді термін окупності модернізації вентилятора за рахунок економії електроенергії:

$$T_{\text{ок}} = \frac{27600}{12936} = 2,2 (\text{роки}).$$

Під час розрахунку експлуатаційних витрат суттєву роль відіграє тривалість обраного розрахункового періоду. У межах даного проекту приймаємо річний період.

Витрати на електроенергію визначаються на основі обсягу річного енергоспоживання, номінальної потужності електродвигуна та діючого тарифу на електроенергію.

Визначимо енергію, спожиту за рік, при регулюванні продуктивності насоса установки дросельним способом $\Sigma W_{\text{ЕД,ДР}}$ і при впровадженні перетворювача частоти $\Sigma W_{\text{ЕД,ПЧ}}$:

$$\Sigma W_{\text{ЕД,ДР}} = 114428 (\text{кВт}),$$

$$\Sigma W_{\text{ЕД,ПЧ}} = 70263 (\text{кВт}).$$

Визначимо витрати на електроенергію за 1 рік експлуатації вентиляційної установки з урахуванням основної та додаткової тарифних ставок:

$$C_E = \Sigma W_{ED} \cdot T_{\text{дод}} + P_{\text{дв}} \cdot T_{\text{осн}} \cdot 12. \quad (7.15)$$

де $T_{\text{дод}}$ – додаткова тарифна ставка ($T_{\text{дод}}=292,8$ грн/кВт·год);

$P_{\text{дв}}$ – номінальна потужність двигуна ($P_{\text{дв}}=18,5$ кВт);

$T_{\text{осн}}$ – основна тарифна ставка ($T_{\text{осн}}=31521,5$ грн/кВт·міс).

При дросельному регулюванні продуктивності, витрати складуть:

$$C_{E, \text{др}} = 114428 \cdot 292,9 + 18,5 \cdot 31521,5 \cdot 12 = 40513734 \text{ (грн)}.$$

При застосуванні перетворювача частоти витрати складуть:

$$C_{E, \text{пч}} = 70263 \cdot 292,9 + 18,5 \cdot 31521,5 \cdot 12 = 2757805 \text{ (грн)}.$$

Планову тривалість ремонтного циклу (тобто період експлуатації електрообладнання між двома капітальними плановими ремонтами, виражений у роках календарного часу) визначають за такою формулою:

$$T_{\text{пл}} = T_{\text{табл}} \cdot \beta_0. \quad (7.16)$$

де $T_{\text{табл}}$ – тривалість ремонтного циклу ($T_{\text{табл}}=9$ років (для асинхронного електродвигуна), $T_{\text{табл.пч}}=6$ років (для перетворювача частоти));

β_0 – коефіцієнт, що враховує зменшення ремонтного циклу основного обладнання ($\beta_0=0,85$).

Планова тривалість ремонтного циклу для асинхронного електродвигуна становить:

$$T_{\text{пл.дв}} = 9 \cdot 0,85 = 7,65 \text{ (років)}.$$

Планова тривалість ремонтного циклу для перетворювача частоти складає:

$$T_{\text{пл.пч}} = 6 \cdot 0,85 = 5,1 \text{ (років)}.$$

Напрацювання енергетичного обладнання, виражена в місяцях календарного часу між двома плановими ремонтами складає для асинхронного електродвигуна:

$$t_{\text{пл.дв}} = 9 \cdot 0,7 = 6,3 (\text{місяці}).$$

Напрацювання енергетичного обладнання для перетворювача частоти становить:

$$t_{\text{пл.пч}} = 18 \cdot 0,7 = 12,6 (\text{місяців}).$$

За отриманими величинам можна розрахувати кількість капітальних і поточних ремонтів в розрахунку за 1 рік:

$$M_F = \frac{1}{T_{\text{пл}}}. \quad (7.17)$$

Для асинхронного електродвигуна кількість капітальних ремонтів на рік становить:

$$M_{F.\text{дв}} = \frac{1}{7,65} = 0,13.$$

Для перетворювача частоти кількість капітальних ремонтів на рік становить:

$$M_{F.\text{пч}} = \frac{1}{5,1} = 0,2.$$

Кількість поточних ремонтів для асинхронного електродвигуна становить:

$$M_{F.\text{дв.п}} = \frac{1}{0,525} = 1,9.$$

Кількість поточних ремонтів для перетворювача частоти складає:

$$M_{F.\text{пч.п}} = \frac{1}{1,05} = 0,95.$$

Річна трудомісткість ремонтів електричних машин визначається на основі заданої кількості ремонтів протягом року та встановленої норми трудомісткості для одного ремонту:

$$T_p = M_p \cdot H_p \cdot K_\omega. \quad (7.18)$$

де H_p – норма трудомісткості ремонтів, людино-годин;

K_ω – поправочний коефіцієнт, що враховує частоту обертання електродвигуна ($K_\omega=1,1$).

Для асинхронного електродвигуна річна трудомісткість капітальних ремонтів:

$$T_{\text{к.р.дв}} = 0,13 \cdot 32 \cdot 1,1 = 4,58.$$

Для перетворювача частоти річна трудомісткість капітальних ремонтів:

$$T_{\text{к.р.пч}} = 0,2 \cdot 43 = 8,6.$$

Річна трудомісткість поточних ремонтів для асинхронного електродвигуна:

$$T_{\text{т.р.дв}} = 1,9 \cdot 44 \cdot 1,1 = 91,96.$$

Річна трудомісткість поточних ремонтів для перетворювача частоти:

$$T_{\text{т.р.пч}} = 0,95 \cdot 27 = 25,65.$$

Річна трудомісткість технічного обслуговування приймається рівною 10% від норми трудомісткості поточного ремонту обладнання без урахування поправочних коефіцієнтів:

$$T_{\text{т.о.дв}} = 0,1 \cdot H_{\text{т.р.дв}} \cdot 12, \quad (7.19)$$

$$T_{\text{т.о.дв}} = 0,1 \cdot 44 \cdot 12 = 52,8,$$

$$T_{\text{т.о.пч}} = 0,1 \cdot H_{\text{т.р.пч}} \cdot 12, \quad (7.20)$$

$$T_{\text{т.о.пч}} = 0,1 \cdot 27 \cdot 12 = 32,4.$$

Для зручності порівняння виконаний розрахунок трудомісткості ремонту і технічного обслуговування для двох варіантів систем регулювання продуктивності насосного агрегату (таблиця 7.3).

Таблиця 7.3 – Порівняння виконаного розрахунку трудомісткості ремонту і технічного обслуговування

Тип обладнання	Дросельне регулювання	Частотне регулювання
Річна трудомісткість капітальних ремонтів		
Електродвигун	4,58	4,58
Перетворювач	-	8,6
Річна трудомісткість поточних ремонтів		
електродвигун	91,96	91,96
Перетворювач	-	25,65
Річна трудомісткість технічного обслуговування		
Електродвигун	52,8	52,8
Перетворювач	-	32,4
Сумарна трудомісткість експлуатації обладнання	149,34	215,99

8 ОХОРОНА ПРАЦІ

У цьому розділі розглянуто питання охорони праці, що стосуються модернізації електропривода насосного агрегату нафтопереробного заводу. Інциденти в електричних мережах, а також нехтування вимогами щодо їх надійної експлуатації створюють серйозну загрозу для життя та здоров'я працівників через ризик падіння з висоти, травмування, опіків, ураження електричним струмом тощо. Окрім цього, на електротехнічний обслуговуючий персонал, який виконує встановлення та обслуговування системи моніторингу технічного стану насосного обладнання, чинять вплив такі шкідливі виробничі фактори.

Фізичні фактори: мікроклімат (температурні показники, вологість, швидкість повітряного потоку, інфрачервоне випромінювання); промисловий шум, вібрація (місцева, загальна); освітлення: природне (недостатній рівень), штучне (недостатнє світло, прямі та відбиті засліплювальні відблиски тощо); Хімічні фактори: речовини хімічного походження, аерозолі пилового типу з фіброгенною дією (пил);

Фактори трудового процесу: інтенсивність (тяжкість) праці; ступінь напруженості. Інтенсивність праці визначається обсягом енергетичних витрат організму або фізичним динамічним навантаженням, масою вантажів, які піднімаються та переміщуються, кількістю однотипних трудових рухів, величиною статичного навантаження, характером робочої пози, пересуванням у межах простору. Напруженість праці визначається рівнем інтелектуального, сенсорного, емоційного навантаження, ступенем монотонності дій, режимом трудової діяльності.

8.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації об'єкта

Під час технічного обслуговування та встановлення обладнання системи моніторингу технічного стану насосного агрегату необхідно здійснювати заходи для недопущення впливу на працівників зазначених вище шкідливих

виробничих факторів. У разі наявності таких факторів, умови безпеки праці під час монтажу і ремонту обладнання електроустановки мають відповідати вимогам та запобіжним заходам, передбаченим у нормативно-правових актах з охорони праці, зокрема при виконанні робіт: в діючих електротехнічних установках; на висотних рівнях; із використанням електроінструментів; при проведенні зварювальних операцій тощо.

Особливий акцент слід робити на забезпеченні безпеки працівників під час виконання робіт у діючих електротехнічних установках. Найдієвішим способом захисту персоналу є монтаж заземлень. Накладення заземлення на струмопровідні елементи необхідно здійснювати одразу після перевірки на відсутність електричної напруги. Переносні заземлювачі спочатку потрібно з'єднати із заземлювальним елементом, а далі, після підтвердження відсутності напруги, — підключити до струмопровідних елементів. Демонтаж переносного заземлення слід виконувати у зворотному порядку: спочатку від'єднати його від струмопровідних частин, а вже потім — від заземлювального елемента.

Монтаж і демонтаж переносних заземлень необхідно здійснювати в діелектричних рукавицях із використанням в електроустановках понад 1000 В ізолювальної штанги. Фіксувати затискачі переносних заземлень слід тією ж штангою або безпосередньо руками в діелектричних рукавицях. Забороняється застосовувати для заземлення провідники, які не призначені для цього, а також під'єднувати заземлення методом скручування.

У електроустановках з напругою понад 1000 В (трансформаторні підстанції 10/0,4 кВ) слід виконувати заземлення струмопровідних елементів усіх фаз (полюсів) відключеної для проведення робіт ділянки з усіх напрямків, з яких можлива подача електроенергії, за винятком відключених на час робіт збірних шин, для яких достатньо встановити одне заземлення. Під час виконання робіт на відключеному лінійному роз'єднувачі на проводи відгалужень з боку повітряної лінії, незалежно від наявності заземлювальних

ножів, необхідно встановлювати додаткове заземлення, яке не знімається під час маніпуляцій із роз'єднувачем.

Заземлені струмопровідні елементи повинні бути ізольовані від струмопровідних частин, які перебувають під напругою, за допомогою видимого розриву (вимкнених вимикачів, роз'єднувачів, ізолювальних елементів або вимикачів навантаження, знятих запобіжників, демонтованих шин або кабелів). Безпосередньо на місці виконання робіт заземлення додатково встановлюється у випадках, коли ці елементи можуть опинитися під наведеною напругою (електричним потенціалом), що здатний спричинити ураження електрострумом, або коли на них може бути подано напругу понад 42 В змінного та 110 В постійного струму з зовнішнього джерела.

У електроустановках, конструктивні особливості яких унеможливають безпечне встановлення заземлення (наприклад, у певних розподільних шафах, комірках КРУ окремих моделей, збірках з вертикальним розміщенням фаз), під час підготовки робочої зони необхідно впроваджувати додаткові заходи захисту, які унеможливають випадкову подачу напруги до місця виконання робіт: приводи та відключені пристрої блокуються замками; на ножі або верхні контакти роз'єднувачів, рубильників, автоматичних вимикачів тощо монтуються гумові ковпаки або спеціальні накладки з ізоляційних матеріалів; запобіжники, увімкнені послідовно з комутаційними пристроями, демонтуються. Ці технічні дії мають бути зазначені у локальній інструкції з експлуатації. У випадку, якщо реалізація зазначених додаткових заходів неможлива — кінці ліній живлення мають бути відключені в розподільчому устаткуванні, на щиті, збірці або безпосередньо у зоні проведення робіт. Перелік таких електроустановок визначається та затверджується відповідальною за електрогосподарство особою.

Заземлення не вимагається під час роботи з електрообладнанням, якщо воно повністю від'єднане від усіх боків (включаючи шини, кабелі, провідники), через які може бути подана напруга; якщо живлення не може

подаватися через зворотне перетворення або з іншого джерела; а також за умови, що на обладнання не може індукуватися напруга. У такому разі кінці від'єднаних кабелів повинні бути короткозамкненими та заземленими.

Під час робіт у розподільчих пристроях встановлення заземлення на протилежних кінцях живильних ліній не обов'язкове, крім тих ситуацій, коли під час роботи необхідне зняття заземлення з виводів лінії.

У електроустановках до 1000 В під час робіт на збірних шинах РУ, щитах, збірках, напруга повинна бути повністю відключена, а самі шини (окрім виконаних ізольованим дротом) – заземлені.

Необхідність і доцільність заземлення приєднань до цих РУ, щитів, збірок і відповідного устаткування визначається особою, яка видає наряд чи розпорядження. У низьковольтних установках (до 1000 В) усі дії зі встановлення та демонтажу заземлень може виконувати один працівник з групою III із числа оперативного або оперативно-ремонтного персоналу. Установлення переносних заземлень у таких випадках виконується з рівня землі, за умови застосування спеціальної ізолювальної штанги, якою дозволяється як встановлювати, так і фіксувати заземлення.

Дозволяється тимчасове зняття заземлень, накладених під час підготовки робочого місця, якщо цього вимагає характер виконуваних робіт. Таке тимчасове зняття й повторне встановлення виконується оперативним працівником або (під його наглядом) — членом бригади з групою III. Дозвіл на тимчасове зняття, а також виконання відповідних дій безпосередньо керівником робіт, має бути зазначений у пункті наряду «Окремі вказівки» із фіксацією місця і мети зняття заземлення.

8.1.1 Електробезпека

Живлення потужного устаткування, яке застосовується для виконання робіт із встановлення та обслуговування системи нагляду за технічним станом насосного агрегату, а також системи освітлення, здійснюється від чотирижильної трифазної електромережі 380 х 220 В (фазна напруга (фаза –

«нуль») – 220 В, а міжфазна лінійна (фаза – фаза) – 380 В). Категорія умов за рівнем ризику електротравматизму — з підвищеною небезпекою, зумовленою наявністю в приміщеннях цехів високої вологості.

1) Для уникнення електротравм у разі контакту з нормально струмопровідними елементами електрообладнання слід: розміщувати неізольовані струмопровідні компоненти в окремих приміщеннях із обмеженим доступом, у металевих корпусах; застосовувати засоби навігації в електрообладнанні — написи, таблички, застережні позначки; прокладку кабелів до споживачів виконувати в закритих підлогових каналах.

2) При живленні однофазних електроприймачів від трижильного електромережевого вводу з напругою до 1000 В використовується нульовий захисний провід. У разі його застосування пробій на корпус призводить до короткого замикання. Спрацьовує система захисту, і несправний споживач автоматично відключається від мережі. Відповідно до нормативних вимог, необхідно забезпечити відповідну кратність струму короткого замикання залежно від типу захисного пристрою, а також гарантувати цілісність нульового захисного провідника.

3) Засоби електрозахисту

Обслуговуючий персонал електроустановок повинен бути забезпечений протестованими засобами індивідуального захисту. Перед використанням кожен працівник зобов'язаний перевірити їх працездатність, відсутність зовнішніх дефектів, очистити від бруду та пилу, переконатися у чинності терміну перевірки за наявним штампом. Застосування захисних засобів з вичерпаним терміном дії суворо заборонено.

Використовуються основні та допоміжні засоби електрозахисту. До основних належать пристрої, ізоляція яких може довготривало витримувати робочу напругу, що дозволяє контактувати зі струмопровідними елементами під напругою. До таких належать (до 1000 В): ізолювальні штанги; вимірювальні кліщі з ізоляцією; індикатори напруги; діелектричні рукавички; монтажний інструмент з ізольованими ручками.

Допоміжні засоби електрозахисту – це засоби, які оберігають персонал від дотику до елементів під напругою, небезпеки «крокової» напруги та виконують попереджувальну функцію для запобігання помилкам. До них належать (до 1000 В): діелектричні калоші; діелектричні настили (килимки); переносні пристрої заземлення; ізолювальні накладки й підставки; захисні бар'єри; попереджувальні плакати та сигнальні знаки

8.1.2 Мікроклімат

Для підтримання сприятливого мікроклімату в робочій зоні встановлюють гранично допустимі значення температури, відносної вологості та швидкості переміщення повітря в певних межах залежно від пори року та характеру виконуваних робіт, а також допустиму силу опромінення. Нормовані параметри мікроклімату в робочій зоні наведено в таблиці 8.1.

Таблиця 8.1 – Допустимі норми параметрів повітря

Період року	Категорія робіт	Допустимі		
		Температура повітря, °С	Відносна вологість, %	Швидкість руху, м/сек.
Холодний період	Середньої важкості Па	19 - 21	60 - 40	0,2
Теплий період		21 - 23	60 - 40	0,3

Для досягнення параметрів мікроклімату, встановлених нормативними документами, проектом передбачено.

Температура внутрішніх площин будівельних елементів у робочій зоні та зовнішніх оболонок обладнання за умови дотримання допустимих мікрокліматичних характеристик не повинна перевищувати 2 °С.

Якщо температурні показники поверхонь є вищими або нижчими за допустиму температуру повітря, то робочі пункти мають розташовуватись на відстані щонайменше 1 метра від таких поверхонь.

Для підтримки нормативних величин швидкості повітряного потоку проєктом передбачено встановлення витяжної та припливної систем вентиляції

8.1.3 Склад повітря робочої зони

Забруднення повітря робочої зони регламентується граничнодопустимими концентраціями (ГДК) в мг/м³. Нормовані параметри забруднення повітря в робочій зоні наведено в таблиці 8.2.

Таблиця 8.2 – Можливі забруднювачі повітря можуть і їх ГДК

Найменування речовини	ГДК, мг/куб.м		Клас небезпеки
	Максимальна разова	Середньодобова	
Оксид вуглецю	3	20	4
Пил нетоксичний	4	4	4

Для підтримання належного стану повітря в робочій зоні слід щоденно здійснювати прибирання робочого місця. Наявність шару пилу товщиною 1/8" у будь-якій ділянці свідчить про потребу у проведенні очистки забруднених поверхонь. Варто наголосити, що скупчення пилу становить потенційну загрозу займання. Чим дрібніші частинки пилу, тим вищий ризик виникнення пожежі.

У зв'язку з цим необхідно вживати наступних заходів: регулярно прибирати металевий пил, щоденно протирати нагріті поверхні, а при значному запиленні проводити очищення частинами. Також слід враховувати, що низький рівень вологості підвищує ризик загоряння, тому цей фактор потрібно брати до уваги під час прибирання.

8.1.4 Виробниче освітлення

За умов недостатнього освітлення підвищується ймовірність помилкових дій та виникнення нещасних випадків: 5% травматичних інцидентів пов'язані з низьким рівнем освітленості, а у 20% ситуацій воно сприяло їх виникненню. Незадовільне освітлення може спричинити професійні хвороби: погіршує загальний стан здоров'я, знижує фізичну та інтелектуальну працездатність. Освітлювальні прилади з LED-лампами встановлюють у рядовому порядку; що дає змогу виконувати їх поетапне вмикання (вимикання) залежно від рівня природного освітлення.

Таблиця 8.3 – Вимоги до освітлення приміщень виробничих підприємств

Харак- ка зорової роботи	Найменши й або еквівалент - ний розмір об'єкта розрізненн я, мм	Розр яд зоро вої робо ти	Під- розр яд зоров ої робот и	Контра ст об'єкта з фоном	Характ е- ристик а фону	Штучне при системі комбіновано го освітлення		Природ не E_n пр	Сум і- щен е E_n сум
						всьо го	у т. ч. від загаль - ного		
Середн ьої точнос ті	Від 0,5 до 1,0 включно	IV	в	малий середні й великий	світлий середні й темний	400	200	4	2,4

8.1.5 Виробничий шум

Засоби протидії шуму залежно від кількості осіб, для яких вони призначені, поділяються на засоби індивідуального захисту та на засоби колективного захисту – «ССБТ. Засоби індивідуального захисту органів слуху. Загальні технічні вимоги та методи випробувань» і «Засоби та способи захисту від шуму. Систематизація».

Для зменшення рівня шуму у приміщенні слід: безпосередньо поблизу джерел шуму використовувати матеріали з властивостями звукопоглинання

для обробки стель і стін, застосовувати навісні акустичні поглиначі; для усунення шуму від вентиляції доцільно використовувати низькошумні вентилятор.

Нормовані параметри виробничого шуму в робочій зоні наведено в таблиці 8.4.

Таблиця 8.4 – Допустимі рівні звукового тиску

Характер робіт	Допустимі рівні звукового тиску (дБ) в стандартизованих октавних смугах з середньгеометричними частотами, Гц								
	32	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Постійні робочі місця в промислових приміщеннях	107	95	87	82	78	75	73	71	69

8.1.6 Виробничі вібрації

Для ослаблення впливу вібрацій на працівників проектом передбачено: динамічне гасіння вібрацій — приєднання до захищеного об'єкта системи, реакція якої зменшує амплітуду коливань об'єкта в місцях кріплення; модифікація конструктивних частин обладнання; використання засобів персонального захисту, зокрема рукавиць, вкладишів і прокладок, віброзахисного взуття з амортизуючою підошвою.

Таблиця 8.5 – Допустимі рівні вібрації на постійних місцях

Вид вібрації	Октавні смуги з середньгеометричними частотами, Гц									
	2	4	8	16	31,5	63	125	250	500	1000
Загальна вібрація: На постійних робочих місцях в виробничих приміщеннях	0,18	0,063	0,032	0,028	0,028	0,028	-	-	-	-
	91	82	76	75	75	75				

8.2 Пожежна безпека

Пожежну безпеку промислових та інших споруд регламентують вимоги ССБТ «Пожежна безпека. Загальні положення», а також типові правила пожежної безпеки для виробничих підприємств і настанови для окремих об'єктів.

Приміщення, у якому здійснюється використання електропривода насосного вузла, за критеріями вибухової та пожежної небезпеки відноситься до категорії В (пожежонебезпечне) — горючі газоподібні речовини, легкозаймисті, займисті та/або важкозаймисті рідини, а також речовини й/або матеріали, що здатні до вибуху та горіння, або лише до горіння при взаємодії з водою, киснем повітря та/або між собою; тверді займисті та/або важкозаймисті речовини та матеріали (включаючи горючий пил та/або волокна), за умови, що приміщення, у яких вони розміщуються (зберігаються, обробляються, транспортуються), не належать до категорій А або Б, а питоме пожежне навантаження для твердих і рідких легкозаймистих, горючих або важкозаймистих речовин та/або матеріалів на окремих ділянках.

Будівля, в якій знаходиться це приміщення, має III ступінь вогнестійкості.

До III ступеня вогнестійкості відносяться споруди з несучими та огорожувальними елементами, виготовленими з природного або штучного каменю, бетонних або залізобетонних матеріалів.

У перекриттях допускається застосування дерев'яних конструкцій, які захищені шаром штукатурки або облицьовані негорючими листовими, плитковими матеріалами, або матеріалами груп горючості Г1 (низька займистість) та Г2 (помірна займистість).

До елементів покрівлі не встановлюється вимог щодо межі вогнестійкості чи поширення полум'я, однак конструкції горищного перекриття з деревини повинні бути оброблені вогнезахисними засобами.

Таблиця 8.6 – Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій і максимальні межі розповсюдження полум'я по них.

Ступінь вогнестійкості будинків	Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій (у хвилинах) і максимальні межі поширення вогню по них (см)								
	стіни				коло-ни	сходові площад-ки, костури, сходи, балки, марші сходових кліток	пере-криття між поверхів (у т.ч. горищні та над підвалами	елементи суміщених покриттів	
	несучі та сходових кліток	само-несучі	зовнішні не-несу-чі	внутрішні не-несучі (перегородки				плити, настили, прого-ни	балки, ферми, арки, рами
III	REI 120 M0	REI 60 M0	E 15 M0	EI 15 M1	R 120 M0	R 60 M0	REI 45 M1	Не нормуються	

Протипожежні перешкоди і мінімальні межі їх вогнестійкості за ДБН В.1.1.7-2016 наведено в таблиці 8.7.

Таблиця 8.7 – Протипожежні перешкоди і мінімальні межі їх вогнестійкості

Протипожежні перешкоди	Типи проти-пожежних перешкод або їх елементів	Мінімальна межа вогнестійкості протипожежної перешкоди (у хвилинах)	Тип заповнення прорізів, не нижче	Тип протипожежного тамбур-шлюзу, не нижче
Стіни	3	REI 45	2	2
Перегородки	2	EI 15	3	2
Перекриття	3	REI 45	2	1

Таблиця 8.8 – Протипожежні відстані між житловими, громадськими, адміністративно-побутовими будинками промислових підприємств, гаражами, а також до виробничих будівель і споруд

Ступінь вогнестійкості будинку	Відстані при ступені вогнестійкості будинків, м		
	I, II	III	IV, V
III	8/9	8/12	10/15

В приміщенні, де знаходиться насосний агрегат, встановлено 2 вогнегасник ВП-5

ВИСНОВОК

У бакалаврській кваліфікаційній роботі обґрунтовано доцільність застосування частотних перетворювачів у насосній станції нафтопереробного заводу з погляду економії електроенергії та подовження ресурсу електродвигунів. Проте при впровадженні перетворювачів у багатодвигунних системах існують два основні варіанти керування: одночасне управління перетворювачем і всіма двигунами або керування лише одним двигуном із послідовним включенням інших від мережі в міру потреби. Одночасне управління вимагає перетворювача сумарної потужності всіх двигунів, що покращує якість регулювання, але значно підвищує капітальні витрати на перетворювач і комутаційне обладнання. Оскільки у проекті до підтримки необхідного напору не висуваються високі вимоги до точності регулювання, обрано більш економічний варіант – керування перетворювачем одного вентилятора з резервними насосами, які включаються від мережі за потреби. Також розроблено комплекс заходів з охорони праці.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Гаспарянц Р. С. Нормативно-технічне забезпечення нафтопроводу ВСТО / Р. С. Гаспарянц // Трубопроводний транспорт нафти. – 2003. – №8. – С. 31–34.
2. Захаров В. І., Лощинін А. Є. та ін. Оператор нафтоперекачувальної станції магістрального нафтопроводу. Частина II: навчальний посібник / В. І. Захаров, А. Є. Лощинін та ін.; під ред. Ю. В. Богатенкова. – Тюмень: Тюменський навчальний центр ОАО «Сибнефтепровод», 2005. – 208 с.
3. Технологічний регламент НПС «Тюмень-3». – Тюмень: ОАО «Сибнефтепровод», 2001. – 20 с.
4. Насоси нафтові магістральні. – Суми: Насосенергомаш, 2002. – 2 с.
5. Колпаков Л. Г. Центробіжні насоси магістральних нафтопроводів / Л. Г. Колпаков. – М.: Недра, 1985. – 184 с.
6. МАТЕРІАЛИ конференції «Інноваційні технології в енергетиці». – Київ: Національний університет «Остромадська академія», 2022. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: nuos.edu.ua
7. ВІСНИК Національного технічного університету «ХПІ». – Харків: НТУ «ХПІ», 2016. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: library.kpi.kharkov.ua
8. Дмитренко В. О., Козаченко В. М. Енергозбереження в системах насосного обладнання / В. О. Дмитренко, В. М. Козаченко // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – 2018. – №54. – С. 45–52.
9. Іванченко С. І. Моделювання електроприводів насосних установок / С. І. Іванченко // Енергетика і електрифікація. – 2017. – №4. – С. 33–40.
10. Петренко О. В. Технічні та економічні аспекти застосування частотних перетворювачів в насосних системах / О. В. Петренко // Енергетика та електротехніка. – 2019. – №3. – С. 20–28.
11. Бойко В. М., Коваленко О. П. Автоматизація насосних станцій на нафтових підприємствах України / В. М. Бойко, О. П. Коваленко // Науковий

вісник Національного гірничого університету. – 2020. – Випуск 1(150). – С. 98–104.

12. Мінекоенерго України Методичні рекомендації з енергозбереження в насосних установках / Міністерство енергетики та вугільної промисловості України, 2015. – 40 с. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: mre.kmu.gov.ua

13. Куриленко І. В. Основи гідравліки та насосної техніки / І. В. Куриленко. – Київ: Видавництво Київського політехнічного інституту, 2014. – 256 с.

14. Національний енергетичний університет України Збірник наукових праць «Сучасні проблеми енергетики» / Київ, 2019. – Випуск 23. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: neu.edu.ua

15. ДСНіП «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу». Наказ МОЗ № 248 від 08.04.2014.

16. НПАОП 40.1-1.21-98 (ДНАОП 0.00-1.21-98) Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=48644.

17. ДСТУ Б В.2.5-82:2016. Електробезпека в будівлях і спорудах. Вимоги до захисних заходів від ураження електричним струмом. К. : ДП «УкрНДНЦ», 2016. 109 с.

18. ДСН 3.3.6.042-99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. URL: <http://mozdocs.kiev.ua/view.php?id=1972>.

19. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування. К. : Мінрегіонбуд України, 2013. 149 с.

20. ДБН В.2.5-28:2018 Природне і штучне освітлення. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=79885

21. ДСН 3.3.6.039-99. Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/rada/show/va039282-99>.

22. ДСТУ 8828:2019 Пожежна безпека. Загальні положення. URL:

<https://dwg.ru/dnl/15125>.

23. ДСТУ 8829:2019 Пожежовибухонебезпечність речовин і матеріалів. Номенклатура показників і методи їхнього визначення. Класифікація. URL: <https://www.alutal.com.ua/wp-content/uploads/2021/02/dstu-8829-2019-1.pdf>.

24. ДСТУ Б В.1.1-36:2016 Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпек. URL: https://dbn.co.ua/load/normativy/dstu/dstu_b_v_1_1_36/5-1-0-1759.

25. ДБН В.1.1-7:2016 Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги. URL: http://www.poliplast.ua/doc/dbn_v.1.1-7-2002.pdf.

26. НАПБ А.01.001-14. Правила пожежної безпеки в Україні. К. : МВС України, 2014. 47 с.

Додаток А Технічне завдання

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет
Факультет електроенергетики та електромеханіки

ЗАТВЕРДЖЕНО
Зав. кафедри КЕСМК

к.т.н., доц. Мошноріз М.М.

“4” березня 2025р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

до бакалаврської кваліфікаційної роботи на тему:

Модернізація електропривода насосного агрегату
нафтопереробного заводу

Науковий керівник:

к.т.н., ст.викл. Бомбик В.С.

04 березня 2025р. (підпис)

Виконавець: студент гр. ЕМСА-24мс

Ткачук В.В.

04 березня 2025р. (підпис)

Вінниця ВНТУ 2025 р.

1 Загальні відомості

Повне найменування розробки – «Модернізація електропривода насосного агрегату нафтопереробного заводу».

Скорочене найменування розробки – «Електропривод насосного агрегату нафтопереробного заводу».

2 Підстави для розробки

Дослідження виконано відповідно до завдання кафедри комп'ютеризованих електромеханічних систем і комплексів Вінницького національного технічного університету щодо модернізації систем керування компресорної станції з метою підвищення її енергетичної ефективності. Робота проводилася відповідно до наказу ректора про затвердження тем кваліфікаційного проектування.

3 Призначення розробки і галузь використання

Автоматизована система електропривода насосного агрегату є ключовим вузлом будь якого нафтопереробного заводу.

Така системи управління будується на базі мікропроцесорів і дозволяє досягти високих показників необхідних технологічних параметрів.

4 Вимоги до розробки

Автоматизована система електропривода насосного агрегату повинна забезпечувати надійну роботу. Експлуатація здійснюється в цехових умовах.

5 Комплектація розробки

Система складається з асинхронного двигуна, насоса, перетворювача частоти та контролера.

6 Технічні характеристики

Продуктивність	$Q = 80$
Напір	$H = 57 \text{ м}$
Число обертів	$n = 2900 \text{ об/хв}$

7 Джерела розробки

1. Іванченко С. І. Моделювання електроприводів насосних установок / С. І. Іванченко // Енергетика і електрифікація. – 2017. – №4. – С. 33–40.
2. Петренко О. В. Технічні та економічні аспекти застосування частотних перетворювачів в насосних системах / О. В. Петренко // Енергетика та електротехніка. – 2019. – №3. – С. 20–28.

8 Елементна база

Контролер, перетворювач частоти, насосний агрегат, провідники, кабелі і т.п. виробництва України та Європи.

9 Конструктивне виконання

Автоматизована система електропривода насосного агрегату виготовляється окремими блоками, котрі реалізуються у відповідності до вимог електробезпеки у пило-вологозахищеному виконанні.

10 Показники технологічності

Автоматизована система електропривода насосного агрегату виконується на сучасній елементній базі, її монтаж повинен відповідати правилам улаштування електроустановок.

11 Стадії і етапи розробки

Стадії і етапи розробки	Термін виконання
Основна частина пояснювальної записки	06.05.2025р
Графічна частина	20.05.2025р

12 Технічне обслуговування і ремонт

Технічне обслуговування здійснюється слюсарями-електромонтажниками відповідної кваліфікації. Технічний огляд пристрою здійснюється мінімум один раз на місяць. Ремонт здійснюється інженерами-електромеханіками фахівцями з електромеханічних систем автоматизації та електропривода.

13 Живлення системи автоматизації

Живлення електропривода повинно бути виконане напругою 220 В від мережі підприємства.

Додаток Б Протокол перевірки кваліфікаційної роботи

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Назва роботи: Модернізація електропривода насосного агрегату нафтопереробного заводу

Тип роботи: бакалаврська кваліфікаційна робота

Підрозділ: кафедра КЕМСК, ФЕЕЕМ, гр. ЕМСА-23мс

Коефіцієнт подібності текстових запозичень, виявлених у роботі системою StrikePlagiarism 24,02%

Висновок щодо перевірки кваліфікаційної роботи (відмітити потрібне)

☒ Запозичення, виявлені у роботі, є законними і не містять ознак плагіату, фабрикації, фальсифікації. Роботу прийняти до захисту

☐ У роботі не виявлено ознак плагіату, фабрикації, фальсифікації, але надмірна кількість текстових запозичень та/або наявність типових розрахунків не дозволяють прийняти рішення про оригінальність та самостійність її виконання. Роботу направити на доопрацювання.

☐ У роботі виявлено ознаки плагіату та/або текстових маніпуляцій як спроб укриття плагіату, фабрикації, фальсифікації, що суперечить вимогам законодавства та нормам академічної доброчесності. Робота до захисту не приймається.

Експертна комісія:

Зав. кафедри КЕМСК Мошноріз М.М.

(прізвище, ініціали, посада)

Гарант ОП

Мошноріз М.М.

(прізвище, ініціали, посада)

Особа, відповідальна за перевірку

(підпис)

Паянок О.А.

(прізвище, ініціали)

З висновком експертної комісії ознайомлений(-на)

Керівник

(підпис)

Бомбик В.С.

(прізвище, ініціали, посада)

Здобувач

(підпис)

Ткачук В.В.

(прізвище, ініціали)

Додаток Б
Ілюстративні матеріали

Вінницький національний технічний університет
Факультет електроенергетики та електромеханіки
Кафедра комп'ютеризованих електромеханічних систем і
комплексів

Модернізація електропривода насосного агрегату нафтопереробного заводу

Студент гр. ЕМСА-23мс Віктор ТКАЧУК.
Науковий керівник: к.т.н., ст.викл. Бомбик В.С.

Постановка задачі проектування

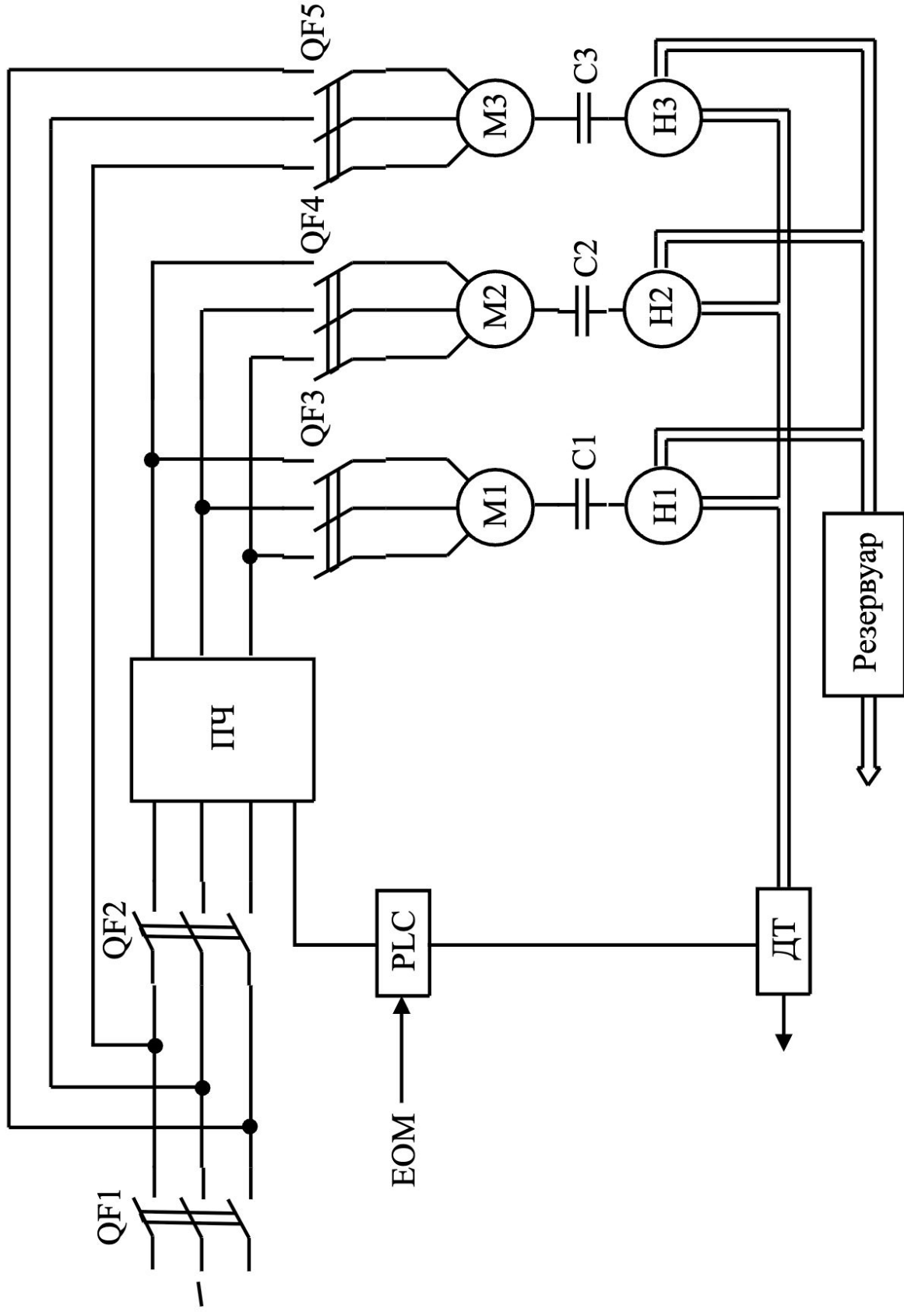
Мета роботи: модернізувати електропривод насосного агрегату нафтопереробного заводу.

Завдання проектування:

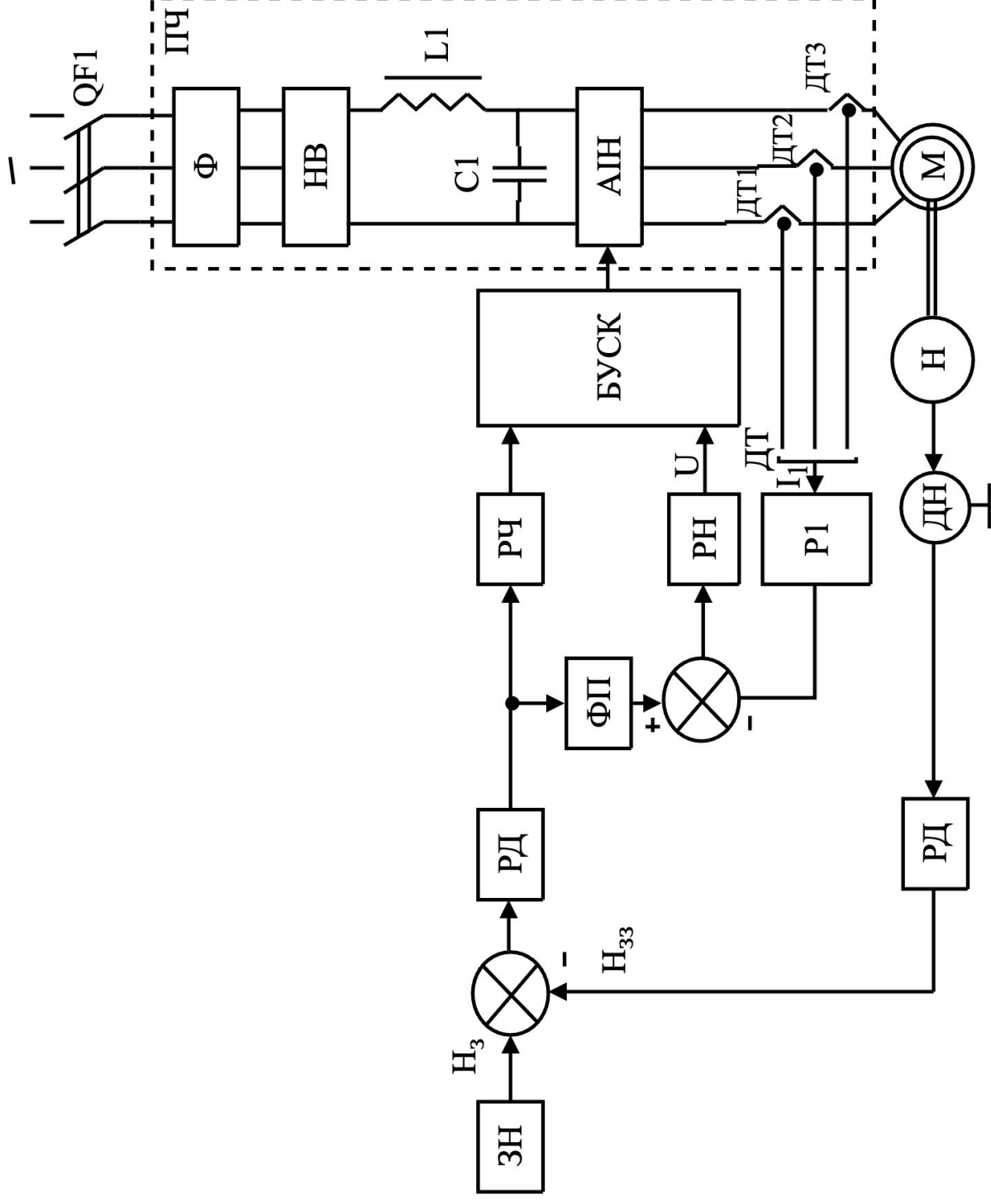
- 1) здійснити аналіз технологічного процесу промислової установки;
- 2) вибрати елементну базу для реалізації автоматизованої системи електропривода насосного агрегату нафтопереробного заводу;
- 3) розробити необхідні схеми;
- 4) спроектувати систему автоматичного керування;
- 5) розробити імітаційну модель електропривода
- 6) зробити загальні висновки.

Структурна схема насосної установки

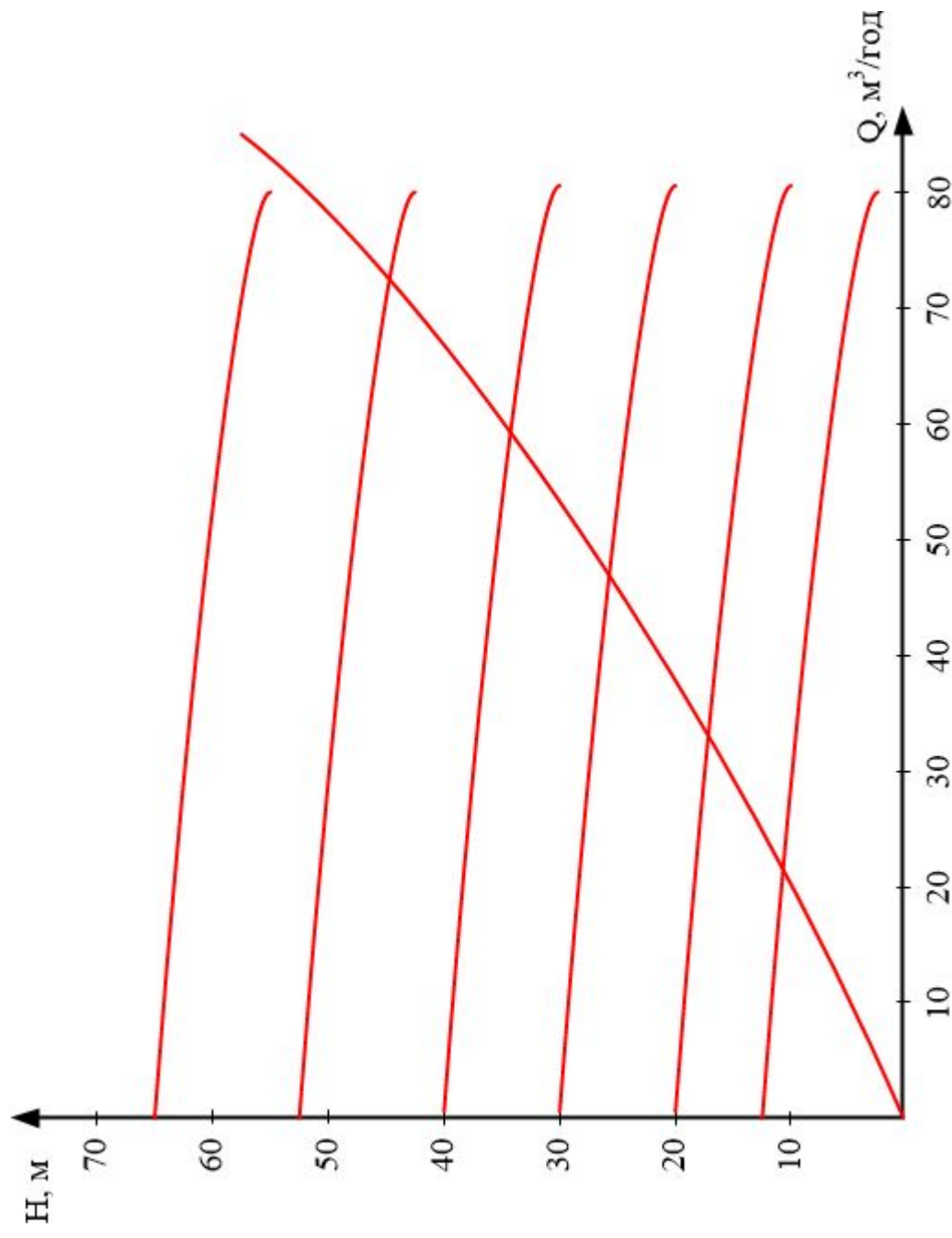
3



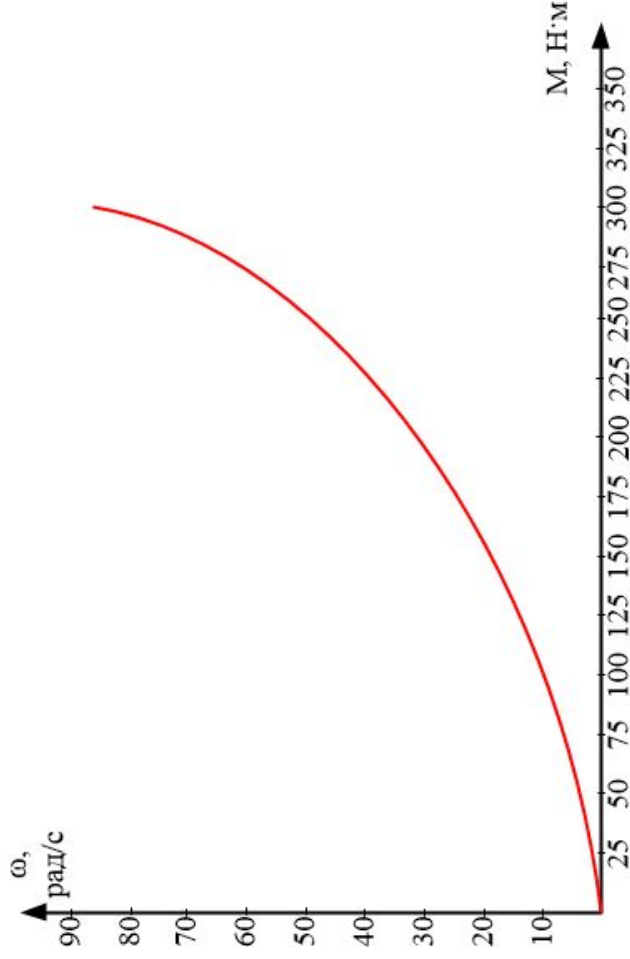
Функциональна схема електроприводу насоса



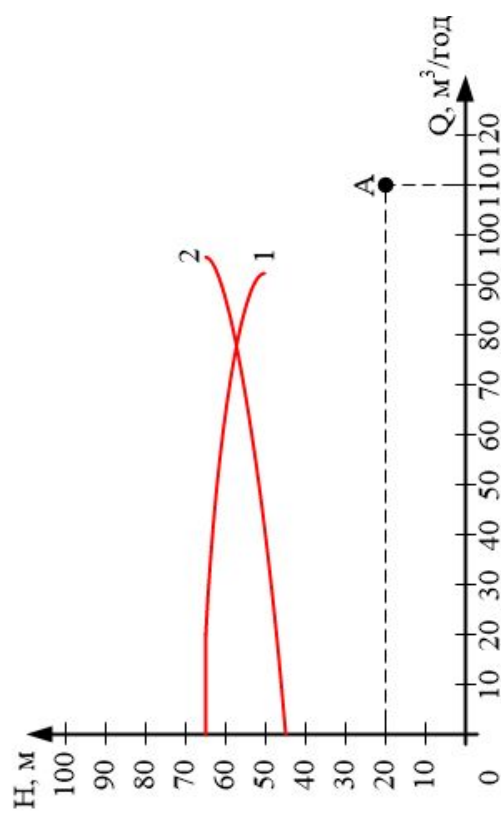
Характеристики $H(Q)$ при зміні кутової швидкості обертання



Механічна характеристика насоса та гідравлічна характеристика мережі



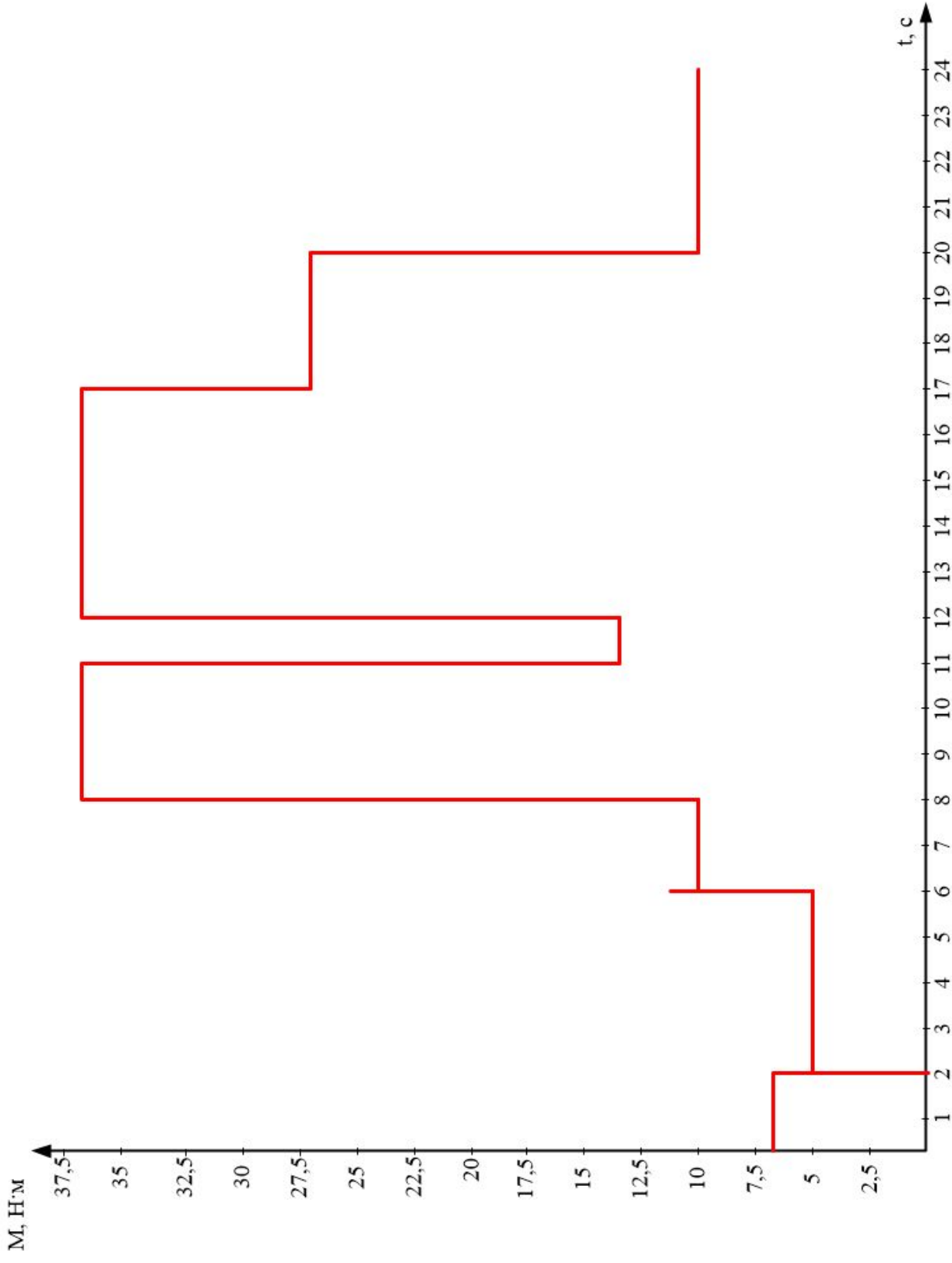
Механічна характеристика насоса



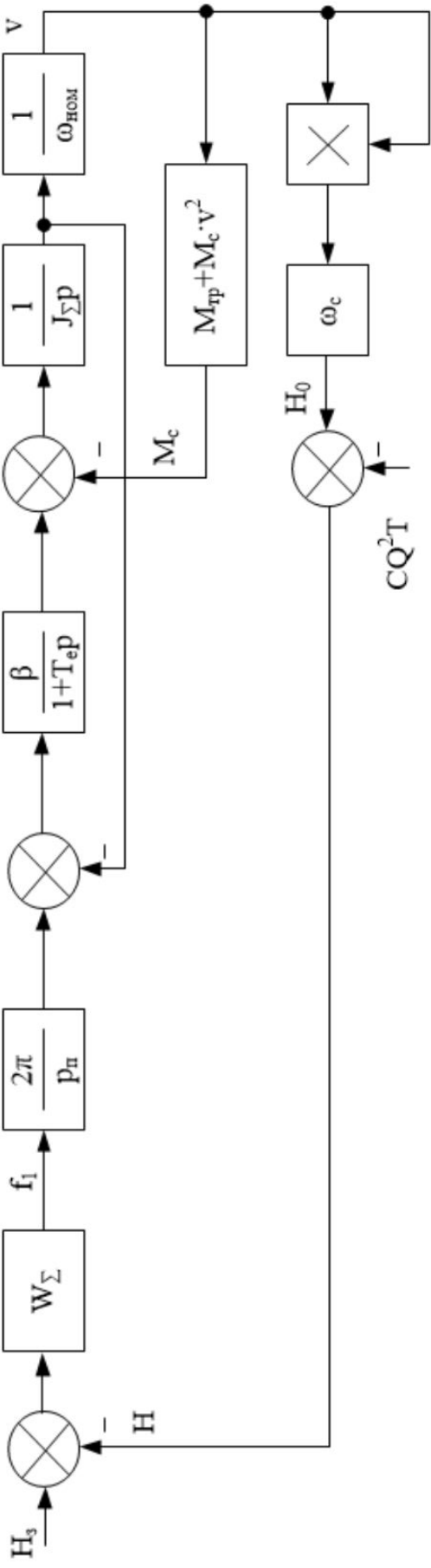
Гідравлічна характеристика мережі і характеристика

$H = f(Q)$ насоса Grundfos NB 50-200/210

Навантажувальна діаграма електроприводу

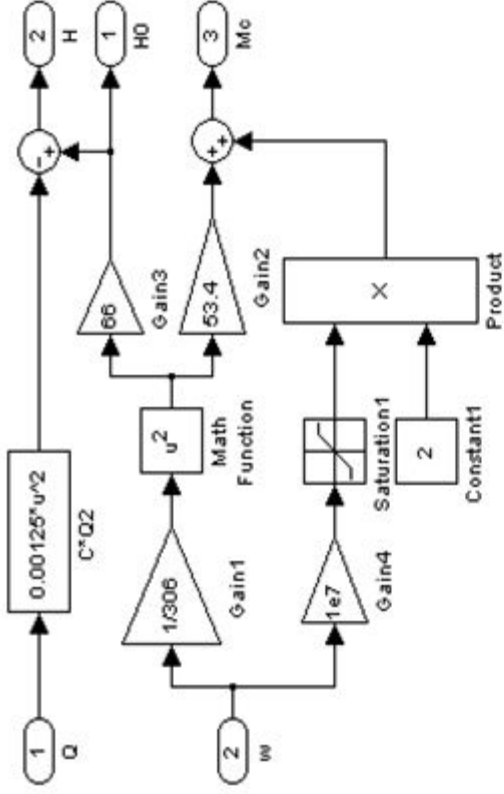


Структурна схема автоматизованого

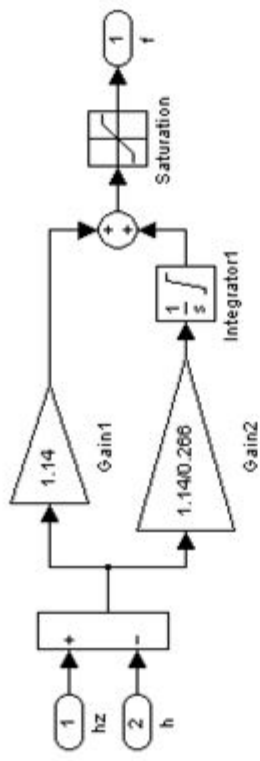


Моделі насоса, регулятора тиску та системи управління перетворювачем

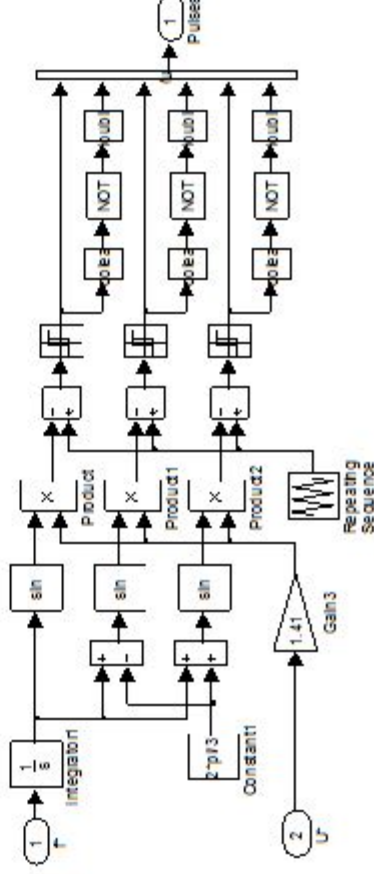
9



Модель насоса

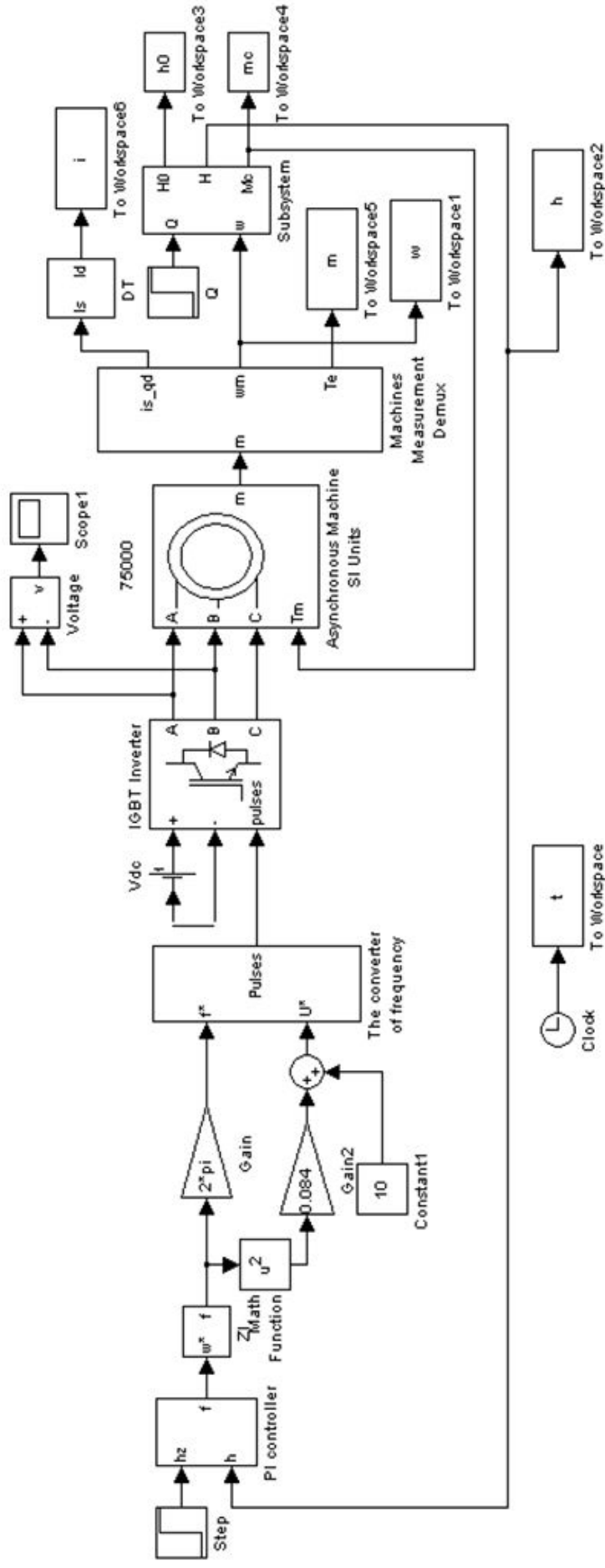


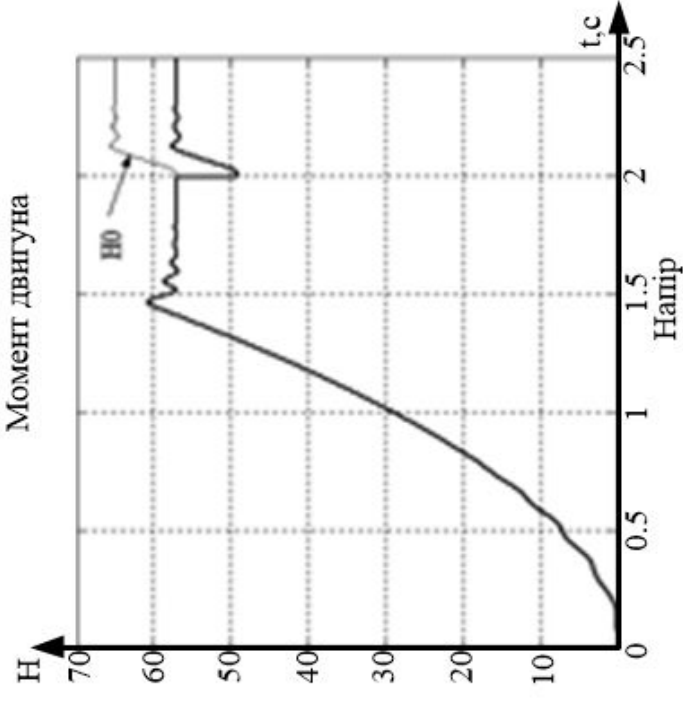
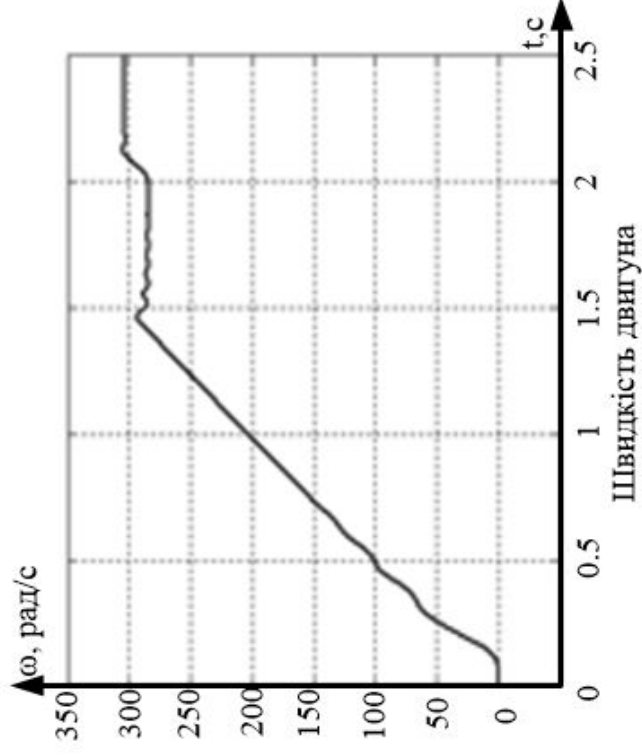
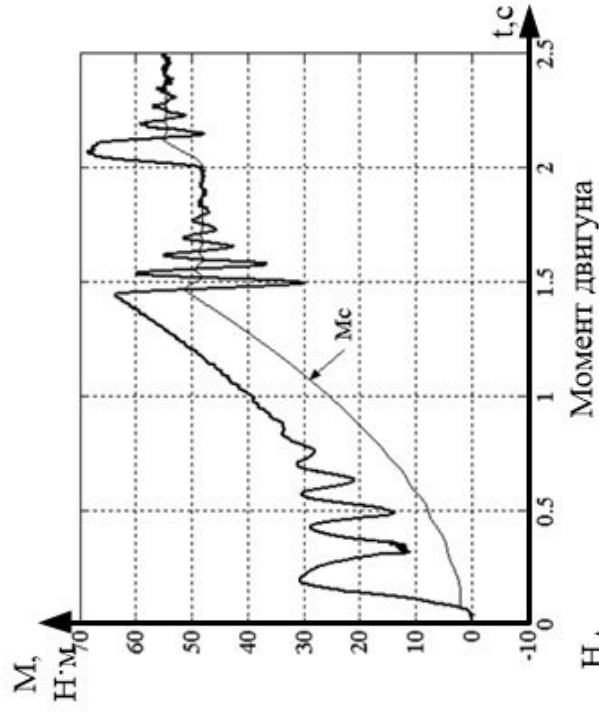
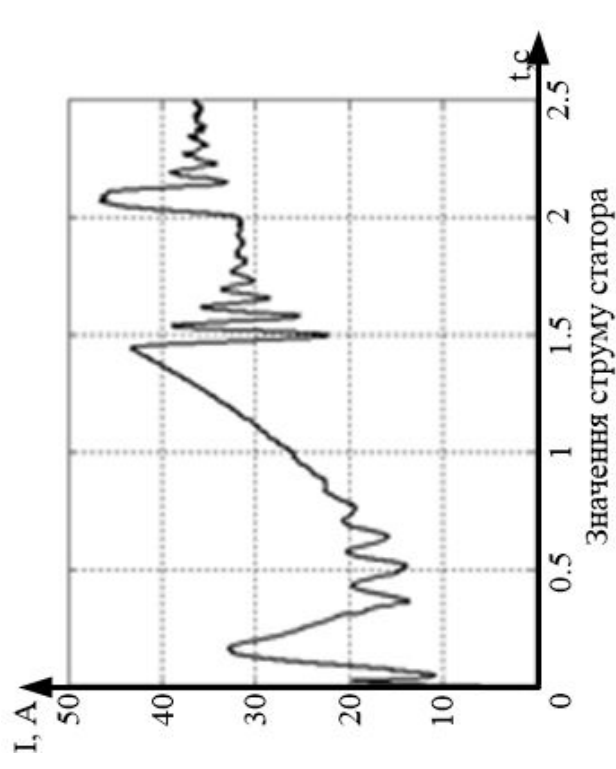
Модель регулятора тиску



Модель системи управління перетворювачем

Імітаційна модель автоматизованого електроприводу насоса





У бакалаврській кваліфікаційній роботі обґрунтовано доцільність застосування частотних перетворювачів у насосній станції нафтопереробного заводу з погляду економії електроенергії та подовження ресурсу електродвигунів. Проте при впровадженні перетворювачів у багатодвигунних системах існують два основні варіанти керування: одночасне управління перетворювачем і всіма двигунами або керування лише одним двигуном із послідовним включенням інших від мережі в міру потреби. Одночасне управління вимагає перетворювача сумарної потужності всіх двигунів, що покращує якість регулювання, але значно підвищує капітальні витрати на перетворювач і комутаційне обладнання. Оскільки у проекті до підтримки необхідного напору не висуваються високі вимоги до точності регулювання, обрано більш економічний варіант. Також розроблено комплекс заходів з охорони праці.

					08-24.БКР.031.00.000			
Зм. Арк. № докумен.		Підпис	Дата	Модернізація електропривода насосного агрегату нафтопереробного заводу.	Літ.	Маса	Масштаб	
Розробив:	Ткачук В.В.	<i>[Signature]</i>	20.05					
Перевірів	Бомбик В.С.	<i>[Signature]</i>	20.05					
Г. контр.								
Резерв.	Бабенко О.К.	<i>[Signature]</i>	20.06		Аркуш 1	Аркушів 1		
Норм. кон.	Войчук КС	<i>[Signature]</i>	03.06	ВНТУ, гр. ЕМСА-23мс				
Затверд.	Мешніоріт	<i>[Signature]</i>	03.06					