

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
(повне найменування вищого навчального закладу)

Навчально-науковий інститут інформаційних технологій і робототехніки
(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра автоматики, електроніки та телекомунікацій
(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи

магістр

(ступінь вищої освіти)

на тему **Модернізація системи збору, підготовки та перекачування
супутньо-пластових вод на об'єктах нафтогазової промисловості**

Виконав: студент 6 курсу, групи 601МЕ
спеціальності 141 «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Качуровський Б.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник Леві Л.І.

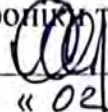
(прізвище та ініціали)

Рецензент Кислиця С.Г.

(прізвище та ініціали)

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
Інститут Навчально-науковий інститут інформаційних технологій та
робототехніки
Кафедра Автоматики, електроніки та телекомунікацій
Ступінь вищої освіти Магістр
Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри автоматичної, електроніки та телекомунікацій

О.В. Шефер
« 02 » вересня 2024 р.

**ЗАВДАННЯ
НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Качуровському Богдану Володимировичу

1. Тема проекту (роботи) **«Модернізація системи збору, підготовки та перекачування супутньо-пластових вод на об'єктах нафтогазової промисловості.**
Керівник проекту (Леві Л.І., д.т.н., професор), затверджена наказом вищого навчального закладу №818-ф.а.від «09» серпня 2024 року.
2. Строк подання студентом проекту (роботи) 20.12.2024р.
3. Вихідні дані до проекту (роботи) витрата СПВ до автоналивного стояка – 12м³/год; тиск – 0,5 МПа; витрата СПВ для повернення в пласт – 9 м³/год; тиск – 1,0 МПа; витрата СПВ для перекачування до парку глушіння свердловин – 1,5м³/год; тиск – 1,0 МПа; перерегулювання у межах 20%, час регулювання не більше 1,0 с.
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Аналіз технологічного процесу видобутку нафти та газу. Аналіз технологічного процесу керування супутньо-пластовими водами як об'єкта модернізації. Аналіз технологічних рішень для модернізації системи керування СПВ. Розрахунок та вибір електроприводів системи керування СПВ. Перевірка вибраних електродвигунів за перевантажувальною здатністю та за перегрівом. Модернізація системи автоматичного керування СПВ. Розробка структурних та функціональних схем керування СПВ. Дослідження роботи електпроприводів системи керування СПВ. Розробка принципової схеми керування СПВ. Розрахунок та вибір провідників схеми керування СПВ. Розрахунок та вибір елементів схеми керування СПВ. Розробка автоматизованої системи керування СПВ. Вибір засобів автоматизації. Розробка схеми зовнішніх з'єднань. Розробка ввідного розподільчого щита.
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових плакатів):
 1. Аналіз технологічного процесу видобутку нафти та газу.
 2. Система керування СПВ як об'єкт модернізації.

3. Функціональна схема САК електропривода системи керування СПВ.
4. Структурна схема САК системи керування СПВ.
5. Дослідження роботи електропривода насоса в середовищі Matlab.
6. Схема електрична принципова системи керування СПВ.
7. Розробка автоматизованої системи керування СПВ.
8. Розробка схеми підключення елементів системи керування СПВ.
9. Розробка ввідного електричного щита системи керування СПВ.

6. Дата видачі завдання 02.09.2024р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Пор. №	Назва етапів магістерської роботи	Термін виконання етапів роботи			Примітка (плакати)
1	Аналіз технологічного процесу видобутку нафти та газу	08.10.24		10%	Пл. 1
2	Аналіз технологічного процесу керування супутньо-пластовими водами як об'єкта модернізації	12.10.24		20%	Пл. 2
3	Аналіз технологічних рішень для модернізації системи керування СПВ	16.10.24	I	30%	Пл. 3
4	Розрахунок та вибір електроприводів системи керування СПВ. Перевірка вибраних електродвигунів за перевантажувальною здатністю та за перегрівом	27.10.24		40%	Пл. 4
5	Модернізація системи автоматичного керування СПВ. Розробка структурних та функціональних схем керування СПВ. Дослідження роботи електроприводів системи керування СПВ	05.11.24		50 %	Пл. 5
6	Розробка принципової схеми керування СПВ. Розрахунок та вибір провідників схеми керування СПВ. Розрахунок та вибір елементів схеми керування СПВ	19.11.24	II	60%	Пл. 6
7	Розробка автоматизованої системи керування СПВ	22.11.24		70%	Пл. 7
8	Вибір засобів автоматизації	01.12.24		80%	Пл. 8
9	Розробка схеми зовнішніх з'єднань. Розробка ввідного розподільчого щита	11.12.24		90%	Пл. 9
10	Оформлення магістерської роботи	20.12.24	III	100%	

Магістрант


(підпис)

Качуровський Б.В.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи


(підпис)

Леві Л.І.
(прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ	6
ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИДОБУТКУ НАФТИ ТА ГАЗУ Й ОБГРУНТУВАННЯ НАПРЯМКУ МОДЕРНІЗАЦІЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ СПВ	
1.1 Аналіз технологічного процесу видобутку нафти та газу	9
1.2 Аналіз технологічного процесу керування супутньо-пластовими водами як об'єкта модернізації	12
1.3 Аналіз технологічних рішень для модернізації системи керування СПВ	16
1.4 Висновки за розділом та постановка завдань на магістреське дослідження	19
РОЗДІЛ 2 МОДЕРНІЗАЦІЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ СПВ	
2.1 Розрахунок та вибір електроприводів системи керування СПВ	21
2.2 Перевірка вибраних електродвигунів за перевантажувальною здатністю та за перегрівом	25
2.3 Модернізація системи автоматичного керування СПВ	29
2.4 Розробка структурних та функціональних схем керування СПВ	35
2.5 Дослідження роботи електроприводів системи керування СПВ	39
2.5.1 Дослідження роботи електропривода перекачування СПВ до автоналивного стояка та парку глушіння свердловин	39
2.5.2 Дослідження роботи електропривода для повернення СПВ в пласт	42
2.6 Висновки за розділом	51
РОЗДІЛ 3 РОЗРОБКА СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ СПВ	
3.1 Розробка принципової схеми керування СПВ	52
3.2 Розрахунок та вибір провідників схеми керування СПВ	53
3.3 Розрахунок та вибір елементів схеми керування СПВ	58
3.4 Висновки за розділом	65

РОЗДІЛ 4 РОЗРОБКА АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ СПВ ТА ВИБІР ЇЇ ЕЛЕМЕНТІВ

4.1 Розробка автоматизованої системи керування СПВ	67
4.2 Вибір засобів автоматизації системи керування СПВ	70
4.3 Розробка схеми зовнішніх з'єднань системи керування СПВ	81
4.4 Розробка силового щита системи керування СПВ	85
4.6 Висновки за розділом	86
ВИСНОВКИ	87
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	89
ДОДАТОК А	92
ДОДАТОК Б	103
ДОДАТОК В	110

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

- СПВ – супутньо-пластова вода
ГВКС – газоводоконденсатна суміш
ГЗУ – групова замірна установка
ЦПЗ – центральний пункт збору
УПН – установка підготовки нафти
ДНС – дожимні насосні станції
УПСВ – установки попереднього скидання пластових вод
СУ – сепараційні установки
УЗЗ – установка зневоднення та знесолення
УС – установка стабілізації
ВОГП – вузол комерційного обліку готової продукції
УОПВ – установка очищення пластових вод
ВРБ – водорозподільні блоки
КНС – кущова насосна станція
ГБЗ – газобензиновий завод
КС – компресорна станція
ГРУ – газорозподільна станція
ВП – вогняний підігрівач
НВ – нафтоуловлювач
САК – система автоматичного керування
АД з КЗ – асинхронний двигун з короткозамкненим ротором
ЧРП – частотно регульований привод

ВСТУП

Актуальність роботи. У галузі нафти та газу України існують невирішені питання, пов'язані з охороною надр та довкілля, зокрема, проблема керування супутньо-пластовими водами (СПВ). Використання термопечей або газових факельних установок для спалювання СПВ є технологічно неефективним і шкідливим для екології, а також вимагає значних енергетичних витрат. Тому повернення СПВ назад у надра вважається в першу чергу екологічною мірою, спрямованою на збереження природного середовища. Цей метод є найбільш ефективним і відповідає екологічним стандартам та українському законодавству про охорону надр та довкілля. Тому, враховуючі вищесказане, модернізація системи збору, підготовки, перекачування та повернення СПВ в надра з використанням сучасної автоматики є досить актуальним.

У світовій практиці, крім закачування СПВ у підземні шари, застосовували методи викидання СПВ у відкриті земляні сховища та термічне знешкодження через спалювання. Проте метод викидання СПВ у відкриті земляні сховища не виявився ефективним, адже призводить до випаровування небезпечних речовин у повітря, концентрації розчину (збільшення мінералізації) до моменту осадження сольових кристалів, а також до забруднення ґрунтових вод і ґрунтів.

Другим важливим аспектом в нафтогазовій промисловості є максимальна енергоефективність, що полягає в оптимізації енергозатратних ланок видобутку нафти та газу. Зокрема, технологічний процес керування СПВ є одним з найбільш енергозатратним.

Тому **метою магістерської роботи** є модернізація збору, підготовки та перекачування супутньо-пластових вод на об'єктах нафтогазової промисловості. Одночасно повинні вирішитись питання охорони надр та енергоефективність.

Об'єктом магістерської роботи є технологічний процес керування СПВ.

Предметом магістерської роботи є дослідження можливості модернізації збору, підготовки та перекачування супутньо-пластових вод на об'єктах нафтогазової промисловості.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати наступні **завдання**:

- проаналізувати технологічний процес видобутку нафти та газу;
- проаналізувати технологічний процес керування СПВ;
- обґрунтувати необхідність модернізувати технологічний процес керування СПВ;
- виділити основні напрямки можливої модернізації процесу керування СПВ;
- здійснити модернізацію електроприводів та систем керування ними;
- розробити функціональні та структурні схеми електроприводів;
- здійснити дослідження статичних та динамічних режимів роботи електроприводів;
- виконати вибір провідників та елементів захисту системи керування електроприводами;
- розробити автоматизовану систему керування СПВ;
- розрахувати та вибрати сучасні засоби автоматизації системи керування СПВ;
- розробити схему зовнішніх з'єднань;
- розробити силовий щит САК СПВ.

Методи дослідження: під час теоретичного аналізу в роботі використовувалися методи ідентифікації динамічних об'єктів, теорії лінійних і нелінійних систем автоматичного керування, теорії дискретних систем, теорії механізмів і машин, теорії теплопровідності, а також методи математичного моделювання на персональному комп'ютері. Теоретичні дослідження підкріплюються практичними та обчислювальними дослідженнями процесу збору, переробки та повернення СПВ в пласт.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИДОБУТКУ НАФТИ ТА ГАЗУ Й ОБГРУНТУВАННЯ НАПРЯМКУ МОДЕРНІЗАЦІЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ СПВ

1.1 Аналіз технологічного процесу видобутку нафти та газу

Видобуток нафти – це вкрай затратний та трудомісткий процес. Він включає виконання безлічі вимірювань, випробувань, взяття проб і, зрештою, буріння свердловин для підтвердження наявності ресурсу. При цьому можуть виникнути різні труднощі, такі як пористість гірських порід або в'язкість матеріалів. У минулому з відкритих родовищ витягували лише 10% сировини, залишаючи решту у надрах землі. Сучасні технології видобутку дозволили збільшити рівень вилучення нафти та природного газу більш ніж на 60% [3].

Процес видобутку нафти та газу включає безліч різних часткових виробничих процесів (див рис.1.1).



Рисунок 1.1 – Основні етапи (складові) технологічного процесу видобутку нафти та газу

Процес витягу із пласту на поверхню нафти, газу та газоконденсату є ключовим етапом виробничого процесу. Функціональна схема даного технологічного процесу представлена на рисунку 1.2 [14].

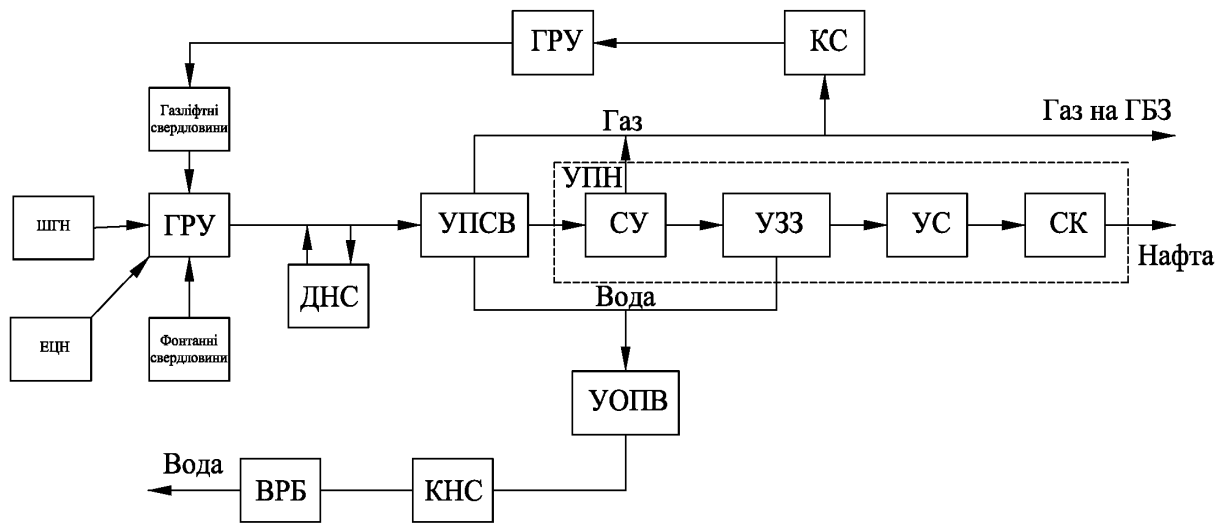


Рисунок 1.2 - Загальна функціональна схема видобутку нафти та газу

Кожен промисел по видобутку нафти та газу має свої особливості, але в загальному плані алгоритм має наступну послідовність. Піднята на поверхню різними способами (фонтанний, газліфтний, насосний) нафта від свердловин по колекторам свердловин направляється на групову замірну установку (ГЗУ). Свердловини по черзі підключаються до вимірювання для визначення їх дебіту по рідкій і газовій фазах [7].

Після підняття нафта потрапляє у промисловий колектор. Щоб її доставити до центрального пункту збору (ЦПЗ) або установка підготовки нафти (УПН), використовують дожимні насосні станції (ДНС). Тут з нафти частково відокремлюють газ та воду (у сепараторах та відстійниках), а потім за допомогою насосів транспортують до ЦПЗ або УПН. Установки попереднього скидання пластових вод (УПСВ) можуть включати до свого складу відстійники та технологічні резервуари, де нафту відстоюється, і з неї частково виділяються вода та газ.

Частково зневоднена нафта потрапляє на УПН, до складу яких включені сепараційні установки (СУ), призначені для дегазації нафти, установки

зневоднення та знесолення (УЗЗ), установки стабілізації (УС) для виділення з нафти легких вуглеводневих фракцій. Метан/етан/пропан/бутанові фракції мають досить низьку температуру кипіння і можуть бути втрачені в процесі транспортування нафти магістральними нафтопроводами. Підготовлена (товарна) нафта прямує до товарного парку (резервуару), звідки її насосами через вузли комерційного обліку готової продукції (ВКОГП) подають до магістрального нафтопроводу [13].

Пластова вода, відокремлена від нафтової емульсії на спорудах попереднього скидання води, установках підготовки нафти, надходить на пластову водоочисну станцію, після чого через водорозподільні блоки (ВРБ) і нагнітальні свердловини за допомогою втулки закачується назад у пласт.

Газ, який виділений на технологічних апаратах УПСВ та УПН, прямує на газобензиновий завод (ГБЗ). Частина цього газу подається компресорною станцією (КС) на газорозподільну установку (ГРУ), а потім - у затрубний простір нафтових свердловин, що експлуатуються газліфтним методом.

Залежно від типу енергії, який є основною рушійною силою для переміщення нафти з покладу до забою свердловин, виділяються такі режими: водонапірний (як природний, так і штучний), пружний, газонапірний (газова шапка), а також режим розчиненого газу та гравітаційний (режим виснаження пластової енергії).

Предметом магістерської роботи є дослідження можливості модернізації збору, підготовки та перекачування супутньо-пластових вод, тому приділемо увагу саме водонапірному режиму.

Водонапірний режим поділяється на жорсткий водонапірний та пружний водонапірний режими [14].

При жорсткому водонапірному режимі рух нафти в пласті до вибоїв свердловин здійснюється під впливом тиску крайових або законтурних вод, які постійно поповнюються з поверхневих джерел, таких як атмосферні опади, талі води, водойми, або в результаті штучного закачування води в свердловини нагнітальні. При жорсткому водонапірному режимі [3]:

$$P_{пл} > P_{нас} \quad (1.1)$$

де $P_{пл}$ – середній пластовий тиск, $P_{нас}$ – тиск насичення.

Коефіцієнт нафтовидобування - це відношення обсягу видобутої нафти до початкового запасу нафти в покладі.

При водонапірному режимі (як природному, і штучному) коефіцієнт нафтовидобування один із найвищих ($K_n = 0,5-0,7$).

Отже, процес видобутку нафти та газу досить громіздкий та багатоструктурний технологічний процес. Кожен етап має свої особливості та впливає на якість кінцевого продукту та навколишнє середовище. Тому пошук технологічних рішень модернізації будь-якої ланки цього технологічного процесу є вкрай актуальним.

1.2 Аналіз технологічного процесу керування супутньо-пластовими водами як об'єкта модернізації

Як зазначалось у п.1.1 у процесі видобування нафти і газу на поверхню піднімається значна кількість супутньо-пластових вод.

Відповідно до статті 1 «Водного кодексу» України вода супутньо-пластова - вода, що піднімається на поверхню разом з нафтою і газом під час їх видобування [17].

Узагальнений технологічний процес утворення СПВ має таку послідовність. Суміш від високонапірних свердловин по індивідуальних шлейфах надходить на вузол входу свердловин з тиском $7,0 \div 13,0$ МПа та температурою $+4 \div +40$ °С і далі направляється на першій ступінь сепарації – сепаратори, де очищується від вільних конденсату і води. Газовий потік з сепаратора з тиском $6,0 \div 8,0$ МПа та температурою $+5 \div +15$ °С направляється в трубний простір рекуперативного теплообмінника, в якому охолоджується до температури $-15 \div -5$ °С. З трубного простору газ поступає в сепаратор С (тиск $2,8 \div 4,0$ МПа, температура $-25 \div -15$ °С). ГВКС від високонапірних свердловин

по індивідуальних шлейфах надходить на вузол входу свердловин з тиском $3,0 \div 4,6$ МПа і температурою $+5 \div +20$ °С і направляється в сепаратор С, де очищується від вільних конденсату і води. З сепаратора С газ також подається в сепаратор С. Після С газ надходить у затрубний простір теплообмінника Т, а далі з тиском $2,8 \div 4,0$ МПа і температурою $0 \div +10$ °С, через вузол заміру, направляється далі в газопровід. Існує технологічна можливість подачі частини високонапірного газу після С або С на ежектор для засмоктування газу низьконапірних свердловин та газу вивітрювання. Водоконденсатна суміш з сепараторів С і С направляється в розділювач рідини першого ступеня Р (тиск $2,8 \div 4,0$ МПа, температура $+10 \div +25$ °С). Суміш конденсату та метанольної води з сепаратора другого ступеня С направляється на розділювач рідини другого ступеня Р (тиск $1,8 \div 2,6$ МПа і температура $-25 \div -10$ °С) [14].

Водоконденсатна суміш з сепаратора С-Д направляється на розділювач рідини Р-Д (тиск $2,8 \div 4,0$ МПа і температура $+10 \div +25$ °С). Водоконденсатна суміш з низьконапірного сепаратора С направляється на розподілювач рідини Р (тиск $1,5$ МПа і температура $+5 \div +25$ °С).

Розподілювачі працюють в режимі дегазатора. Водоконденсатна суміш продувається в розділювач Р або підпірну ємність ЄП. З розділювача Р (підпірної ємності ЄП) ВКС подається в ємності збору конденсату Е-1 та Е-2, де дегазується до тиску $1,4$ МПа і при температурі $-5 \div +15$ °С.

З ємностей Е-1 та Е-2 водоконденсатна суміш відкачується насосами. Для вуглеводневого конденсату встановлено витратомірний прилад MicroMotion. Газ вивітрювання з розподілювача Р подається на вхід сепаратора С. Газ вивітрювання з розподілювача Р, з ємності вивітрювання конденсату ЄП, з розподілювача Р, з ємностей збору конденсату Е-1 та Е-2 направляється в сепаратор паливного газу С. Також передбачено цей газ направляти на вхід ДКС або на ежектор для засмоктування газонапірним газом, або використовувати для перетиску рідин [3].

Загальною технологічною схемою також передбачено можливість направлення газу вивітрювання з розподілювача Р в сепаратор С і далі в С.

Відділена в сепараторах рідина направляється до атмосферних ємностей конденсату Е-3, Е-4.

Для забезпечення безперебійної роботи свердловин і запобігання утворення гідратних пробок передбачена можливість подачі інгібітору гідратуутворення по інгібіторопроводах на гирла свердловин, на ВВС та на УНТС [7].

Метанольне господарство призначене для прийому, зберігання та видачі інгібітору гідратуутворення (метанолу) або його суміші з конденсаційною водою на насосну інгібіторів. Метанольне господарство складається з підземної ємності метанолу ЄМ-1, видаткової ємності Е-2, ємності метанольної води ЄМВ, дренажної ємності метанолу ЄД. Для зберігання метанолу також використовуються відповідні ємності.

Також передбачений підігрів технологічного обладнання (ємностей, апаратів, сепараторів, розділювачів) від вогневого підігрівача ВП. Підігрів здійснюється теплоносієм з температурою $60\div 80$ °С, яким прокачується насосами у змішувачах обладнання.

Тобто, загальним технологічним процесом видобутку нафти та газу в Україні передбачено скидання СПВ у відкриті земляні амбари, що з точки зору екології так і новими технологіями і світовій практиці є зоною можливого удосконалення. В Україні цей метод був реалізований ще за часів радянської доби і використовувався протягом багатьох років. Тільки на даний час почались впровадження технологій повернення СПВ у підземні горизонти.

У світовій практиці при роботі з СПВ також застосовувалися такі методи, як скидання СПВ у відкриті земляні амбари та спалювання. Однак спосіб скидання твердих побутових відходів у відкриті земляні амбари не виправдав себе, оскільки шкідливі речовини випаровуються в атмосферу, а розчин концентрується (підвищується мінералізація) до випадіння кристалів солі, що в свою чергу забруднює ґрунтові води та сам ґрунт. Спалювання СПВ за допомогою термічних печей або газових факелів є неефективним з технологічних та екологічних причин і потребує значної кількості енергії [14].

За відсутності необхідності підтримання пластового тиску на родовищі СПВ повертаються до підземних водоносних горизонтів. Така практика впроваджена на більшості нафтогазових родовищ світу, включаючи високорозвинені країни (рисунок 1.3).



Рисунок 1.3 – Методи керування СПВ

При скиданні СПВ у відкриті земляні амбари є можливість використовувати її для інших цілей, але через високу мінералізацію вона непридатна для вживання людиною, поливу сільськогосподарських угідь, використання в градирнях та котельнях тощо. Мінералізація СПВ сягає до 400 г/л (за рахунок значних концентрацій в них іонів натрію, кальцію, хлоридів). По суті - це побічний продукт, відділення якого від корисних копалин (нафти, газу, конденсату) - високозатратний процес, що суттєво впливає на рентабельність експлуатації родовищ [13].

Основні фізико-хімічні показники СПВ зведено до таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Основні фізико-хімічні показники СПВ

Основні фізико-хімічні показники пластових вод					
питома густина (г/см ³)	мінералізація (мг/дм ³)	вміст завислих речовин та нафтопродуктів (мг/дм ³)	сумісність з породою покладу пластовою водою	наявність сульфат-відновлювальних бактерій	корозійна агресивність (мм/рік)

Отже, повернення СПВ у надра слід розглядати як екологічну ініціативу, спрямовану на збереження навколишнього середовища. Цей підхід є найбільш ефективним і відповідає стандартам екологічної безпеки та законодавству України в сфері охорони надр і довкілля. Для СПВ, що повертаються у підземні горизонти, законодавством встановлюються певні вимоги до їх якості [7]:

- вміст завислих речовин не більше 20-50 мг/дм³;
- вміст нафтопродуктів до 10-30 мг/дм³;
- концентрація водневих іонів (рН) - у межах 5–8;
- корозійна агресивність - 0,1 мм/рік;
- не допускається вміст сірководню та тривалентного заліза тощо.

Тому метою магістерської роботи є дослідити можливість модернізувати систему збору, підготовки та перекачування СПВ на об'єктах нафтогазової промисловості для збереження навколишнього середовища, а також для оптимального використання існуючих ресурсів.

1.3 Аналіз технологічних рішень для модернізації системи керування СПВ

Модернізація системи керування СПВ полягає в пошуку рішень, що підвищать екологічність даного технологічного процесу, зручність та точність керування, раціональність використання існуючих ресурсів. З урахуванням вищесказаного, світової практики процесу керування СПВ та екологічними вимогами до об'єктів нафтогазового промислу з урахуванням вимог законодавства приймаємо наступні технологічні рішення (таблиця 1.2).

Пропонується встановлення атмосферного нафтовловлювача (НВ). Рідина (нестабільний газовий конденсат супутня пластова вода) для розділення в нафтовловлювачі подається з існуючих дегазаторів. В нафтовловлювачі НВ за рахунок різниці в густині рідина розділяється на стабільний газовий конденсат, СПВ та газ вивітрювання (рисунок 1.4). Газ

вивітрювання скидається в атмосферу. Стабільний газовий конденсат самопливом надходить до ємностей зберігання конденсату.



Рисунок 1.4 – Технологія проектного отримання СПВ

Таблиця 1.2 – Технологічні рішення модернізації

№	Проектне рішення	Реалізація проектного рішення
1	Модернізувати існуючий парк ємностей	Встановлення нафтоуловлювача
2		Встановлення ємності зберігання СПВ
3	Можливість транспортувати СПВ до інших об'єктів	Розробка насосної для подачі СПВ до автоналивного стояка для відвантаження
4	Можливість повернення СПВ в пласт	Розробка насосної для повернення СПВ в пласт
5	Можливість використання СПВ для глушіння свердловин	Розробка насосної та парку зберігання рідини для глушіння свердловин

Розширення парку ємностей надасть можливість накопичувати та зберігати СПВ без порушення технологічного процесу видобутку нафти та газу. Можливість повернення СПВ в пласт та транспортувати до інших об'єктів вирішить питання екологічності процесу керування СПВ. Передбачається, що СПВ з НВ самопливом подається до проектних ємностей зберігання СПВ Є-1, Є-2.1, Є-2.2, Є-3.

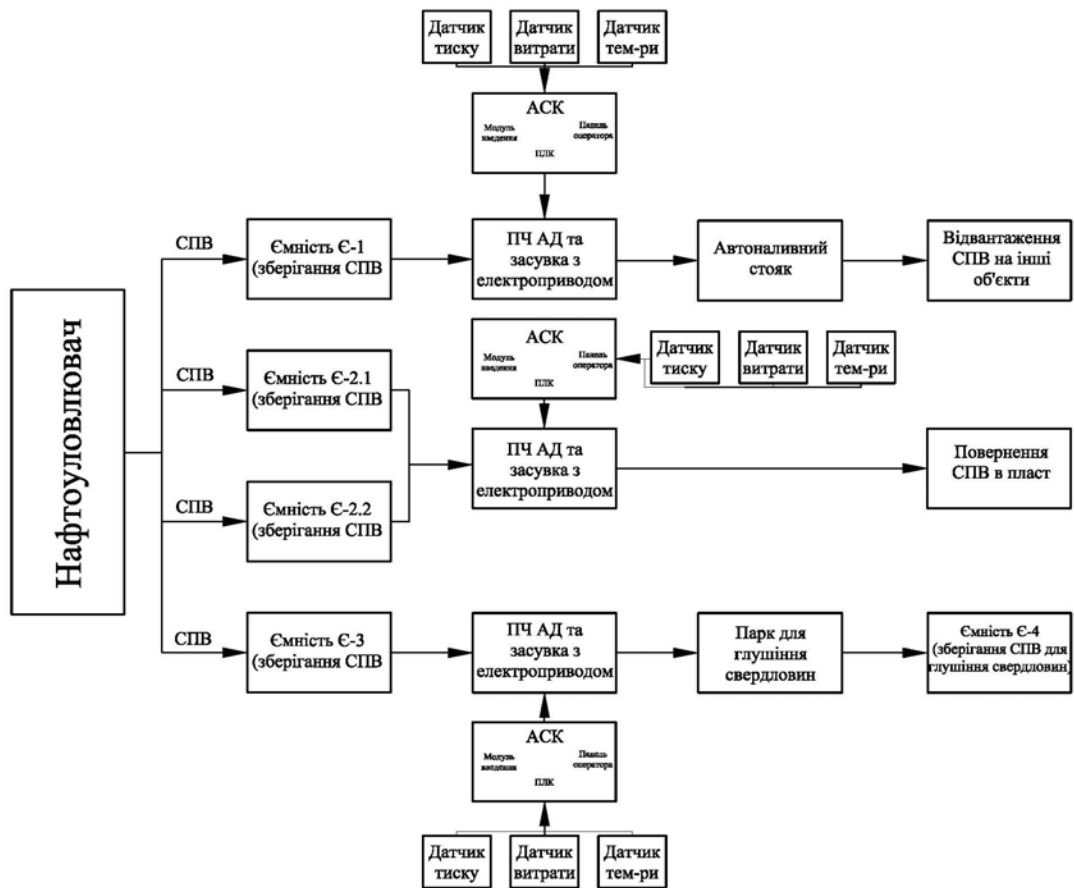


Рисунок 1.5 – Функціональна схема модернізації системи збору, підготовки та перекачування СПВ

СПВ з ємності Є-1 за допомогою насосу може подаватись до автоналивного стояка. На трубопроводі подачі СПВ до автоналивного стояка передбачається встановлення витратоміру. З ємностей Є-2.1 та Є-2.2 СПВ може подаватись до всмоктуючого колектору насосів повернення СПВ в пласт. Схемою передбачається встановлення резервуарного парку зберігання рідини для глушіння свердловин, який складається з ємностей Є-4 та насосу для перекачування СПВ до цього парку. Для очищення СПВ передбачається встановлення, на входних трубопроводах відповідних насосів, рідинних сітчастих дренажних фільтрів.

СПВ на всіх трьох напрямках підлягає обліку, тому передбачено встановлення витратомірів. Системи керування насосами повинні бути

оснащення сучасним енергозберігаючими автоматизованими електроприводами.

Енергозбереження в електроприводі досягається такими шляхами:

- справедливий вибір електродвигуна за потужністю (практика вибору двигуна із завищеною потужністю призводить до зниження ККД та коефіцієнта потужності $\cos\varphi$);

- застосування сучасних напівпровідникових перетворювачів частоти, які дозволяють перетворювати електричну енергію в потрібному вигляді для досягнення найкращих результатів з меншими втратами;

- скорочення до мінімуму використання реостатних способів регулювання швидкості електродвигунів;

- з метою підвищення коефіцієнта потужності $\cos\varphi$ та зменшення впливу вищих гармонік струму застосування в живильних ланцюгах електроприводу фільтро-компенсуючих пристроїв.

З погляду оптимізації технологічних процесів при енергозбереженні набагато важливіше використовувати можливості автоматизованого електроприводу. Хід технологічного процесу у автоматичному режимі скорочує непродуктивні витрати електроенергії. У технологічних установках, що здійснюють подачу води, повітря, сипучих матеріалів, є можливості економії електроенергії шляхом вибору виробничого механізму, який відповідає умовам технологічного режиму в даний момент.

1.4 Висновки за розділом та постановка завдань на магістрське дослідження

Виконано аналіз технологічного процесу видобутку нафти та газу. Встановлено, що цей процес досить громіздкий та потребує вдосконалення, особливо ділянка керування СПВ.

Збереженням навколишнього середовища, застаріла система керування СПВ, що обумовлює нераціональність використання ресурсів, а також питання

впровадження енергозберігаючих систем керування електроприводом привело до мети провести модернізацію системи збору, зберігання та транспортування СПВ.

Окреслені основні напямки модернізації системи керування СПВ. Область застосування нової системи охоплює всі нафтогазові промисли, так як була проаналізована узагальнена система видобутку нафти та газу, а також типова схема керування СПВ.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

- здійснити модернізацію електроприводів та систем керування ними;
- розробити функціональні та структурні схеми електродвигунів;
- здійснити дослідження статичних та динамічних режимів роботи електродвигунів;
- розробити схему електропостачання системи керування СПВ;
- розрахувати та вибрати сучасні засоби автоматизації технологічного процесу керування СПВ;
- розробити схему захисного заземлення та схему зовнішніх з'єднань;
- виконати вибір провідників та елементів захисту системи електропостачання.

РОЗДІЛ 2 МОДЕРНІЗАЦІЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ СПВ

2.1 Розрахунок та вибір електроприводів системи керування СПВ

Подача насоса за одиницю часу та напір є основними даними для визначення потужності електродвигуна насоса. Подачу та напір насоса для контурів ситеми керування СПВ вибираємо відповідно до завдання магістерської роботи.

Потужність приводного двигуна насоса приймають більше потужності, споживаної насосом, у разі перевантажень від неврахованих умов роботи.

Потужність двигуна вибираємо відповідно до виразу:

$$P_{\text{ед}} = \frac{\rho \cdot g \cdot Q \cdot H \cdot k}{\eta_{\text{н}} \cdot 1000}; \quad (2.1)$$

де: ρ - щільність перекачуваної рідини (щільність СПВ 1000-1450 кг/м³);

g – прискорення вільного падіння;

Q – необхідна витрата системи;

H – необхідний тиск;

$\eta_{\text{н}}$ – ККД насоса.

Відповідно до виділених у першому розділі магістерської роботи напрямків модернізації необхідно обрати двигуна для перекачування СПВ до автоналивного стояка, повернення СПВ в пласт та перекачування СПВ до парку для глушіння свердловин.

Визначимо потужність електродвигуна для перекачування СПВ до автоналивного стояка:

$$P_{\text{ед}} = \frac{1200 \cdot 9,81 \cdot 12,0 \cdot 0,5 \cdot 1,25}{0,85 \cdot 1000} = 103,87 \text{ кВт.}$$

де: ρ - щільність перекачуваної рідини (щільність СПВ прийнято 1200 кг/м³);

g – прискорення вільного падіння;

Q – необхідна витрата системи (12 м³/год);

H – необхідний тиск (0,5 МПа);

η_H – ККД насоса.

Відповідно до технічних даних насоса, розрахованої попередньо потужністю двигуна, а також, згідно обраної системи електроприводу, попередньо вибираємо трифазний асинхронний двигун АИР 280 S4 з короткозамкненим ротором, з номінальними технічними характеристиками, наведеними нижче [22].

Таблиця 2.1 – Технічні характеристики електродвигуна для перекачування СПВ до автоналивного стояка

Група значень	Найменування характеристики	Значення
Вихідні параметри	Потужність P , кВт	110
	Умовна частота обертання поля статора n_n , об/хв	1500
	Фактична частота обертання валу N_ϕ , об/хв	1480
Параметри живлення	Тип мережі, частота	Трьохфазна, 50 Гц
	Напруга живлення $U_{\Delta/Y}$, Вольт	380/660
	Номінальна сила струму I_n при 380В/660В, Ампер	205/118
	Співвідношення пускового струму та номінального I_p/I_n	6,9
Паспортні дані	Принцип дії	Асинхронний/індукційний
	Коефіцієнт потужності $\cos\phi$	0,88
	ККД, %	94,5
	Число полюсів	4
	Момент інерції, кг·м ²	0,6
Експлуатаційні дані	Ступінь захисту від пилу та вологи	IP55
	Клас ізоляції обмотки (нагрівостійкість)	F
	Режим роботи S_1	Тривалий

Розраховуємо потужність електродвигуна для повернення СПВ в пласт:

$$P_{ед} = \frac{1200 \cdot 9,81 \cdot 9,0 \cdot 1,0 \cdot 1,25}{0,86 \cdot 1000} = 153,99 \text{ кВт.}$$

де: ρ - щільність перекачуваної рідини (щільність СПВ прийнято 1200 кг/м³);

Q – необхідна витрата системи (9,0 м³/год);

H – необхідний тиск (1,0 МПа).

Аналогічно вимогам до попереднього електродвигуна вибираємо трифазний асинхронний двигун АИР 315 S2 з короткозамкненим ротором, з номінальними технічними характеристиками, наведеними нижче [22].

Таблиця 2.2 – Технічні характеристики електродвигуна для повернення СПВ в пласт

Група значень	Найменування характеристики	Значення
Вихідні параметри	Потужність P , кВт	160
	Умовна частота обертання поля статора n_n , об/хв	3000
	Фактична частота обертання валу N_ϕ , об/хв	2975
Параметри живлення	Тип мережі, частота	Трьохфазна, 50 Гц
	Напруга живлення $U_{\Delta/Y}$, Вольт	380/660
	Номінальна сила струму I_n при 380В/660В, Ампер	295/169
	Співвідношення пускового струму та номінального I_p/I_n	7,1
Паспортні дані	Принцип дії	Асинхронний/індукційний
	Коефіцієнт потужності $\cos\phi$	0,92
	ККД, %	94,6
	Число полюсів	2
	Момент інерції, кг·м ²	2,81
Експлуатаційні дані	Ступінь захисту від пилу та вологи	IP55
	Клас ізоляції обмотки (нагрівостійкість)	F
	Режим роботи S_1	Тривалий

Визначимо потужність електродвигуна для перекачування СПВ до парку глушіння свердловин:

$$P_{ED} = \frac{1200 \cdot 9,81 \cdot 1,5 \cdot 1,0 \cdot 1,25}{0,85 \cdot 1000} = 25,97 \text{ кВт.}$$

де: ρ - щільність перекачуваної рідини (щільність СПВ прийнято 1200 кг/м³);

Q – необхідна витрата системи (1,5 м³/год);

H – необхідний тиск (1,0 МПа).

Вибираємо трифазний асинхронний двигун АИР 315 S4 з короткозамкненим ротором, з номінальними технічними характеристиками, наведеними нижче [22].

Таблиця 2.3 – Технічні характеристики електродвигуна для перекачування СПВ до парку для глушіння свердловин

Група значень	Найменування характеристики	Значення
Вихідні параметри	Потужність P , кВт	37
	Умовна частота обертання поля статора n_n , об/хв	1500
	Фактична частота обертання валу N_ϕ , об/хв	1475
Параметри живлення	Тип мережі, частота	Трьохфазна, 50 Гц
	Напруга живлення $U\Delta/Y$, Вольт	380/660
	Номінальна сила струму I_n при 380В/660В, Ампер	69/40,8
	Співвідношення пускового струму та номінального I_p/I_n	7,2
Паспортні дані	Принцип дії	Асинхронний/індукційний
	Коефіцієнт потужності $\cos\phi$	0,87
	ККД, %	92
	Число полюсів	4
	Момент інерції, кг·м ²	0,15
Експлуатаційні дані	Ступінь захисту від пилу та вологи	IP55
	Клас ізоляції обмотки (нагрівостійкість)	F
	Режим роботи S_1	Тривалий

При підборі електродвигунів проектованої системи керування СПВ прагнули підібрати потужність двигуна якомога ближче до номінальної. Обрані електродвигуни відповідають потужності, ККД, режиму роботи, задовольняють ступіню захисту від пилу та вологи, класу ізоляції обмотки, коефіцієнта потужності, електричної міцності.

2.2 Перевірка вибраних електродвигунів за перевантажувальною здатністю та за перегрівом

Як було зазначено вище, проектувана системи керування СПВ працює в тривалому режимі, тому для перевірки двигуна достатньо перевірити три точки при відносній швидкості $\omega^* = \omega / \omega_n$, рівною 0,5; 0,75; 1, у зв'язку з урахуванням погіршення умов охолодження при пуску двигуна.

Розраховуємо величини необхідні для перевірки за перевантажувальною здатністю і за нагріванням [1].

Визначимо синхронну частоту обертання електродвигунів:

$$\omega_o = \frac{\pi \cdot n_o}{30}; \quad (2.2)$$

Для перекачування СПВ до автоналивного стояка:

$$\omega_o = \frac{3,14 \cdot 1500}{30} = 157 \text{ рад / с.}$$

Для повернення СПВ в пласт:

$$\omega_o = \frac{3,14 \cdot 3000}{30} = 314 \text{ рад / с.}$$

Для перекачування СПВ до парку для глушіння свердловин:

$$\omega_o = \frac{3,14 \cdot 1500}{30} = 157 \text{ рад / с.}$$

Визначимо номінальну частоту обертання двигунів:

$$\omega_n = \omega_o \cdot (1 - S_n); \quad (2.3)$$

Для перекачування СПВ до автоналивного стояка:

$$\omega_n = 157 \cdot (1 - 0,013) = 154,96 \text{ рад / с.}$$

Для повернення СПВ в пласт:

$$\omega_n = 314 \cdot (1 - 0,008) = 311,49 \text{ рад / с.}$$

Для перекачування СПВ до парку для глушіння свердловин:

$$\omega_n = 157 \cdot (1 - 0,017) = 154,33 \text{ рад / с.}$$

Визначимо номінальний момент двигунів:

$$M_{\text{н}} = \frac{P_{\text{н}}}{\omega_{\text{н}}}; \quad (2.4)$$

Для перекачування СПВ до автоналивного стояка:

$$M_{\text{н}} = \frac{110000}{154,96} = 709,86 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Для повернення СПВ в пласт:

$$M_{\text{н}} = \frac{160000}{311,49} = 513,66 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Для перекачування СПВ до парку для глушіння свердловин:

$$M_{\text{н}} = \frac{37000}{154,33} = 239,75 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Момент насоса для будь-якої відносної швидкості ω^* можна визначити, як [1]:

$$M_{\text{нас}} = M_0 + 0,9 \cdot M_{\text{н}} \cdot \omega^2; \quad (2.5)$$

де: M_0 – момент, який визначається силами тертя в механізмі, приймаємо рівним 5% від номінального моменту насоса, Н·м,

$M_{\text{н}}$ – номінальний момент насоса.

Розрахунковий момент двигуна з урахуванням погіршення умов охолодження при пуску двигуна, для обліку погіршення умов охолодження введемо коефіцієнт $K_{\text{к}}$, значення якого приймаємо згідно рисунку 2.1.

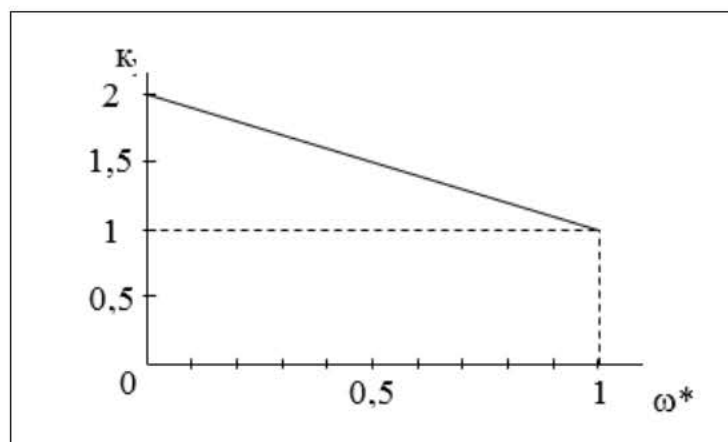


Рисунок 2.1 – Залежність коефіцієнта погіршення охолодження від швидкості

Формула для розрахункового моменту двигуна з урахуванням коефіцієнта охолодження матиме вигляд:

$$M_{\text{розр}} = K_y \cdot M_{\text{нас}}; \quad (2.6)$$

Зважаючи на вищенаведені формули розраховуємо моменти для електропривода перекачування СПВ до автоналивного стояка:

– для першого випадку ($\omega^* = 1$):

$$M_{\text{нас}} = 0,05 \cdot 709,86 + 0,9 \cdot 709,86 \cdot 1^2 = 35,5 + 638,87 = 674,37 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

$$M_{\text{розр}} = 168,59 \cdot 1 = 168,59 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

– для другого випадку ($\omega^* = 0,75$):

$$M_{\text{нас}} = 0,05 \cdot 709,86 + 0,9 \cdot 709,86 \cdot 0,75^2 = 35,5 + 359,37 = 394,87 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

$$M_{\text{розр}} = 98,71 \cdot 1,25 = 123,40 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

– для третього випадку ($\omega^* = 0,5$):

$$M_{\text{нас}} = 0,05 \cdot 709,86 + 0,9 \cdot 709,86 \cdot 0,5^2 = 35,5 + 159,72 = 195,22 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

$$M_{\text{розр}} = 195,22 \cdot 1,5 = 292,83 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Бачимо, що для всіх трьох випадків розрахунковий момент двигуна з урахуванням погіршення охолодження менше ніж номінальний момент двигуна ($M_{\text{розр}} < M_{\text{н}}$), то електродвигун перекачування СПВ до автоналивного стояка задовольняє і умов перевантаження, і умов перегріву.

Виконаємо аналогічні розрахунки для інших двох електроприводів.

Для електродвигуна повернення СПВ в пласт:

– для першого випадку ($\omega^* = 1$):

$$M_{\text{нас}} = 0,05 \cdot 513,66 + 0,9 \cdot 513,66 \cdot 1^2 = 25,68 + 462,29 = 487,97 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

$$M_{\text{розр}} = 121,99 \cdot 1 = 121,99 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

– для другого випадку ($\omega^* = 0,75$):

$$M_{\text{нас}} = 0,05 \cdot 513,66 + 0,9 \cdot 513,66 \cdot 0,75^2 = 25,68 + 288,93 = 314,61 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

$$M_{\text{розр}} = 78,65 \cdot 1,25 = 98,32 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

– для третього випадку ($\omega^* = 0,5$):

$$M_{\text{нас}} = 0,05 \cdot 513,66 + 0,9 \cdot 513,66 \cdot 0,5^2 = 25,68 + 115,57 = 141,25 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

$$M_{\text{розр}} = 141,25 \cdot 1,5 = 211,88 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Для всіх трьох варіантів розрахунковий момент двигуна з урахуванням погіршення охолодження менше ніж номінальний момент двигуна ($M_{\text{розр}} < M_{\text{н}}$), то електродвигун для повернення СПВ в пласт задовольняє і умов перевантаження, і умов перегріву.

Для електродвигуна перекачування СПВ до парку глушіння свердловин:

– для першого випадку ($\omega^* = 1$):

$$M_{\text{нас}} = 0,05 \cdot 239,75 + 0,9 \cdot 239,75 \cdot 1^2 = 11,99 + 215,78 = 227,77 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

$$M_{\text{розр}} = 227,77 \cdot 1 = 227,77 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

– для другого випадку ($\omega^* = 0,75$):

$$M_{\text{нас}} = 0,05 \cdot 239,75 + 0,9 \cdot 239,75 \cdot 0,75^2 = 11,99 + 121,37 = 133,36 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

$$M_{\text{розр}} = 133,36 \cdot 1,25 = 166,70 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

– для третього випадку ($\omega^* = 0,5$):

$$M_{\text{нас}} = 0,05 \cdot 239,75 + 0,9 \cdot 239,75 \cdot 0,5^2 = 11,99 + 53,94 = 65,93 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

$$M_{\text{розр}} = 65,93 \cdot 1,5 = 98,90 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Ситуація аналогічна: для всіх трьох випадків розрахунковий момент двигуна з урахуванням погіршення охолодження менше ніж номінальний момент двигуна ($M_{\text{розр}} < M_{\text{н}}$), то електродвигун перекачування СПВ до парку для глушіння свердловин задовольняє і умов перевантаження, і умов перегріву.

Електродвигуни для перекачування СПВ до автоналивного стояка, для повернення СПВ в пласт та для перекачування СПВ до парку глушіння свердловин вважаємо завершеним відповідають всім заявленим критеріям, тому їх вибір вважаємо остаточним.

Для кожного контуру керування СПВ передбачено крім основного насосу і резервний, який має аналогічні характеристики.

2.3 Модернізація системи автоматичного керування СПВ

До автоматизованої системи керування насосами системи збору, підготовки та перекачування СПВ на об'єктах нафтогазової промисловості висуваються такі вимоги:

- система керування СПВ має забезпечувати контроль необхідних параметрів: тиск, витрата, температура;
- у разі аварії робочого насоса запуск резервного;
- регулювання швидкості обертання електродвигуна для нормалізації необхідного тиску СПВ в трубопроводі;
- плавний пуск агрегату та розгін до заданої швидкості;
- захист приводних двигунів насосних агрегатів від теплових перевантажень;
- при зникненні напруги живлення автоматичний розгін насосного агрегату.

З урахуванням вимог до електропривода системи керування СПВ пропонуємо застосувати систему ПЧ-АД з мікроконтролером.

Використання регульованого асинхронного електроприводу для керування насосними агрегатами дає можливість забезпечити:

- плавний пуск електродвигуна, відсутність механічних навантажень на двигун та кидків струму в мережі;
- відсутність гідравлічних ударів;
- ефективне використання споживаної насосним агрегатом потужності у всьому діапазоні регулювання;
- забезпечення коефіцієнта потужності електродвигуна насоса на з початку, близькому до 1;
- зниження рівня шуму при пуску та роботі [11].

Використання мікроконтролера дозволить:

- виробити завдання для електроприводу залежно від натиску в мережі;
- здійснити перемикання основного та резервного насосів при виході з ладу основного;
- діагностика стану елементів установки;
- підключення додаткового насоса під час перевантаження основного;
- видача аварійних сигналів до диспетчерської служби [3].

Для проектованої САК СПВ обрані у п.2.1 двигуни з КЗ ротором. Двигуни з КЗ ротором здавна застосовувалися тільки в електроприводі, що не регулюється, оскільки плавне регулювання швидкості обертання двигунів було технічно складно реалізованим. Однак в даний час, завдяки досягненням в галузі мікропроцесорної техніки та електроніки, ситуація змінилася, і частотно-регульований привід (ЧРП) став основним типом електроприводу, що регулюється.

При виборі ПЧ необхідно виконання наступних умов:

$$I_{\text{вих.пч}} \geq I_{1\text{н}}; \quad (2.7)$$

$$U_{\text{вих.пч}} \geq U_{1\text{н}}; \quad (2.8)$$

Технічним стандартом, яким можна класифікувати сучасні перетворювачі частоти є метод керування, застосовуваний у цих пристроях при регулюванні швидкості обертання двигуна.

Методи керування поділяються на:

- скалярний метод керування;
- векторний метод керування.

Беручі до уваги діапазон та точність регулювання САК електроприводами системи збору, підготовки та перекачування СПВ, а також необхідність утримання моменту на валу двигуна, вимог до контролю приводу в аварійних ситуаціях обираємо наступні САК:

- для електродвигуна для перекачування СПВ до автоналивного стояка метод скалярного керування;

- електродвигуна для перекачування СПВ до парку глушіння свердловин метод скалярного керування;
- електродвигуна для повернення СПВ в пласт метод скалярного керування з IR-компенсацією.

Для електропривода перекачування СПВ до автоналивного стояка, враховуючі умови 2.2 та 2.3, вибираємо ПЧ ATV950F 132кВт, основні параметри якого наведені в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Технічні характеристики ПЧ ATV950F [23]

Характеристика	Значення
Область застосування продукту	Промислове застосування
Кількість фаз мережі	3 фази
Потужність двигуна	132,0 кВт для нормальний режим роботи 110,0 кВт для важкий режим роботи
Максимальний струм у сталому режимі	250 А при 2,5 кГц для нормальний режим роботи 211 А при 2,5 кГц для важкий режим роботи
Електромагнітний фільтр	Вбудований
Частота мережі	50...60 Гц
Максимальний вхідний струм	244,0 А
Максимальна вихідна напруга	440,0 В

Для кожного електропривода перевіримо на адекватність вибору ПЧ.

Розраховуємо повну пускову потужність ПЧ:

$$\left(\frac{k \cdot n_{\text{дв}}}{9550 \cdot \eta \cdot \cos \varphi} \cdot \left(M_{\text{ст}} + \frac{J}{9,55} \cdot \frac{n_{\text{дв}}}{t_{\text{А}}} \right) \right) \leq 1,5 \cdot P_{\text{н.ПЧ}}; \quad (2.9)$$

де: k – коефіцієнт спотворення струму, пов'язаний з алгоритмом формування синусоїди струму за допомогою ШІМ (широтно-імпульсної модуляції напруги на двигуні). Цей коефіцієнт може набувати значення від 0,95 до 1,05 і не має розмірності;

$t_{\text{А}}$ – час розгону;

$M_{\text{ст}}$ – статичний момент навантаження на валу двигуна, Н·м, найчастіше це номінальний момент двигуна, взятий зі специфікації на двигун [9].

$$\left(\frac{0,95 \cdot 1480}{9550 \cdot 0,88 \cdot 0,945} \cdot \left(709,86 + \frac{0,6}{9,55} \cdot \frac{1480}{3} \right) \right) \leq 1,5 \cdot \sqrt{3} \cdot 250 \cdot 0,88 \cdot 0,945 \cdot 380;$$

$$131,13 \text{ кВт} \leq 205,01 \text{ кВт}.$$

Розраховуємо струм $I_{\text{спож}}$, який споживає двигун під час роботи від перетворювача частоти при напрузі U мережі 220/380 В:

$$I_{\text{спож}} = \frac{k \cdot n_{\text{дв}} \cdot M_{\text{н.дв}}}{9,55 \cdot \eta \cdot \cos \varphi \cdot U_{\text{л}} \cdot \sqrt{3}}; \quad (2.10)$$

$U_{\text{л}}$ – лінійна напруга (діюче значення) на обмотках двигуна.

$$I_{\text{спож}} = \frac{0,95 \cdot 1480 \cdot 709,86}{9,55 \cdot 0,88 \cdot 0,945 \cdot 380 \cdot \sqrt{3}} = 191,17 < 250 \text{ А}.$$

Розраховуємо струм $I_{\text{спож.р.}}$, який споживає двигун при лінійному розгоні:

$$I_{\text{спож.р.}} = \frac{k \cdot n_{\text{дв}}}{9,55 \cdot \eta \cdot \cos \varphi \cdot U \cdot \sqrt{3}} \cdot \left(M_{\text{ст}} + \frac{J}{9,55} \cdot \frac{n}{t_{\text{А}}} \right); \quad (2.11)$$

де: $M_{\text{ст}}$ – статичний момент навантаження на валу двигуна, найчастіше це номінальний момент двигуна, взятий зі специфікації на двигун;

$M_{\text{дин}}$ – динамічний момент навантаження, що виникає при розгоні інерційного навантаження [9].

$$I_{\text{спож.р.}} = \frac{0,95 \cdot 1480}{9,55 \cdot 0,84 \cdot 0,84 \cdot 380 \cdot \sqrt{3}} \cdot \left(709,86 + \frac{0,6}{9,55} \cdot \frac{1480}{3} \right) = 209,01 < 250 \text{ А}.$$

Розраховуємо повну споживану двигуном потужність в номінальному режимі:

$$I_{\text{спож.}} = \frac{k \cdot P}{\eta \cdot \cos \varphi}; \quad (2.12)$$

де: P – номінальна потужність двигуна за $f_1 = 60$ Гц.

$$I_{\text{спож.}} = \frac{0,95 \cdot 110}{0,84 \cdot 0,945} = 131,64 \text{ кВА}.$$

Після виконаних розрахунків та порівняння умов адекватності вибору ПЧ можна зробити висновок, що для електропривода перекачування СПВ до автономного стояка ПЧ обраний правильно.

З урахуванням умов (2.7) та (2.8) вибираємо ПЧ електродвигуна для повернення СПВ в пласт.

Таблиця 2.5 – Технічні характеристики ПЧ ATV930С [23]

Характеристика	Значення
Область застосування продукту	Промислове застосування
Кількість фаз мережі	3 фази
Потужність двигуна	250,0 кВт для нормальний режим роботи 200,0 кВт для важкий режим роботи
Максимальний струм у сталому режимі	481 А при 2,5 кГц для нормальний режим роботи 387 А при 2,5 кГц для важкий режим роботи
Електромагнітний фільтр	Вбудований
Частота мережі	50...60 Гц
Максимальний вхідний струм	451,0 А
Максимальна вихідна напруга	480,0 В

Для ПЧ електропривода повернення СПВ в пласт виконаємо аналогічні розрахунки.

Повна пускова потужність ПЧ:

$$\left(\frac{0,95 \cdot 2975}{9550 \cdot 0,92 \cdot 0,946} \cdot \left(513,66 + \frac{2,81}{9,55} \cdot \frac{2975}{3} \right) \right) \leq 1,5 \cdot \sqrt{3} \cdot 481 \cdot 0,92 \cdot 0,946 \cdot 380;$$

$$273,85 \text{ кВт} \leq 412,81 \text{ кВт}.$$

Струм $I_{\text{спож}}$, який споживає двигун під час роботи від перетворювача частоти при напрузі U мережі 220/380 В:

$$I_{\text{спож}} = \frac{0,95 \cdot 2975 \cdot 513,66}{9,55 \cdot 0,92 \cdot 0,946 \cdot 380 \cdot \sqrt{3}} = 265,69 < 481 \text{ А}.$$

Струм $I_{\text{спож.р.}}$, який споживає двигун при лінійному розгоні:

$$I_{\text{спож.р.}} = \frac{0,95 \cdot 2975}{9,55 \cdot 0,92 \cdot 0,946 \cdot 380 \cdot \sqrt{3}} \cdot \left(513,66 + \frac{2,81}{9,55} \cdot \frac{2975}{3} \right) = 416,62 < 481 \text{ А}.$$

Повна споживана двигуном потужність в номінальному

$$I_{\text{спож}} = \frac{0,95 \cdot 160}{0,92 \cdot 0,946} = 174,65 \text{ кВА}.$$

З умов можна зробити висновок, що ПЧ електродвигуна для повернення СПВ в пласт обраний правильно.

З урахуванням аналогічних умов та вищенаведеним алгоритмом вибираємо ПЧ електродвигуна для перекачування СПВ до парку глушіння свердловин.

Таблиця 2.6 – Технічні характеристики ПЧ ATV610 [23]

Характеристика	Значення
Область застосування продукту	Промислове застосування
Кількість фаз мережі	3 фази
Потужність двигуна	45 кВт для нормальний режим роботи 37 кВт для важкий режим роботи
Максимальний струм у сталому режимі	68,9 А при 2,5 кГц для нормальний режим роботи 55,4 А при 2,5 кГц для важкий режим роботи
Електромагнітний фільтр	Вбудований
Частота мережі	50...60 Гц

Виконуємо аналогічні дії для перевірки адекватності ПЧ для перекачування СПВ до парку глушіння свердловин.

Повна пускова потужність ПЧ:

$$\left(\frac{0,95 \cdot 1475}{9550 \cdot 0,87 \cdot 0,92} \cdot \left(239,75 + \frac{0,15}{9,55} \cdot \frac{1475}{3} \right) \right) \leq 1,5 \cdot \sqrt{3} \cdot 68,9 \cdot 0,87 \cdot 0,92 \cdot 380;$$

$$45,28 \text{ кВт} \leq 52,01 \text{ кВт}.$$

Струм $I_{\text{спож}}$, який споживає двигун під час роботи від перетворювача частоти при напрузі U мережі 220/380 В:

$$I_{\text{спож}} = \frac{0,95 \cdot 1475 \cdot 239,75}{9,55 \cdot 0,87 \cdot 0,92 \cdot 380 \cdot \sqrt{3}} = 66,86 < 68,9 \text{ А}.$$

Струм $I_{\text{спож.р}}$, який споживає двигун при лінійному розгоні:

$$I_{\text{спож.р}} = \frac{0,95 \cdot 1475}{9,55 \cdot 0,87 \cdot 0,92 \cdot 380 \cdot \sqrt{3}} \cdot \left(239,75 + \frac{0,15}{9,55} \cdot \frac{1475}{3} \right) = 68,0 < 68,9 \text{ А}.$$

Повна споживана двигуном потужність в номінальному

$$I_{\text{спож.}} = \frac{0,95 \cdot 37}{0,87 \cdot 0,92} = 43,91 \text{ кВА}.$$

Після виконаних розрахунків та порівняння з умовами адекватності вибору перетворювача можна зробити висновок, що ПЧ електродвигуна для перекачування СПВ до парку глушиння свердловин обраний правильно.

2.4 Розробка структурних та функціональних схем керування СПВ

У якості системи керування електроприводами системи СПВ було обрано систему ПЧ-АД зі скалярним методом керування. Функціональна схема такої системи керування, відображаюча практично всі його можливості виконання, представлено на рисунку 2.2.

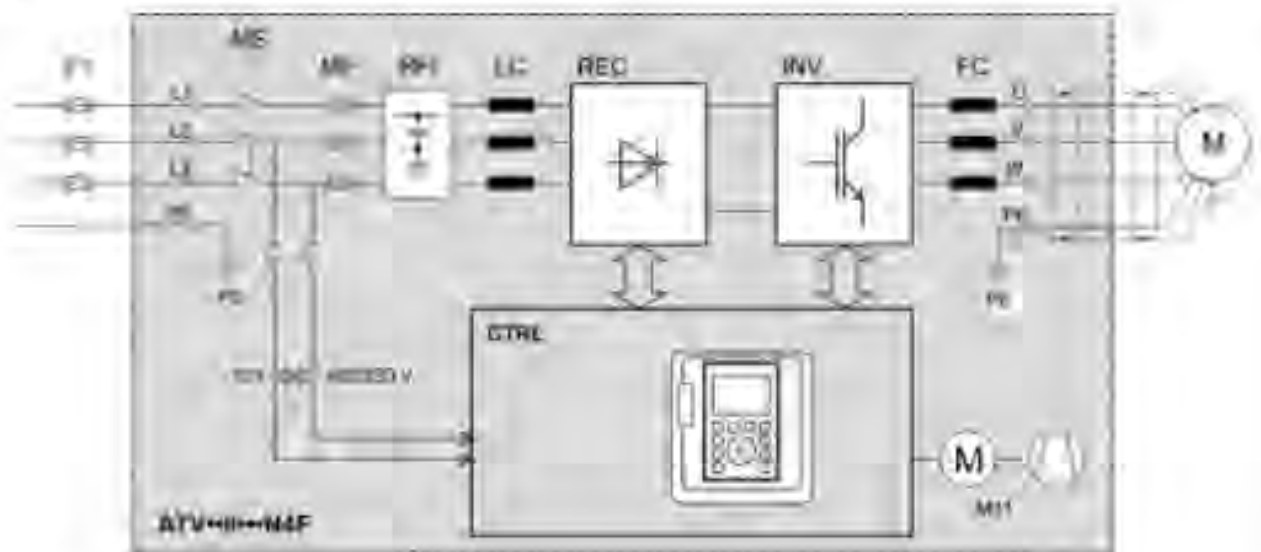


Рисунок 2.2 – Функціональна схема електропривода ПЧ-АД

F1 - Зовнішній попередній запобіжник або автоматичний вимикач;
 MS - вбудований головний вимикач; T01 - трансформатор керування 400/230 В змінного струму; MF – запобіжники; RFI - вбудований фільтр
 LC - дросель реактора; REC - модуль випрямляча; INV - інверторний модуль;
 FC - Фільтр dv/dt (від 355 кВт дросель фільтра dv/dt 150 м вбудований як стандарт); CTRL - панель керування; M11 - вентилятор у дверцятах корпусу

ПЧ складається з випрямляча на тиристорах, силового фільтра і автономного інвертора на IGBT-транзисторах, перетворюючого постійну напругу в змінну потрібної частоти і величини. Для реалізації режимів автоматичного керування електропривода в складі ПЛК мається вмонтований програмуючий ПІД - регулятор та програмуючий таймер реального часу.

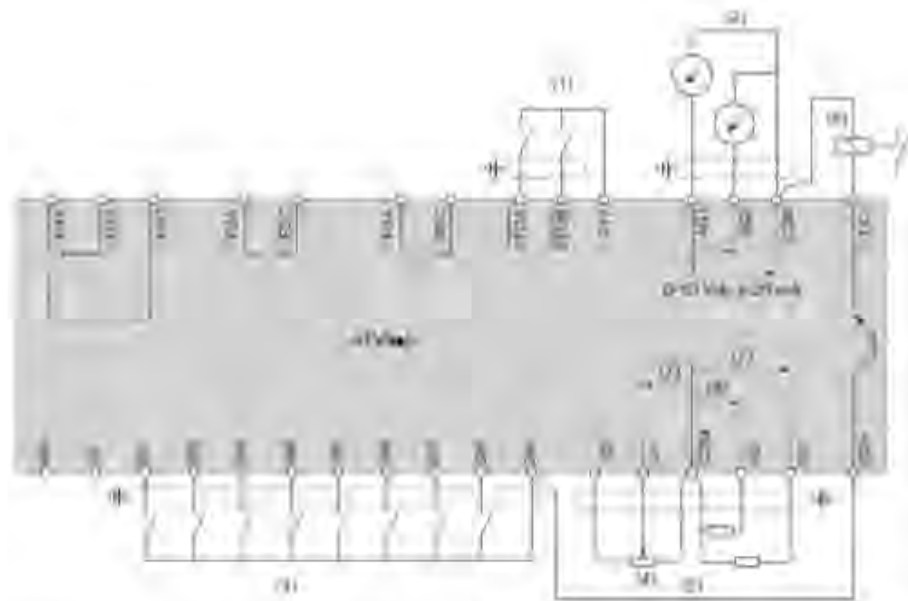


Рисунок 2.3 – Схема підключення блоку керування ПЧ

(1) Безпечне вимкнення крутного моменту; (2) Аналоговий вихід; (3) Цифровий вхід; (4) Еталонний потенціометр; (5) Аналоговий вхід; (6) Цифровий вихід; (7) 0-10 В постійного струму, $\times 20$ мА; (8) 0-10 В постійного струму, -10 В постійного струму...+10 В постійного струму; R1A, R1B, R1C: реле несправності; R2A, R2C : Реле послідовності; R3A, R3C: реле послідовності

Розробимо структурну схему електропривода насоса в середовищі Simulink, що надасть змогу визначити значення постійних часу інтегрування та коефіцієнтів І-інтегральної та П-пропорційної частини регулятора тиску та змоделювати його роботу за допомогою математичної моделі.

Для побудови математичної моделі в середовищі Simulink є необхідна кількість бібліотек, у яких є різні елементи, необхідні для структурних схем. Це елементи наочного уявлення, такі як осцилограф, XY граф; різні типи ланок; пропорційне, аперіодичне, інтегруюче; константи, генератори тощо. Відповідно до проектованої системи у нас є три контури керування насосами: контур перекачування СПВ до автоналивного стояка, контур повернення СПВ в пласт, контур перекачування СПВ до парку глушіння свердловин. Залежно від мети та обсягу розв'язуваної задачі, до моделі заносяться розрахункові дані кожного елемента структури у відносних одиницях. У процесі обчислення є

можливість вводити необхідні на систему збурення, у результаті чого отримати осцилограми різних процесів [11].

Побудову моделі електроприводу насоса необхідно провести так, щоб моделі вентилятора та двигуна насоса використовували загальну величину – швидкість обертання ротора. У цьому випадку використовуватиметься електрична кутова швидкість [9].

Величина тиску, створювана насосом, описується наступним виразом: залежність одержуваного тиску $H \cdot m$, від обсягу подачі $Q \text{ м}^3/\text{год.}$:

$$H = \left(\frac{\omega}{\omega_H} \right)^2 - CQ^2; \quad (2.13)$$

де: H – тиск, що створюється насосом;

ω – електрична швидкість обертання валу, об/хв.;

ω_H – номінальна механічна швидкість обертання валу, об/хв.;

C – конструктивний коефіцієнт, що приймається $C=1$ [2].

Магістраль, на яку працює насос, описується як залежність між обсягом подачі при роботі насоса Q і тиску H , необхідним для оптимальної роботи системи керування СПВ:

$$H = H_c + \frac{Q^2}{R}; \quad (2.14)$$

де: H_c – тиск, обумовлений різницею висот ємностей та пунктом доставки;

R – коефіцієнт, що описує зміну опору системи;

Q – обсяг СПВ, що потрібний для подачі до пункту призначення, $\text{м}^3/\text{год.}$

Для реалізації моделі магістралі перетворюємо характеристику магістралі так, щоб вихідним параметром була величина об'єму обробки:

$$Q = \frac{R}{\sqrt{(H - H_c) \cdot R}}; \quad (2.15)$$

Спираючись на формули 2.14 та 2.15 за допомогою середовища Simulink побудуємо модель системи насос-магістраль перекачування СПВ (рис.2.4).

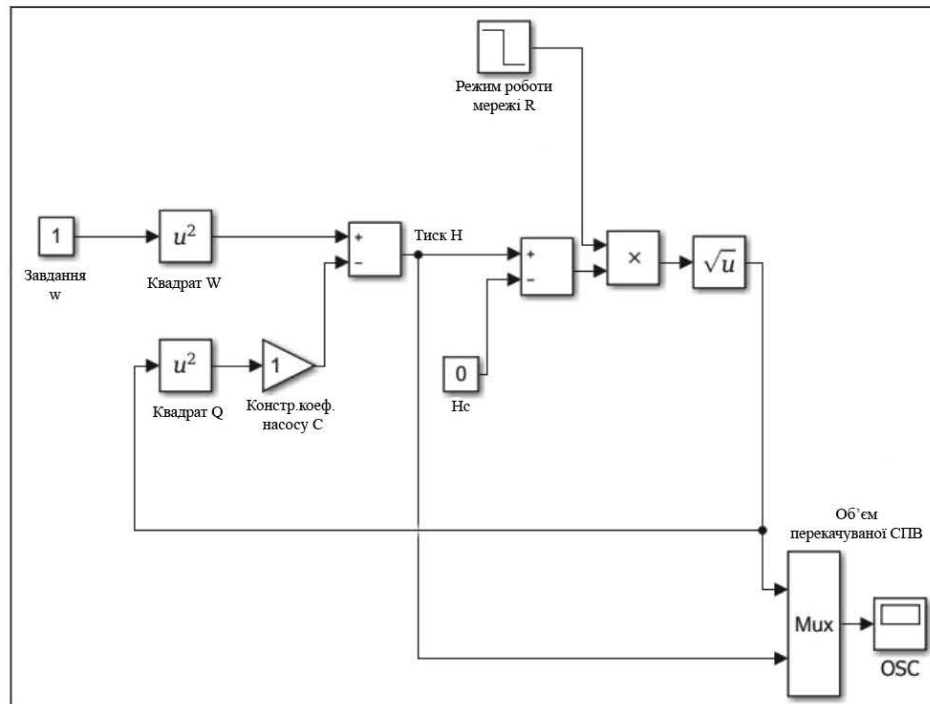


Рисунок 2.4 – Структурна схема моделі насос-магістраль перекачування СПВ в середовищі Simulink

Значення коефіцієнта $R=1$ еквівалентно роботі системи в номінальному (максимально можливому) режимі, при максимальному натиску; при мінімальній продуктивності значення R близько до нуля, але значення 0 не допустиме під час роботи системи перекачування СПВ до пункту призначення.

Створена модель відображає реальний об'єкт, що піддається регулюванню та керуванню. Шляхом зміни величини H_c , R , C модель дозволяє проаналізувати будь-які процеси, що відбуваються в даній системі. Доповнивши модель САК електроприводу, моделюємо діючу модель насоса [15].

Наша мета знайти спосіб автоматичного підтримання тиску, тобто необхідно створити замкнуту систему підпорядкованого регулювання по відхиленню, елементами якої є регулятор, фільтр та ланка об'єкта, з передавальними функціями відповідно W_p , W_f , W_0 .

Інерційність ланки об'єкта створюють електропривод асинхронного двигуна, частотного перетворювача і датчики регульованих величин. Інерційність датчиків багато менше інерційності приводу, тому при побудові регулятора її можна не враховувати, а систему розглядати як з безінерційним одиничним зворотним зв'язком [9].

ПЧ має два внутрішні контури – контур струму і контур швидкості, контур регулювання тиску – технологічний контур буде за рахунком третім.

Таким чином, передавальні функції ланки частотного перетворювача, об'єкта та фільтра представимо у вигляді аперіодичної ланки другого порядку, стандартна передавальна функція другої замкнутої системи має вигляд:

$$\Phi_2(p) = \frac{1}{8 \cdot T_{\mu}^3 \cdot p^3 + 8 \cdot T_{\mu}^2 \cdot p^2 + 4 \cdot T_{\mu} \cdot p + 1}; \quad (2.16)$$

Маючи передавальну функцію другої замкнутої системи перейдемо до дослідження роботи електроприводів системи керування СПВ.

2.5 Дослідження роботи електроприводів системи керування СПВ

2.5.1 Дослідження роботи електропривода перекачування СПВ до автоналивного стояка та до парку глушіння свердловин

Електропривод перекачування СПВ до автоналивного стояка та до парку глушіння свердловин мають подібну систему керування. На початку САК розташований суматор, який визначає різницю між заданим значенням та сигналом, що повертається (можливість регулювання коефіцієнта зворотного зв'язку надається користувачу). В результаті формується математична модель САК для електропривода насоса (див. рис.2.5). САК об'єднує математичну модель системи вентилятор-двигун і «ПІ» (пропорційно-інтегральний) регулятор для керування тиском у системі.

Відповідно до стандартної методики, передавальна функція регулятора тиску має вигляд:

$$R_3(p) = [W_3(p)]^{-1} \cdot \frac{1}{T_3 p}; \quad (2.17)$$

Зазвичай, для приводів з помірною швидкістю, рекомендовано встановлювати базову (некомпенсовану) постійну часу в діапазоні від 0,004 до 0,01 с. Вибираємо значення постійної часу рівне 0,01 с.

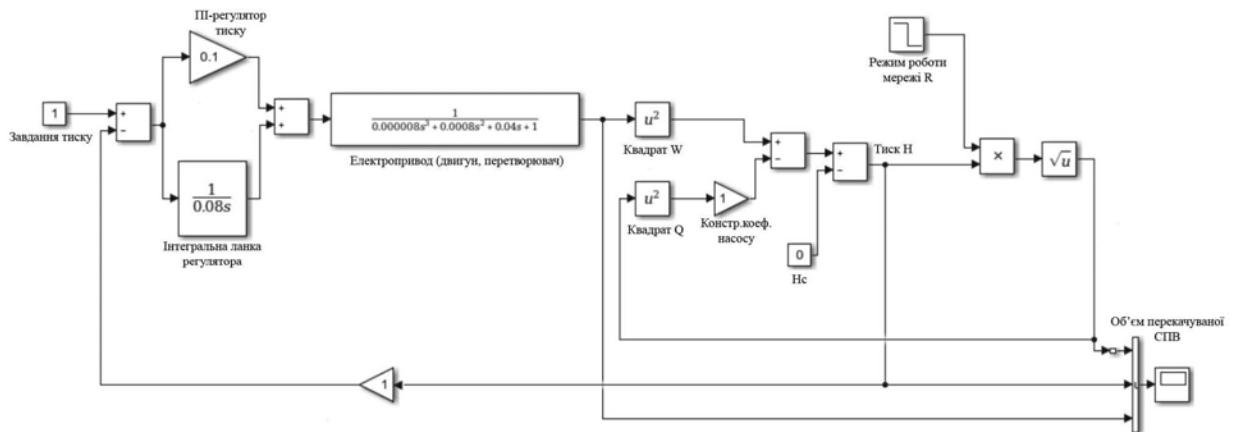


Рисунок 2.5 – Математична модель системи автоматичного керування електроприводом перекачування СПВ до автономного стояка

Умови оптимального налаштування регулятора наступні:

$$T_3 = 2 \cdot T_2 = 4 \cdot T_1 = 8 \cdot T_\mu; \quad (2.18)$$

$$T_3 = 2^3 \cdot 0,01 = 0,08 \text{ с.}$$

Використовуючи модель системи автоматичного керування насосом, ініціюємо роботу його роботи. На початку осцилограми чітко простежується перехідний етап запуску двигуна. Перерегулювання виявляється трохи вищим, ніж у відповідній системі, налаштованій на модульний оптимум, на одиничний стимул, що обумовлено збільшенням опору в магістралі. Надалі ефективність системи утримання сталого тиску відображено на графіку, представленим на рисунку 2.6.

Коли споживання знижується, відбуваються наступні зміни: у момент зменшення подачі тиск у системі різко коливається, оскільки насос продовжує працювати на тій же швидкості. Для стабілізації тиску, система управління

знижує швидкість обертання насоса, що веде до зменшення його ефективності. Це, у свою чергу, дозволяє тиску стабілізуватися.

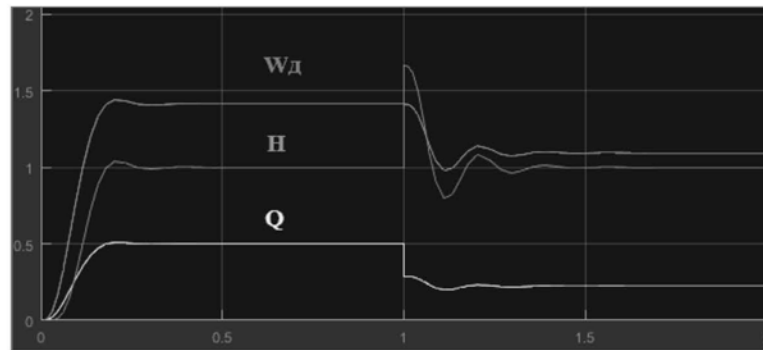


Рисунок 2.6 – Осцилограма роботи системи автоматичного керування з підтримки тиску електроприводом перекачування СПВ до автоналивного стояка

При конфігурації систем підпорядкованого керування зазвичай використовують такі припущення:

- швидкість реакції кожного наступного контуру в системі підпорядкованого керування приблизно в два рази нижча, ніж у попереднього;
- усі контури забезпечують перехідні процеси з відносно невеликим перевищенням;
- динамічні характеристики багатоконтурної системи, зокрема її швидкість, залежать від кількості контурів і розміру некомпенсованої постійної часу T ;
- для кожного з контурів регулятор розробляється згідно з однією і тією ж стандартною моделлю.

Загалом, для контуру з певним номером передавальна функція встановлюється за допомогою формули та представлена у вигляді [2]:

$$R_i(p) = K_{pi} + \frac{1}{T_{pi} \cdot p}; \quad (2.19)$$

де: K_{pi} – коефіцієнт посилення регулятора;

T_{pi} – постійна часу регулятора.

Структура компенсуючої ланки об'єкта визначає конкретний тип регулятора.

Основні показники процесу регулювання третього контуру:

- час першого узгодження 13,5 Тμ ;
- час досягнення максимуму 17 Тμ ;
- час досягнення зони 4,5% відхилення 12,6 Тμ ;
- перерегулювання 5,9%.

Отже, САК електроприводом перекачування СПВ до автоналивного стояка задовольняє поставлені вимоги.

2.5.2 Дослідження роботи електропривода для повернення СПВ в пласт

Симуляція асинхронного двигуна електричного приводу для забезпечення повороту СПВ в пласт буде здійснюватися за допомогою програмного забезпечення MATLAB Simulink. [12]. Модель імітації безпосереднього пуску асинхронного двигуна електричного приводу для забезпечення повороту СПВ в пласт демонструється на рисунку 2.7.

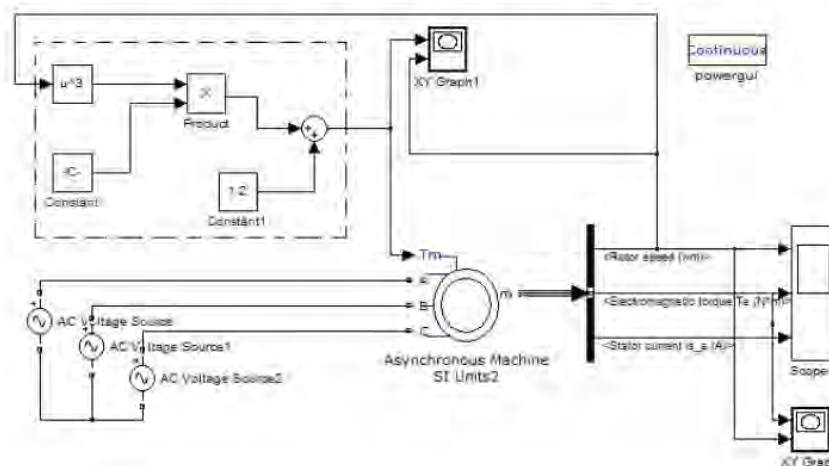


Рисунок 2.7 – Імітаційна модель прямого пуску асинхронного двигуна із насосним навантаженням

Виділена пунктиром частина схеми моделює навантаження, характерне для насоса, що змінюється пропорційно швидкості АД у кубі (рис. 2.7).

Для створення імітаційної моделі з каталожним даних для двигуна АИР 315 S2 випишемо параметри схеми заміщення двигуна [20]:

$$R_1 = 0,015 \text{ Ом}; X_1 = 0,093 \text{ Ом}; R'_2 = 0,012 \text{ Ом}; X'_2 = 0,12 \text{ Ом}; X_0 = 5,0 \text{ Ом}.$$

Індуктивність обмотки статора, обумовлена потоками розсіювання:

$$L_{1\sigma} = \frac{X_1}{2 \cdot \eta \cdot f}; \quad (2.20)$$

$$L_{1\sigma} = \frac{0,093}{2 \cdot 3,14 \cdot 60} = 0,247 \cdot 10^{-3} \text{ Гн}.$$

Наведена індуктивність обмотки ротора, обумовлена потоками розсіювання:

$$L'_{2\sigma} = \frac{X'_2}{2 \cdot \eta \cdot f}; \quad (2.21)$$

$$L'_{2\sigma} = \frac{0,12}{2 \cdot 3,14 \cdot 60} = 0,318 \cdot 10^{-3} \text{ Гн}.$$

Індуктивність ланцюга намагнічування:

$$L_m = \frac{X_0}{2 \cdot \eta \cdot f}; \quad (2.22)$$

$$L_m = \frac{5,0}{2 \cdot 3,14 \cdot 60} = 13,27 \cdot 10^{-3} \text{ Гн}.$$

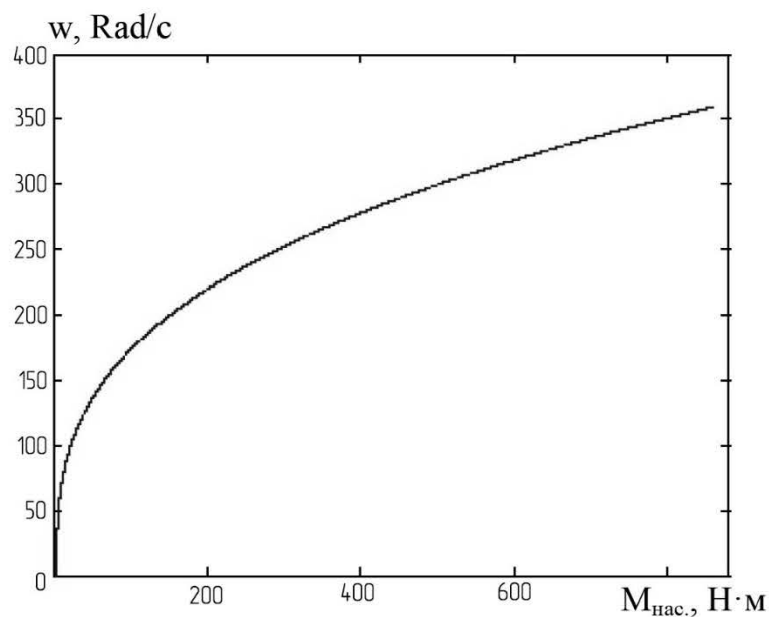


Рисунок 2.8 – Насосне навантаження

Якщо розглянути роботу електропривода насоса повернення СПВ в пласт, то він починає працювати за умови рівноваги тиску рідини на вході насоса і гирлі свердловини, що ми і бачимо на рисунку 2.8.

Як можна побачити на рисунку 2.8, початкове значення майже дорівнює нулю, а на самому початку прискорення двигуна та насоса залежить від тертя в підшипниках:

$$M_H = M_0 + k \cdot \omega^3; \quad (2.23)$$

де: M_0 – початковий момент, що означає тертя підшипників;

k – коефіцієнт пропорційності між навантаженням та частотою.

Момент тертя приймемо $M_0 = 1,9 \text{ Н} \cdot \text{м}$. Коефіцієнт k при цьому дорівнює:

$$k = \frac{M_H - M_0}{\omega_H^3}; \quad (2.24)$$

$$k = \frac{513,66 - 1,9}{311,49^3} = 0,000017.$$

$$M_{\text{нас}} = 1,9 + 0,000017 \cdot \omega^3; \quad (2.25)$$

Динамічна механічна характеристика двигуна зображена на рисунку 2.9.

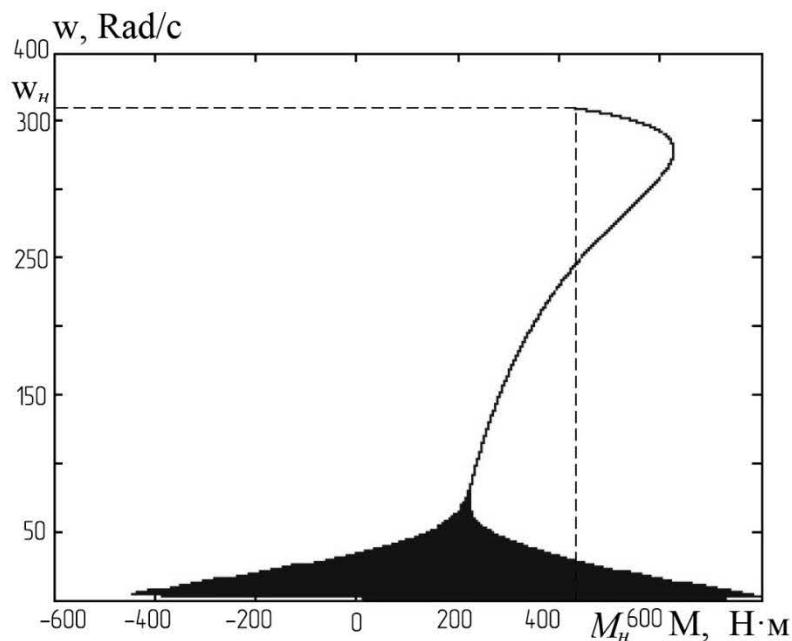


Рисунок 2.9 – Динамічна механічна характеристика

На рисунку 2.9 представлені тимчасові характеристики АД при прямому пуску з насосним навантаженням: частоти обертання валу $w(t)$, моменту $M(t)$, та струму статора $I_1(t)$. Час перехідного процесу визначимо з умови досягнення 5% зони від повного розгону електроприводу, (рис. 2.10):

$$t_p = 2,8 \text{ с.}$$

Момент електромагнітний:

$$M_H = 513,66 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

Частота, що встановилася:

$$\omega_H = 311,49 \text{ рад / с.}$$

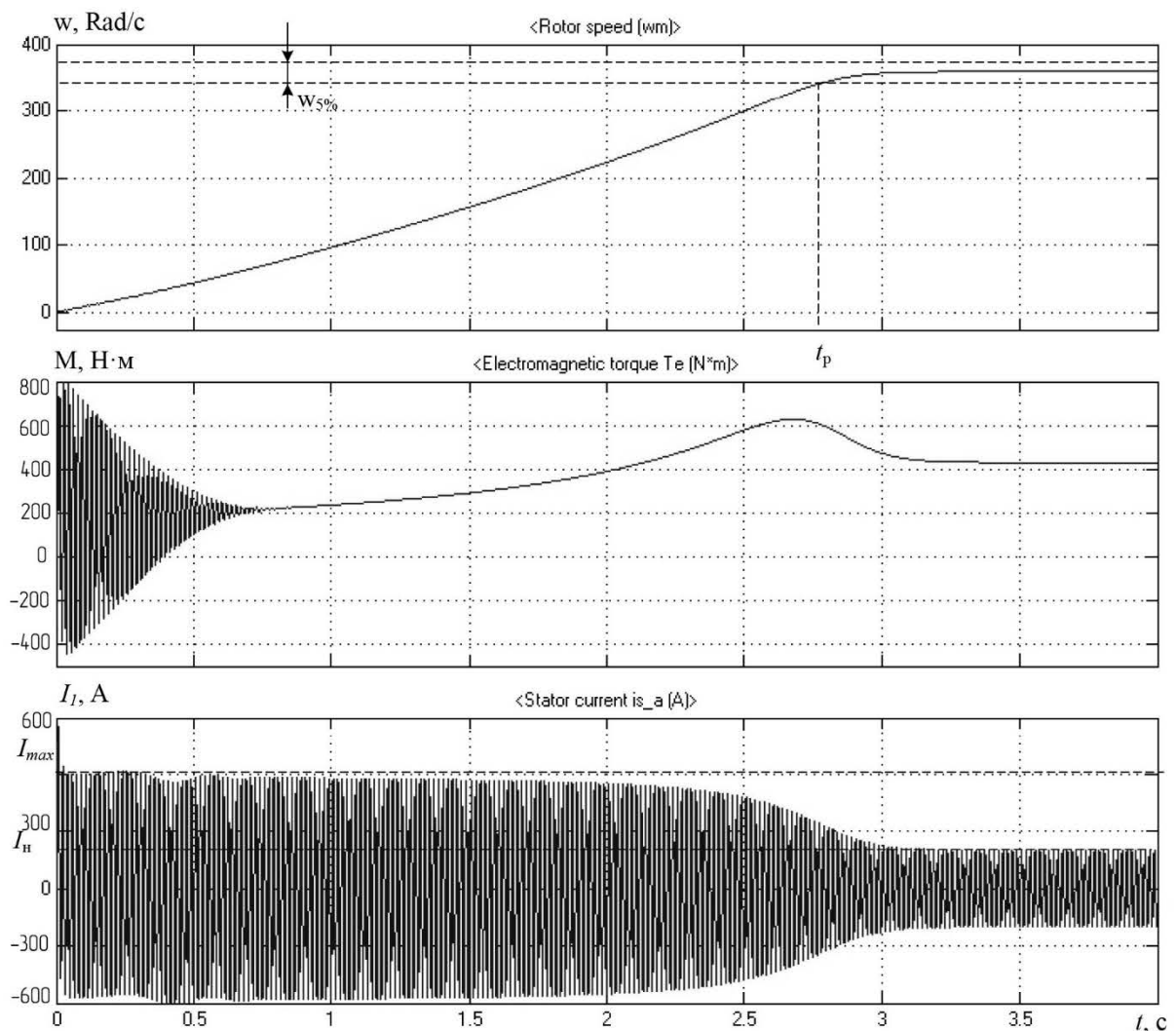


Рисунок 2.10 – Осцилограми швидкості двигуна $w(t)$, моменту $M(t)$ та струму статора $I_1(t)$ при прямому пуску

Як можна побачити з діаграм на рисунку 2.10, двигун збільшує швидкість рівномірно від нуля до своєї максимальної швидкості. Початковий момент двигуна є меншим за номінальний, досягає піку під час розгону, а потім зменшується до номінального рівня (якби активне навантаження $M_{\text{наб}}$ було вище за початковий момент, старт двигуна був би неможливий). Крім того, при безпосередньому запуску струм втричі перевищує номінальний, а час розгону складає більше ніж 2,5 секунди, що може спричинити поломку двигуна. Тому в системі САК з електроприводом для забезпечення повернення СПВ у пласт передбачено використання ПЧ, що дозволяє знизити пускові струми.

Складемо імітаційну модель приводу з частотним перетворювачем та IR-корекцією (рис. 2.11).

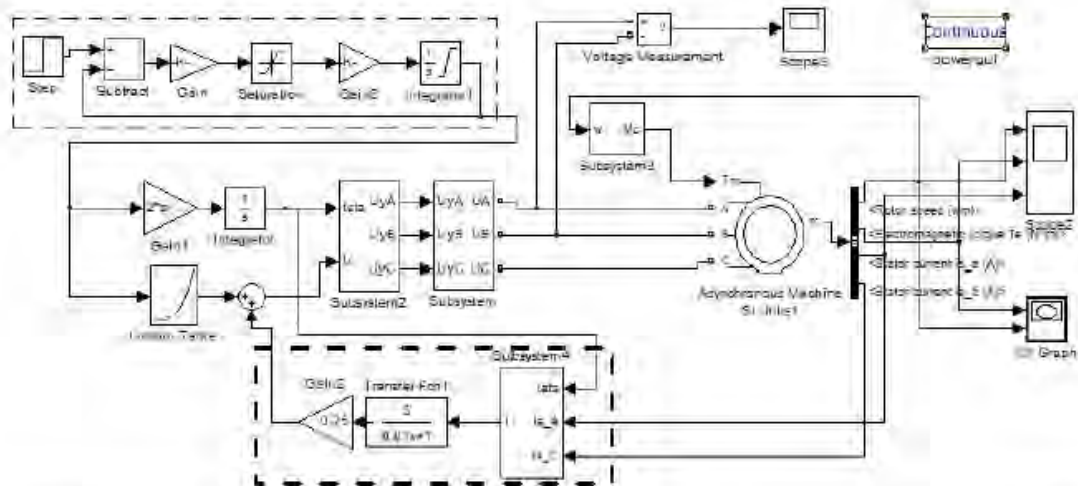
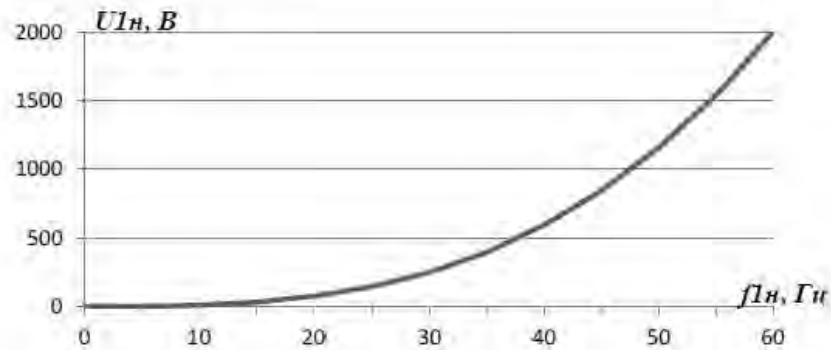


Рисунок 2.11 – Модель системи скалярного частотного керування з IR-компенсацією

Розглянемо передатні функції блоків, що входять до неї. Напряга та частота у схемі змінюються за законом $U_{1\text{H}}/f_{1\text{H}}^3 = \text{const.}$, (рис. 2.11), який формує необхідний рівень напруги залежно від необхідної частоти напруги перетворювача у блоці «перетворювач частота – напруга» (ПЧН), на рисунку 2.10 – блок «Lookup Table» [11].

Рисунок 2.12 – Залежність $U_{1n}(f_{1n}^3)$

Інвертор напруги (блок – «Subsystem») представлений аперіодичною ланкою [9]:

$$W_{ін}(p) = \frac{k_{ін}}{T_{ін}p + 1} = \frac{1}{0,00001p + 1}; \quad (2.26)$$

де: $k_{ін}$ – коефіцієнт передачі інвертора;

$$T_{ін} = \frac{1}{f_{нч}} = \frac{1}{100000} = 0,00001 \text{ с.} \text{ – постійна часу запізнення автономного}$$

інвертора напруги, $f_{нч} = 100000$ Гц – частота несучого інвертора.

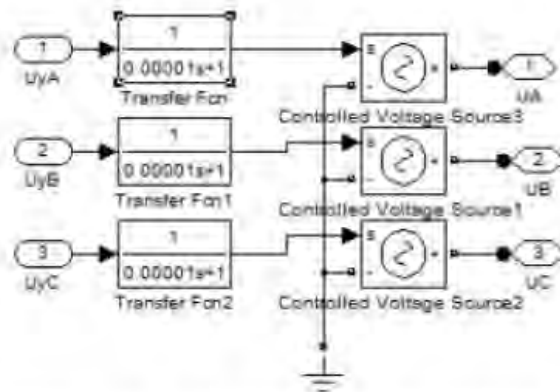


Рисунок 2.13 – Модель перетворювача частоти

Блок – «Subsystem2» – модель прямого координатного перетворювача (ПКП), на виході якого формується три синусоїдальні напруги керування U_{Y1A} , U_{Y1B} , U_{Y1C} , зсунуті відносно один одного на кут $\pm 2\pi/3$, з амплітудами,

пропорційними до напруги керування. Сигнали U_{Y1A} , U_{Y1B} , U_{Y1C} формують фазну напругу на виході автономного інвертора напруги (АІН) [11].

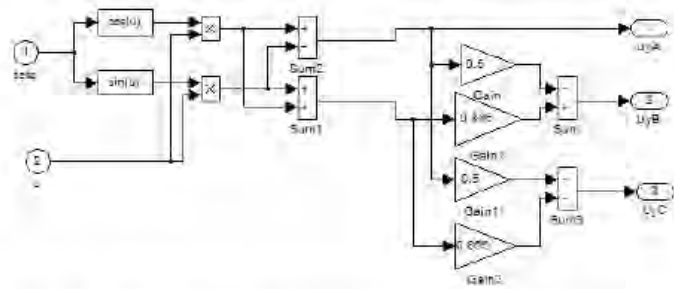


Рисунок 2.14 – Модель прямого координатного перетворювача

Блок – «Subsystem3» – імітує навантаження відцентрового насоса, (рис. 2.14) [9].

Виділена пунктиром частина моделі на рисунку 2.11 імітує задатчик інтенсивності зростання напруги, який формує криву та темп розгону двигуна.

При низьких частотах величина напруги активної складової опору статора не змінюється, в той час як зниження напруги на індуктивній складовій зменшується, що призводить до зниження інтенсивності магнітного поля. Щоб вирішити цю проблему втрати напруги при низьких обертах, використовується додаткова напруга з ПЧ, тому застосовано ІR-компенсацію. Зворотний зв'язок за струмом реалізовано через формувач струму статора (ФСС) (блок – «Subsystem4»), елемент з передавальною функцією (Transfer Fcn1) та підсилювач (Gain2) (рис. 2.11, позначено штрихпунктирною лінією):

$$W(p) = k_{\text{КМ}} \cdot \frac{R_1}{1 + T_{\text{КМ}} \cdot p} = \frac{0,015}{1 + 0,01p}; \quad (2.27)$$

де: $T_{\text{КМ}}$ – постійна час затримки контуру струму.

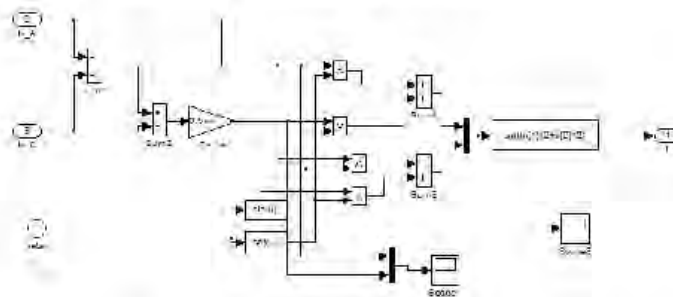


Рисунок 2.15 – Модель формувача струму статора

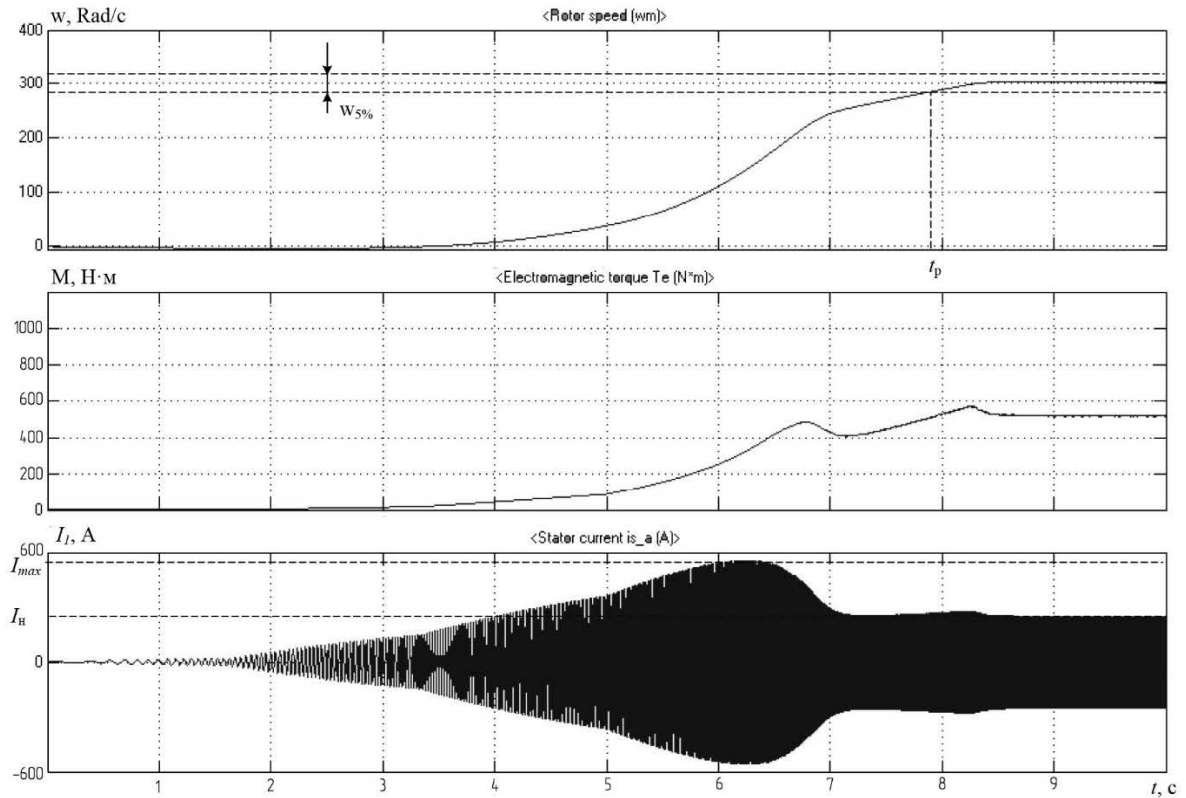


Рисунок 2.16 – Перехідні характеристики системи «ПЧ-АД» без IR- корекції, $f_{1H} = 50$ Гц, $t_p = 7,8$ с, $I_{max} = 550,36$ А, $I_H = 278,84$ А

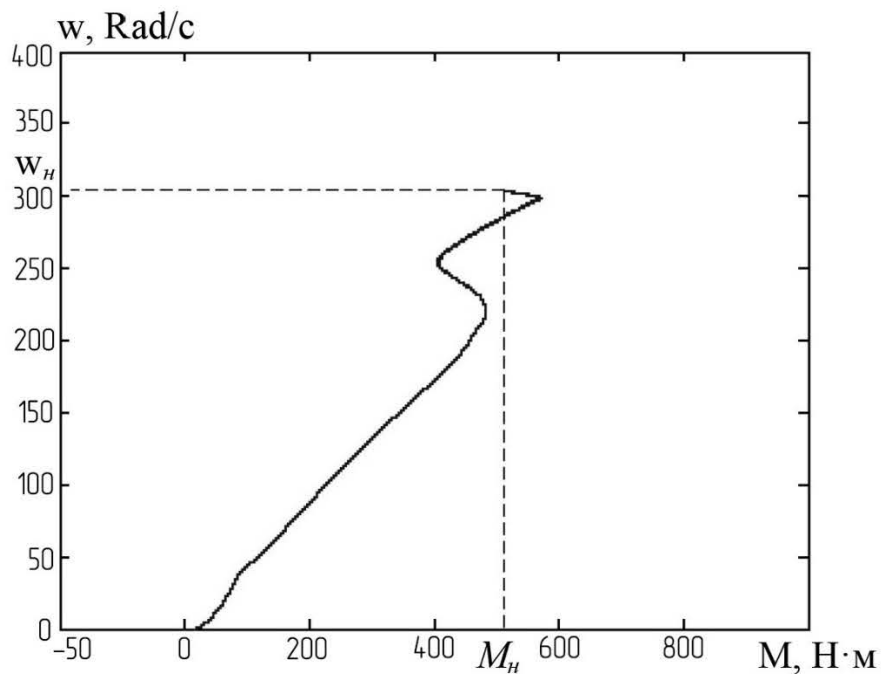


Рисунок 2.17 – Динамічна механічна характеристика системи «ПЧ-АД» без IR-корекції, $f_{1H} = 50$ Гц, $M_H = 513,66$ Н·м, $w_H = 311,49$ рад/с

На рисунках 2.16 та 2.17 представлені перехідні та динамічні характеристики системи ПЧ-АД повернення СПВ в пласт без ІR-корекції. Час перехідного процесу складає 7,8с. Струмова характеристика має значні коливання протягом майже 5с. Момент електропривода досягає номінального майже на 8 с, що значно зменшує механічні характеристики електропривода повернення СВП в пласт.

Тому вводимо ІR-корекції та проводимо дослідження системи, результати представлені на рисунках 2.18.

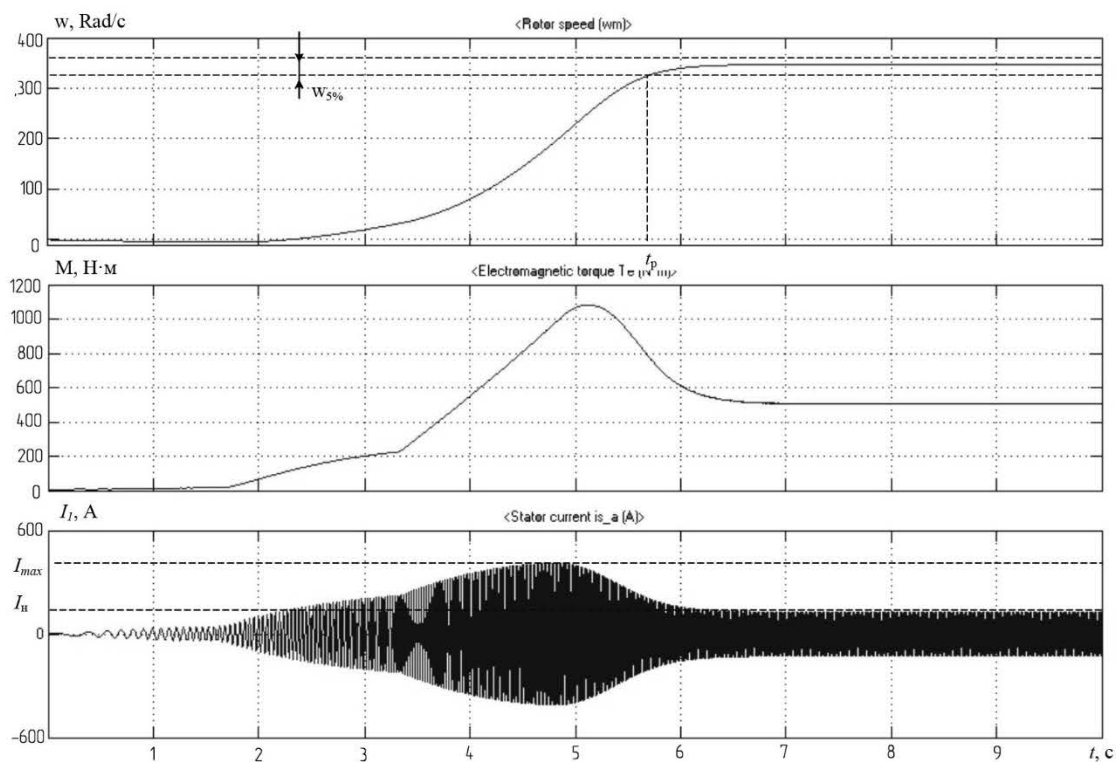


Рисунок 2.18 – Перехідні характеристики системи «ПЧ-АД» з ІR- корекції, $f_{1H} = 50$ Гц, $t_p = 5,2$ с, $I_{max} = 550,36$ А, $I_H = 278,84$ А

Час перехідного процесу зменшився до 5,5с. Струмова характеристика має значно менші коливання. Механічна характеристика двигуна стабільніша. Пояснюється це тим, що при ІR-корекції частково компенсується падіння напруги на активному опорі статора подачею додаткової напруги керуючого на вхід частотного перетворювача за рахунок позитивного зворотного зв'язку по струму. Тобто до напруги, що формується задатчиком інтенсивності,

додається напруга за рахунок зворотного позитивного зв'язку по струму, і в результаті на статорі при тій же частоті живлення формується більша напруга і магнітний потік теж більше.

При використанні частотного перетворювача за певної швидкості (коефіцієнт затримки 0,05) розгону двигуна отримуємо чіткі характеристики швидкості та моменту двигуна. При більшому збільшенні часу розгону (зменшення коефіцієнта затримки) пусковий струм не перевищуватиме номінальний

2.6 Висновки за розділом

Виконали вибір електродвигунів з оптимальними показниками, що дасть змогу використовувати електроприводи з максимальною ефективністю. Перевірили обрані електродвигуни за переважувальною здатністю та за перегрівом, що дасть змогу вневнено використовувати при будь-яких режимах навантаження.

Для забезпечення максимального збереження механічної частини електродвигунів, а також збільшення ефективності в енергозбереженні, обрали ПЧ. Перевірили обрані ПЧ на адекватність, а також на сумісність основних параметрів: струм, момент, потужність.

Розробили функціональна та структурні схеми для досліджуваних електроприводів. В середовищі MATLAB Simulink виконали дослідження роботи електроприводів при різних умовах.

РОЗДІЛ 3 РОЗРОБКА СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ СПВ

3.1 Розробка принципової схеми керування СПВ

Система збору, підготовки та перекачування СПВ відповідно до завдання магістерського дослідження повинна забезпечувати:

- транспортування СПВ до інших об'єктів (автоналивний стояк);
- повернення СПВ в пласт;
- використання СПВ для глушіння свердловин.

Для кожної системи у попередньому розділі була обрана система керування та підібрані відповідні електроприводи та перетворювачі частоти. Крім цього кожна з проєктованих систем повинна забезпечувати наступні дії:

- сигналізація готовності ПЧ до запуску двигуна;
- сигналізацію про аварію;
- аварійну зупинку двигуна;
- можливість фіксувати максимальний та мінімальний тиск, вимкнення двигуна при досягненні цих меж.

Напруга мережі силового електрообладнання – $\sim 380/220\text{В}$ з системою заземлення TN-C-S, в якій функції нульового робочого та нульового захисного провідників розділено в частині проєктованої мережі.

Електродвигуни для приводів насосів системи збору, підготовки та перекачування СПВ прийняті з короткозамкненим ротором, схемою передбачено їх захист від перенавантажень та струмів КЗ шляхом встановлення пуско-захисної апаратури в щитах. Керування електродвигунами насосів системи збору, підготовки та перекачування СПВ виконуються кнопкою «Пуск», «Стоп». Передбачено відключення електродвигунів насосів при P_{\max} та P_{\min} на нагнітанні та при аварії.

Живлення силової частини системи керування здійснюється напругою 380 В, датчики – напругою 24 В.

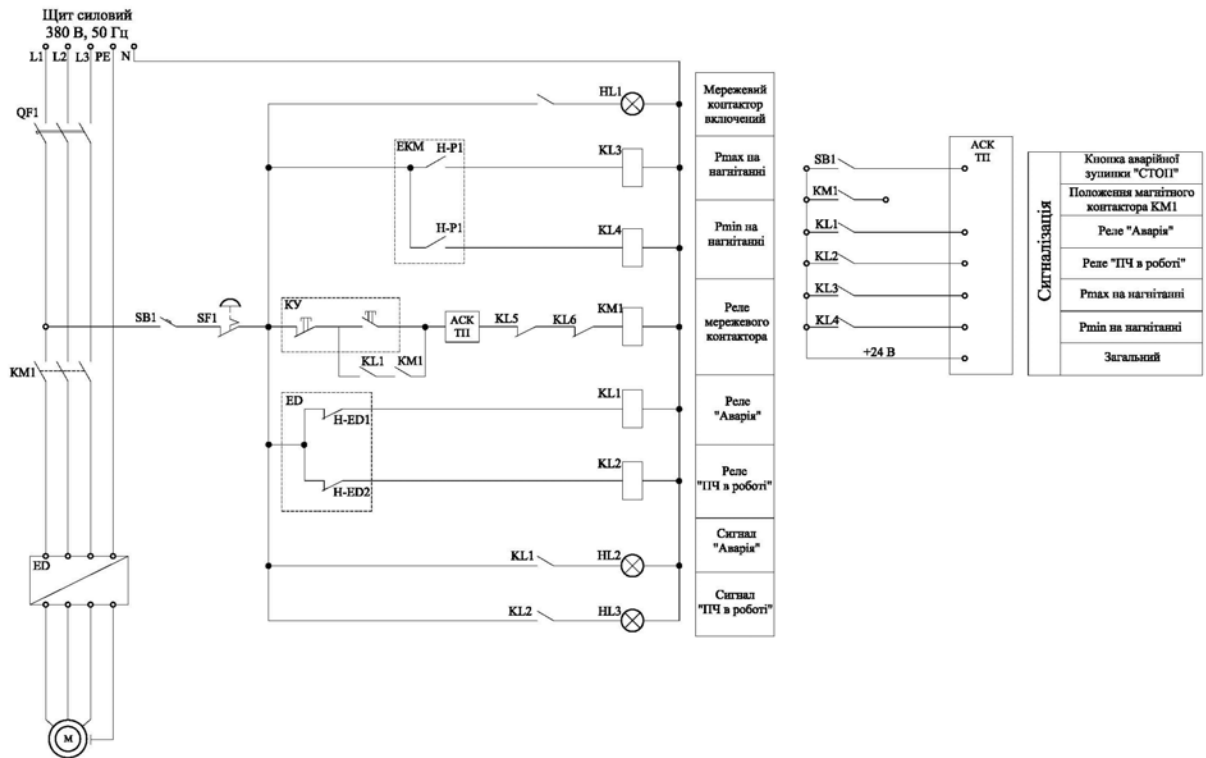


Рисунок 3.1 – Схема електрична принципова керування електроприводом перекачування СПВ до автоналивного стояка

М – електродвигун; ED – перетворювач частоти; ЕКМ – датчик тиску;
 КУ – кнопки керування; АСК ТП – автоматична система керування технологічним процесом; КМ1 – магнітний контактор; KL1-KL6 – реле;
 HL1-HL3 – сигналізація; QF, SF – автоматичні вимикачі

Схема електрична принципова керування електроприводом повернення СПВ в пласт та перекачування СПВ для глушіння свердловин аналогічні за своїм виконання.

3.2 Розрахунок та вибір провідників схеми керування СПВ

Для вибору перерізу кабельної лінії між ПЧ і електродвигуном, розрахуємо струм, що споживається двигуном у номінальному режимі:

$$I_{\text{ном}} = \frac{P_{\text{н.дв}}}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \eta \cdot \cos \varphi}; \quad (3.1)$$

Для електропривода перекачування СПВ до автоналивного стояка:

$$I_{\text{ном}} = \frac{110000}{\sqrt{3} \cdot 0,88 \cdot 0,945 \cdot 380} = 201,21 \text{ А.}$$

Для електропривода повернення СПВ в пласт:

$$I_{\text{ном}} = \frac{160000}{\sqrt{3} \cdot 0,92 \cdot 0,946 \cdot 380} = 279,94 \text{ А.}$$

Для електропривода перекачування СПВ до парку глушіння свердловин:

$$I_{\text{ном}} = \frac{37000}{\sqrt{3} \cdot 0,87 \cdot 0,92 \cdot 380} = 70,32 \text{ А.}$$

При проектуванні вибирають провідник з запасом 25–30 % від номінального струму. Це пов'язано в першу чергу з можливістю модернізації обладнання без модернізації електропроводки, збільшенням терміну експлуатації електропроводки, полегшенням вибору обладнання (елементів захисту) тощо.

$$I_p = I_{\text{ном}} + 25 \% \quad (3.2)$$

Для електропривода перекачування СПВ до автоналивного стояка:

$$I_p = 1,25 \cdot 201,21 = 251,51 \text{ А.}$$

Для електропривода повернення СПВ в пласт:

$$I_p = 1,25 \cdot 279,94 = 349,93 \text{ А.}$$

Для електропривода перекачування СПВ до парку глушіння свердловин:

$$I_p = 1,25 \cdot 70,32 = 87,9 \text{ А.}$$

Вибираємо кабель найбільш ближчий до I_p , тобто повинна виконуватись умова:

$$I_{\text{доп.}} \geq I_p, \quad (3.3)$$

де: $I_{\text{доп.}}$ – максимально допустимий струм провідника згідно таблиці 3.1;

I_p – номінальний струм навантаження із запасом 25% (розрахунковий струм).

Виберемо наступні кабельні лінії:

1. Трижильний кабель ВББШнг 3x150 при прокладанні у повітрі з $I_p=305$ А для живлення електропривода для перекачування СПВ до автоналивного стояка.

2. Трижильний кабель ВББШнг 3x185 при прокладанні у повітрі з $I_p=500$ А для живлення електропривода для повернення СПВ в пласт.

3. Трижильний кабель ВББШнг 3x25 при прокладанні у повітрі з $I_p=95$ А для живлення електропривода перекачування СПВ до парку глушіння свердловин.

Таблиця 3.1 – Параметри для вибору кабельної лінії

Параметри	$P_{ном}, кВт$	$I_{ном}, А$	$I_p, А$	$l, м$
Електродвигун для перекачування СПВ до автоналивного стояка	110	201,21	251,51	15
Електродвигун повернення СПВ в пласт	160	279,94	349,93	10
Електродвигун для перекачування СПВ до парку для глушіння свердловин	37	70,32	87,9	5

Кабель ВББШнг застосовується для прокладання в землі (траншеях), приміщеннях, тунелях, каналах, шахтах (крім прокладки в блоках), а також на відкритому повітрі, якщо кабель не наражається на значні зусилля, що розтягують, але за наявності небезпеки механічних пошкоджень у процесі експлуатації [8].

Таблиця 3.3 – Характеристика кабеля ВББШнг

Параметр	Значення
Номінальна змінна напруга	0,66/1 кВ
Номінальна частота	100Гц
Мінімально допустимий радіус вигину	7,5 діаметрів кабелю
Будівельна довжина	200-450 м
Допустимі зусилля при протяжці кабелю по трасі прокладки	50 Н/мм ²
Код ОКП КВББШнг	3533710600
Клас пожежної безпеки	П1б.8.2.5.4
Температура навколишнього середовища під час експлуатації кабелю	от -50°C до 50°C
Стійкість до дії підвищеної відносної вологості при температурі навколишнього середовища до 35°C	98%
Мінімальна температура прокладання кабелю без попереднього підігріву	-15°C

Виконаємо перевірку провідників на нагрів. Вважаємо, що при температурі середовища $+35^{\circ}\text{C}$, нормована температура жил кабелю або проводу дорівнює $+65^{\circ}\text{C}$ (температура середовища залежить від способу прокладання провідника, а температура жил від технічних характеристик провідника).

Знаходимо максимально допустимий струм провідника з урахуванням t_k .

$$I_{\text{доп.}t_k} = I_{\text{доп.}} \cdot t_k; \quad (3.4)$$

де: $t_k=0,94$ - температурний коефіцієнт.

Повинна задовільнятись умова:

$$I_{\text{доп.}t_k} \geq I_p. \quad (3.5)$$

Для провідника електропривода для перекачування СПВ до автоналивного стояка:

$$I_{\text{доп.}t_k} = 305 \cdot 0,94 = 286,7 \text{ A};$$

$$I_{\text{доп.}t_k} = 286,7 \geq 251,51 \text{ A}.$$

Для провідника електропривода для повернення СПВ в пласт:

$$I_{\text{доп.}t_k} = 500 \cdot 0,94 = 470 \text{ A};$$

$$I_{\text{доп.}t_k} = 470 \geq 349,93 \text{ A}.$$

Для провідника електропривода перекачування СПВ до парку глушіння свердловин:

$$I_{\text{доп.}t_k} = 95 \cdot 0,94 = 89,3 \text{ A};$$

$$I_{\text{доп.}t_k} = 89,3 \geq 87,9 \text{ A}.$$

Умова вибору провідників системи керування СПВ на нагрів виконується.

Визначимо втрати напруги в кабельних лініях:

$$R_o = \frac{(1 + \alpha \cdot (t_{\text{каб}} - 20)) \cdot \rho_{20}}{S}; \quad (3.6)$$

де: ρ_{20} – питомий опір жили кабелю при 20°C з урахуванням нагартівки і скручування, приймається рівнем $0,0195 \text{ Ом}\cdot\text{мм}^2/\text{м}$;

s – площа перерізу жили кабелю, мм^2 ;

α – температурний коефіцієнт лінійного розширення міді, рівний $0,0041/^\circ\text{C}$;

$t_{\text{каб}}$ – температура жили кабелю.

$$R_o = \frac{(1 + 0,0041 \cdot (65 - 20)) \cdot 0,0195}{150} = 0,0067 \text{ Ом / м.}$$

Втрати напруги при номінальному струмі:

$$\Delta U = I_{\text{НОМ}} \cdot \gamma \cdot \cos \varphi + I_{\text{НОМ}} \cdot x \cdot \sin \varphi; \quad (3.7)$$

$$\gamma = R_o \cdot l; \quad (3.8)$$

$$x = X_o \cdot l; \quad (3.9)$$

$$\Delta U\% = \frac{\Delta U}{U_{\text{НОМ}}} \cdot 100\%; \quad (3.10)$$

Для провідника електропривода перекачування СПВ до автоналивного стояка:

$$\Delta U = 201,21 \cdot (0,1 \cdot 0,84 + 0,01 \cdot 0,54) = 17,99 \text{ В.}$$

$$\Delta U\% = \frac{17,99}{380} \cdot 100\% = 4,73\%.$$

Для провідника електропривода повернення СПВ в пласт:

$$R_o = \frac{(1 + 0,0041 \cdot (65 - 20)) \cdot 0,0195}{185} = 0,0054 \text{ Ом / м.}$$

$$\Delta U = 279,94 \cdot (0,054 \cdot 0,92 + 0,005 \cdot 0,39) = 14,54 \text{ В.}$$

$$\Delta U\% = \frac{14,54}{380} \cdot 100\% = 3,83\%.$$

Для провідника електропривода перекачування СПВ до парку для глушіння свердловин:

$$R_o = \frac{(1 + 0,0041 \cdot (65 - 20)) \cdot 0,0195}{25} = 0,04 \text{ Ом / м.}$$

$$\Delta U = 70,32 \cdot (0,2 \cdot 0,87 + 0,005 \cdot 0,49) = 12,38 \text{ В.}$$

$$\Delta U\% = \frac{12,38}{380} \cdot 100\% = 3,26\%.$$

Як бачимо, вибраний переріз відповідає вимогам, тому остаточно приймаємо вибрані кабелі з попередньо розрахованим перерізом для системи керування СПВ.

Для живлення системи керування (реле, кнопок, контакторів) будемо використовувати кабель КВБбШнг, характеристики якого приведено в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Характеристика кабеля КВБбШнг

Параметр	Значення
Номінальна змінна напруга	0,66 кВ
Номінальна частота	100Гц
Мінімально допустимий радіус вигину	10 діаметрів кабелю
Будівельна довжина	200-450 м
Допустимі зусилля при протяжці кабелю по трасі прокладки	50 Н/мм ²
Код ОКП КВБбШнг	3563
Клас пожежної безпеки	П1б.8.2.5.4
Температура навколишнього середовища під час експлуатації кабелю	от -50°С до 50°С
Стійкість до дії підвищеної відносної вологості при температурі навколишнього середовища до 35°С	98%
Мінімальна температура прокладання кабелю без попереднього підігріву	-7°С

Для живлення ПЧ від автоматичного вимикача будемо використовувати аналогічні провідники як і від ПЧ до електропривода.

3.3 Розрахунок та вибір елементів схеми керування СПВ

Номінальні струми автоматичних вимикачів вибираються так, щоб їхні значення були як найближче до розрахункових значень струму ланцюгів або номінальним струмам електроустаткування. Характеристики відключення автоматичних вимикачів визначаються з урахуванням того, що короточасні перевантаження, викликані пусковими струмами, не повинні викликати

їхнього спрацьовування. Крім того, при підборі автоматичних вимикачів варто враховувати час відключення у випадку виникнення короткого замикання у ланцюзі.

Для розподільних кіл, які живлять розподільні, групові та інші щити, а також групових кіл з робочим струмом більше 32 А час автоматичного вимикання не повинен перевищувати 5 с.

Як правило сучасні автоматичні вимикачі, наприклад, фірми Siemens, АВВ задовольняють цим вимогам.

Автоматичні вимикачі (АВ) розподіляються на такі типи: В, С, D, К, Z. Використовуємо клас С – використовується при невеликому індуктивному навантаженні.

Виберемо автоматичний вимикач, який призначений для захисту проводів, кабелів, електроустаткування від короткого замикання та перевантажень у ПЧ та АД. Для цього має бути наступна умова:

$$I_{\text{спрац.теп.}} = 1,25 \cdot I_{\text{ном.}}; \quad (3.11)$$

$$I_{\text{уст.елект.вст.}} = 1,5 \cdot I_{\text{п.}} \quad (3.12)$$

де: $I_{\text{спрац.теп.}}$ – номінальний струм нерегульованого та регульованого теплового або комбінованого розчеплювача автоматичного вимикача;

$I_{\text{уст.елект.в.}}$ – струм уставки (спрацьовування) електромагнітного розчіплювача миттєвої дії (відсікання);

$I_{\text{ном}}$ – струм, який споживає двигун $I_{\text{спож.}}$;

$I_{\text{пуск}}$ – струм, який споживає двигун при лінійному розгоні $I_{\text{спож.р.}}$.

Для електропривода перекачування СПВ до автоналивного стояка:

$$I_{\text{спрац.теп.}} = 1,25 \cdot 201,21 = 251,51 \text{ А};$$

$$I_{\text{уст.елект.вст.}} = 1,5 \cdot 251,51 = 377,27 \text{ А}.$$

Для схеми електропостачання електропривода для перекачування СПВ до автоналивного стояка вибираємо Schneider Easyract EZC400N 3P3D 36кА 400А, характеристики якого наведено в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Характеристика автоматичного вимикача Schneider Easypact EZC400N 3P3D 36кА [25]

Параметр	Значення
Тип мереж	Змінний струм Постійний струм
Частота мереж	50/60 Гц
Номинальний струм	400 А
Номинальна напруга ізоляції	690 В змінний струм 50/60 Гц відповідно до ІЕС 60947-2
Категорія застосування	Категорія А
Найменування розчеплювача	ТМ-D
Технологія розчеплювача	Тепломагнітний
Номинал розчеплювача	400 А
Тип захисту	Захист від перевантаження Захист від короткого замикання



Рисунок 3.2 – Загальний вигляд автоматичного вимикача серії Schneider Easypact

Автоматичні вимикачі EasyPact EZC призначені для захисту мереж низької напруги. Вони застосовуються в системах електропостачання об'єктів з струмами короткого замикання що не перевищують 50кА при 415В - житлові будівлі, адміністративно-комерційні об'єкти, промислові установки.

Для електропривода повернення СПВ в пласт:

$$I_{\text{спрац.теп.}} = 1,25 \cdot 279,84 = 349,93 \text{ А};$$

$$I_{\text{уст.елект.вст.}} = 1,5 \cdot 349,93 = 524,90 \text{ А.}$$

Для схеми електропостачання електропривода повернення СПВ в пласт вибираємо Schneider Easypact EZC630N 3P3D 36кА 600А, характеристики якого наведено в таблиці 3.5 [25].

Таблиця 3.5 – Характеристика автоматичного вимикача Schneider Easyact EZC630N 3P3D 36кА 600А

Параметр	Значення
Тип мереж	Змінний струм Постійний струм
Частота мереж	50/60 Гц
Номинальний струм	630 А
Номинальна напруга ізоляції	690 В змінний струм 50/60 Гц відповідно до ІЕС 60947-2
Категорія застосування	Категорія А
Найменування розчеплювача	ТМ-D
Технологія розчеплювача	Тепломагнітний
Номинал розчеплювача	600 А
Тип захисту	Захист від перевантаження Захист від короткого замикання

Для електропривода перекачування СПВ до парку глушіння свердловин:

$$I_{\text{спрац.теп.}} = 1,25 \cdot 70,32 = 87,9 \text{ А};$$

$$I_{\text{уст.елект.вст.}} = 1,5 \cdot 87,9 = 131,85 \text{ А}.$$

Для схеми електропостачання електропривода повернення СПВ в пласт вибираємо Schneider Easyact EZC100N 100 А, характеристики якого наведено в таблиці 3.6.

Таблиця 3.6 – Характеристика автоматичного вимикача Schneider Easyact EZC100N 100 А

Параметр	Значення
Тип мереж	Змінний струм Постійний струм
Частота мереж	50/60 Гц
Номинальний струм	100 А
Номинальна напруга ізоляції	690 В змінний струм 50/60 Гц відповідно до ІЕС 60947-2
Категорія застосування	Категорія А
Найменування розчеплювача	ТМ-D
Технологія розчеплювача	Тепломагнітний
Номинал розчеплювача	100 А
Тип захисту	Захист від перевантаження Захист від короткого замикання

Для комутації навантаження електроприводів системи збору, підготовки та перекачування СПВ, для автоматичного змикання та розмикання електроланцюжка використовуємо магнітні контактори.

Для електричної схеми керування електроприводом для перекачування СПВ до автономного стояка обираємо магнітний контактор LC1E400M7 3-полюсовий контактор Schneider TeSys E, параметри якого наведені в таблиці 3.7.

Таблиця 3.7 – Характеристика магнітного контактора LC1E400M7 3-полюсовий контактор Schneider TeSys E [24]

Параметр	Значення
Застосування контактора	Керування електродвигуном / Активне навантаження
Потужність	від 2,2 до 335 кВт
Номінальна робоча напруга	≤ 690 V змінний струм 50/60 Гц для силова ланцюг
Номінальний короткочасно допустимий струм	400 А (≤ 55 ° C) змінний струм AC-3 для силова ланцюг ≤ 440 V / 500 А (≤ 40 ° C) змінний струм AC-1 для силова ланцюг ≤ 440 V



Рисунок 3.3 – Загальний вигляд магнітного контактора серії Schneider Easypact LC1E400M7

Для електричної схеми керування електроприводом повернення СПВ в пласт у якості KM1 обираємо магнітний контактор LC1E630M7 3-полюсовий контактор Schneider TeSys E, 630 А, 220V 50/60 Гц, параметри якого наведені в таблиці 3.8.

Таблиця 3.8 – Характеристика магнітного контактора LC1E630M7 3-полюсовий контактор Schneider TeSys E [24]

Параметр	Значення
Застосування контактора	Керування електродвигуном / Активне навантаження
Потужність	від 2,2 до 335 кВт
Номінальна робоча напруга	≤ 690 V змінний струм 50/60 Гц для силова ланцюг
Номінальний короткочасно допустимий струм	630 A (≤ 55 ° C) змінний струм AC-3 для силова ланцюг ≤ 440 V / 1000 A (≤ 55 ° C) змінний струм AC-1 для силова ланцюг ≤ 440 V



Рисунок 3.4 – Загальний вигляд магнітного контактора серії Schneider Easypact LC1E630M7

Для електричної схеми керування електроприводом перекачування СПВ до парку глушіння свердловин обираємо магнітний контактор А9С20884 контактор Schneider iCT 100 A 4NO ~220/240В 50Гц, параметри якого наведені в таблиці 3.9.

Таблиця 3.9 – Характеристика магнітного контактора Schneider iCT 100A 4NO

Параметр	Значення
Частота мережі	50 Гц
Частота комутації	100 перемикань/день
Номінальна імпульсна витримувана	4 кВ
Потужність при утриманні, ВА	13 В·А

Проміжні реле використовуються в системах релейного захисту та автоматичного керування для збільшення кількості та ємності контактів. Застосовується для передачі проміжних сигналів у схемі керування [27].

У якості проміжних реле KL1-KL6 вибираємо реле Schneider Electric серії RXM на 24 В, параметри яких наведені в таблиці 3.10.

Таблиця 3.10 – Характеристика проміжного реле Schneider Electric серії RXM

Параметр	Значення
Тип контакту та з'єднання	4 перемикаючих контакти
Напруга схеми керування	24 В
Тип керування	Кнопка перевірки з можливістю блокування
Максимальний струм у сталому режимі	5 А
Максимальна напруга перемикання	250 В
Максимальна комутаційна здатність	1500 ВА/168 ВТ



Рисунок 3.5 – Загальний вигляд проміжного реле Schneider Electric серії RXM

Для системи збору, підготовки та перекачування СПВ обрані однакові типи реле, так як система керування здійснюється напругою 24 В та має орієнтовно одноковий функціонал.

Сигналізація призначена для попередження персонал про пуск і зупинку обладнання, порушення технологій процесів, аварійну ситуацію. Для системи збору, підготовки та перекачування СПВ у якості HL1-HL3 використовуємо світлову сигналізацію Schneider Electric, параметри яких наведені в таблиці 3.11.

Таблиця 3.11 – Характеристика світлової сигналізації Schneider Electric

Параметр	Значення
Номінальна напруга живлення	230...240 В змінний струм в 50/60 Гц
Клеми підключення	Гвинтовий затискач, $\leq 2 \times 1.5 \text{ мм}^2$ з кабельним наконечником відповідно до ІЕС 60947-1 Гвинтовий затискач, $1 \times 0.22...2 \times 2.5 \text{ мм}^2$ без кабельного наконечника
Споживання струму	14 мА

Для аварійної зупинки електроприводів системи збору, підготовки та перекачування СПВ обираємо кнопку аварійної зупинки Schneider Electric, параметри якої наведено в таблиці 3.12.

Таблиця 3.12 – Характеристика кнопки аварійної зупинки Schneider Electric

Параметр	Значення
Робота контакту	Повільне розмикання
Захист від короткого замикання	10 А плавка вставка тип gG
Момент затягування	0,8... 1,2 Н.м

Для захисту системи керування системи збору, підготовки та перекачування СПВ вибираємо однополюсний автоматичний вимикач Schneider Electric iC60N 1P 4A, параметри якого наведені в таблиці 3.13.

Таблиця 3.13 – Характеристика автоматичного вимикача Schneider Electric iC60N

Параметр	Значення
Кількість полюсів	1P
Номінальний струм	4А
Вимикаюча здатність	6кА
Вимикаюча характеристика	С

3.4 Висновки за розділом

Для керування СПВ розробили схему електричну принципову. Вона є основною схемою проекту електронного пристрою і дає загальне уявлення про

будову, служить джерелом для складання схем з'єднань і підключень, розробки конструктивних вузлів та формування переліку елементів. Схема передбачає пуск, зупинку, аварійну зупинку електропривода, сигналізацію про аварійну зупинку, готовності ПЧ до пуску, про максимальний та мінімальний тиску в трубопроводі тощо.

Для силових кабельних ліній вибрали кабель ВБШнг, перевірили силові кабельні лінії на нагрів та втрати напруги. Для живлення системи керування (реле, кнопок, контакторів) вибрали кабель КВБШнг.

Для захисту проводів, кабелів, електроустаткування від короткого замикання та перевантажень вибрали автоматичні вимикачі фірми Schneider Electric.

Для комутації навантаження електроприводів системи збору, підготовки та перекачування СПВ, для автоматичного змикання та розмикання електроланцюжка використовуємо магнітні контактори.

РОЗДІЛ 4 РОЗРОБКА АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ТА ВИБІР ЇЇ ЕЛЕМЕНТІВ

4.1 Розробка автоматизованої системи керування СПВ

Керування технічними процесами відбувається через використання вимірювальних приладів, які виробляють сигнали про характеристики процесу у форматі, зрозумілому для людини. Технологічний процес із централізованим управлінням включає в себе три ключові елементи: первинний перетворювач, канал зв'язку та вторинний пристрій. Первинний перетворювач, що встановлений у системі, перетворює виміряні показники на вихідний сигнал, який можна передавати через канал зв'язку. Канали зв'язку слугують для передачі сигналів від первинного перетворювача до вторинних пристроїв. Вторинний пристрій - це апарат, який отримує сигнал від перетворювача та відображає його у зручній для сприйняття формі [20].

У нашій системі автоматизованого керування присутні три контури: контур перекачування СПВ до автоналивного стояка, контур повернення СПВ в пласт, контур перекачування СПВ до парку глушіння свердловин.

До складу схеми автоматизації входять первинні датчики: датчик тиску, датчик температури, датчик рівня, датчик витрати.

До складу вторинних перетворювачів слід віднести модулі введення датчиків.

До складу первинних перетворювачів слід віднести ПЛК, панель оператора, блок живлення.

Виконавчим механізмом у складі системи є електроздвижка, що буде регулювати тиск в системі або припиняти подачу СПВ.

На рисунку 4.1 представлено загальну систему автоматизації керування СПВ.

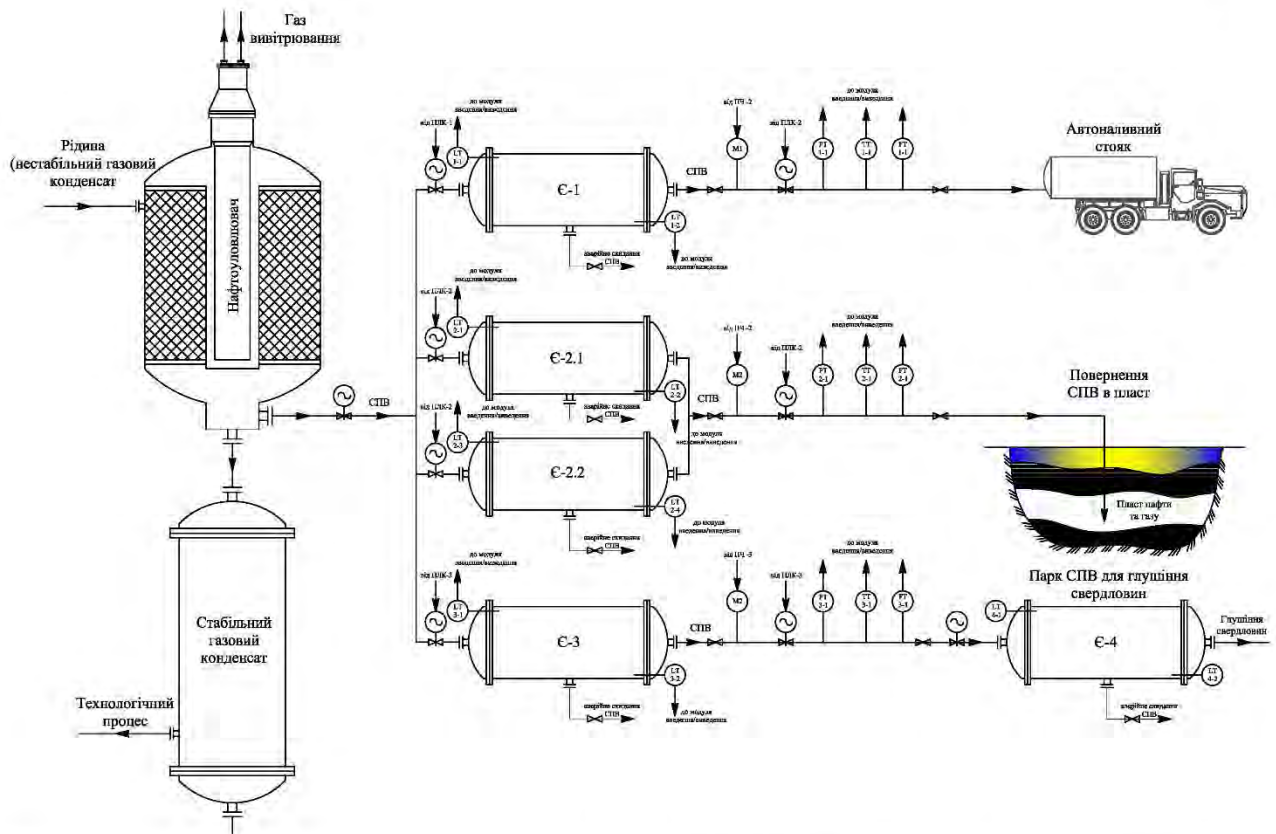


Рисунок 4.1 – Функціональна схема автоматизованої системи технологічного процесу керування СПВ

Контур перекачування СПВ до автонавійного стояка. В якості регульованих параметрів були обрані тиск, температура, рівень СПВ в ємності Є-1 та витрата. Витрата СПВ вимірюється датчиком FT 1-1, тиск вимірюється датчиком тиску PT 1-1, температура вимірюється датчиком температури TT 1-1, рівень СПВ вимірюється датчиком рівня LT 1-1 та LT 1-2, на виході яких формується сигнал 4-20 мА. Далі токовий сигнал подається на аналоговий вхід модуля введення/виведення інформації, який передає сигнал на ПЛК-1. На виході ПЛК-1 сигнал йде на панель оператора для візуалізації параметрів регулювання, блок керування електроприводом виконавчого механізму та головний блок керування електроприводом перекачування СПВ, що включає ПЧ та електропривод. В ПЛК-1 налаштовуються параметри, відхилення від яких і буде тригером для видачі відповідних сигналів з ПЛК-1.

Контур повернення СПВ в пласт. В якості регульованих параметрів були обрані тиск, температура та датчики рівня в ємностях Є-2.1, Є-2.2. Рівні СПВ

в ємностях вимірюються датчиками LT 2-1 та LT 2-2, тиск вимірюється датчиком тиску PT 2-1, температура вимірюється датчиком температури TT 2-1, на виході яких формується сигнал 4-20 мА. Далі токовий сигнал подається на аналоговий вхід модуля введення/виведення інформації, який передає сигнал на ПЛК-2. На виході ПЛК-2 сигнал йде на панель оператора для візуалізації параметрів регулювання, блок керування електроприводом виконавчого механізму та головний блок керування електроприводом повернення СПВ в пласт, що включає ПЧ та електропривод. В ПЛК-2 налаштовуються параметри, відхилення від яких і буде тригером для видачі відповідних сигналів з ПЛК-2.

Контур перекачування СПВ в парк глушіння свердловин. В якості регульованих параметрів були обрані тиск, температура та датчики рівня в ємності Є-3, Є-4. Рівні СПВ в ємностях вимірюються датчиками LT 3-1, LT 3-2, LT 4-1, LT 4-2, тиск вимірюється датчиком тиску PT 3-1, температура вимірюється датчиком температури TT 3-1, на виході яких формується сигнал 4-20 мА. Далі токовий сигнал подається на аналоговий вхід модуля введення/виведення інформації, який передає сигнал на ПЛК-3. На виході ПЛК-3 сигнал йде на панель оператора для візуалізації параметрів регулювання, блок керування електроприводом виконавчого механізму та головний блок керування електроприводом перекачування СПВ до ємності для глушіння свердловин, що включає ПЧ та електропривод. В ПЛК-3 налаштовуються параметри, відхилення від яких і буде тригером для видачі відповідних сигналів з ПЛК-3.

Окремо передбачено ручне перекривання кожного каналу з боку подачі СПВ до ємностей Є-1, Є-2.1, Є 2.2, Є-3, Є-4 ручними клапанами. Також при кожній ємності є ручні клапани аварійного скидання СПВ.

Зведемо до таблиці 4.1 запропоновані заходи автоматизації системи технологічного процесу керування СПВ.

Таблиця 4.1 – Технічні рішення автоматизації системи технологічного процесу керування СПВ

Контур керування	Позначення датчика	Функція
Контур перекачування СПВ до автоналивного стояка	PT 1-1	Датчик тиску
	FT 1-1	Датчик витрати
	TT 1-1	Датчик температури
	LT 1-1, LT 1-2	Датчик рівня
Контур повернення СПВ в пласт	PT 2-1	Датчик тиску
	FT 2-1	Датчик витрати
	TT 2-1	Датчик температури
	LT 2-1, LT 2-2, LT 2-3, LT 2-4	Датчик рівня
Контур перекачування СПВ в парк глушіння свердловин	PT 3-1	Датчик тиску
	FT 3-1	Датчик витрати
	TT 3-1	Датчик температури
	LT 3-1, LT 3-2, LT 4-1, LT 4-2	Датчик рівня

Інформація від первинних датчиків тиску, температури та витрати передається до ПЛК через модуль введення/виведення та панель оператора. За допомогою ПЛК можлива фіксація та зміна параметрів регулювання. На панелі оператора відображаються поточні параметри. ПЛК, аналізуючі поточні параметри, подає сигнали на виконавчий пристрій в разі відхилення поточних параметрів від заданих. Також ПЛК подає сигнал на перетворювач частоти, що керує швидкістю електропривода.

4.2 Вибір засобів автоматизації системи керування СПВ

Для живлення системи керування СПВ (для всіх трьох контурів будуть обрані аналогічні засоби автоматизації) використовуємо БЖ 110. Промислове джерело живлення ВЗН110 призначене для живлення широкого спектру бездротової електроніки зі стабільною напругою постійного струму, релейної автоматики, контролерів тощо.

Номінальна вихідна потужність становить 60 Вт. Діапазон роботи джерела живлення представлений 24 варіантами з вихідною напругою 60В і 2В.

Ключові функції:

1. Перетворює змінну або постійну напругу в постійну регульовану напругу із заданим номінальним значенням.
2. Забезпечує стабільну роботу в широкому діапазоні вхідної напруги без зниження характеристик вихідної напруги.
3. Надійний запуск навантажень з великою вхідною потужністю (панель оператора, модемі тощо).
4. Захист від перенапруги на вході імпульсних перешкод.
5. Захист від перевантаження, короткого замикання і перегріву.
6. Внутрішній регулятор використовується для регулювання вихідної напруги на рівні $\pm 8\%$ відномінального при збереженні номінальної потужності.
7. Вказує на наявність напруги на виході.



Рисунок 4.2 – Загальний вигляд блока живлення БЖ 110

Технічні характеристики блока живлення для системи керування СПВ представлені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.2 – Технічні характеристики блока живлення БЖ 110

Параметр	Значення	
	БЖ110-24В/2,5А	БЖ110-60В/1А
Номінальна напруга	24 В	60 В
Номінальний струм	2,5 А	1 А
Номінальна потужність	60 Вт	
Підстроювання вихідної напруги	$\pm 8\%$	
Допустиме відхилення напруги	$\pm 2\%$	

Для візуалізації параметрів технологічного процесу керування СПВ застосовуємо панель оператора ОВЕН СП 270.

Основні характеристики панелі керування ОВЕН SP270:

1. Графічний дисплей з діагоналлю 7 дюймів і роздільною здатністю 480x234 пікселів.
2. Кількість кольорів-256, тип дисплея-TFT.
3. Керування з сенсорного екрану.
4. Незалежні порти RS-232 і RS-485 для зв'язку із зовнішніми пристроями.
5. Підтримка загальних протоколів обміну -Modbus RTU, Modbus ASCII.
6. Можливість одночасної роботи в 2 режимах :Master і Slave.
7. Живлення від джерела постійної напруги =24 В.

Таблиця 4.3 – Технічні характеристики панелі керування ОВЕН SP270

Напруга живлення постійного струму	22...26 В
Струм, що споживається	не більше 0,150 А
Споживана потужність	не більше 30 Вт (номінальне споживання 5 Вт)
Інтерфейси зв'язку, що використовуються	RS-232 (2 шт.), RS-485 (1 шт.)
Тип інтерфейсу для зв'язку з ПЛК	RS-232, RS-485
Тип інтерфейсу для завантаження проекту із ПК	RS-232
Швидкість передавання даних за інтерфейсами	4800, 9600, 14400, 19200, 38400, 115200 біт/с
Протоколи передавання даних	Modbus RTU, Modbus ASCII
Режими роботи панелі	Master, Slave

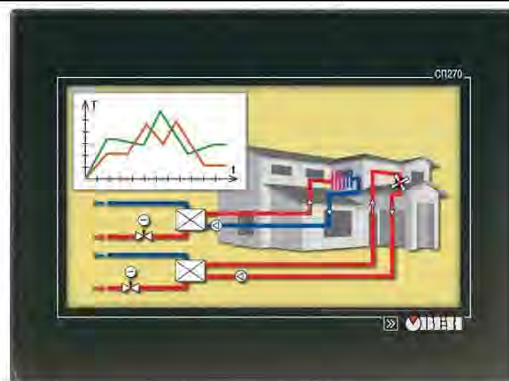


Рисунок 4.3 – Загальний вигляд панелі керування ОВЕН SP270

Пристрої введення/виведення розроблені для розширення кількості шляхів передачі та прийому даних у системах віддаленого доступу. Вони слугують містками з'єднання між процесором програмованого логічного контролера та зовнішнім середовищем [12].

Модуль дискретного введення/виведення застосовується для автоматизації промислових процесів. Він дозволяє управляти обладнанням на підприємстві, включаючи виробничі лінії, а також системами опалення та вентиляції. Цей модуль є ключовим елементом у системах передачі даних і використовується для з'єднання первинних засобів автоматизації (наприклад, датчиків) з ПЛК та панеллю оператора в системі керування. Для системи керування СПВ вибираємо модуль введення/виведення МК110-8Д.4Р.

Таблиця 4.4 – Технічні характеристики модуля введення/виведення МК110-8Д [28]

Найменування	Значення
Напруга живлення:	
МК110-224.8Д(ДН).4Р	90...264 В змінного струму (номінальна напруга 220 В) частотою 47...63Гц або
	20...375 В постійного струму (номінальна напруга 24 В)
Споживана потужність, ВА, не більше	6
Кількість дискретних вихідних елементів	4
Параметри дискретних виходів (електромагнітних реле)	4 А при напрузі не більше 250 В 50 Гц та $\cos\varphi > 0,4$ або
	4 А при постійній напрузі не більше 24 В
Кількість дискретних входів	8
Інтерфейс зв'язку з комп'ютером	RS-485
Максимальна швидкість за інтерфейсом RS-485, біт/с	115200

До основних характеристик модулю введення-виведення цифрового сигналу МК110 8D можна віднести:

1. 8 каналів цифрового введення без ізоляції.

2. Тип вхідного сигналу: безпотенційний ("сухий") контакт, модифікація транзисторного ключа типу p-p-N.
3. Частота вимірювання: до 1 кГц мінімальна тривалість імпульсу 0,5 мс.
4. Лічильник імпульсів для кожного каналу = 4 канали цифрового входу.
5. Тип вихідного елемента реле R-E/M4a-250 В або =24 В; =можливість подачі ШІМ-сигналу з будь-якого виходу.
6. Напруга живлення: ~ 220 В $\neq 24$ В (універсальне джерело живлення).



Рисунок 4.4 – Загальний вигляд модуля введення/виведення МК110-8Д

Основна функція ПЛК у різноманітних областях виробництва полягає у зборі інформації, її аналізі та впровадженні управлінських рішень для об'єктів. Система збору даних фіксує інформацію про об'єкт управління та передає її до управлінського пристрою, який, у свою чергу, аналізує ці дані та видає команди виконавчим механізмам. Такий механізм управління називається замкнутим контуром. Інформація, зібрана з об'єкта, потім надходить до контролера, який виступає в ролі «мозку» системи.

Ця інформація обробляється згідно з алгоритмами та програмами, заданими програмістом. У випадку, коли отримані значення виходять за межі допустимого, контролер ініціює виправлення помилки, відправляючи сигнал на виконавчі механізми. Цей процес триває до того моменту, поки параметри не повернуться до прийнятних меж.

Для системи керування СПВ оберемо ПЛК серії 160. Контролери цього типу рекомендовані для створення розподілених систем керування та диспетчеризації, що використовують як провідні, так і безпроводні технології.

Застосування ПЛК160:

1. Системи HVAC.
2. У сфері ЖКГ - автоматизація ГТП, ЦТП, АСК водоканалів.
3. Автоматизація торгового обладнання.
4. Керування кліматичним обладнанням.
5. Керування малими верстатами і механізмами.
6. Керування пакувальними та харчопереробними апаратами.
7. Автоматизація процесів під час виробництва будівельних матеріалів.
8. Автоматизація ліній з дерево - і металообробки (розпилювання, намотування тощо).

Переваги ПЛК160 [28]:

1. Швидкісні входи для обробки енкодерів.
2. Вбудовані дискретні та аналогові входи/виходи на борту.
3. Робота за заздалегідь обговореними сценаріями при підмиканні до контролера USB-накопичувачів або ведення архіву роботи обладнання.
4. Просте й зручне програмування в системі CODESYS V. 2 через порти USB Device, Ethernet, RS-232 Debug.
5. Передача даних на верхній рівень через Ethernet або GSM-мережі (GPRS).
6. 3 послідовних порти RS-232, RS-485).
7. Живлення: 220 В і 24 В.



Рисунок 4.5 – Загальний вигляд ПЛК160

Функціональна схема ПЛК160 представлена на рисунку 4.6.

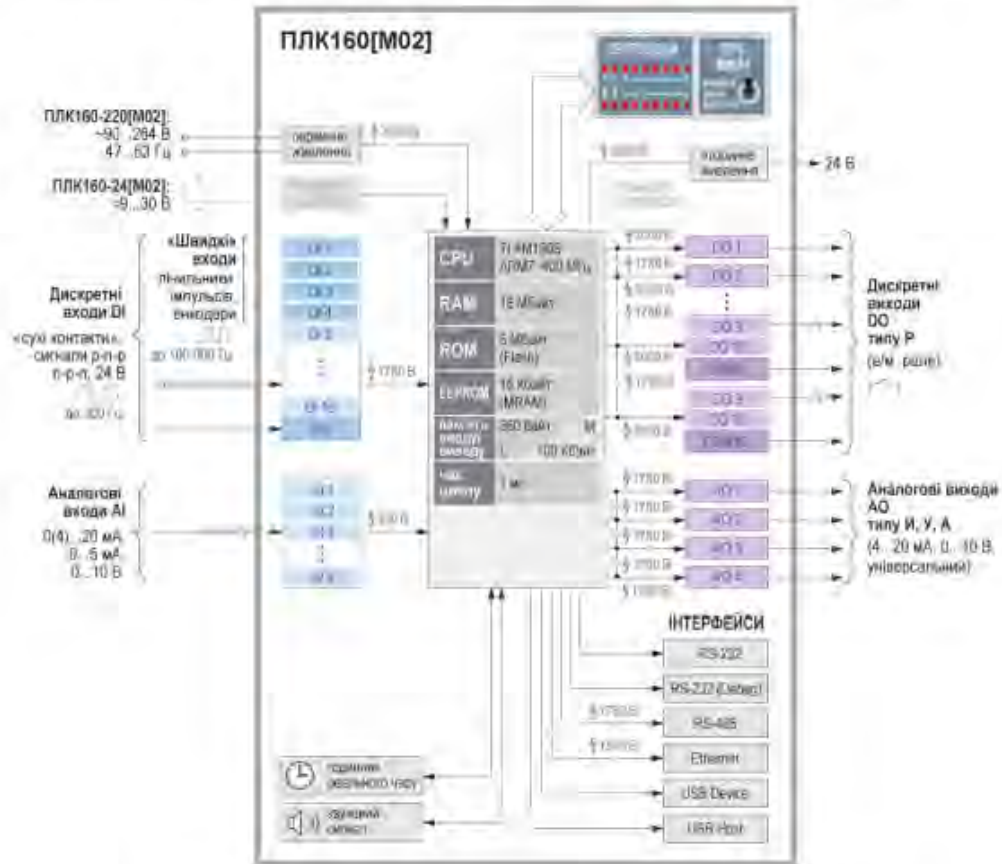


Рисунок 4.6 – Функціональна схема ПЛК160

Таблиця 4.5 – Технічні характеристики ПЛК160

Напруга живлення:	
– ПЛК160-24.X [U22]	від 9 до 26 В постійного струму
	(номінальна 12 або 24 В)
– ПЛК160-220.X [U22]	від 90 до 264 В змінного струму (номінальна 120 або 230 В)
	частотою від 47 до 63 Гц (номінальне значення 50 Гц)
Споживана потужність, не більше	45 ВА
Пусковий струм, не більше	10 А - при напрузі 90 В
	44 А - при напрузі 230 В
	54 А-при напрузі 264 В
Тривалість перехідного процесу, не більше	3 мс – при напрузі 90 В
	2 мс – при напрузі 230 В
	2 мс – при напрузі 264 В

Продовження таблиці 4.5

1	2
Вихідна напруга вбудованого джерела живлення:	
– для виконання 220 В	24±3 В
– для виконання 24 В	пропорційно напрузі джерела живлення пристрою
Цифрові (дискретні) входи	
Кількість входів:	16
- з них швидкодіючих	4 (DI1-DI4)
Тип входів за ГОСТ Р 52931-2008	1 і 2
Напруга живлення дискретних входів	24 ± 3 В
Максимальний вхідний струм дискретного входу, не більше	7 мА - при напрузі 24 В
	8,5 мА - при напрузі 27 В
Сигнал логічної одиниці», що відповідає стану «Увімкнено», дискретних входів для постійної напруги, (струм у колі)	від 15 до 30 В (струм від 3 до 15 мА)
Сигнал "логічного нуля", що відповідає стану "вимкнено", дискретних входів для постійної напруги, (струм у колі)	мінус 3 до 5 В (струм до 15 мА)
Мінімальна тривалість імпульсу, що сприймається	1 мс – для звичайних входів
дискретним входом	0,02 мс – для швидкодіючих
Вхідні пристрої,	комутаційні пристрої (контакти кнопок, вимикачів, герконів, реле тощо)
що підмикаються	датчики, що мають на виході транзистор n-p-n - або p-n-p-типу з відкритим колектором

Для вимірювання тиску в магістралі автоналивного стояка, повернення СПВ в пласт та перекачування СПВ до парку глушіння свердловин застосовуємо компактний, надійний і точний засіб для вимірювання тиску Rosemount 2088. Даний датчик може переналаштовуватися на діапазони від 0 до 10,34 кПа (мінімальна верхня межа вимірювань) і від 0 до 27,58 МПа (максимальний верхня межа вимірювань). Датчик також можна використовувати для вимірювання тиску-роздільності. Надійність роботи датчику робить його популярним у різних сферах діяльності [26].

Варіанти виконання Rosemount 2088 з внутрішніми та зовнішніми кнопками конфігурації:

1. При виборі варіанта виконання D4 будуть додані кнопки налаштування нуля та шкали вимірювань.
2. При виборі варіанта виконання DZ буде додано зовнішню кнопку підстроювання цифрового сигналу.
3. При виборі варіанта виконання M4 (локальний операторський інтерфейс) будуть додані як внутрішні, так і зовнішні кнопки локальної конфігурації.

Таблиця 4.6 – Технічні характеристики датчика тиску Rosemount 2088

Діапазон переналаштування меж вимірювань	До 50:1
Протокол передачі даних	4-20 мА HART®, HART® 1-5 В (мала споживана потужність)
Діапазон вимірювань	До 275,8 бар надмірне, до 275,8 бар абсолютне



Рисунок 4.7 – Загальний вигляд датчика тиску

Для вимірювання температури в магістралі автоналивного стояка, повернення СПВ в пласт та перекачування СПВ до парку глушіння свердловин застосовуємо температурний датчик MBT 3560 з вбудованим нормуючим перетворювачем.

Призначений для роботи в суворих умовах і застосовується для вимірювання температури в різних галузях промисловості, де потрібна надійність і точність вимірювань. Як чутливий елемент використовується термометр опору Pt1000, що забезпечує надійні та точні вимірювання.

Загальний вигляд датчику температури MBT 3560 представлено на рисунку 4.8.



Рисунок 4.8 – Загальний вигляд температурного датчику MBT 3560

Таблиця 4.7 – Технічні характеристики температурного датчику MBT 3560 [27]

Вихідний сигнал	4 – 20 мА
Напруга живлення, U_s	10 – 30 В постійного струму
Споживаний струм	<4 мА
Вплив зміни на точність	<+0,05%FS на 10 В
Максимальний струм	30 мА

Для вимірювання витрати в магістралі автотранспортного стояка, повернення СПВ в пласт та перекачування СПВ до парку глушіння свердловин застосовуємо електромагнітний витратомір Yokogawa ADMAG AXR.

Таблиця 4.8 – Технічні характеристики електромагнітного витратоміру Yokogawa ADMAG AXR

Розмір трубопроводу	25 - 200 мм
Вихідний сигнал	аналоговий 4 ... 20мА; дискретний
Живлення	14,7 - 42 В пост. струму
Мінімальна електропровідність рідини	від 5 мкСм/см
Надмірний тиск	-0,1 - 4 МПа
Швидкість потоку	до 10 м/с
Точність показань:	$\pm 0,5\%$
Температура робочого середовища	-40 - +130 °С
Температура навколишнього середовища	-40 - +55 °С



Рисунок 4.9 – Загальний вигляд електромагнітного витратоміру
Yokogawa ADMAG AXR [28]

Для вимірювання рівня СПВ в ємностях накопичення Є1-Є4, а також в ємності парку глушіння свердловин системи керування СПВ застосовуємо електромагнітний витратомір Yokogawa ADMAG AXR



Рисунок 4.10 – Загальний вигляд рівнеміру VEGAFLEX 81

Рефлексний рівнемір VEGAFLEX 81 вимірює рівень будь-яких рідин в різноманітних галузях промисловості. Навіть при наявності пари, налипань, піни або конденсації, прилад видає точні і надійні свідчення. VEGAFLEX 81 також є економічним рішенням для вимірювання міжфазного рівня рідин.

Застосування: рідини, агресивні рідини;

Виконання: змінний тросовий зонд (\varnothing 2 мм чи \varnothing 4 мм), змінний стрижневий зонд (\varnothing 8 мм) чи коаксіальний зонд (\varnothing 21,3 мм чи \varnothing 42 мм);

Діапазон вимірювання: трос до 75 м, стрижень до 6 м, коаксіальний зонд до 6 м;

Приєднання: різьба від G $\frac{3}{4}$, $\frac{3}{4}$ NPT чи фланці від DN25, 1";

Робоча температура: -40...+200 °C;

Робочий тиск: $-1 \dots +40$ бар ($-100 \dots +4000$ кПа);

Точність вимірювання: ± 2 мм.

В якості виконавчого механізму в магістралі автоналивного стояка, повернення СПВ в пласт та перекачування СПВ до парку глушіння свердловин застосовуємо засувки з електроприводом.

Таблиця 4.9 – Параметри засувки з електроприводом

Тип засувки	Фігура	Тиск РУ, Бар	Тип затвора	Призначення	Макс. тем-ра, °С
Сталеві клинові засувки з електроприводом	30с927нж	25	Клин	нафтопродукти	425



Рисунок 4.11 – Загальний вигляд засувки з електроприводом

4.3 Розробка схеми зовнішніх з'єднань системи керування СПВ

На схемі з'єднань входів відображені всі пристрої та елементи, що входять до складу виробів, їх вхідні та вихідні компоненти (з'єднувачі, плати, зажими тощо), а також з'єднання між цими пристроями та елементами.

Схема демонструє з'єднання всіх датчиків, виконавчих механізмів, двигунів, кабелів, що підводяться до щита керування, а також передачу цих сигналів на мікроконтролер. Дискретні датчики і виконавчі механізми підключаються до щита контрольним кабелем КВВГ, а аналогові датчики підключаються екранованим кабелем МКЭШ. При підключенні до щита керування екрани кабелів з'єднуються між собою на шині заземлення. Щити

керування та агрегати системи повинні бути заземлені відповідно до вимог ПУЕ.

Так як схеми з'єднання для всіх трьох контурів є типовими, тому розглянемо одну з них. Сигнал від вхідного автоматичного вимикача QF1 передається на магнітний контактор КМ1, звідки до перетворювача частоти ПЧ1. Від перетворювача частоти сигнал надходить до електродвигуна. Також перетворювач частоти приймає участь у комутації проміжних реле, що керують світловою сигналізацією.

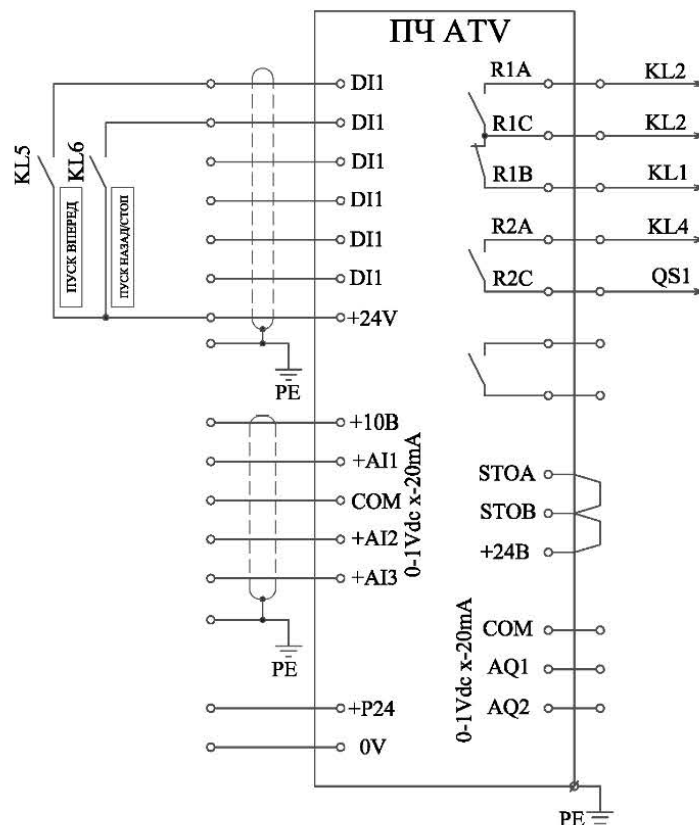


Рисунок 4.12 - Схема зовнішніх підключень перетворювача частоти

Захист електродвигуна від перегріву виконує магнітний пускач. При відключенні пускача котушка знеструмлюється, під дією поворотної пружини якір повертається у вихідне положення, головні контакти розмикаються. За допомогою магнітного пускача можна здійснювати контроль за будь-яким навантаженням, оскільки цей апарат здатний створювати комутації з великою частотою.

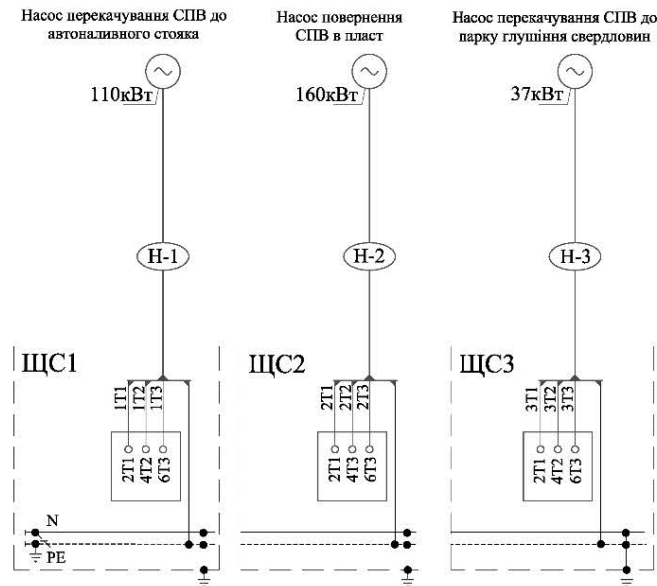


Рисунок 4.13 - Схема зовнішніх з'єднань електродвигуна з магнітним пускатчем

Кнопки пуск, стоп приймають безпосередню участь у пуску та запинці насосних станцій. Клемна коробка, яка служить захисту сполук проводів від впливу довкілля, знаходиться у силовій шафі. Корпус зазвичай виготовлений із пластику, металу або кераміки. На рисунку 4.13 наведено схему з'єднання кнопок з іншими елементами схеми керування.

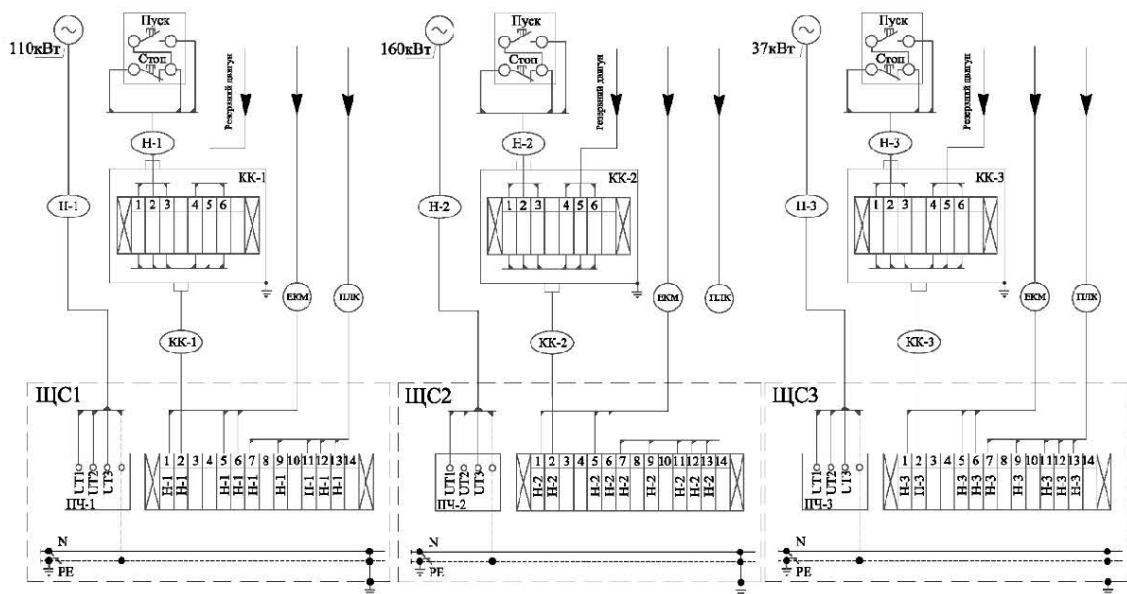


Рисунок 4.14 - Схема зовнішніх з'єднань схеми керування електроприводом

Датчики тиску, температури, витрати через модуль введення/виведення підключається до ПЛК160, схема з'єднань якого приведена на рисунку 4.14.

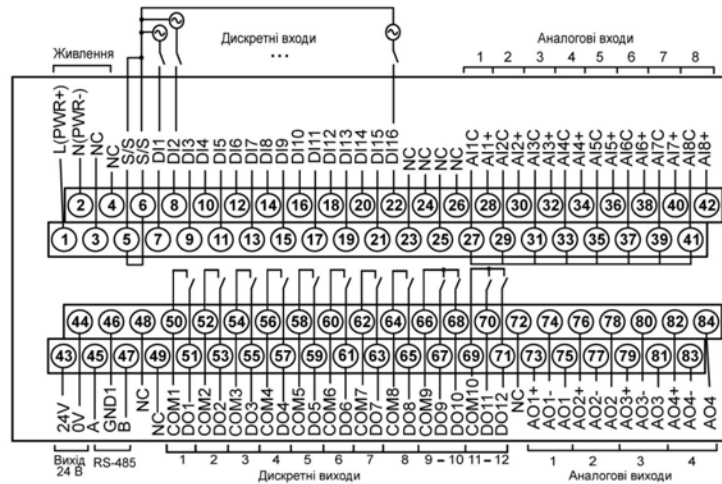


Рисунок 4.15 - Схема зовнішніх з'єднань ПЛК160

Для більш наглядного розуміння схему роботи системи керування контурів автоматизованої системи керування СПВ на рисунку 4.15 представимо схему інформаційних потоків для керування СПВ до автоналивного стояка.

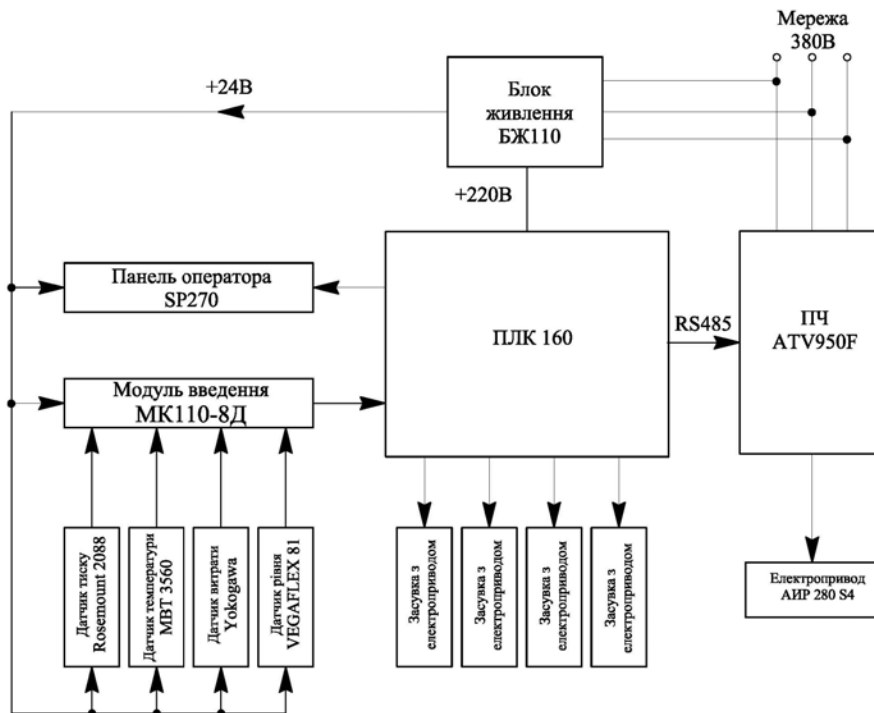


Рисунок 4.16 - Схема інформаційних потоків керування СПВ до автоналивного стояка

Для контуру повернення СПВ в пласт та контуру перекачування СПВ до парку для глушіння свердловин є аналогічними, за винятком відповідних перетворювачів частоти та електроприводів насосів.

4.4 Розробка силового щита системи керування СПВ

Призначенням силового щита (ЩС), є прийом та розподіл електроенергії напругою 380/220В трифазного змінного струму частотою 50 Гц в мережах з глухозаземленою нейтраллю, захист ліній від перевантажень і коротких замикань, а також оперативних включень та відключень електричних мереж.

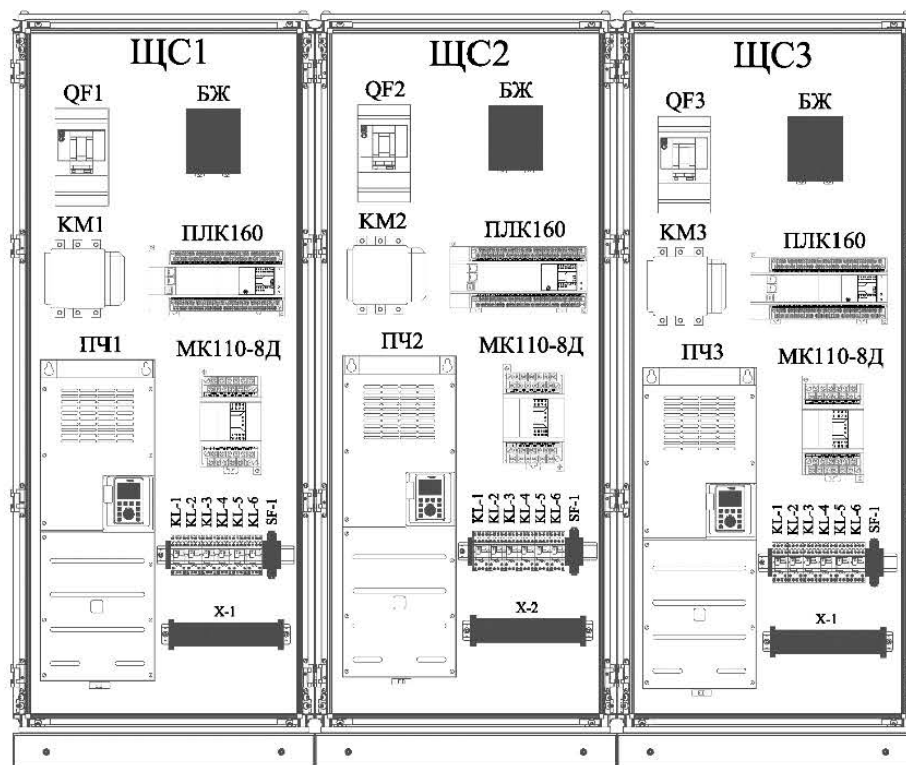


Рисунок 4.17 - Схема ЩС системи керування СПВ (внутрішня частина)

До ЩС системи керування СПВ входять: ввідний автомат QF та SF, блок живлення БЖ, що видає напругу 24 В; магнітний пускач KM; перетворювач частоти ПЧ; програмований логічний контролер ПЛК; модель введення/виведення; проміжні реле KL1-KL6; клемник X.

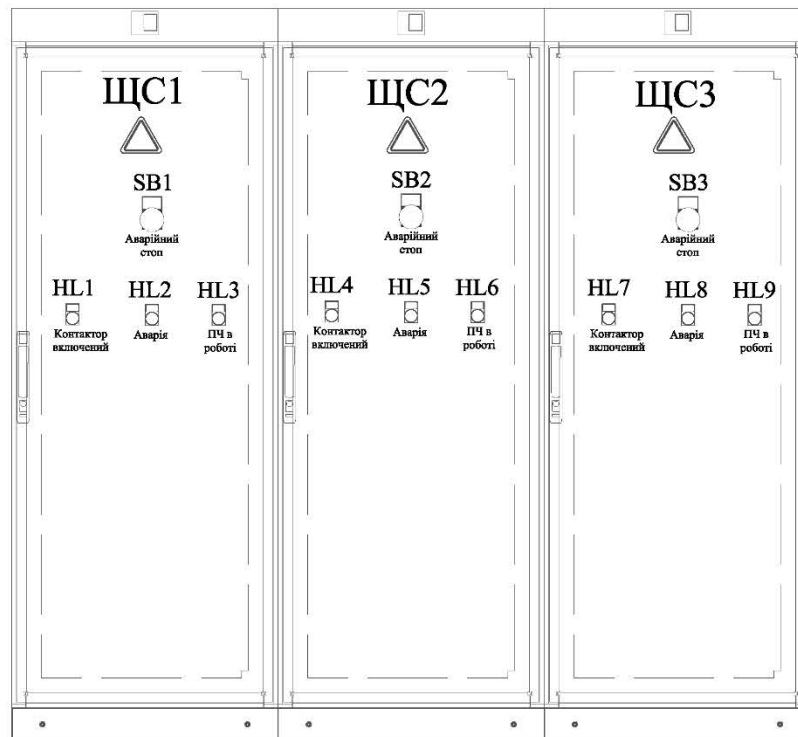


Рисунок 4.18 - Схема ЩС системи керування СПВ (зовнішня частина)

На зовнішній стороні ЩС знаходяться кнопка аварійного стопу та світлова сигналізація: контактор включений, аварія та ПЧ в роботі.

4.6 Висновки за розділом

Для технологічного процесу керування СПВ розробили автоматизовану систему, яка має три контури регулювання: контур перекачування СПВ до автоналивного стояка, контур повернення СПВ в пласт, контур перекачування СПВ до парку глушіння свердловин. Для кожного контуру обрали первинні засоби автоматизації: датчики, виконавчі механізми. Для реєстрації, обробки та керування інформацією від первинних засобів автоматизації обрали модуль введення/виведення, ПЛК. Для візуалізації даних обрали панель оператора.

Для розуміння послідовності дії та з'єднань розробили схему інформаційних потоків та схеми з'єднань елементів схеми.

Для компактності та зручності розробили для кожного контуру силовий щит, в якому знаходяться елементи захисту та керування системи СПВ.

ВИСНОВКИ

У ході виконання кваліфікаційної роботи магістра досягнуті всі поставлені завдання. Всебічно досліджено технологічний процес керування СПВ та можливість її модернізації з урахуванням світової практики.

У першому розділі виконано аналіз технологічного процесу видобутку нафти. У ході такого аналізу виявили, що керування СПВ має певні недоліки, тому проаналізували технологічний процес керування СПВ більш досконало. Врахувавши світову практику побудови автоматизованої системи керування СПВ, окреслили напрямки її модернізації: встановлення ємності зберігання СПВ, розробка насосної для подачі СПВ до автономного стояка для відвантаження на інші об'єкти, насосної повернення СПВ в пласт, насосної для перекачування СПВ до парку глушіння свердловин.

У другому розділі для проєктованих насосних вибрали електродвигуни, які перевірили за перевантажувальною здатністю та перегрівом. З метою енергозбереження та подовження терміну служби електродвигунів обрали для них перетворювачі частоти. В середовищі Simulink для дослідження динамічної роботи електроприводів склали та перевірили на дієвість імітаційну їх модель з частотним перетворювачем з IR- корекцією та без.

У третьому розділі розробили схему керування електроприводами, яка є аналогічною для всіх насосів. В схемі передбачені пуск, стоп електропривода, захист від перевантажень, світлова сигналізація. Проведений розрахунок та вибір всіх елементів схеми: автоматичний вимикач, магнітний пускач, проміжні реле, кнопки керування. Для живлення силової частини обрано кабель ВББШнг. Для живлення системи керування (реле, кнопок, контакторів) будемо використовувати кабель КВББШнг.

У четвертому розділі розробили автоматизовану систему керування СПВ, що включає три контури: контур перекачування СПВ до автономного стояка, контур повернення СПВ в пласт, контур перекачування СПВ до парку глушіння свердловин. Для нової системи обрали первинні засоби

автоматизації, а також ПЛК, панель оператора, блок живлення. Для демонстрації з'єднання всіх датчиків, виконавчих механізмів, двигунів, кабелів, що підводяться до щита керування розробили схему з'єднань.

Розроблена автоматизована система керування СПВ може бути застосована на будь-якому промислі нафтогазового комплексу. Також технологічні процеси, що потребують керування перекачуванням рідких речовин за декількома напрямками, можуть використовувати дану систему.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Автоматизований електропривод ч. 2 [Електронний ресурс]: навчальний посібник для студентів освітньої програми «Електромеханічні системи автоматизації, електропривод та електромобільність» спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / В.І. Теряєв. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 204 с.
2. Аблесімов О. К. Теорія автоматичного керування : навчальний посібник / О. К. Аблесімов – К. : «Освіта України», 2019. – 270 с.
3. Автоматизація технологічних процесів у нафтовій та газовій промисловості : навч. посіб. / Г. Н. Семенцов, Я. Р. Когуч, Я. В. Куровець, М. М. Дранчук. - Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2015. - 301 с.
4. Василега П. О. Електропостачання [Електрон. ресурс]: підручник / П. О. Василега. – Суми : СумДУ, –2019. – 521 с.
5. Єрмілова Н.В., Кислиця С.Г. Навчальний посібник до самостійного вивчення курсу «Основи метрології і електричних вимірювань» для студентів спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» денної та заочної форм навчання. – Полтава: ПолтНТУ, –2017. – 141 с.
6. Електричні мережі та системи: Конспект лекцій [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», спеціалізації «Інжиніринг інтелектуальних електротехнічних та мехатронних комплексів» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: С. П. Шевчук, О. В. Мейта. – Електронні текстові данні (1 файл: 4,46 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022.– 167 с.
7. Історія та перспективи нафтогазовидобування : навчальний посібник / Білецький В. С., Гайко Г. І., Орловський В. М. - Львів: Видавництво «Новий Світ - 2000», 2020. - 302 с.
8. Козирський В.В. Основи електропостачання: підруч. / Козирський В.В., Волошин С.М., – К.: Компринт, 2021. – 497с.

9. Лістровий С. В., Мірошник М. А., Клименко Л. А. Теорія автоматичного керування, штучний інтелект і автоматизація процесу прийняття рішення: Навч. посібник. – Харків: УкрДУЗТ, 2019. – 120 с.

10. Леві Л.І. Навчальний посібник до проведення практичних занять з дисципліни «Електропривод та автоматизація верстатів-автоматів» для студентів спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / Л.І. Леві; за заг. ред. д.т.н., проф. Л.І. Леві. – Полтава: Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», –2023. – 106 с.

11. Моделювання систем управління в SIMULINK : навч. посібник / [В. О. Богомолів, О. Г. Гурко, В. І. Клименко, Д. М. Леонт'єв, О. М. Красюк] ; М-во освіти і науки України. Харків ХНАДУ, 2018. - 220 с.

12. Невлюдов І. Ш. Автоматичне управління технологічними об'єктами [Електронний ресурс]: Підручник / І. Ш. Невлюдов, О. В. Токарева; М-во освіти і науки України, ХНУРЕ. – Харків: ХНУРЕ, 2018. – 190 с.

13. Основи нафтогазової інженерії [Текст]: підручник для студентів вищих навчальних закладів. / Білецький В. С., Орловський В. М., Вітрик В. Г. - Львів: «Новий Світ- 2000», 2020 – 416 с.

14. Орловський В. М., Білецький В. С., Сіренко В. І. Технологія видобування газу і газового конденсату: навчальний посібник. Редакція «Гірничої енциклопедії», Полтава: НТП «Бурова техніка», Львів, Видавництво «Новий Світ – 2000», 2023. – 359 с.

15. Подчашинський Ю.О., Тарарака В.Д., Чешук Л.О. Електроніка та мікропроцесорна техніка. Цифрова електроніка: навч. посібник. – Житомир: Видавець О.О. Євенок. – 2020. – 236 с.

16. Романюк, Ю. Ф. Оптимізація режимів електропостачальних систем: конспект лекцій / Ю. Ф. Романюк. – Івано-Франківськ: – ІФНТУНГ, –2018. – 135 с.

17. Супутньо-пластові води у нафтогазовій галузі: проблема чи рішення? Доступ до ресурсу: <https://ukraine-oss.com/suputno-plastovi-vody-u-naftogazovij-galuzi-problema-chy-rishennya/>

18. Теорія автоматичного керування. Частина 1: комп'ютерний практикум [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», освітньої програми «Управління, захист та автоматизація енергосистем» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: А.А. Марченко, В.С. Гулий. - Електронні текстові данні (1 файл: 3,32 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 54 с.

19. Філяшкін М.К. Мікроелектромеханічні системи: Навчальний посібник – К.: НАУ, 2019. – 276 с.

20. Хорольський, В. П. Х 81 Автоматизація виробничих процесів: підручник / В. П. Хорольський, Ю. М. Коренець. – Кривий Ріг: [ДонНУЕТ], 2022. – 400 с.

21. Каталог електродвигунів серії АІР. – Режим доступу: <https://slemz.com.ua/catalogue/obshchepromyshlennye/elektrodvigatel>.

22. Каталог перетворювачів частоти. – Режим доступу: <https://www.se.com/ua/uk/product>.

23. Каталог контакторів. – Режим доступу <https://electrocontrol.com.ua/ua>

24. Каталог автоматичних вимикачів. – Режим доступу: <https://www.se.com/ua/uk>

25. Каталог датчиків. – Режим доступу: <https://www.testrite.com.ua/ua>

26. Каталог проміжних реле. – Режим доступу <https://luxelectro.com.ua/ru/promezhutochnoe-rele-schneider-electric-zelio-relay-4co-120v>

27. Каталог ПЛК. – Режим доступу: <https://e-unit.com.ua/programmiruemyy-logicheskiy-kontroller-plk160m02-0>

ДОДАТОК А

CHAPTER 1

ANALYSIS OF THE TECHNOLOGICAL PROCESS OF OIL AND GAS PRODUCTION AND JUSTIFICATION OF THE MODERNIZATION DIRECTION OF THE STP MANAGEMENT SYSTEM

1.1 Analysis of the technological process of oil and gas production

Oil extraction is an extremely expensive and labor-intensive process. It involves performing numerous measurements, tests, sampling, and ultimately drilling wells to confirm the presence of the resource. This can be complicated by various factors, such as the porosity of the rocks or the viscosity of the materials. In the past, only 10% of the raw material was extracted from open-pit deposits, leaving the rest in the bowels of the earth. Modern extraction technologies have made it possible to increase the level of oil and natural gas extraction by more than 60%.

The process of oil and gas extraction includes many different sub-production processes (see. figure 1.1).

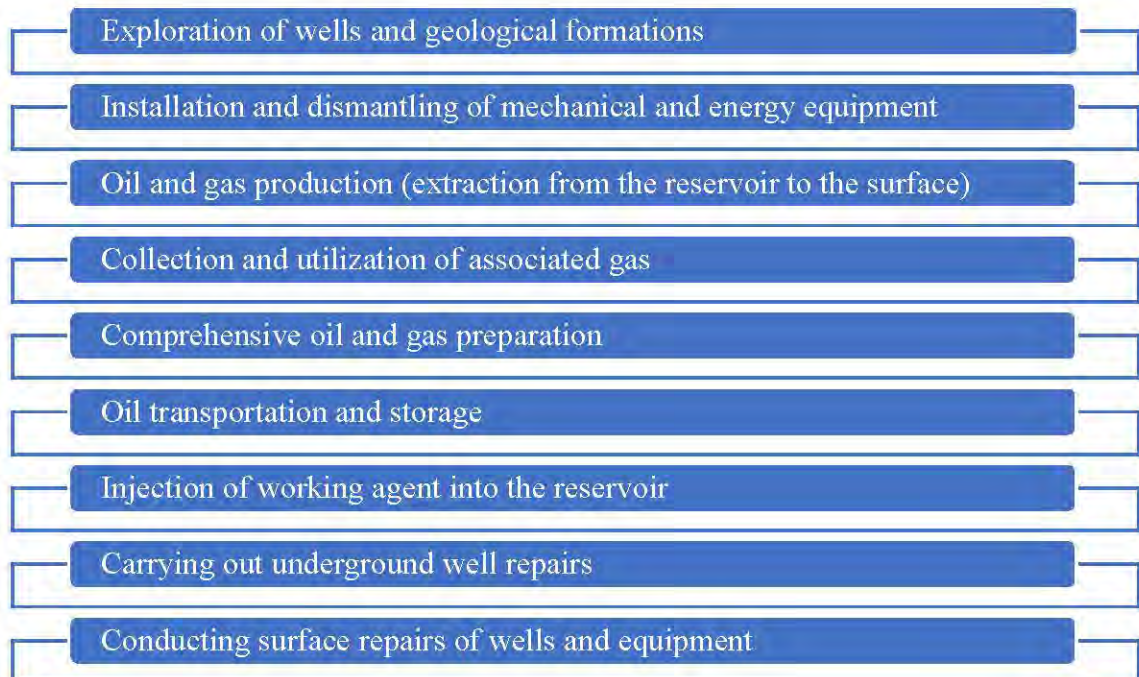


Figure 1.1 – Main stages (components) of the technological process of oil and gas production

The process of extracting oil, gas and gas condensate from the reservoir to the surface is a key stage of the production process. The functional diagram of this stage is presented in figure 1.2.

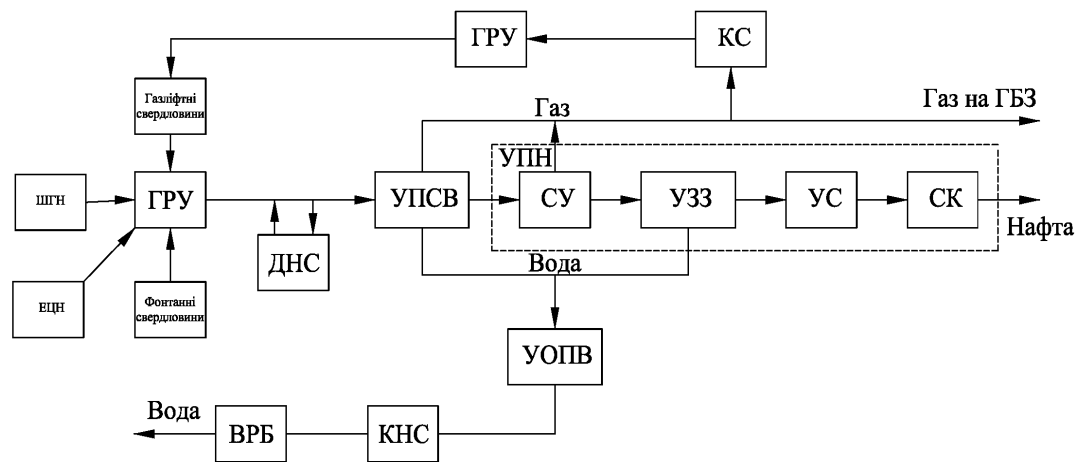


Figure 1.2 - Simplified functional diagram of oil and gas production

Each oil and gas production industry has its own characteristics, but in general the algorithm has the following sequence. Oil raised to the surface by various methods (fountain, gas lift, pumping) from wells is sent through well collectors to a group metering unit (GMU). Wells are connected to the measurement in turn to determine their flow rate in the liquid and gas phases.

After measurement, the oil enters the industrial collector. To «push» it to the central collection point (CCP) or oil preparation facility (UPF), booster pumping stations (BPS) are used. Here, gas and water are partially separated from the oil (in separators and settling tanks), and then pumped to the CCP or UFP. Pre-release production water facilities (PWPF) may include settling tanks and process tanks, where the oil is settled and water and gas are partially separated from it.

Partially dehydrated oil enters the UPN, which includes separation units (SU) designed for oil degassing, dehydration and desalination units (UDU), stabilization units (US) for separating light hydrocarbon fractions from oil. Methane/ethane/propane/butane fractions have a rather low boiling point and can be lost during oil transportation through main oil pipelines. Prepared (commercial) oil

goes to the commodity park (tanks), from where it is pumped through commercial accounting units (VKOGP) to the main oil pipeline.

Formation water separated from the oil emulsion at pre-discharge units and oil preparation units is fed to the formation water purification unit (PWPU), after which it is pumped back into the formation through water distribution units (WDUs) and injection wells using a bush pumping station (BPS) to improve the flow of oil to the production well bottoms.

The gas extracted at the UPSV and UPN technological units is sent to the gas-to-petrol plant (GBZ). Part of this gas is supplied by the compressor station (CS) to the gas distribution unit (GRU), and then to the annulus of oil wells operated by the gas lift method.

Depending on the type of energy that is the main driving force for moving oil from the deposit to the well bottom, the following regimes are distinguished: water pressure (both natural and artificial), elastic, gas pressure (gas cap), as well as dissolved gas and gravitational regimes (reservoir energy depletion regime).

The subject of the master's thesis is the study of the possibility of modernizing the collection, preparation and pumping of associated formation waters, so we will consider in more detail the water pressure regime.

The water pressure regime is divided into hard water pressure and elastic water pressure regimes.

In the case of a hard water pressure regime, the movement of oil in the formation to the wellbore is carried out under the influence of the pressure of marginal or contour waters, which are constantly replenished from surface sources, such as precipitation, meltwater, reservoirs, or as a result of artificial injection of water into injection wells. In the case of a hard water pressure regime:

$$P_{пл} > P_{ac} \quad (1.1)$$

where $P_{пл}$ is the average reservoir pressure, P_{sat} is the saturation pressure.

The oil recovery coefficient is the ratio of the volume of extracted oil to the initial oil reserve in the deposit.

In the water-pressure regime (both natural and artificial), the oil recovery coefficient is one of the highest ($K_n = 0.5-0.7$).

Thus, the process of oil and gas extraction is a rather cumbersome and multi-structured technological process. Each stage has its own characteristics and affects the quality of the final product and the environment. Therefore, the search for technological solutions for the modernization of any link in this technological process is extremely relevant.

1.2 Analysis of the technological process of associated formation water management as an object of modernization

As noted in paragraph 1.1, a significant amount of associated formation water rises to the surface during the oil and gas extraction process.

According to Article 1 of the Water Code of Ukraine, associated formation water is water that rises to the surface together with oil and gas during their extraction.

The generalized technological process of forming the SPV has the following sequence. The mixture from high-pressure wells through individual loops enters the well inlet node with a pressure of $7.0\div 13.0$ MPa and a temperature of $+4\div +40$ °C and is then sent to the first stage of separation - separators, where it is cleaned of free condensate and water. The gas flow from the separator with a pressure of $6.0\div 8.0$ MPa and a temperature of $+5\div +15$ °C is sent to the tube space of the recuperative heat exchanger, in which it is cooled to a temperature of $-15\div -50$ °C. From the tube space, the gas enters the separator C (pressure $2.8\div 4.0$ MPa, temperature $-25\div -150$ °C). The GVKS from high-pressure wells is supplied to the well inlet node via individual loops with a pressure of $3.0\div 4.6$ MPa and a temperature of $+5\div +20$ °C and is sent to the separator C, where it is cleaned of free condensate and water. From the separator C, gas is also supplied to the separator C. After C, the gas enters the annular space of the heat exchanger T, and then with a pressure of $2.8\div 4.0$ MPa and a temperature of $0\div +10$ °C, through the metering unit, it is sent further into

the gas pipeline. There is a technological possibility of supplying part of the high-pressure gas after C or C to the ejector for sucking in gas from low-pressure wells and weathering gas. The water-condensate mixture from the separators C and C is sent to the first-stage liquid separator P (pressure 2.8÷4.0 MPa, temperature +10÷+25 0C). The mixture of condensate and methanol water from the second stage separator C is sent to the second stage liquid separator P (pressure 1.8÷2.6 MPa and temperature -25÷-100C).

The water-condensate mixture from the separator C-Д is sent to the liquid separator P-Д (pressure 2.8÷4.0 MPa and temperature +10÷+25 0C). The water-condensate mixture from the low-pressure separator C is sent to the liquid distributor P (pressure 1.5 MPa and temperature +5-+25 0C).

The distributors operate in the degasser mode. The water-condensate mixture is blown into the separator P or the EP holding tank. From the separator P (EP holding tank), the VKS is fed to the condensate collection tanks E-1 and E-2, where it is degassed to a pressure of 1.4 MPa and at a temperature of -5÷+15 0C.

The water-condensate mixture is pumped out of the tanks E-1 and E-2 by pumps. A MicroMotion flowmeter is installed for hydrocarbon condensate. The vent gas from the distributor P is fed to the inlet of the separator C. The vent gas from the distributor P, from the condensate vent tank EP, from the distributor P, from the condensate collection tanks E-1 and E-2 is directed to the fuel gas separator C. It is also provided that this gas can be directed to the inlet of the DCS or to the ejector for suction by gas pressure gas, or used for pressing liquids.

The general technological scheme also provides for the possibility of directing the vent gas from the distributor P to the separator C and further to C. The liquid separated in the separators is directed to the atmospheric condensate tanks E-3, E-4.

To ensure uninterrupted operation of wells and prevent the formation of hydrate plugs, it is possible to supply a hydrate formation inhibitor through inhibitor pipelines to the wellheads, to the VVS and to the UNTS.

The methanol facility is designed to receive, store and deliver a hydrate formation inhibitor (methanol) or its mixture with condensation water to the

inhibitor pump. The methanol facility consists of an underground methanol tank EM-1, a supply tank E-2, a methanol water tank EMV, and a methanol drainage tank ED. Appropriate tanks are also used to store methanol.

The heating of technological equipment (tanks, apparatus, separators, dividers) from the VP fire heater is also provided. Heating is carried out by a coolant with a temperature of $60\div 80$ °C, which is pumped by pumps in the equipment coils.

That is, the general technological process of oil and gas production in Ukraine provides for the dumping of SRW into open earthen barns, which from the point of view of ecology, new technologies and world practice is an area of possible improvement. In Ukraine, this method was implemented during the Soviet era and was used for many years. Only now have the technologies for returning SRW to underground horizons begun to be implemented.

In world practice, when working with SRW, such methods as dumping SRW into open earthen barns and incineration have also been used. However, the method of dumping solid household waste into open earthen barns has not justified itself, since harmful substances evaporate into the atmosphere, and the solution is concentrated (mineralization increases) until salt crystals precipitate, which in turn pollutes groundwater and the soil itself. Burning SRW using thermal furnaces or gas torches is inefficient for technological and environmental reasons and requires a significant amount of energy.

When there is no need to maintain reservoir pressure in the field, the SWR are returned to the underground aquifers. This practice is implemented in most oil and gas fields in the world, including highly developed countries (figure 1.3).

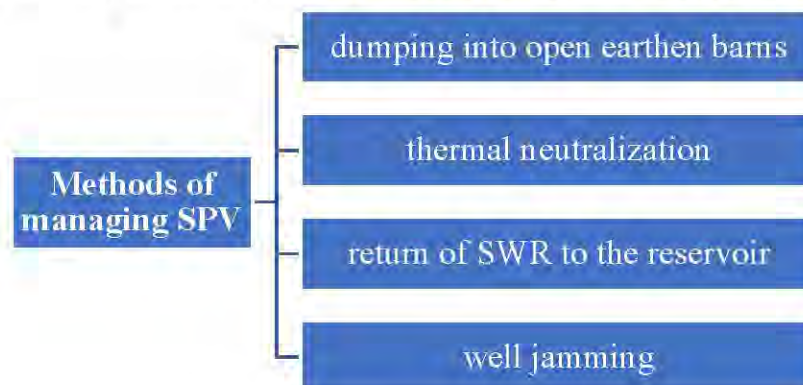


Figure 1.3 – Methods of managing SW

When dumping SWR into open earthen barns, it is possible to use it for other purposes, but due to its high mineralization, it is unsuitable for human consumption, irrigation of agricultural lands, use in cooling towers and boiler rooms, etc. The mineralization of SWR reaches up to 400 g/l (due to significant concentrations of sodium, calcium, chloride ions in them). In essence, it is a by-product, the separation of which from minerals (oil, gas, condensate) is a high-cost process that significantly affects the profitability of field exploitation. The main physical and chemical indicators of the SPV are summarized in table 1.1.

Table 1.1 – Main physical and chemical indicators of the SPV

Main physicochemical parameters of formation waters					
specific density (g/cm ³)	mineralization (mg/dm ³)	content of suspended solids and oil products (mg/dm ³)	compatibility with the reservoir rock and formation water	presence of sulfate-reducing bacteria	corrosion aggressiveness (mm/year)

Therefore, the return of SWR to the subsoil should be considered as an environmental measure aimed at preserving the natural environment. This method is the most effective and meets the requirements of environmental safety and the legislation of Ukraine on the protection of subsoil and the environment.

For SWR returned to underground horizons, regulatory documents of enterprises establish certain mandatory requirements for their quality, namely:

- the content of suspended substances is not more than 20-50 mg/dm³;
- the content of petroleum products is up to 10-30 mg/dm³;
- the concentration of hydrogen ions (pH) - within 5–8;
- corrosive aggressiveness - 0.1 mm/year;
- the content of hydrogen sulfide and trivalent iron, etc. is not allowed.

Therefore, the purpose of the master's thesis is to investigate the possibility of modernizing the system of collection, preparation and pumping of SWR at oil and gas industry facilities to preserve the environment, as well as for the optimal use of existing resources.

1.3 Analysis of technological solutions for modernization of the SPV control system

Taking into account world practice and environmental requirements for oil and gas production facilities, we adopt the following technological solutions (table 1.2).

Table 1.2 – Technological solutions for modernization

No.	Design solution	Implementation of the design solution
1	Modernize the existing fleet of tanks	Installing an oil trap
2		Installing a WWTP storage tank
3	Ability to transport SPV to other facilities	Development of a pumping station for supplying SWR to a self-loading standpipe for shipment
4	Possibility of returning SPV to the reservoir	Development of a pumping station for returning SWR to the reservoir
5	Possibility of using SPV for well shut-in	Development of a pumping and storage facility for well-killing fluids

The expansion of the tank fleet will provide an opportunity to accumulate and store SWR without disrupting the technological process of oil and gas production. The possibility of returning SWR to the reservoir and transporting it to other facilities will solve the issue of environmental friendliness of the SWR management process. It is assumed that SWR with NV is gravity fed to the design SWR storage tanks E-1, E-2.1, E-2.2, E-3.

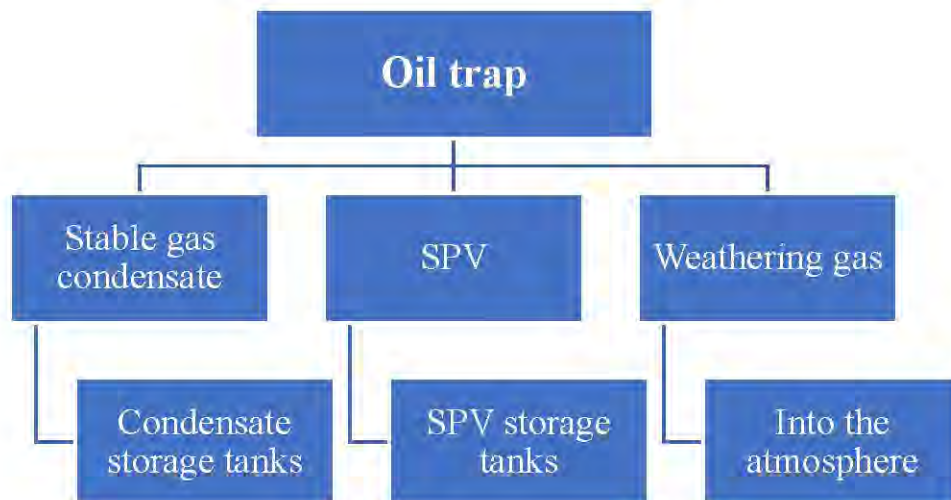


Figure 1.4 – Project technology for obtaining SWR

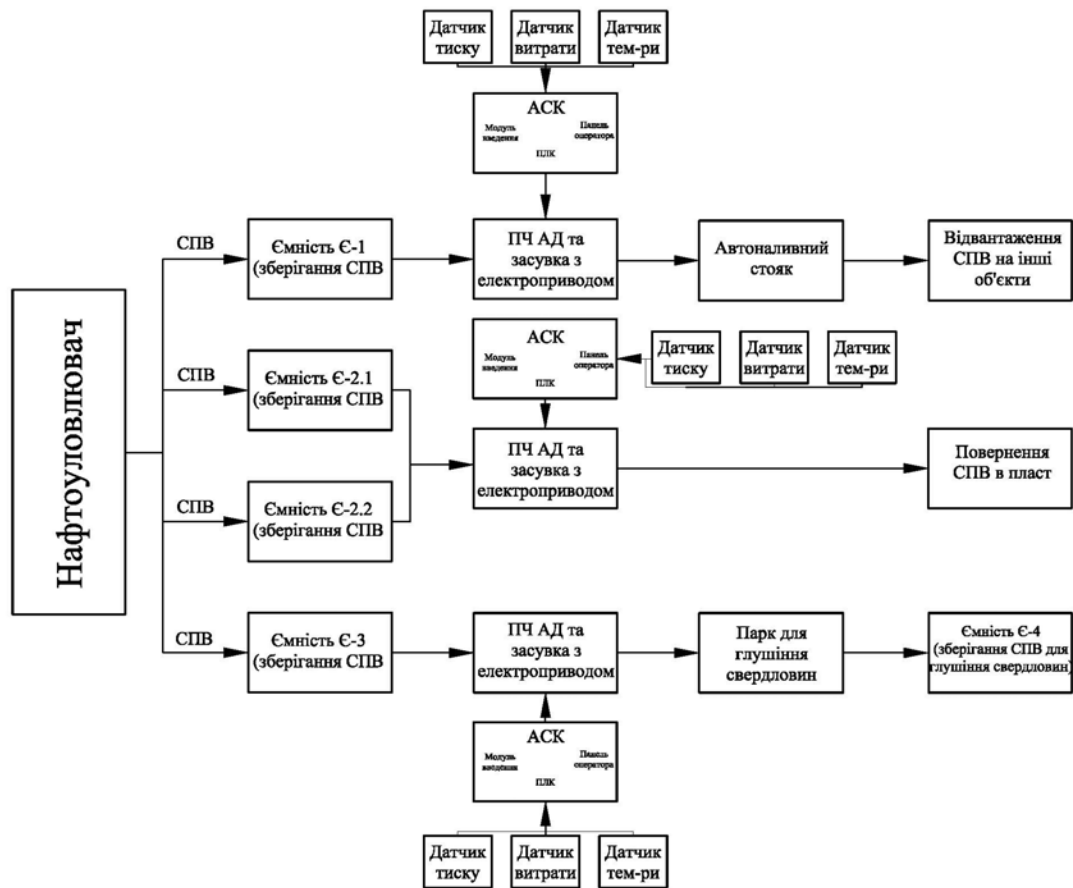


Figure 1.5 – Functional diagram of the modernization of the WWTP collection, preparation and pumping system

The SWR from the E-1 tank can be fed to the auto-filling riser using the design pump. The design provides for the installation of a flow meter on the SWR supply pipeline to the auto-filling riser. From the E-2.1 and E-2.2 tanks, the SWR can be fed to the suction manifold of the design pumps for returning the SWR to the formation. The design provides for the installation of a tank park for storing liquid for well-killing, which consists of the E-4 tanks and the design pump for pumping the SWR to this park. To clean the SWR, the design provides for the installation of liquid mesh drainage filters on the inlet pipelines of the corresponding pumps. The SWR in all three directions is subject to accounting, therefore the design provides for the installation of flow meters. The design pump control systems must be equipped with modern energy-saving automated electric drives.

Energy saving in an electric drive is achieved in the following ways:

- correct selection of an electric motor by power. Often the practice of choosing a motor with an overestimated power leads to a decrease in efficiency and power factor $\cos\varphi$;
- use of power semiconductor converters in the power circuit of the electric drive, which allow converting electrical energy in the desired form to achieve the required results with less loss;
- minimizing the use of rheostat methods of regulating the speed of electric motors;
- in order to increase the power factor $\cos\varphi$ and reduce the influence of higher current harmonics, use filter-compensating devices in the power supply circuits of the electric drive.

From the point of view of optimizing technological processes with energy saving, it is much more important to use the capabilities of an automated electric drive. The course of the technological process in the necessary automatic mode reduces unproductive electricity consumption. In installations that supply water, air, and bulk materials, there are opportunities to save electricity by choosing a production mechanism that meets the conditions of the technological mode at the moment.

1.4 Conclusions by chapter and setting of tasks for the master's research

The analysis of the technological process of oil and gas production was performed. It was established that this process is quite cumbersome and requires improvement, especially the area of SPV control.

Environmental protection, the outdated SPV control system, which causes the irrational use of resources, as well as the issue of introducing energy-saving electric drive control systems led to the goal of modernizing the SPV collection, storage and transportation system.

The main directions of modernizing the SPV control system are outlined. The scope of the new system covers all oil and gas fields, since the generalized oil and gas production system, as well as a typical SPV control scheme, were analyzed.

To achieve the goal, it is necessary to solve the following tasks:

- modernize electric drives and their control systems;
- develop functional and structural diagrams of the electric drive scheme;
- conduct research into the static and dynamic operating modes of electric drives;
- develop a power supply scheme for the SPV control system;
- calculate and select modern means of automation of the technological process of SPV control;
- develop a protective grounding scheme and a scheme of external connections;
- select conductors and protection elements of the power supply system.

ДОДАТОК Б

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ПОЛТАВСЬКА ПОЛТЕХНІКА ІМЕНІ ЮРІЯ КОНДРАТЮКА»

ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ
за матеріалами X Всеукраїнської науково-практичної конференції
«ЕЛЕКТРОННІ ТА МЕХАТРОННІ СИСТЕМИ:
ТЕОРІЯ, ІННОВАЦІЇ, ПРАКТИКА»
20 грудня 2024 року



Полтава 2024

УДК 004.89 + 681.51

Збірник наукових праць за матеріалами X Всеукраїнської науково-практичної конференції «Електронні та мехатронні системи: теорія, інновації, практика», 20 грудня, 2024 р. / Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка».

Редколегія: О.В. Шефер (головний редактор) та ін. – Полтава: НУ «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», 2024. – 121 с.

У збірнику представлені результати наукових досліджень та розробок в області сучасних електромеханічних систем та автоматизації, електричних машини і апаратів, моделювання та методів оптимізації, енергозбереження в електромеханічних системах, управління складними технічними системами, проблем аварійності та діагностики в електромеханічних системах та електричних машинах, інформаційно-комунікаційних технологіях та засобах управління. Призначений для наукових й інженерно-технічних працівників, аспірантів і магістрів.

Матеріали відтворено з авторських оригіналів та рекомендовано до друку IX Всеукраїнської науково-практичної конференції «Електронні та мехатронні системи: теорія, інновації, практика». Редакція не обов'язково поділяє думку автора і не відповідає за фактичні помилки, яких він припустився.

Відповідальний за випуск - д.т.н., професор О.В. Шефер.

Редакційна колегія:

О.В. Шефер – головний редактор, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри автоматики, електроніки та телекомунікацій Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»;

Н.В. Єрмілова – кандидат технічних наук, доцент кафедри автоматики, електроніки та телекомунікацій Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»;

С.Г. Кислиця – кандидат технічних наук, доцент кафедри автоматики, електроніки та телекомунікацій Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

Б.Р. Боряк – кандидат технічних наук, доцент кафедри автоматики, електроніки та телекомунікацій Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка».

© Національний університет
«Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

ЗМІСТ

М.О. Бікчентаєв, Б.Р. Боряк АРХІТЕКТУРА ПРОГРАМНО-КЕРОВАНОВОГО РАДІО.....	8
В.В. Руденко ОГЛЯД СТАНДАРТУ БЕЗДРОТОВОГО ЗВ'ЯЗКУ LORAWAN	11
К.К. Брижак, А.С. Войтенко, С.В. Польцер, С.Г. Кислиця ГЕОТЕРМАЛЬНА ЕНЕРГЕТИКА ТА ГЕОТЕРМАЛЬНІ ЕНЕРГЕТИЧНІ СИСТЕМИ.....	14
А.М. Капітон, О.С. Дзюбан, Р.М. Талибов ПІДВИЩЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ БЕЗПЕКИ ЗА ДОПОМОГОЮ ТЕХНОЛОГІЙ КОНТЕЙНЕРИЗАЦІЇ.....	16
О.С. Фомін ШИРОКОСМУГОВИЙ СИНТЕЗАТОР ЧАСТОТИ.....	18
Д.В. Кислиця, Г.М. Кожушко, С.Г. Кислиця ДОСЛІДЖЕННЯ ДИСКОМФОРТНОЇ БЛИСКОСТІ СИСТЕМ ОСВІТЛЕННЯ ЗІ СВІТЛОДІОДНИМИ СВІТИЛЬНИКАМИ.....	19
О.С. Фомін ШИРОКОСМУГОВИЙ АДАПТИВНИЙ ДЖАММЕР ДЛЯ КОМЕРЦІЙНИХ ДРОНІВ.....	21
О.А. Іванов, Н.В. Єрмілова КОНТРОЛЬ СТРУМІВ КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ В СОНЯЧНІЙ ПАНЕЛІ.....	22
О.В. Шефер, О.Г. Дрючко, С.С. Удовик З'ЯСУВАННЯ МОЖЛИВОСТЕЙ Й ОБЛАСТЕЙ ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ ВІДДАЛЕНОГО УПРАВЛІННЯ ВИРОБНИЧИМИ ОБ'ЄКТАМИ.....	24
Л.І. Лєві, Б.В. Качуровський СУЧАСНИЙ ПІДХІД ДО КЕРУВАННЯ СУПУТНЬО-ПЛАСТОВИМИ ВОДАМИ.....	28
В.О. Малород, Р.В. Захарченко, А.І. Криворот, П.Б. Митрофанов СУЧАСНИЙ ПІДХІД ДО НАПРЯМКІВ МОДЕРНІЗАЦІЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ АЗОТНОЮ СТАНЦІЄЮ.....	30
В.О. Тітов, Н.В. Єрмілова МОДЕРНІЗАЦІЯ ТРАНСФОРМАТОРНОЇ ПІДСТАНЦІЇ 110/10 кВ З ЖИВЛЯЧОЮ ПОВІТРЯНОЮ ЛІНІЄЮ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧІ.....	33

УДК 004.42

Л.І. Леві, д.т.н., професор,

Б.В. Качуровський, магістрант

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

СУЧАСНИЙ ПІДХІД ДО КЕРУВАННЯ СУПУТНЬО-ПЛАСТОВИМИ ВОДАМИ

В нафтогазовій галузі України є невирішені проблемні питання з охорони надр та довкілля: зокрема, невирішеною є проблема керування супутньо-пластовими водами (СПВ). Спалювання СПВ із використанням термопечей чи газових факельних установок є неефективним з технологічних та екологічних причин, і є дуже енергозатратним. Тому повернення СПВ у надра необхідно розглядати як екологічний захід, який має на меті збереження навколишнього природного середовища. Такий спосіб є найефективнішим і відповідає вимогам екологічної безпеки та законодавству України щодо охорони надр та довкілля. Тому модернізація системи збору, підготовки, перекачування та повернення СПВ в надра з використанням сучасної автоматики є досить актуальним. Другим важливим аспектом в нафтогазовій промисловості є максимальна енергоефективність, що полягає в оптимізації енергозатратних ланок видобутку нафти та газу. Зокрема, технологічний процес керування СПВ є одним з найбільш енергозатратним.

Тому метою сучасних досліджень є модернізація системи збору, підготовки та перекачування супутньо-пластових вод на об'єктах нафтогазової промисловості. Одночасно повинні вирішитись питання охорони надр та енергоефективність.

З урахуванням світової практики та екологічними вимогами до об'єктів нафтогазового промислу пропонуємо наступні технологічні рішення (таблиця 1).

Таблиця 1. Технологічні рішення модернізації

№	Проектне рішення	Реалізація проектного рішення
1	Модернізувати існуючих парк ємностей	Встановлення нафтоуловлювача
2		Встановлення ємності зберігання СПВ
3	Можливість транспортувати СПВ до інших об'єктів	Розробка насосної для подачі СПВ до автономного стояка для відвантаження
4	Можливість повернення СПВ в пласт	Розробка насосної для повернення СПВ в пласт
5	Можливість використання СПВ для глушіння свердловин	Розробка насосної та парку зберігання рідини для глушіння свердловин
6	Можливість очищення СПВ	Встановлення очисних фільтрів

Технологічні рішення представимо більш детально на функціональній схемі, що зображено на рис. 1.

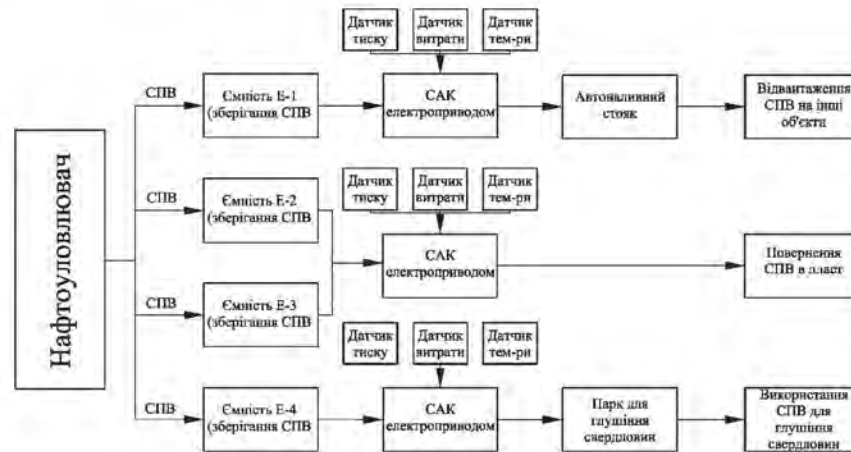


Рис. 1. Функціональна схема модернізації системи збору, підготовки та перекачування СПВ

Кожна ланка системи керування СПВ оснащена сучасними засобами автоматизації: датчиками тиску та температури, витратомірами. Також кожен електропривод керується перетворювачем частоти.

Область застосування проектної системи охоплює всі нафтогазові промисли, так як була проаналізована узагальнена система видобутку нафти та газу, а також типова схема керування СПВ.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Історія та перспективи нафтогазовидобування : навчальний посібник* / Білецький В.С., Гайко Г.І., Орловський В.М. – Львів: Видавництво «Новий Світ – 2000», 2020. – 302 с.

2. *Супутньо-пластові води у нафтогазовій галузі: проблема чи рішення?* Доступ до ресурсу: <https://ukraine-oss.com/suputno-plastovi-vody-u-naftogazovij-galuzi-problema-chy-rishennya/>

3. Орловський В.М., Білецький В.С., Сиренко В.І. *Технологія видобування газу і газового конденсату: навчальний посібник*. Редакція «Гірничої енциклопедії». – Полтава: НТП «Бурова техніка», Львів, Видавництво «Новий Світ – 2000», 2023. – 359 с.

MODERN APPROACH TO MANAGEMENT SATELLITE LAYER WATERS

L. Lievi, Sc. D, Professor,

B. Kachurovsky, Master's Student,

National University "Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic"

АЛФАВІТНИЙ ВКАЗІВНИК

Автор	Сторінки	Автор	Сторінки
Белей Р.А.	68	Марченко О.С.	43
Бікчентаєв М.О.	8	Марчук А.В.	41, 74
Боровик А.С.	87	Мельник Є.О.	78
Боряк Б.Р.	8	Мешко О.А.	116
Брижак К.К.	14	Мигаль С.В.	49
Буняка І.В.	83	Митрофанов П.Б.	30
Вишньєський І.О.	109	Михайленко В.О.	63
Вітченко Є.В.	79	Обілець М.В.	39
Войтенко А.С.	14	Остєпенко А.І.	66
Волоський С.В.	92	Панич В.В.	37
Галай В.М.	43, 72	Пантелєєв В.О.	35
Голубцов С.С.	90	Пащенко А.В.	81
Гребенюк Б.С.	68	Педченко О.С.	104
Губіцький М.М.	64	Першін М.Ю.	83
Демус С.І.	54	Петряєва О.Б.	85
Дзюбан О.С.	16, 76	Плєшкань Д.П.	72
Дрючко О.Г.	24, 51, 68, 83	Плюйко І.П.	56
Дюдюк І.М.	47	Погрібняченко Д.А.	68
Євдоченко О.І.	106	Польцер С.В.	14
Єндіяров І.О.	112	Пушкарь В.В.	118
Єрмілова Н.В.	22, 33, 112, 116	Романенко В.І.	45
Заніздра Є.М.	107	Руденко В.В.	11
Захарченко Р.В.	30, 39	Сілін І.	62
Зоць Я.О.	56	Слєпченко Н.М.	58
Іванов О.А.	22	Соколов О.	97
Індик С.В.	37, 63	Соловійов П.В.	94
Капітон А.М.	16, 76	Сухорєбрий О.В.	51
Качан М.В.	83	Талибов Р.М.	16, 76
Качуровський Б.В.	28	Тігов В.О.	33
Кислиця Д.В.	19	Ткаченко А.О.	102
Кислиця Є.В.	85	Токар Л.О.	94
Кислиця С.Г.	14, 19, 54, 58, 66, 79, 87, 102, 109, 114	Удовик С.С.	24, 60
Ковган Р.М.	114	Федоренко А.С.	89
Кожушко Г.М.	19	Фещенко Д.О.	68
Криворот А.І.	30	Фомін О.С.	18, 21, 47
Кудєнко О.О.	51	Шєремет М.О.	100
Лєві Л.І.	28, 100	Шєфер О.В.	24, 45, 49, 56, 81, 104
Лисєчко В.	62	Штанько І.А.	83
Малород В.О.	30	Штомпель М.А.	92
		Ястреба О.С.	104

Наукове видання

Збірник наукових праць за матеріалами X Всеукраїнської науково-практичної
конференції
«ЕЛЕКТРОННІ ТА МЕХАТРОННІ СИСТЕМИ: ТЕОРІЯ, ІННОВАЦІЇ,
ПРАКТИКА»

Дизайн і комп'ютерна верстка
Відповідальний за випуск

Боряк Б.Р.
Шефер О.В.

Оригінал-макет виготовлено на кафедрі автоматики, електроніки та
телекомунікацій
Національного університету
«Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

Міністерство освіти та науки України
Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

Кафедра автоматики, електроніки та телекомунікацій

**Модернізація системи збору, підготовки та перекачування
супутньо-пластових вод на об'єктах нафтогазової промисловості**

ДОДАТОК В

Кваліфікаційна робота магістра

Виконав:

студент 601МЕ групи

Керівник:

д.т.н, професор

Качуровський Б.В.

Леві Л.І.

Полтава 2025

Метою магістерської роботи є модернізація збору, підготовки та перекачування супутньо-пластових вод на об'єктах нафтогазової промисловості.

Об'єктом магістерської роботи є технологічний процес керування СПВ.

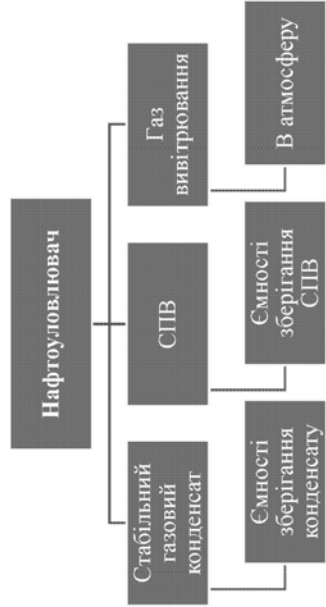
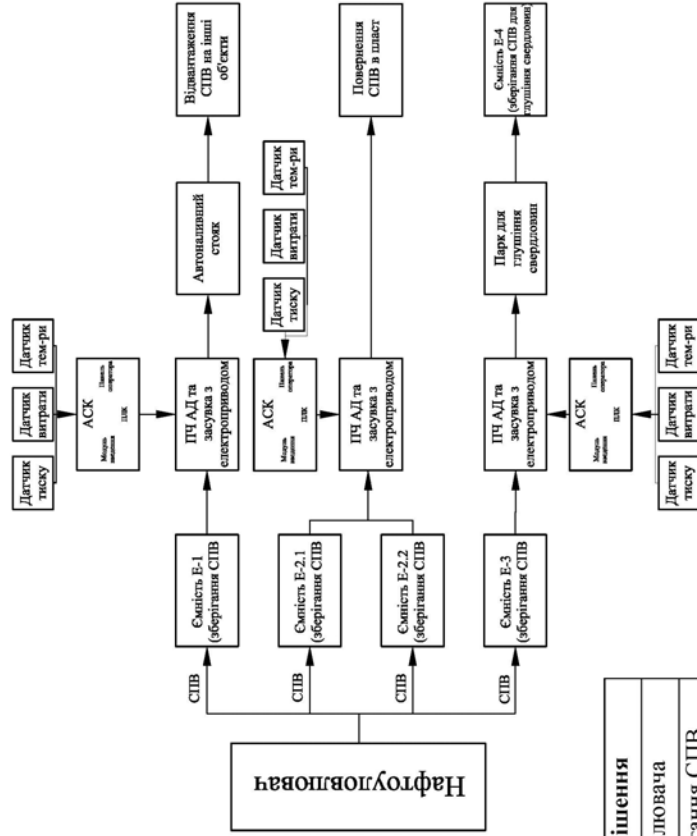
Предметом магістерської роботи є дослідження можливості модернізації збору, підготовки та перекачування супутньо-пластових вод на об'єктах нафтогазової промисловості.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати наступні **завдання**:

- проаналізувати технологічний процес видобутку нафти та газу;
- проаналізувати технологічний процес керування СПВ;
- обґрунтувати необхідність модернізувати технологічний процес керування СПВ;
- виділити основні напрямки модернізації процесу керування СПВ;
- здійснити модернізацію електроприводів та систем керування ними;
- розробити функціональні та структурні схеми електроприводів;
- здійснити дослідження статичних та динамічних режимів роботи електроприводів;
- виконати вибір провідників та елементів захисту системи керування електроприводами;
- розробити автоматизовану систему керування СПВ;
- розрахувати та вибрати сучасні засоби автоматизації системи керування СПВ;
- розробити схему зовнішніх з'єднань та силового щита керування СПВ.

Методи дослідження: при теоретичному аналізі в роботі використовувалися методи ідентифікації динамічних об'єктів, теорії лінійних і нелінійних систем автоматичного керування, теорії дискретних систем, теорії механізмів і машин, теорії теплопровідності, а також методи математичного моделювання на персональному електронному обчислюваному місці (ПЕОМ). Теоретичні дослідження підтверджені натурними і обчислювальними експериментами системи автоматизації збору, підготовки та повернення СПВ в надра.

Система керування СПВ як об'єкт модернізації

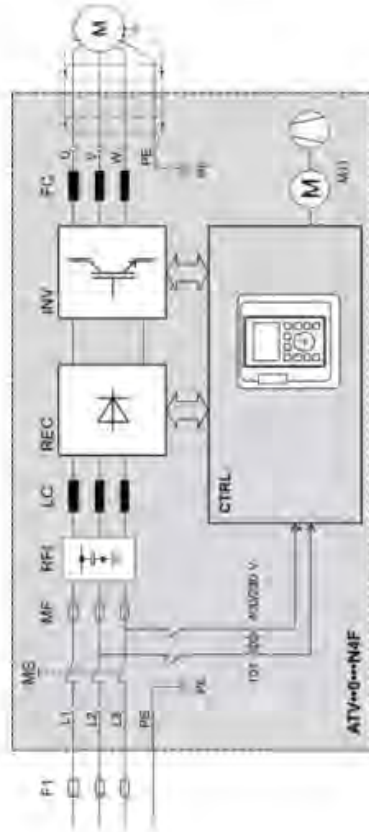


Технологія проектного отримання СПВ

№	Проектне рішення	Реалізація проектного рішення
1	Модернізувати існуючий парк ємностей	Встановлення нафтоуловлювача
2		Встановлення ємності зберігання СПВ
3	Можливість транспортувати СПВ до інших об'єктів	Розробка насосної для подачі СПВ до автоматизованого стояка для відвантаження
4	Можливість повернення СПВ в пласт	Розробка насосної для повернення СПВ в пласт
5	Можливість використання СПВ для глушіння свердловин	Розробка насосної та парку зберігання рідини для глушіння свердловин
6	Можливість очищення СПВ	Встановлення очисних фільтрів

Функціональна схема модернізації системи збору, підготовки та перекачування СПВ

Функціональна схема САК електропривода системи керування СПВ



Функціональна схема електропривода ПЧ-АД

F1 - Зовнішній попередній запобіжник або автоматичний вимикач,
 MS - вбудований головний вимикач, T01 - трансформатор керування 400/230 V
 змінного струму; MF - запобіжники; RF1 - вбудований фільтр
 LC - дросель реактора; REC - модуль випрямляча; INV - інверторний модуль,
 FC - фільтр dv/dt (від 355 кВг дросель фільтра dv/dt 150 мвбудований же
 стандарт); CTRL - панель керування; M11 - вентилятор у двертятах корпусу

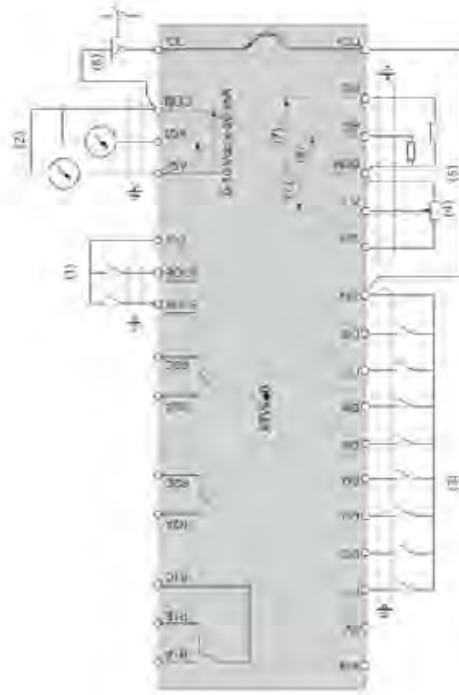
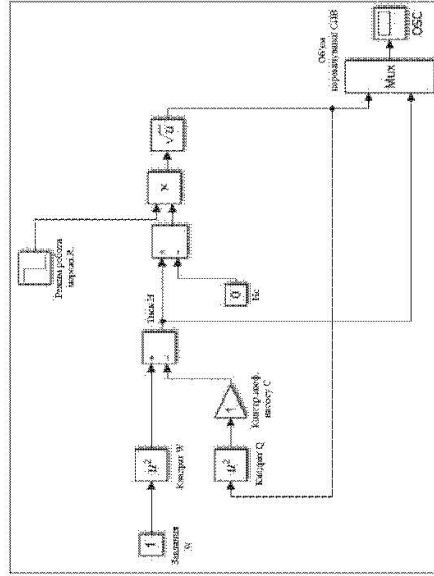


Схема підключення блоку керування ПЧ

(1) Безпечне вимкнення крутного моменту; (2) Аналоговий вихід; (3) Цифровий вхід; (4) Еталонний потенціометр; (5) Аналоговий вхід; (6) Цифровий вхід; (7) 0-10 В постійного струму, з-20 мА; (8) 0-10 В постійного струму, -10 В постійного струму; +10 В постійного струму; R1A, R1B, R1C реле несправності; R2A, R2C; Реле послідовності; R3A, R3C реле послідовності

6

Структурна схема САК керування СПВ



Величина тиску, створювана насосом, описується наступним виразом: залежність одержуваного тиску $H \cdot m$, від обсягу подачі $Q \text{ м}^3/\text{год.}$:

$$H = \left(\frac{\omega}{\omega_H} \right)^2 - CQ^2;$$

де: H – тиск, що створюється насосом;

ω – електрична швидкість обертання валу, об/хв.;

ω_H – номінальна механічна швидкість обертання валу, об/хв.;

C – конструктивний коефіцієнт, що приймається $C=1$ [2].

Магістраль, на яку працює насос, описується як залежність між обсягом подачі при роботі насоса Q і тиску H , необхідним для оптимальної роботи системи керування СПВ:

$$H = H_c + \frac{Q^2}{R}$$

де: H_c – тиск, обумовлений різницею висот ємностей та пунктом доставки;

R – коефіцієнт, що описує зміну опору системи;

Q – обсяг СПВ, що потрібний для подачі до пункту призначення, $\text{м}^3/\text{год.}$

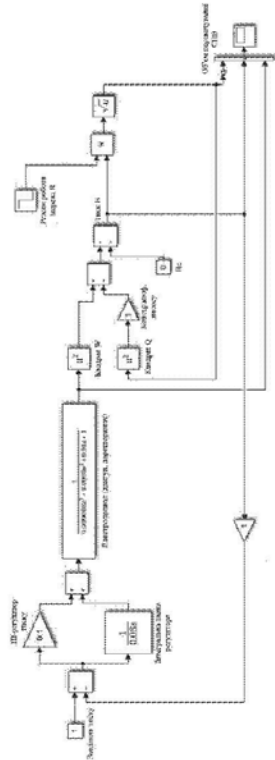
Для реалізації моделі магістралі перетворюємо характеристику магістралі так, щоб вихідним параметром була величина об'єму обробки:

$$Q = \frac{R}{\sqrt{(H - H_c) \cdot R}};$$

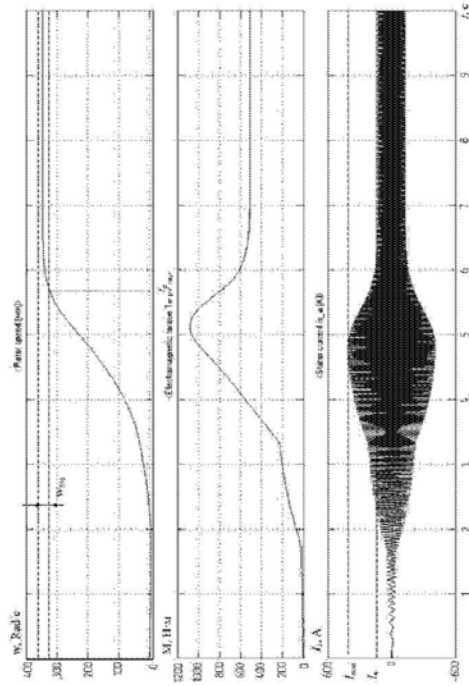
Передавальні функції ланки частотного перетворювача, об'єкта та фільтра представимо у вигляді аперіодичної ланки другого порядку, стандартна передавальна функція другої замкнутої системи має вигляд:

$$\Phi_2(p) = \frac{1}{8 \cdot T_{\mu}^3 \cdot p^3 + 8 \cdot T_{\mu}^2 \cdot p^2 + 4 \cdot T_{\mu} \cdot p + 1};$$

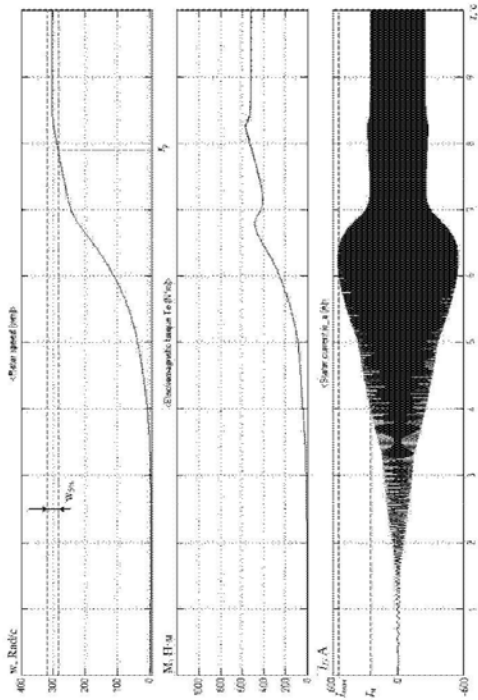
Дослідження роботи електропривода насоса в середовищі Simulink



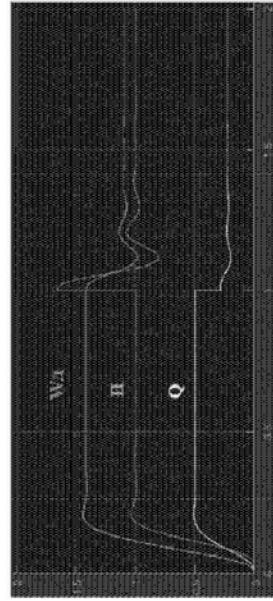
Математична модель системи автоматичного керування електроприводом перекачування СПВ до автономного стояка



Перехідні характеристики системи «ПЧ-АД» з ІР- корекцією, $f_{in} = 50 \text{ Гц}$, $f_p = 5,2 \text{ с}$, $I_{max} = 550,36 \text{ А}$, $I_n = 278,84 \text{ А}$

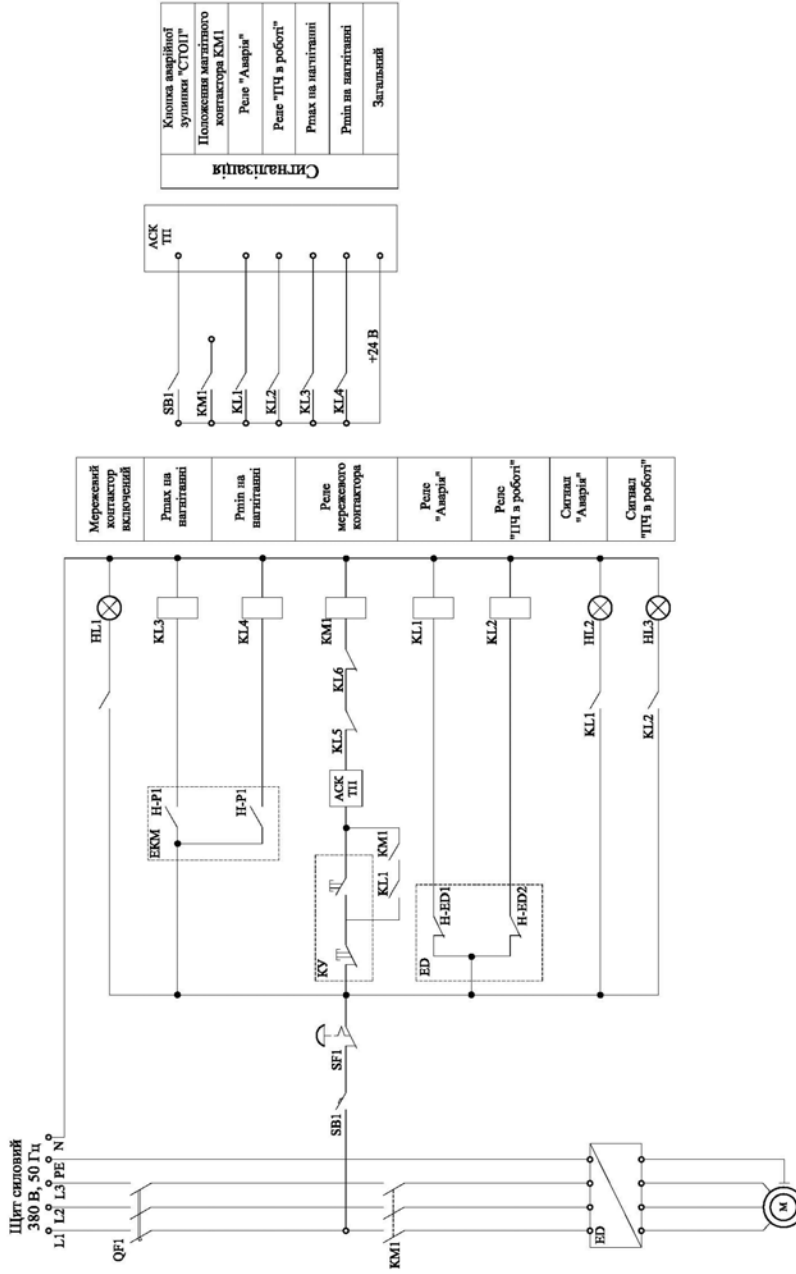


Перехідні характеристики системи «ПЧ-АД» без ІР- корекції, $f_{in} = 50 \text{ Гц}$, $f_p = 7,8 \text{ с}$, $I_{max} = 550,36 \text{ А}$, $I_n = 278,84 \text{ А}$



Осцилограма роботи системи автоматичного керування з підтримки тиску електроприводом перекачування СПВ до автономного стояка

Схема електрична принципова керування СПВ

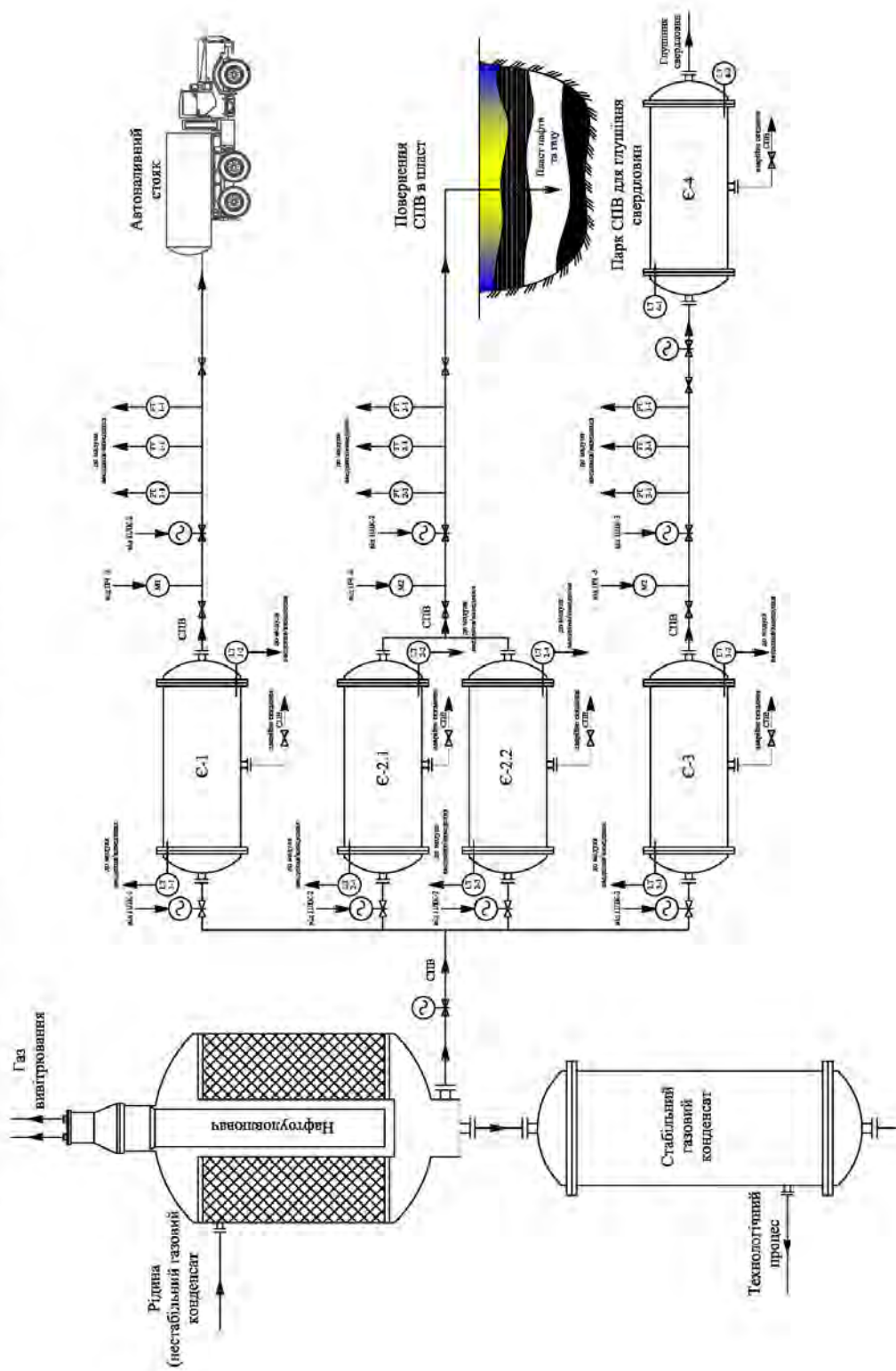


М – електродвигун; ED – перетворювач частоти; ЕКМ – датчик тиску;

КУ – кнопки керування; АСК ТП – автоматична система керування технологічним процесом; КМ1 – магнітний контактор; КЛ1-КЛ6 – реле;

HL1-HL3 – сигналізація; QF, SF – автоматичні вимикачі

Розробка автоматизованої системи керування СПВ



Розробка схеми підключення елементів системи керування СПВ

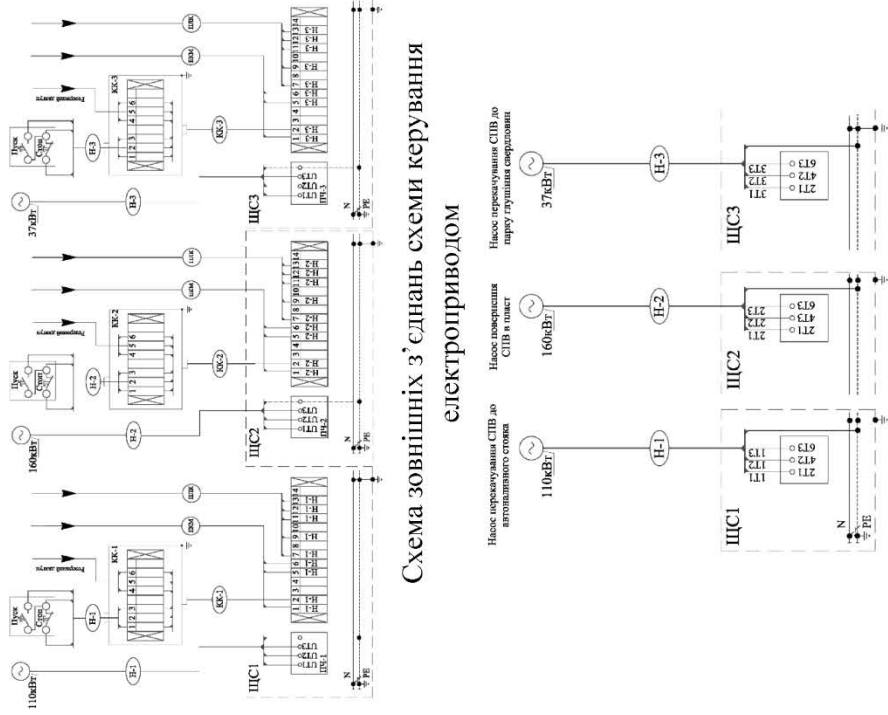


Схема зовнішніх з'єднань схеми керування електроприводом

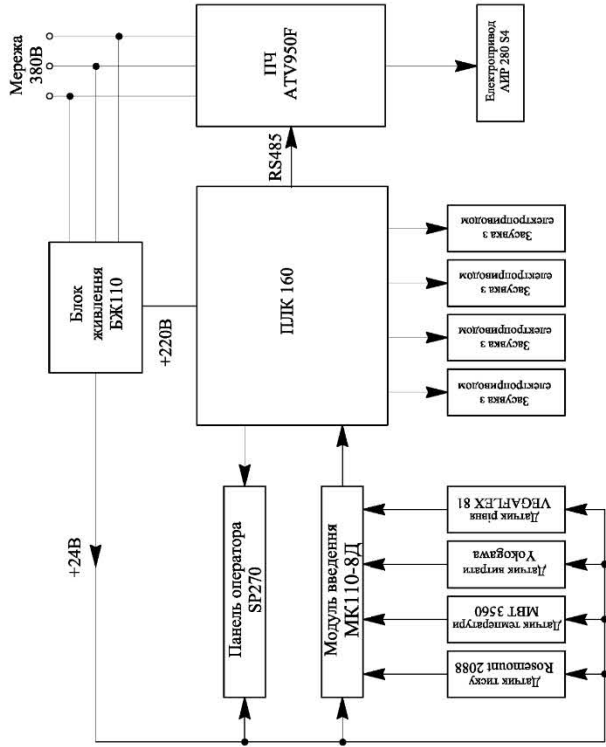
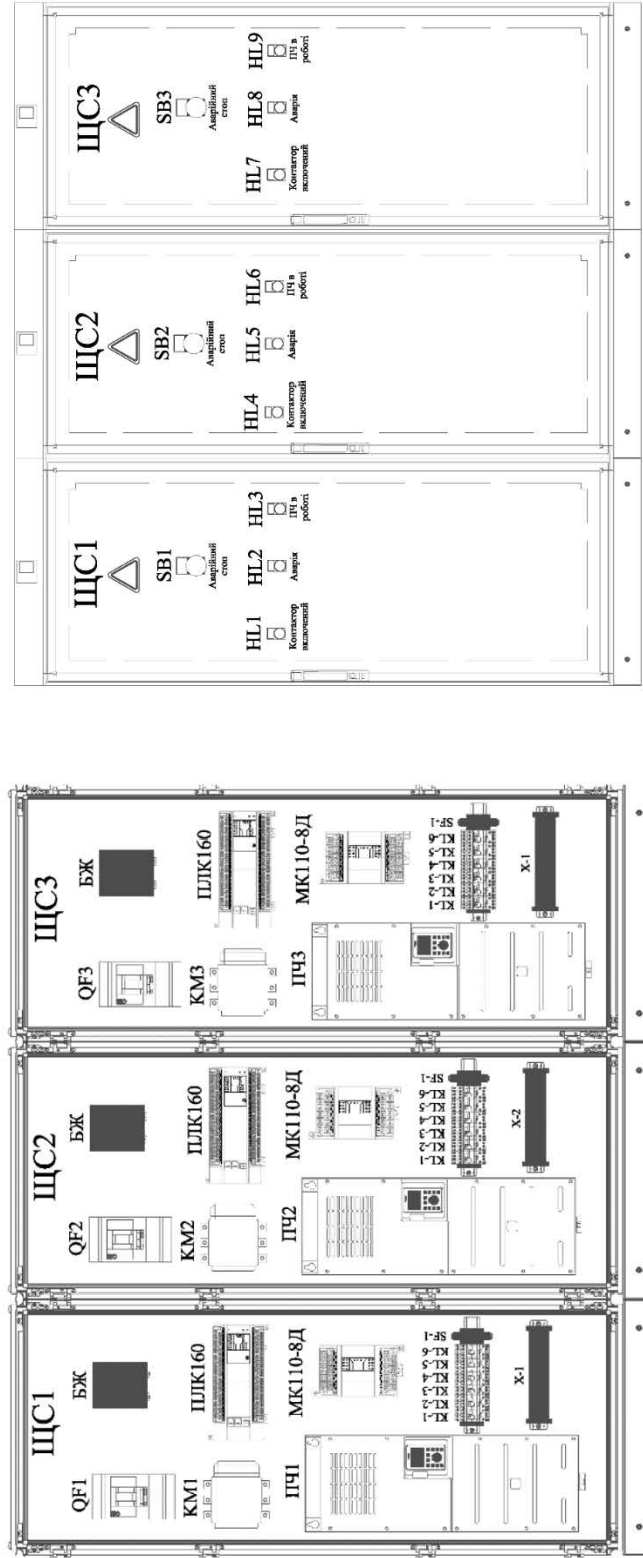


Схема інформаційних потоків керування СПВ до автономного стійка

Схема зовнішніх з'єднань електродвигуна з магнітним пускатчем

Розробка ввідного електричного щита системи керування СПВ



ЩС1, ЩС2, ЩС3 – щити силові; QF1, QF2, QF3 – автоматичні вимикачі;
 КМ1, КМ2, КМ3 – магнітні контактори; БЖ – блок живлення на 24 В; ПЛК160 – програмовані логічні контролери; ПЧ1, ПЧ2, ПЧ3 – перетворювачі частоти;
 МК110-8Д – модулі введення/виведення; КЛ1-КЛ6 – проміжні реле;
 Х1, Х2, Х3 – клемники

SB1, SB2, SB3 – аварійні кнопки;
 HL1-HL9 – сигналізація

Загальні висновки

У ході виконання кваліфікаційної роботи магістра досягнуті всі поставлені завдання. Всебічно досліджено технологічний процес керування СПВ та можливість її модернізації з урахуванням світової практики.

У першому розділі виконано аналіз технологічного процесу видобутку нафти. У ході такого аналізу виявили, що керування СПВ має певні недоліки, тому проаналізували технологічний процес керування СПВ більш досконало. Врахувавши світову практику побудови автоматизованої системи керування СПВ, окреслили напрямки її модернізації: встановлення ємності зберігання СПВ, розробка насосної для подачі СПВ до автоналивного стояка для відвантаження на інші об'єкти, насосної повернення СПВ в пласт, насосної для перекачування СПВ до парку глушіння свердловин.

У другому розділі для проєктованих насосних вибрали електродвигуни, які перевірили за переважувальною здатністю та перегрівом. З метою енергозбереження та подовження терміну служби електродвигунів обрали для них перетворювачі частоти. В середовищі Simulink для дослідження динамічної роботи електроприводів склали та перевірили на дієвість імітаційну їх модель з частотним перетворювачем з ІР-корекцією та без.

У третьому розділі розробили схему керування електроприводами, яка є аналогічною для всіх насосів. В схемі передбачені пуск, стоп електропривода, захист від перевантажень, світлова сигналізація. Проведений розрахунок та вибір всіх елементів схеми: автоматичний вимикач, магнітний пускач, проміжні реле, кнопки керування. Для живлення силової частини обрано кабель ВББШнг. Для живлення системи керування (реле, кнопки, контакторів) будемо використовувати кабель КВББШнг.

У четвертому розділі розробили автоматизовану систему керування СПВ, що включає три контури: контур перекачування СПВ до автоналивного стояка, контур повернення СПВ в пласт, контур перекачування СПВ до парку глушіння свердловин. Для нової системи обрали первинні засоби автоматизації, а також ПЛК, панель оператора, блок живлення. Для демонстрації з'єднання всіх датчиків, виконавчих механізмів, двигунів, кабелів, що підводяться до цита керування розробили схему з'єднань.

Розроблена автоматизована система керування СПВ може бути застосована на будь-якому промислі нафтогазового комплексу. Також технологічні процеси, що потребують керування перекачуванням рідких речовин за декількома напрямками, можуть використовувати дану систему.

Дякую за увагу!