

Міністерство освіти і науки України
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
Факультет інформаційних технологій
Кафедра інформаційно - телекомунікаційних технологій і систем

Пяста Петро Ігорович.

УДК 681.518.5

БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

Комплексна тема: "Розроблення системи автоматичного управління (САУ) ШГНУ на базі штучного інтелекту»

Тема: «Розроблення технічного забезпечення САУ ШГНУ на базі штучного інтелекту»

Освітня програма – «Системна інженерія – Інтернет речей»

Спеціальність 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

Робота містить результати власних досліджень, використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело:

Здобувач освітнього ступеня _____ *П.І. Пяста*

(підпис, ініціали та прізвище здобувача)

Науковий керівник _____ *Заміховський Л.М., д.т.н., професор*

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

Допущено до захисту
Завідувач кафедри ІТТС

д.т.н., проф. _____ *Л.М. Заміховський*

(посада) (підпис) (дата) (ініціали та прізвище)

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Факультет Інформаційних технологій

Кафедра Інформаційно- телекомунікаційних технологій і систем

Напрямок підготовки 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

ОПП "Систмна інженерія – Інтернет речей"

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедрою ІТТС д.т.н., проф.

Л.М. Заміховський

« » травня 2025 р.

ЗАВДАННЯ

НА ВИКОНАННЯ БАКАЛАВРСЬКОЇ РОБОТИ СТУДЕНТОВІ

Пяста П.І.

1. Тема бакалаврської роботи: «Розроблення технічного забезпечення САУ ШГНУ на базі штучного інтелекту»

(затверджена наказом по університету № 279/7 від 05.05.2025 року)

Керівник роботи д.т.н., професор Заміховський Л.М.

2. Термін здачі студентом закінченої роботи 20 червня 2025 року

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Технічна література по темі роботи

4. Зміст розрахунково - пояснювальної записки (перелік питань, що підлягають розробці)
Вступ. Сучасний стан автоматизації процесу нафтовидобутку з використанням ШГНУ. Стан технічного забезпечення систем контролю і управління процесом нафтовидобутку з використанням ШГНУ. Розроблення САУ ШГНУ на базі штучного інтелекту. Функціональна схема САУ роботою ШГНУ. Розробка SCADA - системи та алгоритму контролю параметрів роботи ШГНУ Структура системи автоматичного управління роботою ШГНУ на базі штучного інтелекту. Висновки.

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

- Схема розміщення на верстаті-качалці давачів контролю стану ШГНУ (листів - 1);
- Інтерфейс системи контролю та управління «інтелектуальною» свердловиною (листів - 1);
- Вид динамограми при нормальній роботі насоса та при неповному заповненні плунжера (листів - 1);
- Графіки вихідних і згладжених ватметрограм та їх тривимірний спектр. (листів - 1);
- Функціональна схема автоматизації ШГНУ (листів - 1);
- Структура системи автоматичного управління роботою ШГНУ на базі штучного інтелекту (листів - 1).
- Замкнута система управління електроприводом з P, PI, PID регуляторами Налаштування коефіцієнтів ПІД-регулятора (листів - 1).

6. Дата видачі завдання 05.05.2025 року

Керівник, д.т.н., професор

Завдання прийняв студент-бакалавр

Леонід ЗАМІХОВСЬКИЙ

Петро ПЯСТА

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Назва етапів бакалаврської роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ. Сучасний стан автоматизації процесу нафтовидобутку з використанням ШГНУ. Опис конструкції ШГН та технологічного процесу видобутку нафти з їх використанням. Стан технічного забезпечення систем контролю і управління процесом нафтовидобутку з використанням ШГНУ	06.05 - 17.05. 2025 р.	виконано
2	Загальні вимоги та функції системи автоматичного управління роботою ШГНУ. Контроль роботи ШГНУ за допомогою динамометрування. Контроль роботи ШГНУ за допомогою ватметрування.	10.05 - 27.05. 2025 р.	виконано
3	Розроблення системи автоматичного управління ШГНУ на базі штучного інтелекту. Передумови застосування штучного інтелекту в системах автоматизації технологічних процесів. Основні контрольовані параметри при управлінні ШГНУ	22.05 - 07.06. 2025 р.	виконано
4	Математична модель ШГНУ. Функціональна схема системи автоматичного управління роботою ШГНУ. Розроблення комплексу технічних засобів системи автоматичного управління ШГНУ	29.05 – 12.06. 2025 р.	виконано
5	Розробка SCADA - системи та алгоритму контролю параметрів роботи ШГНУ Структура системи автоматичного управління роботою ШГНУ на базі штучного інтелекту. Розрахунки метрологічних характеристик давача та регулятора електроприводу верстата-качалки. Висновки.	05.06 – 14.06. 2025 р.	виконано
6	Оформлення пояснювальної записки	7.06 – 14.06. 2025 р.	виконано
7	Оформлення графічного матеріалу	10.06 – 22.06. 2025 р.	виконано

Студент-бакалавр

(підпис)

Петро ПЯСТА

Керівник роботи, д.т.н., професор

(підпис)

Леонід ЗАМІХОВСЬКИЙ

РЕФЕРАТ

Бакалаврська робота складається з вступу, двох розділів, висновків, списку використаних джерел. Робота викладена на 80 сторінках, у тому числі основний текст викладено на 72 сторінці, 45 рисунки, 5 таблиць, використано 28 літературних джерела.

Тема випускної кваліфікаційної роботи: «Розроблення технічного забезпечення САУ ШГНУ на базі штучного інтелекту».

Мета бакалаврської роботи: Розроблення технічного забезпечення САУ ШГНУ на базі сучасних апаратно-програмних засобів та штучних неймереж для підвищення ефективності видобутку нафти та зниження енергоспоживання

Об'єкт дослідження: штангова глибинно-насосна установка (ШГНУ).

Предмет дослідження: технічне забезпечення системи автоматичного управління ШГНУ.

За результатами аналізу сучасного стану автоматизації процесу нафтовидобутку з використанням ШГНУ:

- сформульовані загальні вимоги та функції системи автоматичного управління роботою ШГНУ;
 - проведено розроблення системи САУ ШГНУ в процесі якого було:
 - обгрунтовано вибір основних контрольованих параметрів при управлінні роботою ШГНУ;
 - створено математичну модель ШГНУ та розроблено функціональну схему системи її автоматичного управління на базі апаратно-програмних засобів (контролера X20IF10E3-1, частотного перетворювача Prostar та давачів тиску Rosemount 2088G);
 - проведено розроблення SCADA - системи та алгоритму контролю параметрів роботи ШГНУ;
 - створена структура САУ роботою ШГНУ на базі штучної нейронної мережі та
- проведено розрахунки метрологічних характеристик давача тиску і регулятора асинхронного електроприводу верстата-качалки.

Ключові слова: ШТАНГОВА ГЛИБИННО-НАСОСНА УСТАНОВКА, НЕЙРОННА МЕРЕЖА, ДАВАЧІ, СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ, АЛГОРИТМ,, СТРУКТУРА, ФУНКЦІОНАЛЬНА СХЕМА

ABSTRACT

The bachelor's thesis consists of an introduction, two chapters, conclusions, a list of sources used. The work is presented on 92 pages, including the main text on 81 pages, 36 figures, 5 tables, 28 literary sources used.

The topic of the final qualification thesis: "Development of technical support for the automatic control system of the BSRPU based on artificial intelligence".

The purpose of the bachelor's thesis: Development of technical support for the automatic control system of the BSRPU based on modern hardware and software tools and artificial neural networks to increase the efficiency of oil production and reduce energy consumption

Object of research: borehole sucker rod pumping unit (BSRPU).

Subject of research: technical support for the automatic control system of the ShGNU.

According to the results of the analysis of the current state of automation of the oil production process using the BSRPU: general requirements and functions of the automatic control system of the BSRPU operation are formulated; the development of the BSRPU ACS system was carried out, in the process of which: the choice of the main controlled parameters when controlling the SHGNU operation was justified; a mathematical model of the BSRPU was created and a functional diagram of its automatic control system was developed based on hardware and software tools (X20IF10E3-1 controller, Prostar frequency converter and Rosemount 2088G pressure sensors); the development of the SCADA system and algorithm for controlling the SHGNU operation parameters was carried out.

The structure of the BSRPU ACS operation was created based on an artificial neural network and the calculations of the metrological characteristics of the pressure sensor and the regulator of the asynchronous electric drive of the pumping machine were carried out.

Keywords: rod-type deep-well pumping unit, neural network, sensors, control system, algorithm,, structure, functional diagram

ЗМІСТ

с.

ПЕРЕЛІК ОСНОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ, СИМВОЛІВ І ОДИНИЦЬ

ВСТУП

1. СУЧАСНИЙ СТАН АВТОМАТИЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ НАФТОВИДОБУТКУ З ВИКОРИСТАННЯМ ШТАНГОВИХ ГЛИБИННО-НАСОСНИХ УСТАНОВОК.

1.1 Опис конструкції штангових глибинно-насосних установок та технологічного процесу видобутку нафти з їх використанням

1.2 Стан технічного забезпечення систем контролю і управління процесом нафтовидобутку з використанням ШГНУ

1.3 Загальні вимоги та функції системи автоматичного управління роботою штангової глибино-насосної установки

1.4 Контроль роботи штангових глибинно-насосних установок за допомогою динамометрування.

1.5 Контроль роботи штангових глибинно-насосних установок за допомогою ватметрування

РОЗРОБЛЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ ШГНУ НА БАЗІ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

2.1 Передумови застосування штучного інтелекту в системах автоматизації технологічних процесів

2.2 Основні контрольовані параметри при управлінні ШГНУ

2.3 Математична модель штангової глибинно-насосної установки

2.4 Функціональна схема системи автоматичного управління роботою ШГНУ

2.5 Розробка комплексу технічних засобів системи автоматичного управління ШГНУ

2.6 Розробка SCADA - системи та алгоритму контролю параметрів роботи ШГНУ

					КБР СІ – 19.00.000 ПЗ			
Зм.	Арк.	№ док.ум.	Підп.	Дата	Розроблення технічного забезпечення системи автоматичного управління ШГНУ на базі штучного інтелекту	Літ.	Арк.	Арк.шів
Розроб.	Пяста П.						6	
Перевір.	Заміховський							
Реценз.								
Н. контр.	Возний А.							
Затверд.	Заміховський							
						ІФНТУНГ СІ-21-1		

2.7. Структура системи автоматичного управління роботою ШГНУ на базі штучного інтелекту

2.8 Розрахунки метрологічних характеристик давача та регулятора електроприводу верстата-качалки.

ВИСНОВКИ

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ НА ДЖЕРЕЛА

БІБЛІОГРАФІЧНА ДОВІДКА

					КБР СІ – 19.00.000 ПЗ			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата				
Розроб.	Пяста П..				Розроблення технічного забезпечення системи автоматичного управління ШГНУ на базі штучного інтелекту	Літ.	Арк.	Аркшів
Перевір.	Заміховський						6	
Реценз.						ІФНТУНГ СІ-21-1		
Н. контр.	Возний А.							
Затверд.	Заміховський							

ПЕРЕЛІК СИМВОЛІВ І ОДИНИЦЬ

- ШГНУ - штангова глибинно-насосна установка
ККД - коефіцієнт корисної дії
КНКТ - колона насосно-компресорних труб
ВК - верстат качалка
НШ - насосні штанги
СШН - свердловинний штанговий насос
АГЗУ - автоматизована групова замірна установка
САУ – система автоматичного управління
КТЗ - комплекс технічних засобів
БМА – блок місцевої автоматизації
ВГД – верхня границя діапазону
НГД - нижня границя діапазону
SCADA - supervisory Control And Data Acquisition
СУ – система управління
АРМ – автоматизоване робоче місце
OPC - Open Platform Communications
RTU - remote Terminal Unit
ДП – диспетчерський пункт
ШУ СУС - шафа управління системою управління свердловиною
ТОВ - товариство з обмеженою відповідальністю
ГЗУ - групова замірна установка
ПСБ - перемикач свердловин багатолодковий
ЗКР - збірний колектор рідини
ПРС – поточний ремонт свердловин
ККД – коефіцієнт корисної дії
ФВЧ – фільтри верхніх частот
АТ - абсолютний тиск

					КБР СІ – 19.00.000 ПЗ	Арк.
						8
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

НД - надлишковий тиск

АСУТП - автоматизована система управління технологічними процесами

АСКОЕ - автоматизована система контролю та обліку енергоресурсів

					КБР СІ – 19.00.000 ПЗ	Арк.
						9
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

ВСТУП

Аналіз світового досвіду створення нового та модернізації діючого технологічного обладнання показує високу динаміку розвитку регульованих електроприводів із застосуванням автоматизованої системи управління та використанням інформаційних засобів, головними цілями якого є максимальне підвищення продуктивності технологічного обладнання та збереження споживання.

Система управління механізмами може бути побудована за спрощеною чи складною структурою. Спрощена структура – це найчастіше застосовувана у більшості механізмів. Така система має лише щит управління без застосування будь-яких автоматизованих систем управління на малодобітних скважинах, що дозволяють лише періодично проводити вимірювання технологічних параметрів на свердловинах операторами за допомогою переносних комплексів обладнання.

В даний час з'являється необхідність використання також складної структури керування, яка полягає в застосуванні нової станції управління для куца скважин незалежно від типу механізму (будь то верстат-качалка, довгохідна насосна установка, ланцюговий привід або електрогвинтовий насос).

Станцію управління необхідно створити автоматизованою та конструктивно незмінною на рівні технологічного обладнання. Єдиною змінною в такій станції може бути лише програмне забезпечення для того чи іншого механізму з великою бібліотекою програмних засобів, за допомогою яких можна вирішувати багато функціональних завдань управління технологічним обладнанням різного виробничого призначення, що, в свою чергу, призведе до мобільності станції управління.

Найбільш енергоємними споживачами на нафтопромислах є електроприводи штангових глибинно-насосних установок (ШГНУ), які хоча і мають порівняно невеликі потужності, але у великій кількості розосереджені на великих територіях. Також істотний внесок у енергоспоживання роблять

					КБР СІ – 19.00.000 ПЗ	Арк.
						10
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

системи підтримки пластового тиску, промислової підготовки та трубопровідного транспорту нафти та газу.

ШГНУ є основним способом механізованої експлуатації свердловин у багатьох країнах (США, Канада) та багатьох нафтових компаніях (ПАТ «Укрнафта»). У нашій країні ШГНУ є одним з основних типів свердловинних насосів, поступаючись лише установкам електровідцентрових занурювальних насосів (УЕВН) за кількістю свердловин, що експлуатуються, і обсягами нафти, що видобувається.

Робота електроприводів ШГНУ має низку особливостей. Електроприводи ШГНУ працюють зі змінним навантаженням, що циклічно змінюється, при потужностях нижче номінальних, що негативно впливає на коефіцієнт потужності мережі та коефіцієнт корисної дії самого двигуна. Через необхідність забезпечення високого моменту при пуску насосної установки, особливо в зимовий час, установки комплектуються електродвигунами наперед більшої потужності і під час роботи виявляються значною мірою недовантаженими.

Покращити режим роботи електроприводу ШГНУ можна шляхом інтелектуалізації процесу механізованого видобутку нафти ШГНУ, що передбачає використання сучасних апаратно-програмних засобів та інформаційних технологій, зокрема штучного інтелекту, при розробці алгоритмів оптимального управління процесом нафтовидобутку, так і їх технічній реалізації.

Це дозволить усунути непродуктивні витрати енергії та оптимізувати режими закачування та відбору, контролювати стан обладнання та забезпечити збирання, зберігання та обробку поточної та історичної інформації.

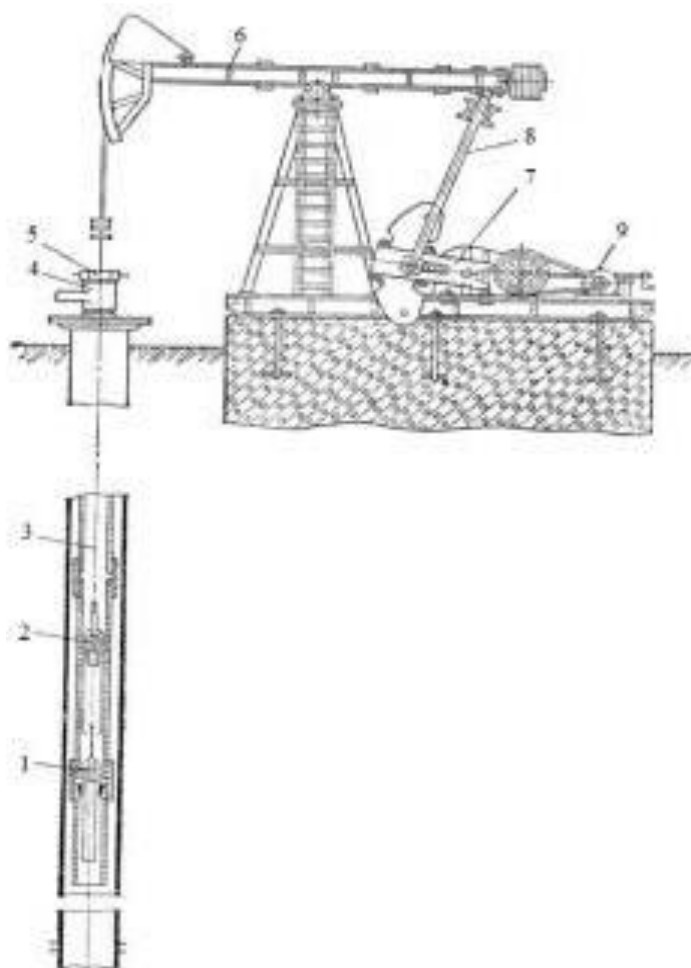
У зв'язку з викладеним актуальною є задача розробки технічного забезпечення системи управління процесом нафтовидобутку з використанням ШГНУ на базі штучного інтелекту.

					КБР СІ – 19.00.000 ПЗ	Арк.
						11
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

1. СУЧАСНИЙ СТАН АВТОМАТИЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ НАФТОВИДОБУТКУ З ВИКОРИСТАННЯМ ШТАНГОВИХ ГЛИБИННО-НАСОСНИХ УСТАНОВОК.

1.1 Опис конструкції штангових глибинно-насосних установок та технологічного процесу видобутку нафти з їх використанням

Штангова глибинно-насосна установка складається з наземного та підземного обладнання (рис. 1.1) [1,2]. Підземне обладнання включає:



штанговий свердловинний

1 – всмоктувальний клапан; 2 – нагнітальний клапан; 3 – насосні штанги;

4 – трійник; 5 – сальник; 6 – балансир; 7 та 8 – кривошипно-шатульний механізм;

9 – електродвигун

Рисунок 1.1 – Схема штангової глибинно-насосної установки

					КБР СІ – 19.00.000 ПЗ	Арк.
						12
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

насос з всмоктувальним клапаном 1 (нерухомий) на нижньому кінці циліндра і нагнітальним клапаном 2 (рухомий) на верхньому кінці поршня-плунжера, насосні штанги 3 і труби (рис. 1.1).

Крім того, підземне обладнання може включати різні захисні пристрої (газові та пісочні якорі, хвостовики), що підключається до приймального патрубку ШГН і покращує його роботу в складних умовах (пісок, газ) [2]

До наземного обладнання відносяться верстат-качалка, який складається з електродвигуна 9, кривошипа 7, шатуна 8, балансира 6, гирлового сальника 5, гирлової обв'язки і трійника 4 [1].

Особлива індивідуальність свердловинного насоса полягає в тому, що в свердловині ставлять плунжерний (поршневий) насос, який приводиться в дію поверхневим приводом за допомогою колони штанг.

Верстат-качалка має індивідуальний механічний привід ШГНУ і застосовується в районах з помірним і холодним кліматом.

Верстат-качалка передає штангам зворотно-поступальне переміщення, близьке до синусоїдального. Він оснащений гнучкою канатною підвіскою для з'єднання з верхнім кінцем полірованого штока і відкидну або поворотну головку балансиру для вільного проходу спуско-підіймальних пристроїв (талевого блоку, гака) при підземному ремонті.

Балансир функціонує на поперечній осі, підсилений у підшипниках, і під'єднаний до двох масивних кривошипів 7 з підтримкою двох шатунів 8, що знаходяться по обидва боки редуктора. Кривошипи з мобільними противагами здатні пересуватися відносно осі обертання основного валу редуктора на ту чи іншу відстань вздовж кривошипа. Противаги необхідні з метою врівноваження вестата-качалки.

Редуктор з постійним передатним числом, маслозаповнений, герметичний, має трансмісійний вал, на одному кінці якого передбачений трансмісійний шків, з'єднаний пасовою передачею з малим шківом електродвигуна 9. На іншому кінці валу є гальмівний барабан. Опорний підшипник укріплений на металевій стійкі-піраміді.

					КБР СІ – 19.00.000 ПЗ	Арк.
						13
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Складові вестата-качалки – піраміда, редуктор, електродвигун – знаходяться на єдиній рамі, яка зафіксована на бетонному фундаменті. Крім того, всі верстати-качалки обладнані гальмівним пристроєм, які призначені для утримання балансира і кривошипів у кожному заданому положенні. Перестановкою пальця кривошипа в той або інший отвір можна змінювати відстань відносно центру обертання. Цим досягається також ступінчаста зміна амплітуди коливань балансиру [2,3].

Оскільки у редуктора є постійне передатне число, то зміна частоти коливань досягається тільки зміною передавального числа пасової трансмісії і зміною шківа електродвигуна на більший або менший діаметр.

Промисловістю випускається велика кількість верстатів-качалок нормального ряду різних типорозмірів вантажопідйомністю на головці балансира від 10 до 200 кН, відповідно до широкого діапазону глибин та дебітів свердловин, які доводиться обладнати штанго-глибинний насос.

Типорозміри верстатів-качалок та їх основні параметри регламентуються державним стандартом України.

Штанговий глибинний насос складається з довгого (2 – 4 м) циліндра тієї чи іншої конструкції. На кінці циліндра укріплений нерухомий всмоктувальний клапан, що відкривається при ході вгору. Циліндр підвішується на трубах. У ньому переміщається плунжер, виконаний у вигляді довгої (1 – 1,5 м) гладко обробленої труби, що має нагнітальний клапан, який також відкривається вгору.

Плунжер підвішується на штангах. Під час руху плунжера вгору рідина через всмоктувальний клапан під впливом тиску на прийомі насоса заповнює внутрішню порожнину циліндра. При ході плунжера вниз всмоктувальний клапан закривається, рідина під плунжером стискається і відкриває нагнітальний клапан. Цим плунжер з відкритим клапаном занурюється в рідину. При черговому ході нагору нагнітальний клапан під тиском рідини, що знаходиться над плунжером, закривається. Плунжер працює як поршень і піднімає рідину на висоту, що дорівнює довжині ходу від 0,6 до 6 м. Вона накопичується над плунжером в колоні НКТ і досягає устя свердловини то через трійник надходить у нафтозбірну мережу.

					КБР СІ – 19.00.000 ПЗ	Арк.
						14
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

При монтажі верстата-качалки важливе значення приділяють її врівноваженню.

За відсутності врівноважування електропривод установки ШГНУ працюватиме в руховому режимі під час підйому колони штанг разом із свердловинною рідиною і переходитиме в генераторний режим під час спуску. З метою зробити навантаження більш рівномірним у конструкцію насосних установок додано балансувальні вантажі.

Слід зазначити, що кінематика ШГНУ така, що під час опускання колони штанг відбувається підйом балансувальних вантажів із накопиченням у них потенційної енергії. Потім під час підйому колони штанг відбувається опускання балансувальних вантажів. Таким чином, балансувальні вантажі довантажують електродвигун під час опускання колони штанг та розвантажують його під час підйому колони штанг та свердловинної рідини [4,5]. Процес переміщення вантажів називається врівноважуванням, або балансуванням установки. Однак повністю згладити навантаження врівноважування нездатне, воно дозволяє лише виключити перехід електродвигуна в генераторний режим і забезпечити рівність максимальних значень споживаної потужності на відрізках часу, що відповідають підйому та спуску штангової колони.

Стосовно інформації, яку отримують оператори в процесі експлуатації, то раніше оператори за допомогою переносних технічних засобів могли лишень періодично проводити вимірювання технологічних параметрів на свердловинах.

Сьогодні стаціонарно встановлені на родовищах сучасні мікропроцесорні контролери дозволяють здійснювати їх безперервний автоматичний контроль.

					КБР СІ – 19.00.000 ПЗ	Арк.
						15
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

1.2 Стан технічного забезпечення систем контролю і управління процесом нафтовидобутку з використанням ШГНУ

Ефективність експлуатації ШГНУ залежить не тільки від стану обладнання, але і від якості управління. У зв'язку з цим велика увага приділяється дослідженням, спрямованим на розробку нових систем управління ШГНУ [6-10].

Проведений аналіз інформаційних джерел, а також патентний огляд, показують, що розробка та модернізація сучасних систем управління ШГНУ спрямовані як на вдосконалення їх технічного оснащення (зокрема датчиків), так і створення нових методів управління, діагностики, обробки сигналів та інформації, реалізацію людино-машинного інтерфейсу і т.д.

Що стосується свердловин, що експлуатуються ШГНУ, це означає вимірювання таких технологічних параметрів, як динамограма (залежність зусилля на полірованому штоку від переміщення точки підвісу штанг), динамічний рівень, ваттметраграма (залежність споживаної потужності від переміщення точки підвісу штанг), вплив газового фактору і інших [11].

При цьому функції управління повинні забезпечувати дистанційне вмикання та відключення приводного електродвигуна, аварійне відключення установки, періодичний режим експлуатації, плавне регулювання швидкості обертання за допомогою перетворювача частоти [9].

На даний час відомий цілий ряд розробників та виробників контролерів і станцій управління для ШГНУ.

Впровадження інтелектуалізації процесу механізованого видобутку нафти з використанням контролерів дозволяє автоматизувати роботу верстата-качалки, оптимізувати режими роботи обладнання, оперативно виявляти аварійні ситуації і невідповідності режимів застосування технічних засобів, та передавати їх на пульт оператора по системі телемеханіки [10].

Системи телемеханіки на сьогоднішній день будуються, як правило, з використанням радіоканалу. Тому типова система управління включає

					КБР СІ – 19.00.000 ПЗ	Арк.
						16
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

контролер, силовий комутатор для включення і відключення електродвигуна, радіомодем і набір датчиків технологічних параметрів. Окремі системи управління ШГНУ мають у своєму складі перетворювачі частоти регулювання швидкості обертання електродвигуна.

Існують кілька видів автоматизованих станцій, що випускаються вітчизняними та зарубіжними виробниками, які здебільшого призначені для здійснення аварійного відключення приводу верстата-качалки, реалізації алгоритму періодичного відкачування, або автоматизованого підбору оптимальної кількості хитань [9].

Контролери, які є основою програмного управління існуючих станцій, здебільшого мають можливість підключати додаткові датчики, проводити аналіз інформації, що отримується, і в результаті відстежувати розвиток більшості несправностей. Можливість відстеження несправностей передбачена у більшості контролерів програмного забезпечення (ПЗ) [8-10]. Але ці можливості в основному не використовуються на промислах, оскільки автоматизовані системи управління, що використовуються, орієнтовані на завдання розробки родовища.

При цьому сервісним організаціям доводиться самостійно організовувати моніторинг технічного стану устаткування, що використовується.

Отже, є необхідність та можливість збирати інформацію про технічний стан приводу ШГНУ, автоматично аналізувати та розсилати заінтересованим службам інформацію про стан, про можливість виникнення нештатних ситуацій.

Для прикладу на рис.1.2 показано схему розміщення на верстаті-качалці давачів контролю технічного стану ШГНУ, основними з яких є:

- давач зусилля на штангову колону, який дозволяє отримати інформацію про зміну навантаження як функцію переміщення полірованого штока (динамограму). За зміною форми динамограми можна визначити можливі дефекти свердловинного обладнання;
- давач переміщення — вібраційний давач (віброприскорення), за результатами якого можна визначити положення балансира в будь-який момент часу;

					КБР СІ – 19.00.000 ПЗ	Арк.
						17
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

- інші давачі вібрації (віброшвидкості), що встановлені на підшипниковій опорі балансира, редукторі та електроприводі верстата-качалки, дозволяють провести

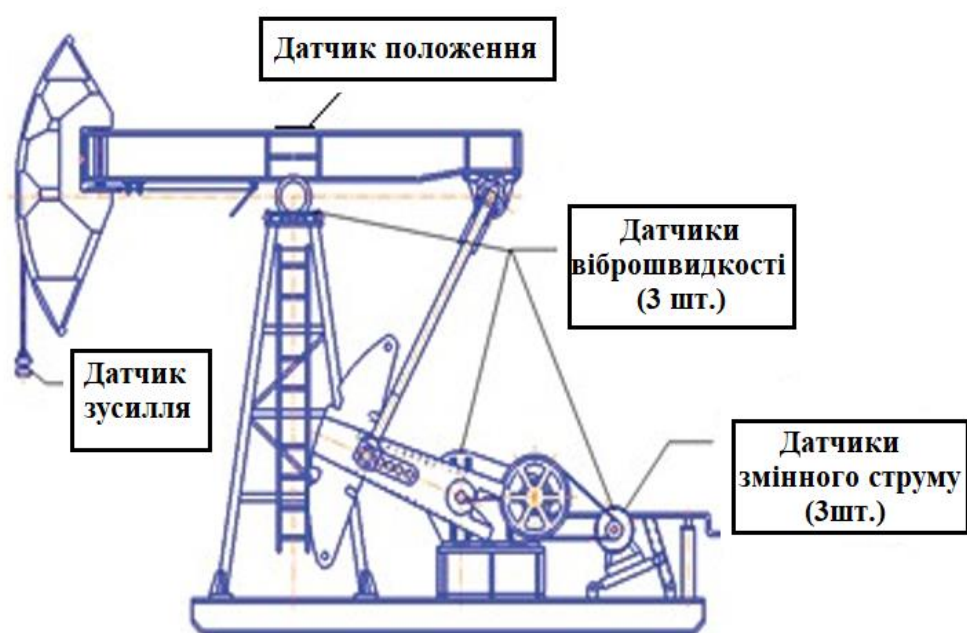


Рисунок 1.2 – Схема розміщення на верстаті-качалці датчиків контролю технічного стану його вузлів

оцінку, за рівнем вібрації, стану вузлів, елементи яких здійснюють в процесі експлуатації обертові, чи зворотно поступальні рухи;

- на електроприводі верстата-качалки встановлені давачі змінного струму, за інформацією від яких можна оцінити величину струмового навантаження на електропривод за період циклу одного качання верстата-качалки.

Станція управління ШГНУ збирає інформацію від вказаних датчиків, проводить її попередню обробку і передає отримані результати експертній системі програма якої її аналізує і видає діагноз щодо технічного стану вузлів і елементів ШГНУ і можливість її подальшої експлуатації.

Нині активно розвивається концепція «інтелектуального» родовища. Відповідно до цієї концепції «Інтелектуальна» свердловина – це комплекс обладнання, що включає заглибну та наземну телеметрію (давачі, прилади, мікропроцесорні контролери) для безперервного збору та обробки інформації про роботу системи «пласт–свердловина–насосна установка» та забезпечення її функціонування в заданому режимі автоматично або при зміні режиму

функціонування (рис. 1.3), а «Інтелектуальний» кущовий майданчик – це автономна група «інтелектуальних» свердловин та комплекс вимірювального обладнання, розташованих у межах родовища та оснащених мікропроцесорним блоком, що забезпечує моніторинг стану свердловин та передачу інформації до автоматизованого диспетчерського пункту родовища (рис. 1.4).

«Інтелектуальне» родовище – це об'єднання «інтелектуальних» кущових майданчиків родовища з автоматизованим диспетчерським пунктом, що містить комунікаційне та серверне обладнання, автоматизовані робочі місця (АРМ) виробничого персоналу (геолога, технолога, механіка, оператора видобутку та ін.) для оперативного вирішення завдань управління розробкою родовища [12,13].

Концепція «інтелектуального» родовища передбачає створення високоефективних систем моніторингу та управління розробкою, які враховують структурні особливості цих родовищ та забезпечать значне підвищення видобутку нафти та газу, а також скорочення виробничих витрат.

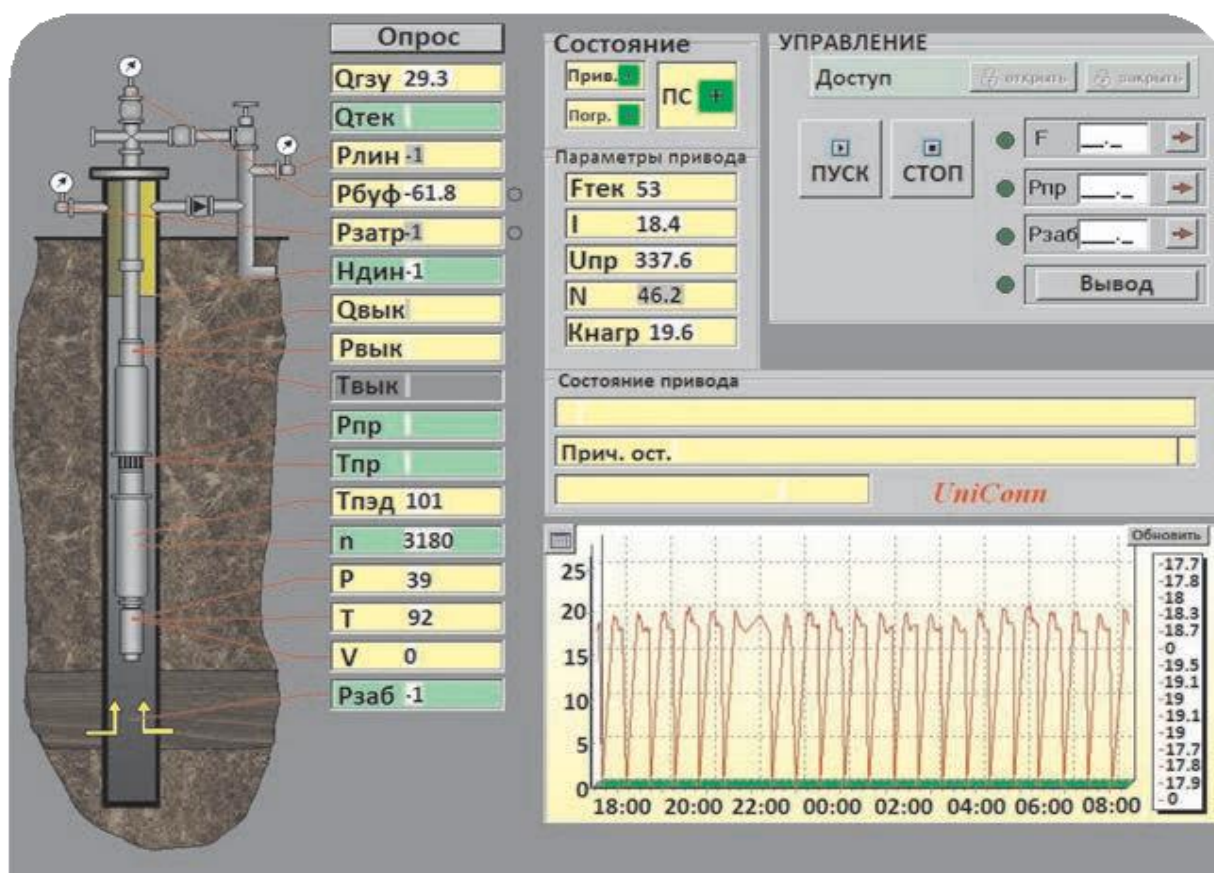


Рисунок 1.3 - Інтерфейс підсистеми контролю та управління «інтелектуальною» свердловиною

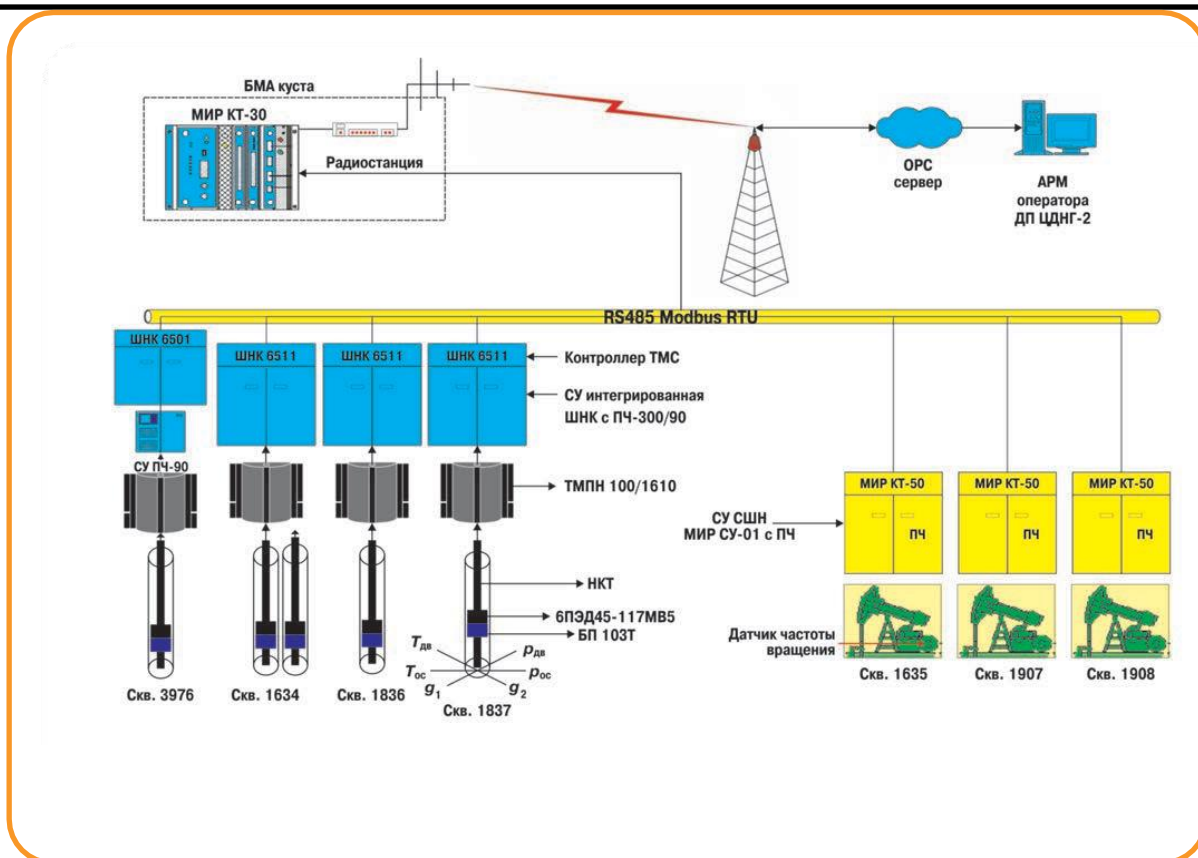


Рисунок 1.4 - Схема «інтелектуального» кущового майданчика:

БМА – блок місцевої автоматики; ШНК – станція управління електронасосами; Т – температура; р – тиск; $T_{дв}$, $T_{ос}$ - температура двигуна відповідно на режимі, що встановився, і в режимі зупинки; $p_{дв}$, $p_{ос}$ - тиск на прийомі двигуна відповідно на режимі, що встановився, і в режимі зупинки; g_1 , g_2 – газовміст на прийомі двигуна відповідно на режимі, що встановився та в режимі зупинки

Разом з тим, аналіз існуючих програмних комплексів та систем управління розробкою свідчить про те, що вони не орієнтовані на «інтелектуальне» родовище та «інтелектуальне» закінчення свердловин [13].

З появою концепції «інтелектуального» родовища та її реалізацією у формі «інтелектуальних» кущових майданчиків та «інтелектуальних» свердловин зазначені недоліки застосування ПДГМ значною мірою можуть бути усунені шляхом створення на її основі високоефективної інтегрованої системи моніторингів.

Аналіз світового досвіду створення нового та модернізації діючого технологічного обладнання показує високу динаміку розвитку регульованих

електроприводів із застосуванням автоматизованої системи керування та використанням інформаційних засобів, головними цілями якого є максимальне підвищення продуктивності технологічного обладнання та збереження споживання [8].

Система управління механізмами може бути побудована за спрощеною або складною структурою. Спрощена структура – це найчастіше застосовувана у більшості механізмів. Така система має лише щит управління без застосування будь-яких автоматизованих систем управління на малодебітних свердловинах, що дозволяють лише періодично проводити вимірювання технологічних параметрів на свердловинах операторами за допомогою переносних комплексів обладнання.

В даний час з'являється необхідність використання також складної структури управління, яка полягає у застосуванні нової станції управління для куца свердловин незалежно від типу механізму (чи то верстат-гойдалка, довгоходова насосна установка, ланцюговий привід або електрогвинтовий насос). Станцію необхідно здійснити автоматизованою та конструктивно незмінною на рівні технологічного обладнання. Єдиною змінною в даній станції може бути лише програмне забезпечення для того чи іншого механізму з великою бібліотекою програмних засобів, за допомогою яких можна вирішувати багато функціональних завдань управління технологічним обладнанням різного виробничого призначення, що, у свою чергу, призведе до мобільності станції управління.

Таким чином, метою створення та впровадження системи автоматизації свердловин, що експлуатуються механізованими способами є підвищення ефективності виробництва за рахунок [10]:

- отримання максимального допустимого обсягу інформації з технологічних об'єктів для вирішення завдань оптимального експлуатації, оперативного контролю та управління процесами видобутку та обліку продукції нафтової свердловини;

- адаптація режимів видобутку та внутрішньо-промислового збору нафти;

					КБР СІ – 19.00.000 ПЗ	Арк.
						21
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

- підвищення надійності та швидкості контролю стану технологічних засобів;
- впровадження методів математичного контролю та управління процесами технологічного характеру та об'єктами нафтовидобутку;
- вимірювання нових параметрів (у тому числі, дебіту експлуатаційних свердловин окремо по нафті, воді та газу);
- зниження трудомісткості управління технологічними процесами нафтовидобутку;
- заміни фізично та морально застарілих засобів автоматизації;
- підвищення безпеки виробництва, покращення екологічної обстановки у нафтогазовидобувному регіоні.

Контроль будь-якого технологічного процесу або об'єкта в режимі ручного або автоматичного управління можливе лише за наявності інформації про окремі характеристики, що описують процес або стан об'єкта управління. Ці параметри досить своєрідні. До них можна віднести електричні (сила струму, напруга, опір, потужність та інші), механічні (сила, момент сили, швидкість) та технологічні (температура, тиск, витрата, рівень та інші) коефіцієнти, що описують властивості та склад речовин (густина, в'язкість, електрична провідність, оптичні характеристики, кількість речовини і ін.).

Вимірювання характеристик здійснюється за допомогою найрізноманітніших технічних засобів, що мають нормовані метрологічні властивості. Технологічні вимірювання та вимірювальні прилади використовуються при управлінні (ручному чи автоматичному) багатьма технологічними процесами у різних галузях народного господарства.

Засоби вимірювань відіграють ключову роль при конструюванні сучасних автоматичних систем регулювання окремих технологічних характеристик і процесів найбільш автоматизованих систем управління процесами, які вимагають подання великої кількості необхідної вимірювальної інформації у формі, зручної для збору, подальшого перетворення, обробки і подання її, а в ряді випадків для дистанційної передачі на вищі і нижчі рівні ієрархічної структури управління і різними виробництвами [10].

					КБР СІ – 19.00.000 ПЗ	Арк.
						22
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

1.3 Загальні вимоги та функцій системи автоматичного управління роботою штангової глибино-насосної установки

Розглянемо загальні вимоги до структури системи управління розподіленими технологічними процесами (на прикладі процесу нафтовидобутку з використанням ШГНУ).

Система повинна бути виконана із застосуванням сучасних апаратно-програмних засобів та засобів захисту і сигналізації роботи технологічного обладнання, які призначені для збору, обробки та візуалізації технологічної інформації отриманої від датчиків [11,12].

Система повинна передбачати забезпечення автоматичного контролю та управління процесу видобутку, оперативного забезпечення інформацією про роботу обладнання у найбільш зручній для прийняття рішень формі, а також виконання наступних функцій:

- збирання та передачу на диспетчерський пункт інформації від контролерів системи за стандартними протоколами передачі даних;
- оперативне, автоматичне управління технологічним процесом;
- захист від несанкціонованого управління технологічним процесом;
- перетворення інформації, одержуваної з контролерів, до зручного вигляду, що відображає найменування сигналу, його поточне значення, час останнього оновлення, розмірність;
- формування бази даних фізичних об'єктів нафтопромислу з оновленням інформації у реальному часі;
- перетворення інформації з простору фізичних об'єктів (контролерів) у дані, що характеризують інформацію про технологічні об'єкти;
- захист від несанкціонованого доступу до баз даних;
- оновлення обчислюваних та розрахункових властивостей об'єктів, контроль виходу значень параметрів за технологічні та аварійні межі, забезпечення аварійної сигналізації;
- збереження тривожних та аварійних повідомлень в архіві аварій;

					КБР СІ – 19.00.000 ПЗ	Арк.
						23
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

- візуалізація технологічних процесів у цифровому та графічному вигляді;
- перегляд ретроспективної інформації з бази даних графічному вигляді;
- забезпечення АРМ фахівців поточною інформацією про стан технологічних об'єктів, зіставлення з архівними даними та інформацією суміжних систем, формування даних для моніторингу, аналізу та прийняття рішень;
- забезпечення доступу до даних реального часу з боку будь-якого комп'ютера корпоративної мережі у стандарті OPC;
- представлення даних фахівцям як екранів, звітів, трендів.

Система повинна бути розроблена відповідно до чинних державних та галузевих нормативно-технічних документів з урахуванням «Правила безпеки в нафтовій та газовій промисловості».

На нафтовидобувній свердловині, що експлуатується ШГНУ передбачений контроль за наступними параметрами: тиск у викидній лінії, розрахунковий дебіт рідини по динамограмі, діагностування стану обладнання за динамограмою, захист електродвигуна та обладнання, самозапуск обладнання після перерви в електропостачанні і т.д.

Система повинна забезпечувати виконання наступних функцій:

- дистанційний контроль за станом технологічного обладнання свердловини;
- дистанційне включення та відключення електродвигуна з диспетчерського пункту (ДП);
- програмна робота свердловини з налаштуванням алгоритмів із ДП;
- забезпечення функцій захисту електродвигуна зі спрацьовування термореле, відсутність однієї з фаз, неприпустимих відхилень напруги в мережі живлення;
- обробка інформації, що надходить на дискретні та аналогові входи;
- контроль стану електродвигуна та верстата-качалки;
- працездатність контролера від вбудованого акумулятора, при зникненні напруги живлення ~380В та передачу повідомлення про зникнення напруги живлення на об'єкті з автоматичним вимкненням при розряді акумулятора;
- автоматичне одержання динамограми;
- автоматичний аналіз несправності насосного обладнання формою динамограми;

					КБР СІ – 19.00.000 ПЗ	Арк.
						24
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

- обчислення фактичної втрати ходу (вплив газового фактора) за динамограмою;
- вимірювання періоду гойдання верстата-качалки;
- автоматичне зупинення свердловини на накопичення при зриві подачі;
- обчислення фактичного дебіту з урахуванням втрати ходу за динамограмою;
- читання електричних параметрів із частотного приводу;
- передача/прийом інформації з інтерфейсів зв'язку RS232/RS485 (протокол Modbus RTU);
- обмін даними із центральним сервером системи телемеханіки у диспетчерському пункті, за допомогою Wi-Fi точок доступу, з можливістю виконання функцій ретранслятора;
- автономна робота за відсутності зв'язку з ДП із збереженням необхідних параметрів в архівах;
- облік часу роботи свердловини;
- контроль несанкціонованого відкриття шафи КП.

Основним управляючим елементом шафи управління СУС є контролер, що забезпечує: прийом аналогових та дискретних вхідних сигналів; підрахунок імпульсних сигналів; видачу дискретних вихідних сигналів; дистанційний контроль та управління технологічним обладнанням; опитування, реєстрацію та архівування технологічних параметрів у пам'яті контролера; дистанційне конфігурування контролера. Контролер може працювати в автономному режимі цілодобово.

Вся система будується за багаторівневим ієрархічним принципом і включає:

- 1- рівень локальної автоматики;
- 2- рівень диспетчерського управління (АРМ диспетчера);
- 3- рівень корпоративного управління (АРМ спеціалістів).

На кожному рівні є свої програмно-апаратні засоби, взаємопов'язані для забезпечення наскрізного обміну інформацією між рівнями управління.

Система контролю та управління є розподіленим інформаційно-вимірювальним комплексом, що складається з уніфікованих контролерів,

					КБР СІ – 19.00.000 ПЗ	Арк.
						25
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

пов'язаних між собою за допомогою пакетного протоколу «MODBUS-RTU», сервера збору даних та АРМ диспетчера та фахівців.

Така побудова системи забезпечує:

- легку оптимізацію системи новими контролерами або переналаштування існуючих (контролери універсальні, а налаштування здійснюється програмно з диспетчерської);
- зручність в обслуговуванні та експлуатації;
- повний цикл перетворень та передачі даних від датчика на об'єкті до обробленої інформації в АРМ фахівця (спеціаліст може змінювати методи обробки та форми виведення даних з використанням різних програмних пакетів);
- робота з обслуговування та переконфігурування системи може виконуватися без зупинки опитування контролерів;
- мінімізація та достатність обсягу даних, що передаються між рівнями інформаційної системи.

Даний програмно-технічний комплекс дозволяє інтегрувати незалежно існуючі локальні системи автоматики та системи телемеханіки в єдиний комплекс уніфікованого польового обладнання, працюючого в умовах різнорідної мережі доставки інформації (дротове з'єднання, радіо зв'язок, GSM/GPRS), і зв'язати різнорідні дані для подальшої обробки.

Апаратна частина рівня локальної автоматики повинна включати контрольовані пункти об'єктів автоматизації, створені на базі контролера і мати можливість роботи з різними каналами зв'язку.

Локальні функції контролерів:

- перетворення вхідних сигналів від датчиків;
- управління виконавчими механізмами;
- контроль працездатності виконавчих механізмів;
- визначення аварійних ситуацій;
- накопичення даних та формування архіву змін параметрів (на випадок зникнення зв'язку);
- розрахунок дебітів, витрат, навантажень;

					КБР СІ – 19.00.000 ПЗ	Арк.
						26
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

- відлік часових інтервалів;
- підтримка пакетного протоколу обміну даними різними каналами зв'язку;
- обмін даними із центральним сервером телемеханіки;
- здійснення ретрансляції при пересиланні даних між мережею контролерів та центральним сервером телемеханіки.
- у системі зв'язок технічних засобів об'єктів локальної автоматики з апаратурою ДП здійснюється за Wi-Fi.

На диспетчерському пункті розташований сервер телемеханіки та АРМ диспетчера, який виконує всі функції керування мережею контролерів. Програмне забезпечення сервера веде постійне опитування контролерів по кожному з каналів зв'язку. АРМ диспетчера є програмою візуалізації технологічних процесів і дозволяє диспетчеру промислу контролювати стан і зміни, що відбуваються на всіх підключених до системи об'єктах, керувати технологічним процесом. Для диспетчера технологічні об'єкти можуть бути представлені у вигляді мнемосхем, трендів та звітів про роботу [13] (наприклад, рис. 1.5).

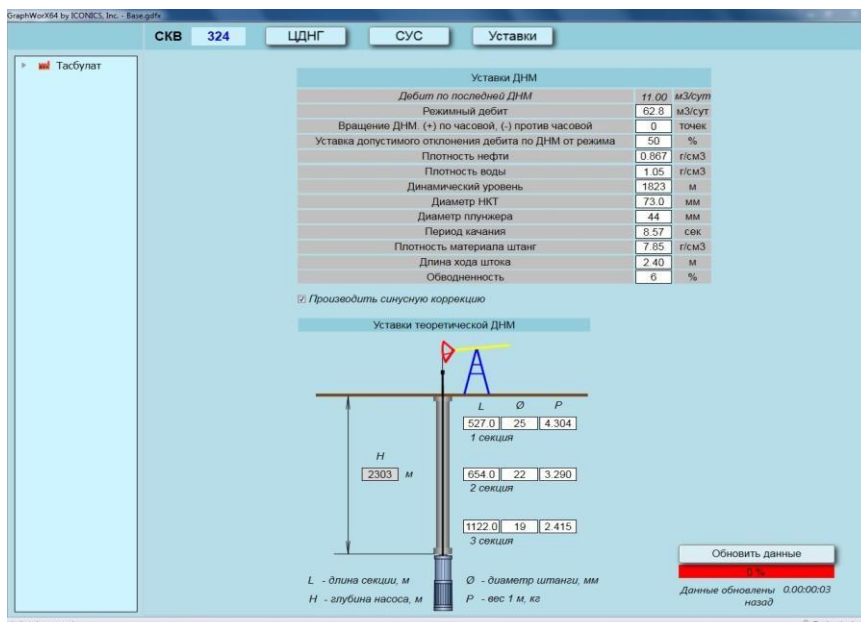


Рисунок 1.5 – Вікно «свердловина»

Система повинна бути виконана із застосуванням апаратних пристроїв захисту та сигналізації роботи технологічного обладнання, які призначені для збору, обробки та візуалізації технологічної інформації від датчиків видачі сигналів.

Основним керуючим елементом шафи управління є контролер, який забезпечує:

- прийом аналогових та дискретних вхідних сигналів;
- рахунок імпульсних сигналів;
- видачу дискретних вихідних сигналів;
- дистанційний контроль та управління технологічним обладнанням;
- опитування, реєстрацію та архівування технологічних параметрів у пам'яті контролера;
- дистанційне конфігурування контролера.

Контролер може працювати в автономному режимі цілодобово.

Ергономічне та зручне подання інформації, наявність світлової та звукової сигналізації про аварійні ситуації значно спрощує роботу диспетчера.

Терміналами служать звичайні офісні комп'ютери, підключені до мережі Інтернет, будь-який пристрій зі стандартним Інтернет-навігатором (ноутбук або Pocket-PC).

На рівні промислу передбачена можливість створення віддалених терміналів фахівців.

Для кожного фахівця організується передача тільки лишень тих даних, які йому необхідні і формується спеціалізоване подання даних у вигляді екранів та звітів.

					КБР СІ – 19.00.000 ПЗ	Арк.
						28
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

1.4 Контроль роботи штангових глибинно-насосних установок за допомогою динамометрування.

Більшість видобувного фонду свердловин нафтовидобувних підприємств України обладнується ШГНУ. Контроль за їх роботою здійснюється за допомогою динамометрування – шляхом зняття діаграми зміни навантаження на полірований шток при ході вгору і вниз [11,14-17].

Навичка читання динамограм, вміння їх правильно інтерпретувати необхідно як фахівцям технологічних служб нафтовидобувних підприємств, так і фахівцям геологічної служби.

Інженерам-технологам динамограми допомагають прийняти рішення про необхідність поточного ремонту свердловини або необхідність обробки свердловини для видалення відкладень парафіну без залучення бригади поточного ремонту свердловини.

Фахівцям геологічних служб навички читання динамограм необхідні, в першу чергу, при аналізі причин зниження дебіту свердловин. Якщо динамограма «робоча», то справа не в свердловинному насосі. Отже, необхідно переходити до пошуку «геологічних» причин зниження дебіту.

Як відомо, динамограма – це діаграма зміни навантаження на гирловий шток залежно від його переміщення [11,14]. Теоретична динамограма – це така ідеалізована динамограма, яка не враховує сили тертя, інерційні та динамічні ефекти, що виникають у реальних умовах (рис. 1.8). Через такі ефекти прямі лінії теоретичної динамограми перетворюються на хвилеподібні, характерні для реальної. Також в теоретичній динамограмі передбачається повне заповнення циліндра штангового насоса, тобто коефіцієнт подачі насоса дорівнює 1, чого в реальних умовах ніколи не буває (коефіцієнт подачі насоса зазвичай менше одиниці).

					КБР СІ – 19.00.000 ПЗ	Арк.
						29
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

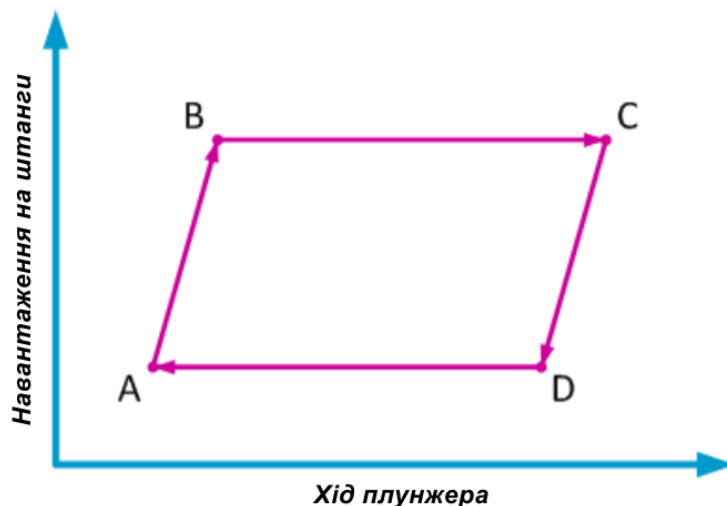


Рисунок 1.6 – Форма теоретичної динамограми

Точка А на динамограмі – це крайнє нижнє положення плунжера насоса. Відрізок АВ – хід вгору полірованого штока. При цьому відбувається деформація (розтяг) штанг, але плунжер насоса все ще знаходиться в крайньому нижньому положенні. Відрізок ВС – хід вгору полірованого штока та плунжера насоса.

Точка С – крайнє верхнє положення плунжера насоса. Відрізок CD – хід униз полірованого штока. При цьому відбувається деформація (стиснення) штанг, але плунжер насоса все ще знаходиться у крайньому верхньому положенні. Відрізок DA – хід вниз полірованого штока та плунжера насоса.

Ліва частина динамограми характеризує роботу насоса при знаходженні плунжера в нижньому положенні і відповідно роботу всмоктувального клапана насоса. Права частина динамограми – роботу насоса при знаходженні плунжера у верхньому положенні та відповідно роботу викидного клапана насоса [14,16].

Динамограф зчитує інформацію залежно від положення плунжера (рис. 1.7).

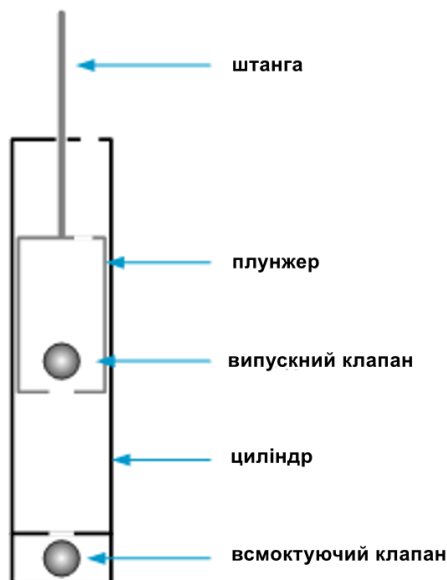


Рисунок 1.7 – Схема плунжерного насоса

Маючи динамограму роботи насоса, можна розрахувати дебіт рідини свердловини. Динамограф, яким і знімають динамограми, видає в тому числі й інформацію про кількість качань (у хвилину) верстата-качалки та довжину ходу плунжера. Знаючи який насос спущений у свердловину, можна розрахувати дебіт. Формула для розрахунку теоретичного дебіту рідини представлена нижче:

$$Q_T = 1140 \times \pi/4 \times L \times N, \quad (1.1)$$

де Q_T – дебіт рідини (теоретичний), м³/добу; D – діаметр плунжера, м;
 L - довжина ходу, м; N - число коливань, кач. / хв.

Довжину ходу та кількість качань динамограф видає разом з динамограмою. Діаметр плунжера зазвичай вказаний у назві насоса. Для того, щоб отримати фактичний дебіт рідини, необхідно отриманий за формулою результат помножити на коефіцієнт подачі насоса η , який менше одиниці.

Приклад реальних динамограм. Фактичні динамограми мають безліч форм і різновидів. Нижче представлені наступні приклади динамограм: класична картина динамограми оптимальної роботи (рис. 1.8), динамограма нормальної роботи насоса (рис. 1.9), вплив газу, неповне заповнення плунжера (рисунок

					КБР СІ – 19.00.000 ПЗ	Арк.
						31
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

1.10), обидва клапани не працюють (рис. 1.11), обрив плунжера насоса (рис. 1.12), динамограми при обриві або відвороті штанг (рис.1.13), динамограма при виході плунжера із циліндра насоса (рис. 1.14) і вид динамограми при відкладення парафіну (рис. 1.15).

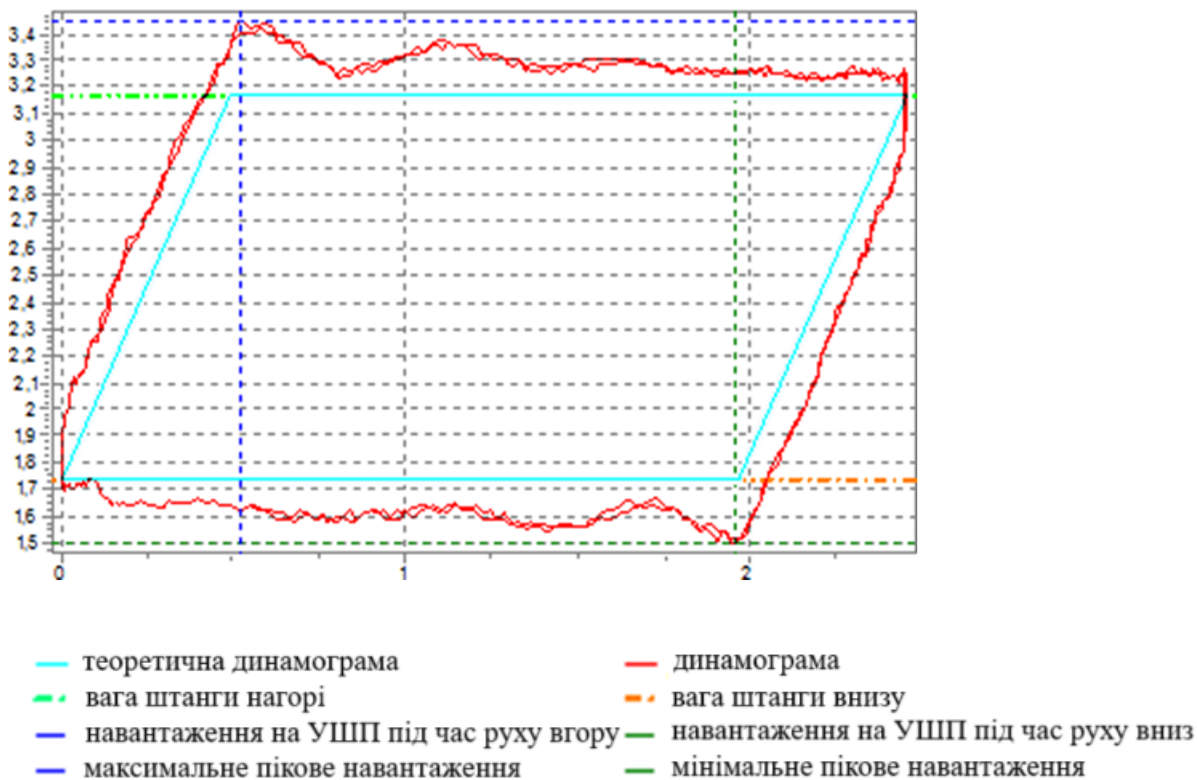


Рисунок 1.8 – Вид класичної динамограми при оптимальній роботі насоса

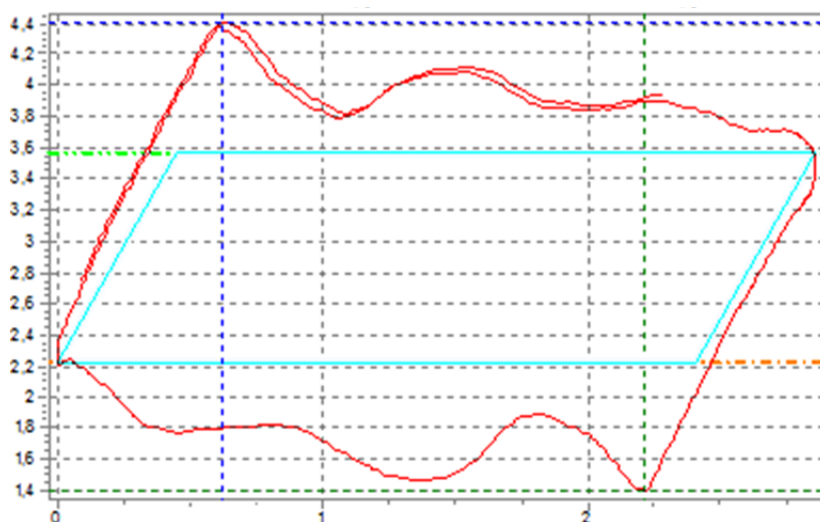


Рисунок 1.9 – Вид динамограми при нормальній роботі насоса

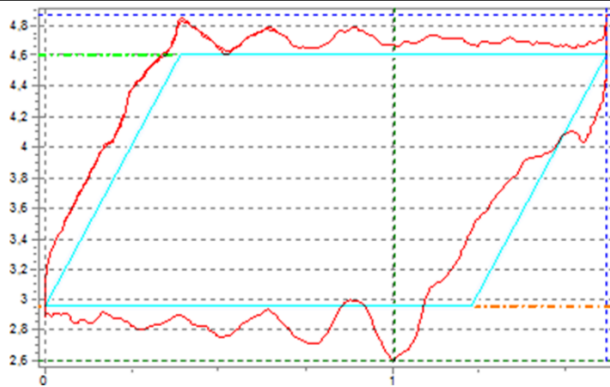


Рисунок 1.10 – Вид динамограми при принаявності газу в насосі насоса

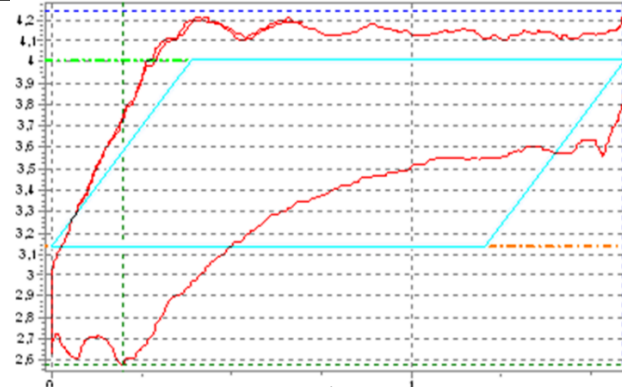


Рисунок 1.11- вид динамограми неповному заповненні плунжера

Карта поверхового динамометра (Surface dynamometer card) – це графік вимірювання навантаження на штоці насоса від довжини його ходу. Навантаження зазвичай відображається в фунтах, а положення зазвичай у дюймах

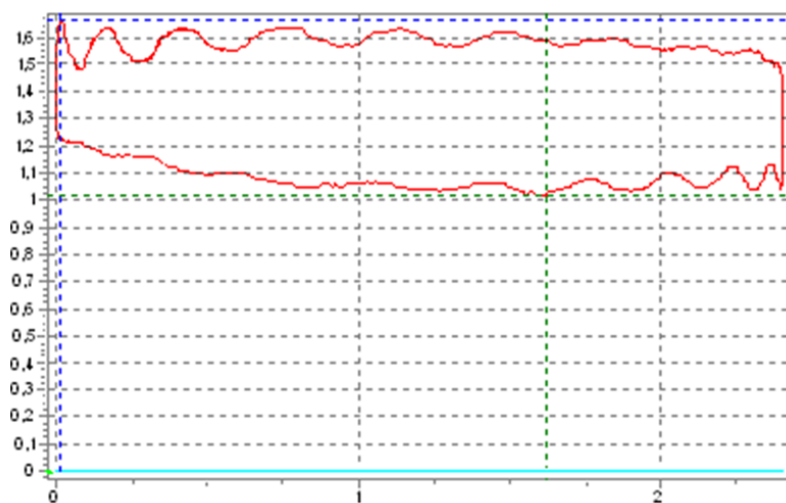


Рисунок 1.12 – Вид динамограми при обох непрацюючих клапанах

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата
-----	------	----------	-------	------

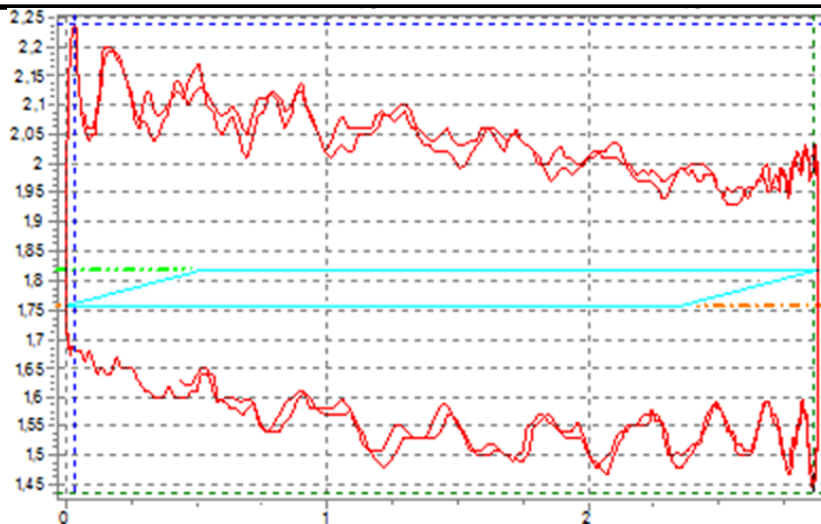


Рисунок 1.13 – Вид динамограми при обриві або відвороті штанг

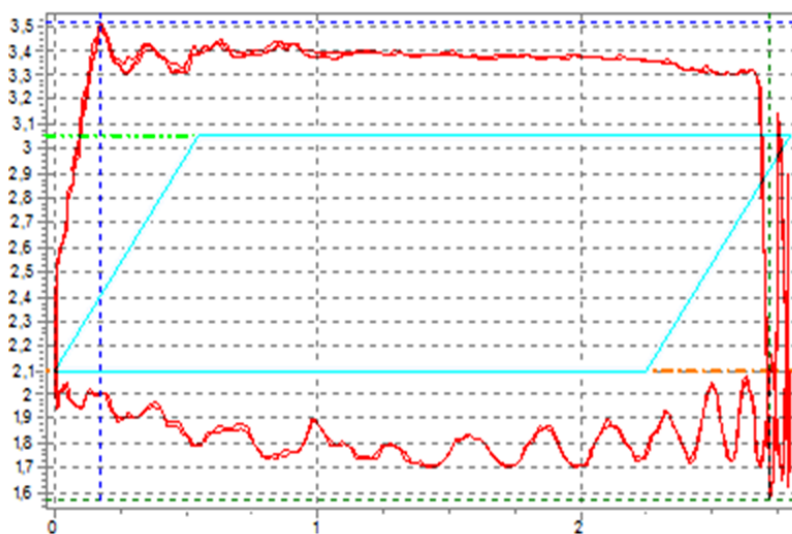


Рисунок 1.14 – Вид динамограми при виході плунжера із циліндра насоса

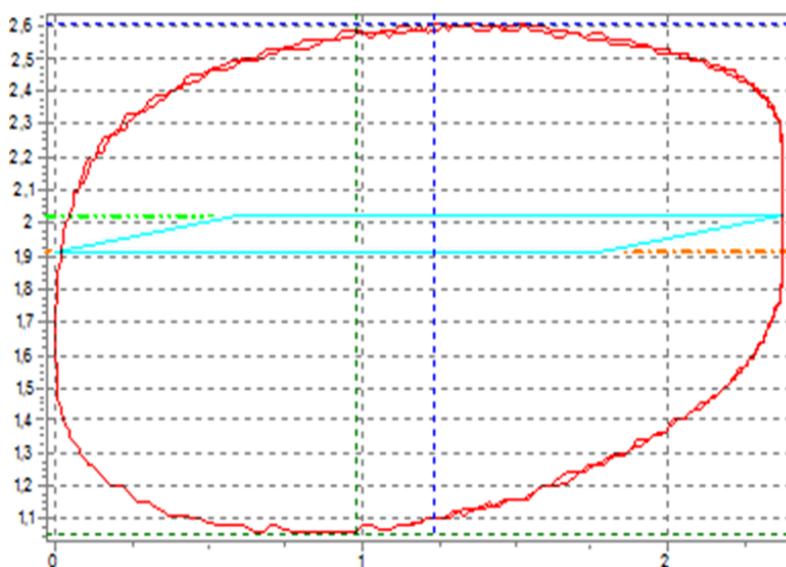


Рисунок 1.15 - Вид динамограми при наявності відкладень парафіну.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата

1.5 Контроль роботи штангових глибинно-насосних установок за допомогою ватметрування.

При автоматизації роботи ШГНУ переважно використовують два методи: динамометрування та ватметрування. Перший метод дозволяє контролювати, переважно, роботу глибинного устаткування, а другий – наземного [11,15]. До наземного обладнання ШГНУ відносяться електродвигун, клинопасова передача, редуктор і верстат-качалка з врівноважуючими вантажами.

До переваг ватметрування необхідно віднести такі фактори, як простота вимірювання (потрібна установка тільки вимірювальних трансформаторів струму і напруги на фазах двигуна, а в сучасних системах управління – частотного перетворювача) і можливість вести облік споживаної електроенергії (станції управління можуть бути інтегровані в системи комерційного і технічного обліку електроенергії).

Аналіз ватметрограм дозволяє визначати такі параметри, як ступінь врівноваженості та ККД ШГНУ, діагностувати обрив ременів та насосних штанг, виявляти удари у кінематиці верстата-качалки.

Історично метод ватметрування почав застосовуватися раніше динамометрування при аналізі режимів роботи свердловин, так як для вимірювання зусилля на полірованому штоку були потрібні спеціальні датчики. Однак використання ватметрування донедавна стримувалося обчислювальними можливостями контролерів.

В [11,15] була розроблена методика математичної обробки ватметрограм ШГНУ, спеціально орієнтована на використання мікроконтролера.

Вихідними параметрами для аналізу є точки масиву миттєвих значень активної потужності за один період качання верстата-качалки. Слід зазначити, що з масивів миттєвих значень струму та напруги можуть бути отримані наступні параметри: активна, реактивна та повна потужності, коефіцієнт потужності, значення струмів, що діють, і напруг по кожній фазі.

					КБР СІ – 19.00.000 ПЗ	Арк.
						35
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Обробка ватметрограми починається з побудови згладженого графіка. Для оцінки вібраційної та ударної складових обчислюються середнє значення, дисперсія та середньоквадратичне відхилення.

За вібраційну складову береться середньоквадратичне відхилення. За ударну складову приймається максимальне відхилення миттєвого значення вихідної та згладженої ватметрограм. Далі проводиться побудова спектра ватметрограми. Для побудови спектру з масиву забирається постійна складова шляхом пропускання через ФВЧ. Побудова спектра ватметрограми показано на рис. 1.16.

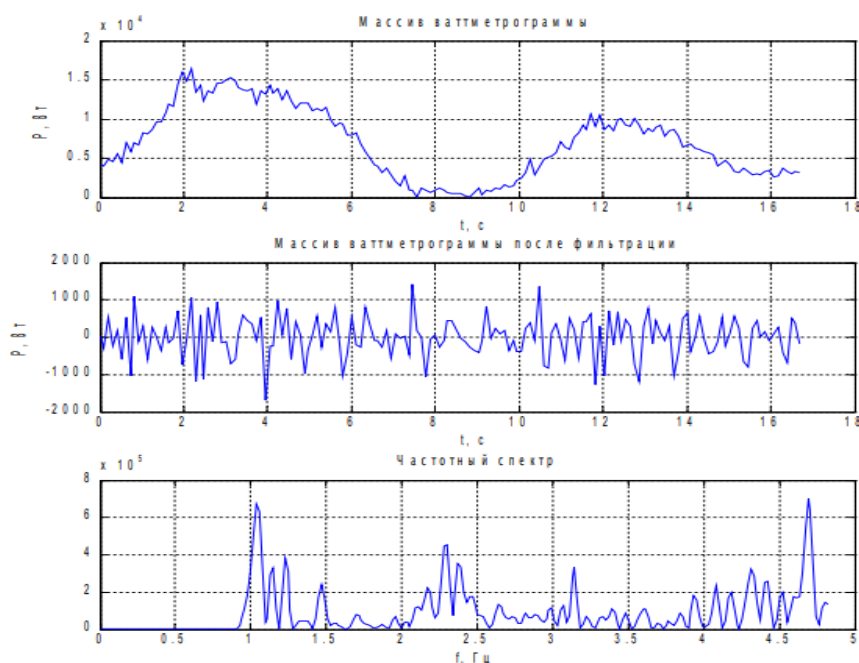
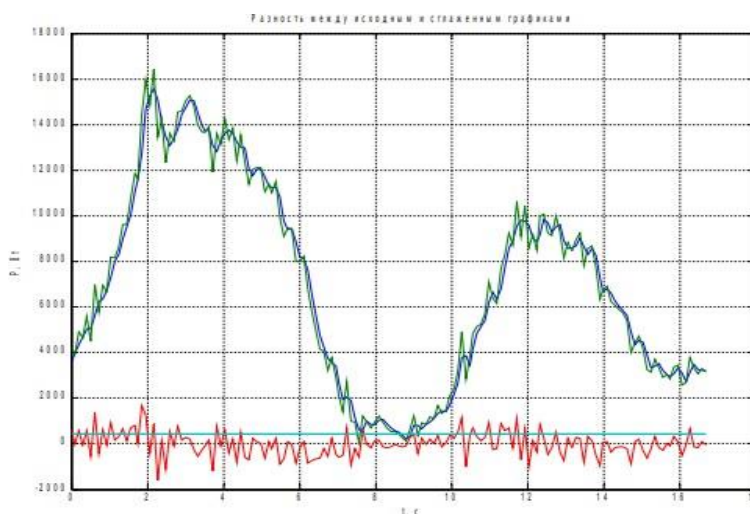


Рисунок 1.16 – Графіки побудови спектра ватметрограм

При аналізі інформативне значення мають максимальна частота спектра, частота максимуму спектра, наявність та кількість піків. За спектром можна діагностувати дефекти зубчастої передачі редуктора, підшипників, елементів верстата-качалки, недостатній рівень масла.

На рис. 1.17 показано вихідний та згладжений графіки, а також їх різницю. Прокреслюється лінія енергії шумової складової сигналу. За характером



шумової

Рисунок 1.17 – Графіки вихідних і згладжених ватметрограм

складової сигналу можна виявляти динамічні удари в елементах приводу верстата-качалки.

Для обчислення збалансованості ШГНУ проводиться порівняння енергій, що витрачаються під час рухів штока вгору і вниз. Енергія відповідає площі під кривою зміни потужності. Коефіцієнт збалансованості дорівнює відношенню цих енергій, при ідеальній збалансованості коефіцієнт дорівнюватиме одиниці. Для розрахунку ККД установки знаходяться енергії: споживана з мережі, що йде на подолання сил тертя в наземному устаткуванні та передана полірованому штоку (рис. 1.18)

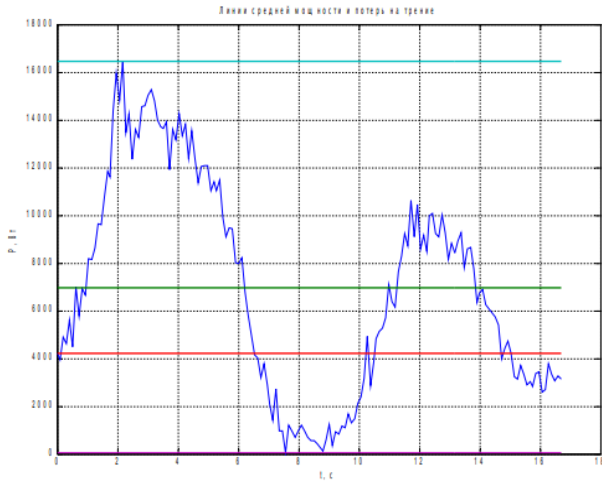


Рисунок 1.18 – Графіки ватметрограм с лініями середньої потужності і втратами на тертя полірованого штока

Енергія, що споживається з мережі, це площа фігури під кривою ватметрограми за цикл качання (сума миттєвих значень потужності, помножена на дискретність вимірювань за часом). Енергія, що витрачається на подолання сил тертя, відповідає постійній потужності, що складається, за цикл качання. Енергія, що витрачається на підняття штангової колони і газо- рідинної суміші в насосно-компресорних трубах, а також на підйом противаги визначається як площа «горбів» ватметрограми, або різниця енергій - споживаємої з мережі і витрачаємої на подолання сил тертя.

ККД ШГНУ визначається як відношення енергії, переданої на полірований шток, до енергії, що споживається з мережі. Для підвищення наочності можна побудувати тривимірні графіки спектрів. Масив ватметрограми при цьому розбивається на ряд відрізків, зміщених один відносно одного на одну точку, і спектри цих відрізків розташовуються один за одним - тривимірні спектри чотирьох ватметрограм.

Тривимірне зображення спектру ватметрограм дає можливість оцінити вібраційні та ударні коливання навантажень (рис. 1.19). Так як на свердловинних

ватметрограмах відсутні удари - маємо відносно рівний і плавний спектр. Якщо на ватметрограмі має місце удар в кінці періоду качання, то на спектрі чітко видно,

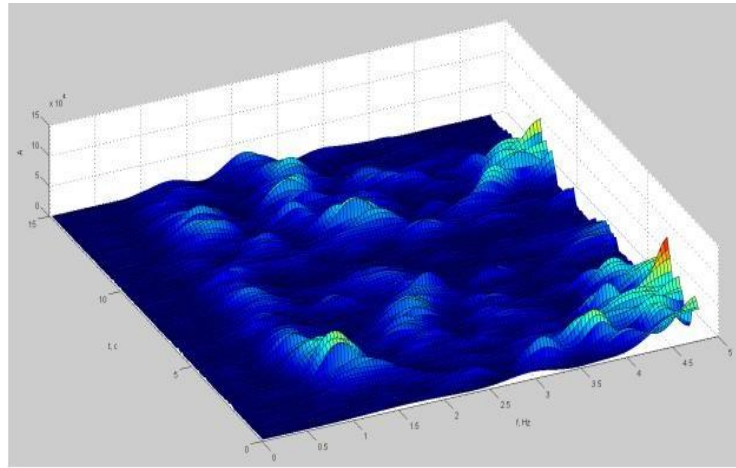


Рисунок 1.19 – Свердловинна ватметрограма та її тривимірний спектр.

що наприкінці періоду мають місце коливання.

За результатами проведених досліджень можуть бути зроблені наступні висновки:

- для здійснення комплексного контролю за станом і режимом роботи ШГНУ необхідно, щоб комплекс технічних засобів системи автоматичного управління роботою ШГНУ дозволяв записувати як динамограми, так і ватметрограми;

- ватметрування є ефективним способом контролю за станом наземного обладнання – вузлами верстата-качалки і її електроприводу;

- ватметрування дозволяє з високим ступенем достовірності оцінити збалансованість верстата-качалки, а також розрахувати коефіцієнт корисної дії свердловинного насоса;

- аналіз спектра ватметрограм дозволяє визначати вібраційні та ударні навантаження, що дає можливість діагностувати дефекти редуктора та підшипників.

Для визначення збалансованості верстата-качалки проводиться порівняння енергій, витрачених при ході полірованого штока вгору та вниз. Енергія відповідає площі під кривою зміни потужності. Коефіцієнт збалансованості дорівнює відношенню цих енергій, при ідеальній збалансованості коефіцієнт дорівнюватиме одиниці.

Енергія, що споживається з мережі, це площа фігури під кривою ватметрограми за цикл качання (сума миттєвих значень потужності, помножена на дискретність вимірювання).

					КБР СІ – 19.00.000 ПЗ	Арк.
						40
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

2. РОЗРОБЛЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ ШГНУ НА БАЗІ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

2.1 Передумови застосування штучного інтелекту в системах автоматизації технологічних процесів.

Використання штучних нейронних мереж у сфері автоматизації технологічних процесів супроводжується необхідністю вирішення низки задач, характерних для побудови інтелектуальних систем керування. Зокрема, це питання, пов'язані зі структурним і параметричним синтезом нейромережі [18,19]. На етапі структурного синтезу визначають архітектуру мережі, типи активаційних функцій нейронів і алгоритм навчання. Параметричний синтез передбачає безпосередньо процес навчання нейронної мережі, який зазвичай здійснюється методами градієнтної оптимізації, наприклад, алгоритмом зворотного поширення помилки та його варіаціями. Слід зазначити, що саме ця фаза є найбільш ресурсоємною, оскільки на неї припадає від 50 до 90% загального часу розв'язання задачі.

У процесі навчання, базуючись на експериментальних чи інших даних, формують дві окремі підмножини, які, як правило, утворюються послідовно. Перша з них — це навчальна вибірка, що слугує для тренування нейромережі. Друга — контрольна або тестова вибірка — не бере участі у навчанні й використовується виключно для оцінки ефективності роботи мережі.

Варто підкреслити, що структура вхідних даних визначає розмірність вхідного шару нейронної мережі й суттєво впливає на кінцевий результат. Якість, обсяг і репрезентативність навчального й тестового наборів значною мірою визначають тривалість навчання мережі та величину остаточної похибки. Таким чином, формування навчальних даних є тісно пов'язаним із навчанням нейромережі й має ітеративний характер: на

					КБР СІ – 19.00.000 ПЗ	Арк.
						41
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Ключовою ознакою для класифікації нейронних мереж виступає їхня структурна організація. Від правильного вибору структури залежить ефективність функціонування всієї системи. Архітектура мережі визначається відповідно до поставлених завдань, з урахуванням усіх релевантних факторів і розуміння принципів роботи майбутньої системи. Серед основних структур, що застосовуються для автоматизації керування технологічними процесами та об'єктами, виділяють нейронні мережі прямого поширення (НМПП, англ. feed-forward neural networks – FFNN) [18,20] і рекурентні нейронні мережі (РНМ, англ. recurrent neural networks – RNN) [18,19,21], які мають зворотні зв'язки (рис. 2.2).

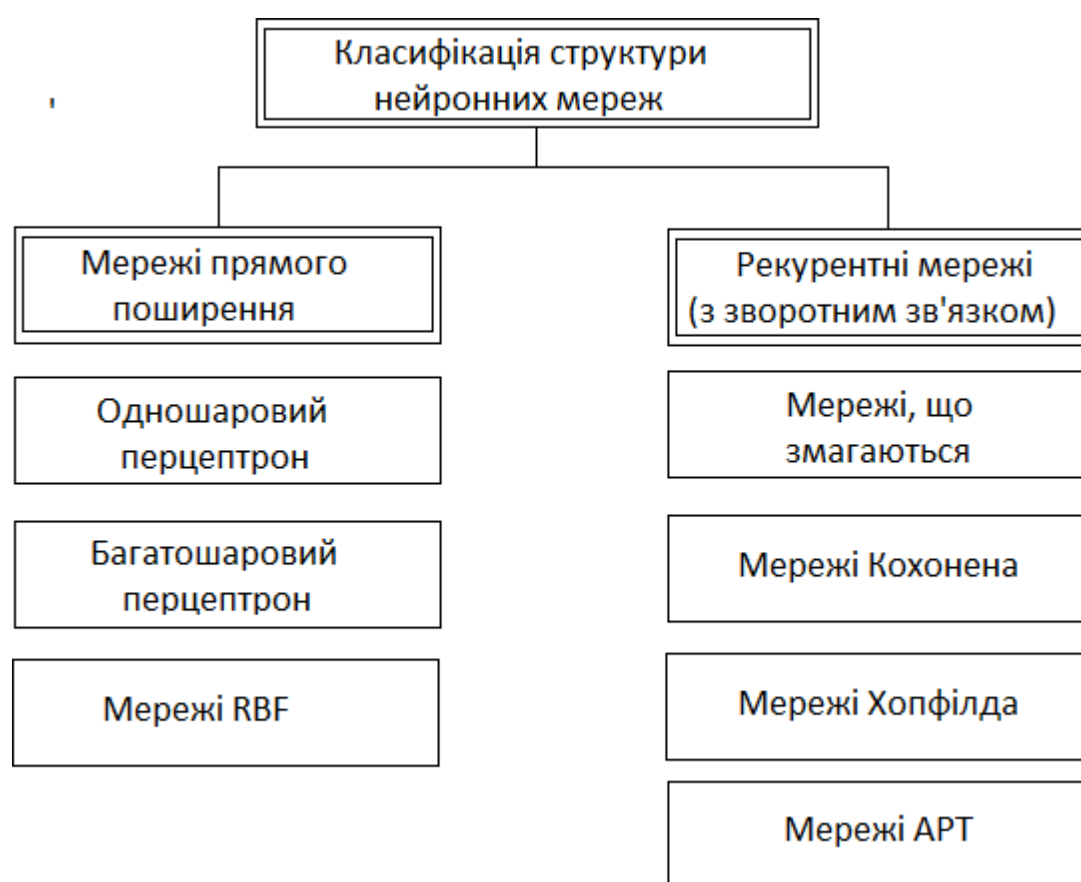


Рисунок 2.2 - Класифікація нейронних мережі за їх структурою.

У штучних нейронних мережах із прямою передачею сигналу зв'язки спрямовані від вхідного шару до вихідного. Така структура включає вхідний шар, один або декілька прихованих шарів і вихідний шар. Навчання зазвичай

здійснюється із використанням алгоритму зворотного поширення помилки, для чого формуються пари: вхідний вектор і очікуваний результат. У процесі навчання на мережу подається набір вхідних даних, а отриманий на виході результат порівнюється з еталонним значенням.

На відміну від мереж із односпрямованою структурою, рекурентні нейронні мережі мають зворотні зв'язки між вихідними та вхідними сигналами. Завдяки цим зворотним зв'язкам зміни на входах окремих нейронів впливають на загальний стан мережі. Динаміка роботи рекурентних мереж описується диференціальними або різницевиими рівняннями першого порядку, що суттєво розширює їх функціональні можливості й підходи до навчання. Така архітектура дозволяє аналізувати не лише окремі набори даних, а й динамічні процеси, що є актуальними для задач керування об'єктами із змінними параметрами. Для навчання рекурентних мереж застосовують модифікований алгоритм зворотного поширення помилки, який враховує наявність зворотних зв'язків. Основними недоліками цього типу мереж є ускладнений процес навчання та підвищені вимоги до обсягу вхідних і вихідних даних. Невдалий вибір способу подання інформації може призвести до збоїв у навчанні або збільшення похибки результатів.

					КБР СІ – 19.00.000 ПЗ	Арк.
						44
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

2.2 Основні контрольовані параметри при управлінні ШГНУ

Одним із найбільш ефективних способів регулювання режимів роботи ШГНУ є частотне регулювання швидкості обертання електродвигунів верстата качалки. При розробці системи управління ШГНУ найбільший інтерес становлять вимоги до продуктивності та економії електроенергії. Що досягається у сукупній роботі автоматизованих групових вимірювальних установок із частотним регулятором. У цій системі частотний регулятор працює у трьох режимах управління залежно від вмісту нафти у рідині.

Управління автоматичною системою управління ШГНУ здійснюється з використанням контролю за її наступними параметрами [11,12]:

- подачею свердловинного насосу.

При переміщенні плунжера вгору на величину його ходу витражається об'єм рідини:

$$q_1 = S_n \times (F - f), \quad (2.1)$$

де F - площа перерізу плунжера (або циліндра насоса);

f – площа перерізу штанг гри переміщенні плунжера вниз на ту саму величину;

S_n витісняється додатковий об'єм рідини.

За повний (подвійний) хід плунжера подача насоса дорівнює сумі подач за хід вгору та хід вниз:

$$q = q_1 \times q_2 = S_n \times (F - f) + S_n \times f = F \times S_n. \quad (2.2)$$

Якщо плунжер робить n ходів на хвилину, то хвилинна подача дорівнюватиме (q_n). Помножуючи на число хвилин на добу, отримаємо добову подачу в об'ємних одиницях:

$$Q = F \times S_n \times n \times 60 \times 24 = 1440 \times F \times S_n \times n. \quad (2.3)$$

Тому формулу (2.3) замість S_n підставляють S , у своїй виходить так звана теоретична подача ШГН:

$$Q = 1440 \times F \times S \times n; \quad (2.4)$$

2) частота обертів двигуна

Частота обертів двигуна визначається за такою формулою:

$$\omega = \sqrt{\omega_{ном}^2 (H - bQ_{зад}^2)/c}; \quad (2.5)$$

					КБР СІ – 19.00.000 ПЗ	Арк.
						45
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

3) витрата електроенергії

Для визначення об'ємного питомого енергоспоживання установки слід енергію W , що споживається з мережі за час T , розділити на обсяг видобутої нафти за той самий час:

$$W_{\text{нит.об}} = W / Q_{\text{год}} \times T \quad (2.6)$$

де W - енергія, що споживається з мережі, кВтгод; T – час, год;

$W_{\text{нит.об}}$ – об'ємна питома витрата електроенергії, кВтгод/м³;

$Q_{\text{год}}$ - об'ємний годинний дебіт по рідині, м³/год.

Для визначення масового питомого енергоспоживання установки ШГН енергія W , що споживається з мережі за час T , наводиться до масового дебіту по нафті $Q'_{\text{год}}$:

$$W_{\text{нит.м}} = W / Q'_{\text{год}} \times T, \quad (2.7)$$

де $W_{\text{нит.м}}$ - масова питома витрата електроенергії, кВтг/т;

$Q'_{\text{год}}$ - часовий масовий дебіт нафти, т/год.

2.3 Математична модель штангової глибинно- насосної установки

					КБР СІ – 19.00.000 ПЗ	Арк.
						46
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Розглянемо модель свердловинного насоса, з урахуванням закону руху полірованого штока [14,22]:

$$U(t) = 1/2 L (1 + \sin 2\pi t/T) \quad (2.8)$$

де L - довжина штока;

T – період качань;

t -поточний час.

Подамо модель за допомогою програмного забезпечення Matlab та середовища simulink, при використанні спеціальних блоків з урахуванням формули (рис. 2.1).

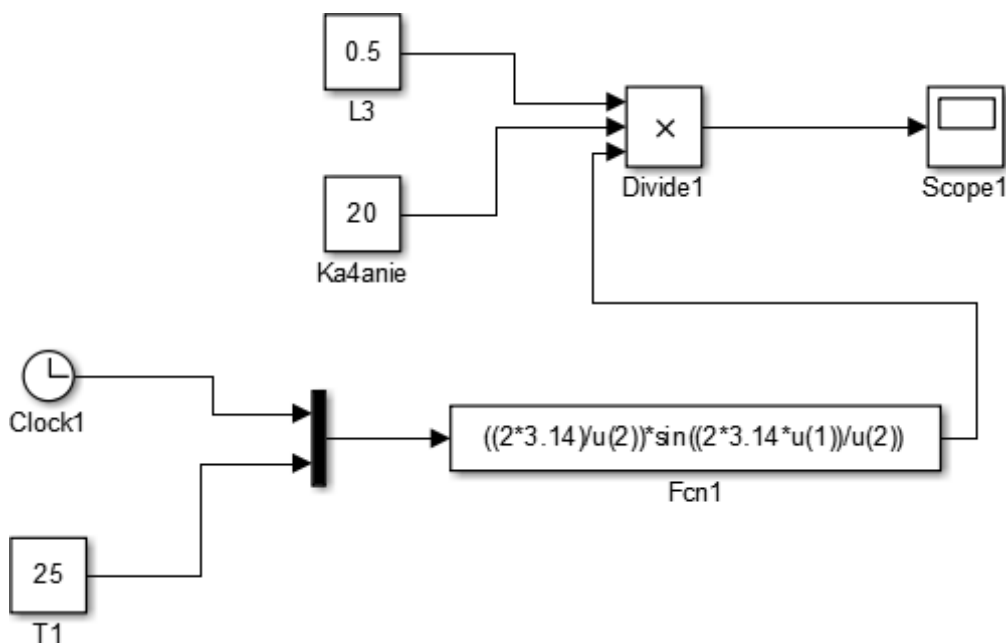
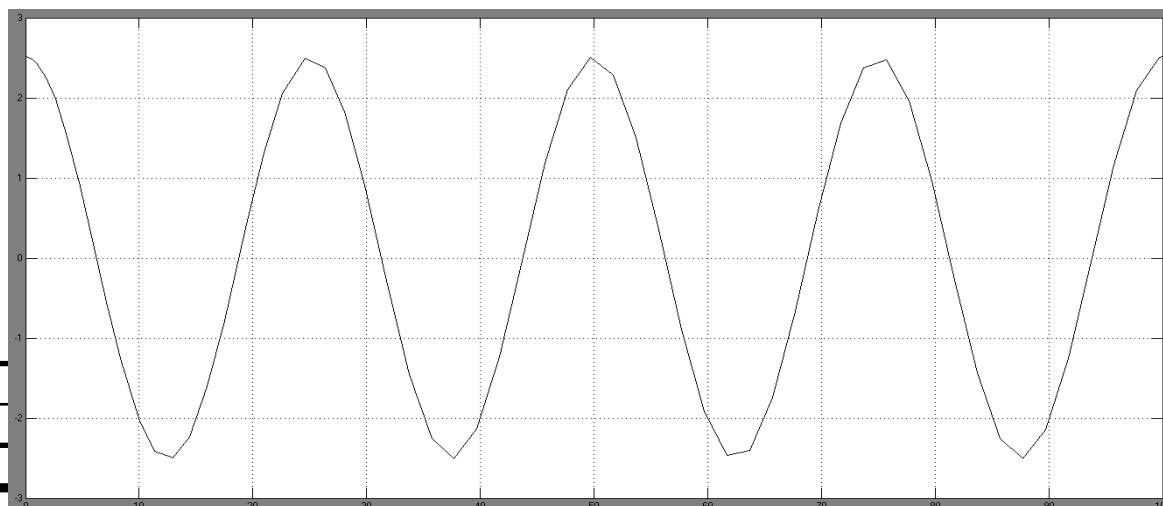


Рисунок 2.1 – Модель руху полірованого штока ШГНУ

Довжина штока у блоці представлена у вигляді блоку константи, в якій



записано значення. Період коливань так само у вигляді константи. Поточний час у вигляді блоку часу, де прописано час регулювання. Потім прописуємо закон руху у блоці *fcn*. Далі виводимо вихід у scope для перегляду процесу руху штока (рис. 2.2).

Рисунок 2.2 – Графік процесу руху полірованого штока

Далі розглянемо положення полірованого штока, взявши похідну від рівняння руху:

$$U'(t) = 1/2 L (1 + \cos 2 \pi t / T) \quad (2.9)$$

Складемо за цією формулою блок-діаграму для розгляду положення полірованого штока (рис. 2.3).

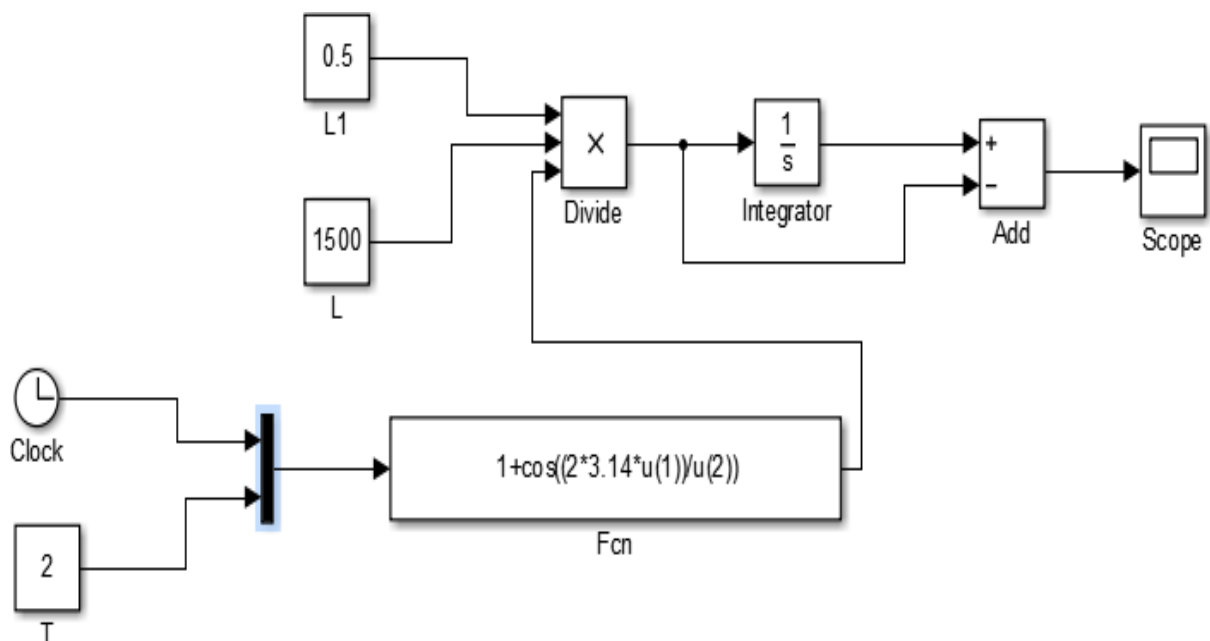


Рисунок 2.3 – Закон зміни положення полірованого штока

І виводимо вихід у score для перегляду процесу руху штока (рис. 2.4).

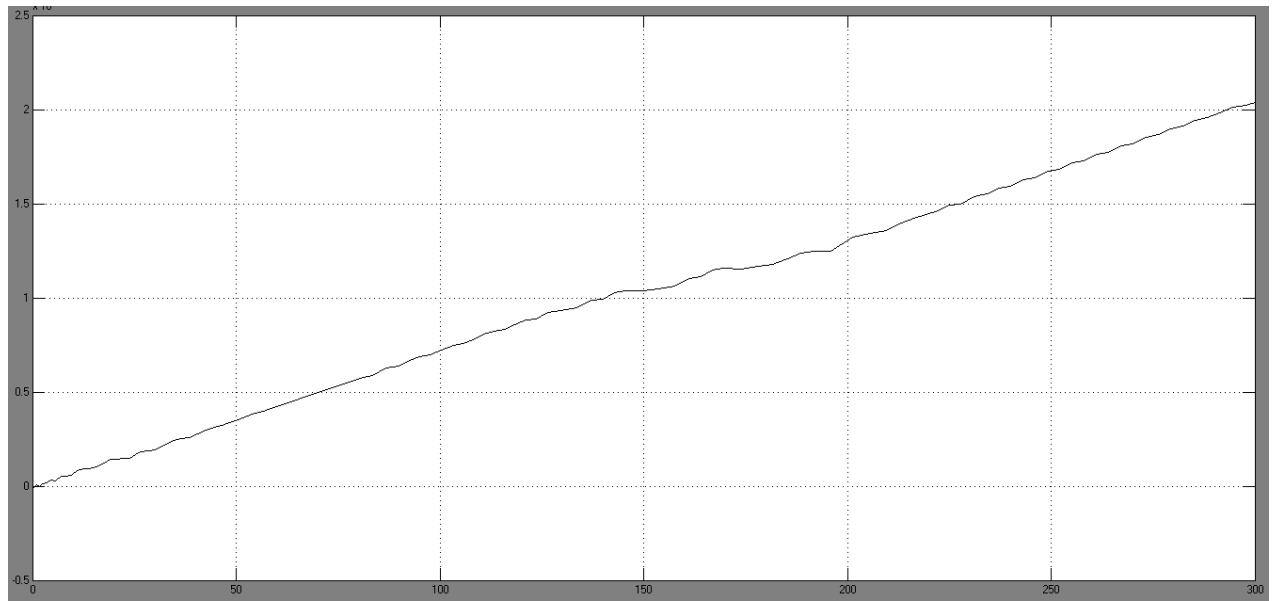


Рисунок 2.4 – Процес зміни положення полірованого штока

Далі запишемо рівняння, що описують роботу ШГНУ

$$F_1 = F_A + C_1(Z_1 - Z_2), \quad (2.10)$$

де $F_A = mg(1 - \rho_p/\rho_{ст})$ – архімедова сила, що діє на рухомі частини установки з боку свердловинної рідини.

Тиск (вакуум) p_0 в робочій камері насоса під час плунжера вгору залежатиме від динамічного рівня рідини в затрубному просторі:

$$p_0 = H_{дин} - \rho g - \Delta_{рв.к}. \quad (2.11)$$

Таким чином, при подальшому розвитку рівняння (2.11) можна отримати рівняння розгазування в робочій камері насоса, як наслідок, обчислення коефіцієнта наповнення насоса.

Координата переміщення штангової колони визначатиметься формулою:

$$Z_3 = (p_0 f_{н.вн} - p_3 f_{н.н} - (p_3 - \rho g l_{нас})(f_{нкт} - f_{н.н}))/C_2, \quad (2.12)$$

при «верхньому кріпленні» насоса в посадковому сідлі:

$$Z_3 = (p_0 f_{н.вн} - p_3 f_{нкт})/C_2 \quad (2.13)$$

При «нижньому кріпленні» насоса в посадковому сидлі витрата рідини через всмоктувальний клапан визначатиметься рівнянням витрати:

$$Q_0 = \mu_{в.к} \times \sqrt{2(p_3 - p_0) / \rho} \quad (2.14)$$

Це і буде витрата, що йде на заповнення робочої камери насоса.

$$Z_0 = Z_2 - Z_3. \quad (2.15)$$

Запишемо баланс сил під час плунжера вгору:

$$F_1 - mg(1 - \rho / \rho_{cm}) - pg(L_{cn} - Z_2) f_{nl} - p_0 f_{nl.n} - F_{тр} = m d^2 Z_2 / dt^2 \quad (2.16)$$

Таким чином, ми отримали всі рівняння для вирішення задачі знаходження кількості рідини, що надходить у робочу порожнину насоса під час руху плунжера вгору.

Запишемо баланс витрат під час руху плунжера вгору:

$$Q_{nl} = Q_0 - Q_{cm} - Q_n, \quad (2.17)$$

де Q_{nl} – витрата рідини через отвір у плунжері насоса, м³/с, що визначається рівнянням:

$$Q_{nl} = dZ_2 / dt f_{o.nl}, \quad (2.18)$$

де Q_0 – витрата, що викликається ефективним переміщенням Z_0 , м³/с,

визначається рівнянням $Q_0 = dZ_2 / dt f_{н.вн}$;

Q_{cm} – втрати витрати на стисливість рідини, м³/с,

визначаються рівнянням $Q_{cm} = f_{н.вн} dp_0 / dt / C_{cm}$

Q_n – перетікання рідини через зазор плунжерної пари, м³/с:

$$Q_n = \frac{dZ_2}{dt} f_{з.п.п} = \mu_{п.п} \times \sqrt{\frac{2(p_3 - p_0)}{\rho}}. \quad (2.19)$$

Таким чином, отримано всі рівняння для теоретичного аналізу подачі УШГН.

Далі визначаємо переміщення плунжера штангової глибинно-насосної установки.

На основі отриманих рівнянь, перетворених за Лапласом, опускаючи проміжні перетворення, можна отримати підсумкову передатну функцію переміщення плунжера:

					КБР СІ – 19.00.000 ПЗ	Арк.
						50
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

$$W_o(s) = \frac{Z_2}{Z_1} = \frac{C_1(C_2+m_2S^2)-C_1}{\left(1+f_{ц}\left[\frac{f_{п}f_{ц}\rho S^2\left(\frac{1}{K_{н.к}}+\frac{1}{K_{п}}\right)}{f_{ц}S\left(\frac{1+f_{ц}^2\rho S\left(\frac{1}{K_{н.к}}+\frac{1}{K_{п}}\right)}{C_{ж}}\right)}\right]-C_1+mS^2\right)\times(C_2+m_2S^2)-C_1+mS^2}, \quad (2.20)$$

де C_1 – жорсткість колони штанг;

C_2 – жорсткість колони НКТ;

C_m – жорсткість свердловинної рідини;

S_2 – оператор Лапласа; m - маса колони;

m_2 – маса колони;

f_n – площа прохідного перерізу плунжера;

$f_{ц}$ - площа циліндра ШГН;

ρ – густина свердловинної рідини;

$K_{н.к}$ – коефіцієнт лінеаризації втрат тиску в нагнітальному клапані ШГН, $m^2/(c \times Pa)$;

K_n – коефіцієнт лінеаризації втрат тиску у прохідному каналі плунжера, $m^2/(c \times Pa)$.

Далі підставивши параметри штангового глибинного насоса отримуємо передатну функцію з параметрами:

$$W(s) = 2,10000 S^2 + 3,15 / 18000000 S^4 + 52052 S^2 + 4838$$

Потім вводимо отримані ці значення блок transfer Fcn в matlab щоб отримати графік (рис.2.5).

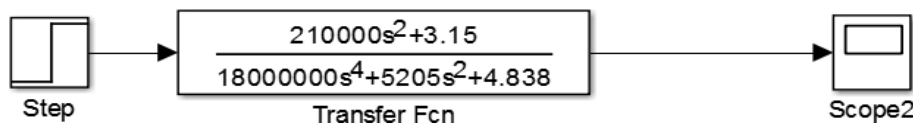


Рисунок 2.5 – Функція передачі переміщення плунжера

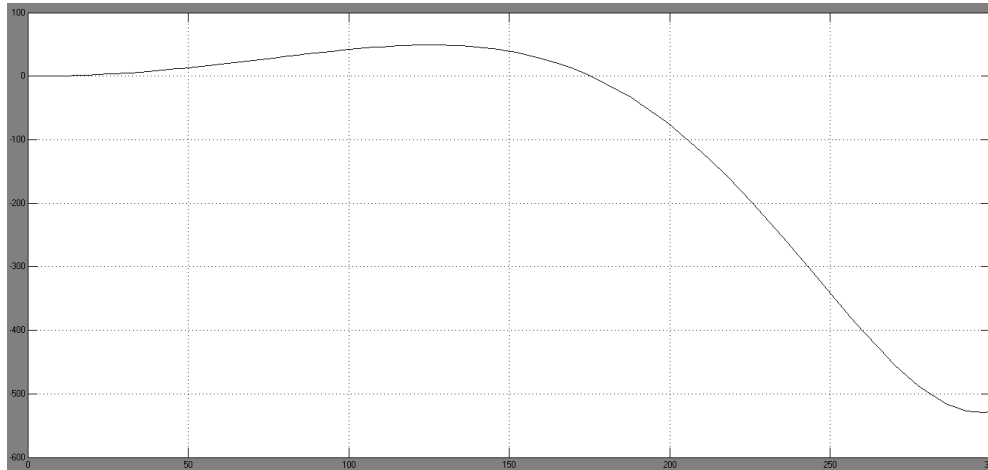


Рисунок 2.6 – Перехідний процес переміщення плунжера

2.4 Функціональна схема системи автоматичного управління роботою ШГНУ

Функціональна схема автоматизації – креслення, засноване на технологічному процесі. У схемі позначено датчики, устаткування залежні від технологічного комплексу.

Функціональна схема розробляється на підставі вихідних матеріалів щодо створення АСУТП [12] та в першу чергу матеріалів технологічного регламенту або окремих документів, що включаються до "технологічного регламенту".

					КБР СІ – 19.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		52

Найкращим варіантом функціональної схеми автоматизації ТОУ є схема, поєднана зі схемою з'єднань, яка виконується у складі основного комплекту документації, або зі схемами з'єднань інженерних систем.

Розроблено функціональну схему автоматизації регулювання ШГНУ (рис. 2.7). Нижче представлені функціональна схема автоматизації ШГНУ, де показані розташування датчика тиску на виході, датчик динамометра, датчики сигналізації від несанкціонованого доступу, датчик витрати, датчик швидкості обертання двигуна, датчик положення. Ватметрограма, яка підключена до контролера визначення витрати електроенергії.

Встановлені датчики необхідні для збільшення продуктивності при експлуатації свердловини за допомогою ШГНУ. Позначення на функціональній схемі автоматизації ШГНУ представлені у табл. 2.1.

					КБР СІ – 19.00.000 ПЗ	Арк.
						53
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

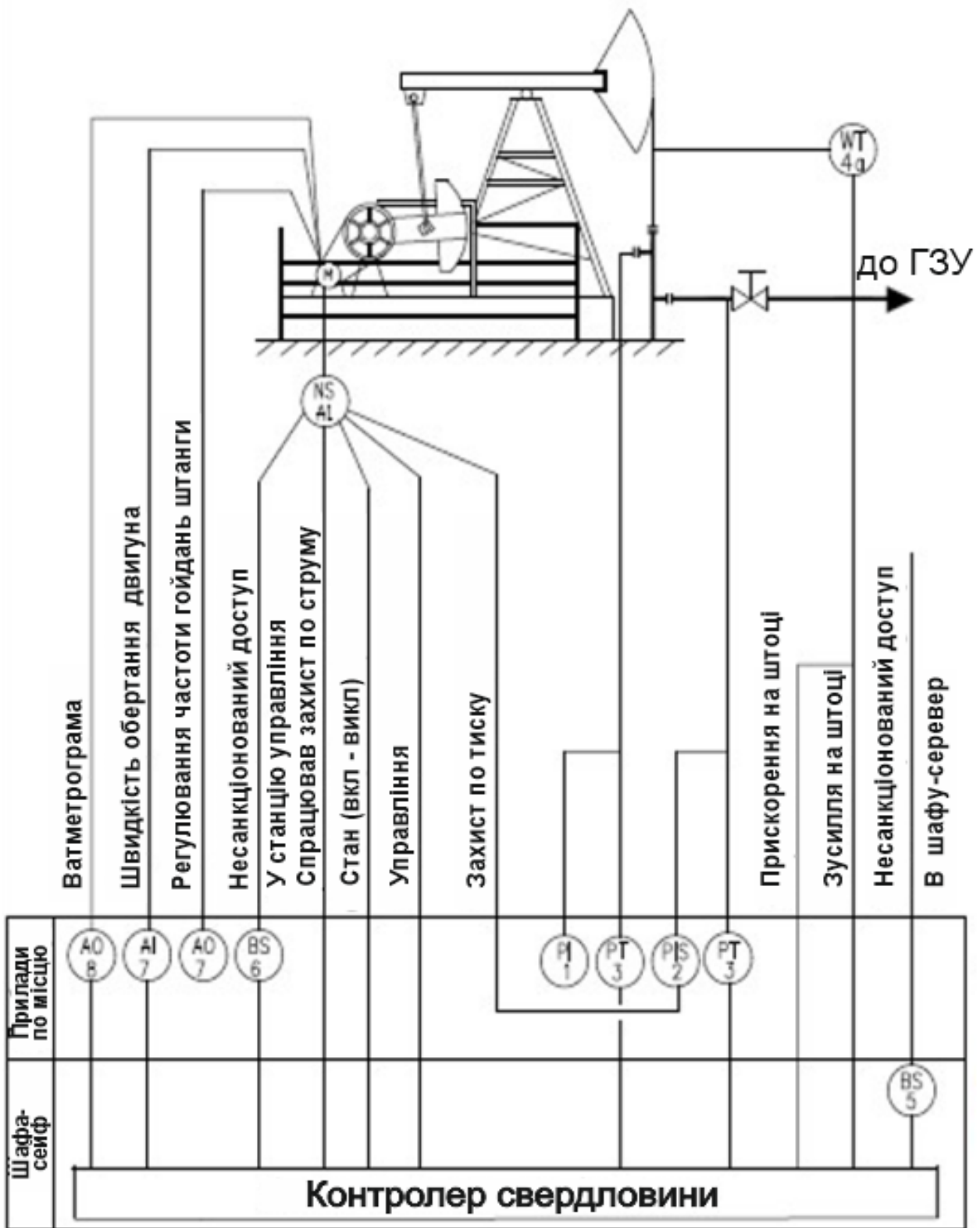


Рисунок 2.7 – Функціональна схема автоматизації ШГНУ

Таблиця 2.1 – Позначення функціональної схеми автоматизації ШГНУ

Позначення на функціональній схемі автоматизації	
	Пускова апаратура для управління електродвигуном (включення, виключення насоса; відкриття, закриття засувки і ін.).
	Датчик динамометричний. По місцю.
PI 1	Прилад для вимірювання тиску (розрідження) показуючий, встановлений по місцю.
PT 3	Прилад для вимірювання тиску (розрідження) безшкальний з
PIS 2	Прилад для вимірювання тиску (розрідження) показуючий з контактним пристроєм, установлений по місцю.
BS 5	Несанкционированный доступ.

2.5 Розробка комплексу технічних засобів системи автоматичного управління ШГНУ

Комплекс технічних засобів САУ призначений для управління процесом видобутку нафти, а також організації процесів збору, передачі, обробки, зберігання та відтворення інформації про роботу технологічних об'єктів з метою забезпечення найбільш ефективного вирішення завдань оптимізація (табл. 2.2).

Для розробки схеми комплексу технічних засобів САУ необхідно обґрунтувати вибір засобів автоматики.

Вибір контролера:

1 - контролер X20IF10E3-1 це програмований промисловий контролер [23]. Робоча частота контролера: 47... 63. Гц. Ступінь захисту IP20. У контролері присутні вбудовані аналогові входи у кількості 4 та аналогові виходи у кількості 2. Дискретні входи та виходи: 16 входів та 16 виходів;

2 - контролер Овен ПЛК 160 це програмований промисловий контролер. Робоча частота контролера: 47... 63 Гц. Ступінь захисту IP20. У контролері присутні вбудовані аналогові входи в кількості 4 та аналогові виходи в кількості 4. Дискретні входи та виходи: 16 входів та 16 виходів;

3 - контролер Siemens S7-1500 – це програмований промисловий контролер. Робоча частота контролера: 47... 63 Гц. Ступінь захисту IP20. У контролері присутні вбудовані аналогові входи у кількості 4 та аналогові виходи у кількості 2. Дискретні входи та виходи: 24 входів та 16 виходів.

Таблиця 2.2 - Порівняння характеристик контролерів

Найменування моделі	X20IF10E3-1	Овен ПЛК 160	Siemens S7-1500
Частота, Гц	47...63	47...63	47...63
Ступінь захисту	IP20	IP20	IP20
Аналогові входи	4	4	4
Аналогові виходи	2	4	2
Дискретні входи	16	16	24
Дискретні виходи	16	16	16
Ціна	21700,80 грн.	24300,00 грн.	29203,82 грн.

Порівнявши характеристики контролерів (табл. 2.2) було вирішено вибрати контролер X20IF10E3-1, оскільки він відповідає вимогам якості та ціни.

Вибір частотного перетворювача

Частотний перетворювач призначений для управління частотою обертання електроприводу (асинхронного двигуна) верстата-качалки ШГНУ, що дозволяє сповільнювати або збільшувати частоту качань верстата-качалки:

1 - частотний перетворювач Prostar – це промисловий перетворювач частоти, який широко використовується у видобутку та експлуатації нафти [25]. Основні характеристики перетворювача: Потужність 53 кВт; діапазон частоти: 0-200 Гц; протокол обміну: Modbus;

2 - частотний перетворювач ПЧВ3-45К-В – це промисловий перетворювач, який широко використовується у видобутку та експлуатації нафти. Основні характеристики перетворювача: Потужність 45 кВт; діапазон частоти: 0-200 Гц; протокол обміну: Modbus;

2 - частотний перетворювач ATV212 – це промисловий перетворювач частоти. Основні характеристики перетворювача: Потужність 45 кВт; діапазон частоти: 0-200 Гц; Протокол обміну: Profibus.

Далі проводимо порівняльний аналіз частотних перетворювачів (табл. 2.3).

Таблиця 2.3 - Порівняння частотних перетворювачів

Найменування моделі	Потужність	Частота	Протокол обміну	Ціна
Prostar	53 кВт	0-200 Гц	Modbus	11826,92 грн.
ПЧВ3-45К-В	45 кВт	0-200 Гц	Modbus	13608,00 грн.
ATV212	45 кВт	0-200 Гц	Profibus	15390,00 грн.

Порівнявши моделі частотних перетворювачів, було вирішено, що частотний перетворювач Prostar виділяється дешевизною і якістю.

Вибір давача тиску:

У штангових глибинно-насосних установках широко використовуються датчики тиску. Виходячи з цього проведемо вибір датчиків тиску призначених для вимірювання надлишкового та абсолютного тиску.

Датчик тиску Rosemount 2088G

Вимірювальні перетворювачі Rosemount 2088G та Rosemount 2088A призначені для вимірювання надлишкового та абсолютного тиску [25]. У виробках Rosemount 2088 для вимірювання абсолютного і надлишкового тиску використовуються п'єзорезистивні первинні перетворювачі (табл. 2.4).

Таблиця 2.4 - Основні технічні характеристики датчиків тиску

Характеристики	Rosemount 2088G
Верхня межа вимірювання	5 Мпа
Нижня межа вимірювання	0
Межа допустимої похибки	$\pm 0,075$
Межі вологості	0-100%
Температура навколишнього середовища, С ⁰	от -40 до 85 °С

Для вимірювання тиску вибрано датчик Rosemount 2088G. Датчик обраний з розрахунку надійності, стабільності характеристик, зручності налаштування, великого міжповірного інтервалу, швидкого відгуку на зміну вимірюваної величини.

2.6 Розробка SCADA - системи та алгоритму контролю параметрів роботи ШГНУ

SCADA система - це програмний пакет, призначений для розробки або підтримування роботи в реальному режимі часу систем збору та обробки, відображення та архівування інформації про об'єкт моніторингу або управління.

SCADA-система може бути частиною АСУ ТП, системи екологічного моніторингу, наукового експерименту, автоматизації будівлі та т. д. SCADA-системи використовуються у всіх галузях господарства, де потрібно забезпечувати операторський контроль за технологічними процесами в режимі реального часу. Це програмне забезпечення встановлюється на комп'ютери і, для зв'язку з об'єктом, використовує драйвери вводу-виводу або сервери OPC/DDE.

Програмний код може бути як написаний однією з мов програмування, так і згенерований у середовищі проектування.

Виходячи з характеристик свердловин і технологічних параметрів їх експлуатації на нафтових родовищах НГВУ «Надвірнанафтогаз» було визначено технологічні межі застосування технології:

- обмеження за потужністю застосовуваного електродвигуна – не більше 55 кВт;
- обмеження по глибині спуску свердловинного насоса – більше 3000 метрів.

Після виведення свердловини на режим було виконано вимірювання енергоспоживання з частотою запису показів -1с (табл. 2.5).

					КБР СІ – 19.00.000 ПЗ	Арк.
						60
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Таблиця 2.6 – Параметри електроспоживання приводу верстата-качалки при ході полірованого штоку вгору

№	Напруга, В	Струм, А	Активна потужн, кВт	Реактивна потужн, кВт	Cos φ	Частот аГц	Лічильн.спожив. потужн, кВт
1	388	11,386	3,199	6,531	0,41	50	0
2	387	20,11	9,966	6,954	0,73	50	0,003
3	387	37,217	21,817	8,611	0,87	50	0,009
4	386	59,18	36,085	11,745	0,9	50	0,019
5	386	61,777	37,733	12,065	0,9	50	0,03
6	385	62,435	38,148	12,178	0,9	50	0,041
7	384	61,776	37,639	11,98	0,9	50	0,05
8	386	26,107	13,892	7,519	0,79	50	0,054

В роботі необхідно розробити SCADA-систему для відображення роботи ШГНУ і її технологічних параметрів.

Розроблена SCADA - система дозволяє відобразити наступні параметри технологічного процесу: частота (яку задає частотний перетворювач), обводненість свердловини, число качань верстата-качалки, споживання електроенергії її електроприводом.

Контроль параметрів та управління ШГНУ за допомогою частотного перетворювача здійснюється за наступним алгоритмом (рис. 2.9)

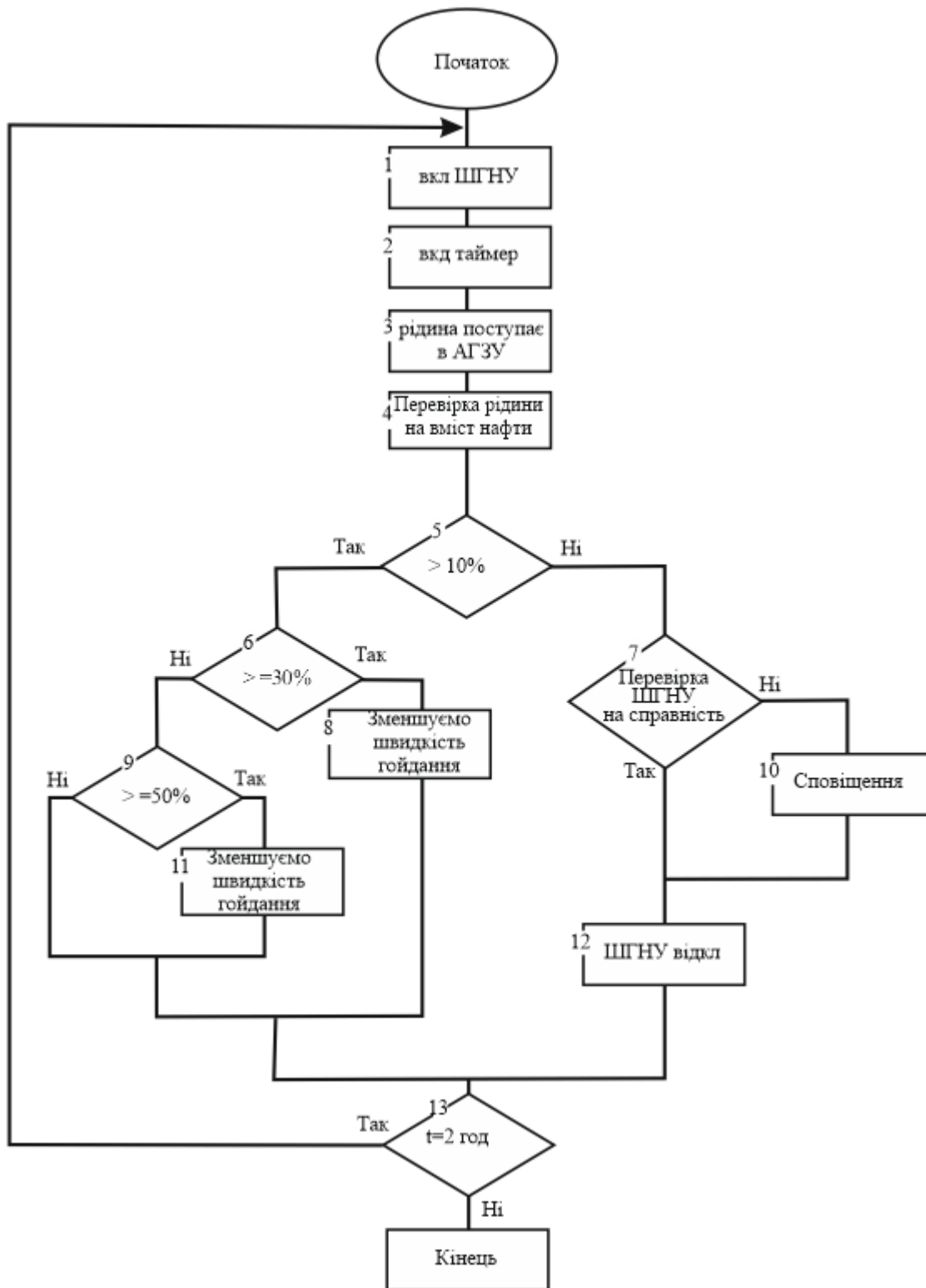


Рисунок 2.9 – Алгоритм контролю технологічних параметрів роботи ШГНУ

Система контролює зміну технологічних параметрів роботи ШГНУ в трьох режимах її експлуатації в залежно від вмісту нафти у відкачуваній свердловинній рідині.

Алгоритм описує три режими:

- вміст нафти в рідині менше або дорівнює 10%;
- вміст нафти в рідині менше або дорівнює 30%;
- вміст нафти в рідині менше або дорівнює 50%.

Система починає працювати з включення приводу верстата-качалки. При цьому в автоматичній груповій замірній установці починається відлік таймера на 2 години. Далі проводиться перевірка наявності нафти у відкачуємій свердловинній рідині - відповідно 10,30,50%.

При 10 відсотках вмісту нафти перевіряється підземна частина ШГНУ на справність. Якщо свердловинний насос справний, то його відключають оскільки електроспоживання збільшується і продуктивність падає. В інших випадках число качань хитання штанги зменшується або збільшується. При 30% зменшуємо. При 50% збільшуємо оскільки оптимальний відсоток вміст нафти.

Автоматична групова вимірювальна установка перевіряє оступаючу свердловинну рідину на обводненість через кожні 2 години з моменту включення ШГНУ. З врахуванням величини значень параметрів обводненості свердловинної рідини змінюється частота обертів електроприводу верстата-качалки, що, у свою чергу, призводить до збільшення чи зменшення числа качань плунжера свердловинного насоса.

Якщо вміст води у видобуваємій свердловинній рідині рівний 10%, тобто обводненість рідини велика - зменшується число качань плунжера свердловинного насоса. Якщо більша або рівна 50% відсотків - число качань плунжера свердловинного насоса збільшується.

SCADA-система суттєво допомагає при оптимізації продуктивності видобутку нафти за допомогою ШГНУ, так як дає повну інформацію та контроль якості продукції, що видобувається.

У вінах (рис. 2.10 -2.11) показано два режими роботи ШГНУ: коли обводненість рідини в свердловинах велика і обводненість низька.

					КБР СІ – 19.00.000 ПЗ	Арк.
						63
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Так, на рис. 2.10 наведено вікно SCADA-системи при режимі роботи ШГНУ з низькою обводненістю свердловинної рідини, а на рис. 2.11 – при високій.

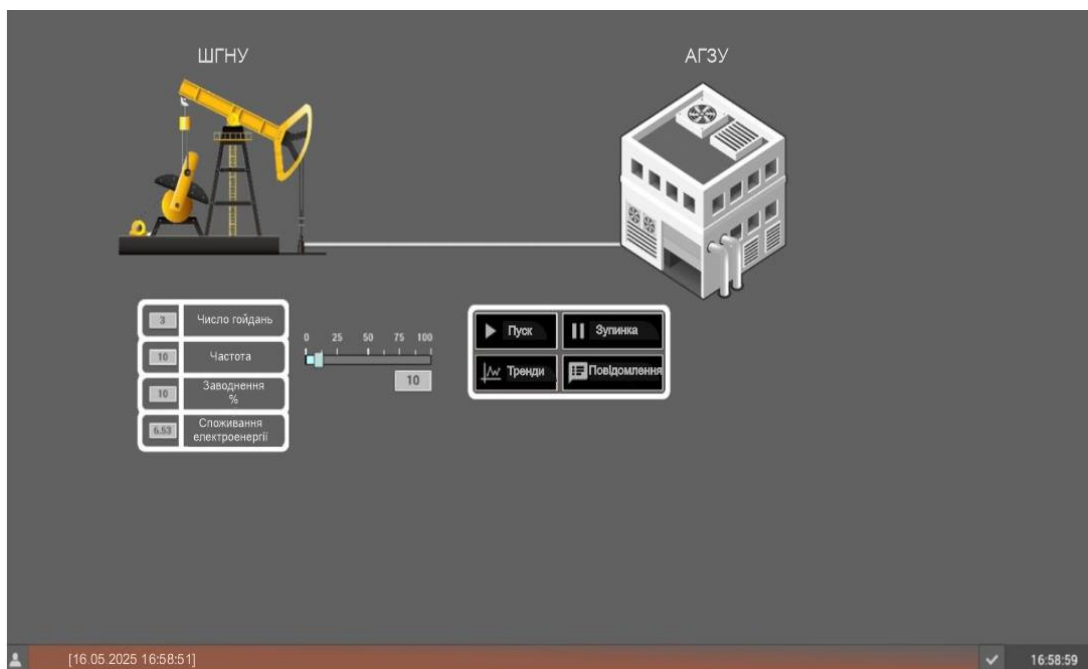


Рисунок 2.10 – Представлення режиму роботи ШГНУ при низькій обводненості свердловинної рідини

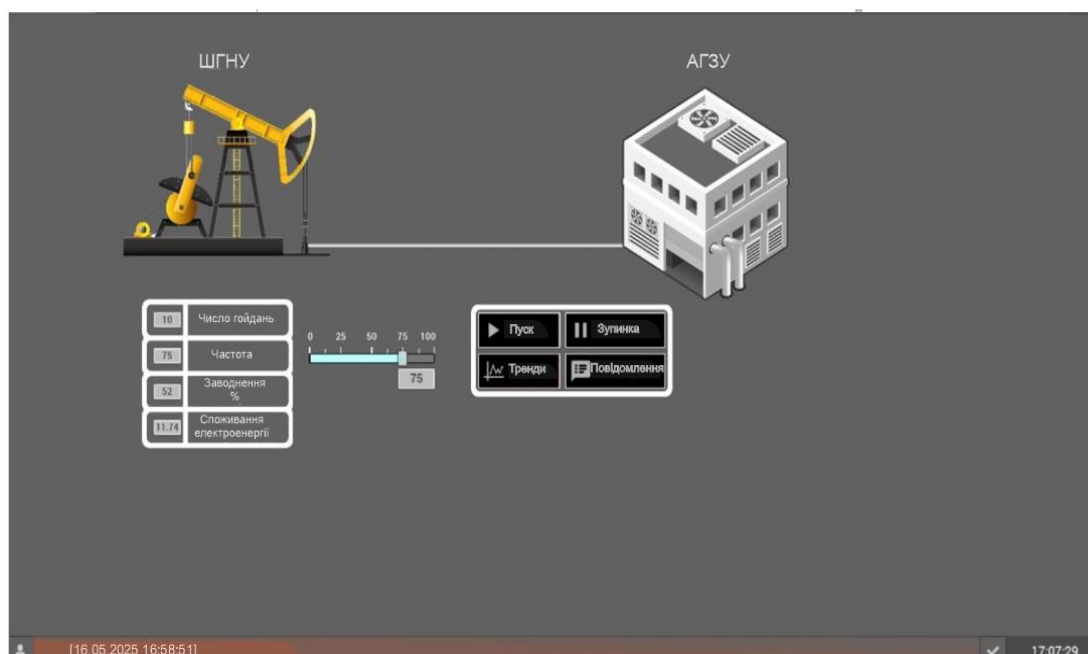


Рисунок 2.11 – Представлення режиму роботи ШГНУ при високій обводненості свердловинної рідин

Також SCADA-система дозволяє представити часові тренди зміни технологічних параметрів у вигляді графіків (рис. 2.12). Також створено журнал повідомлень, де записується всі аварії або попередження, що відбулися при експлуатації ШГНУ.

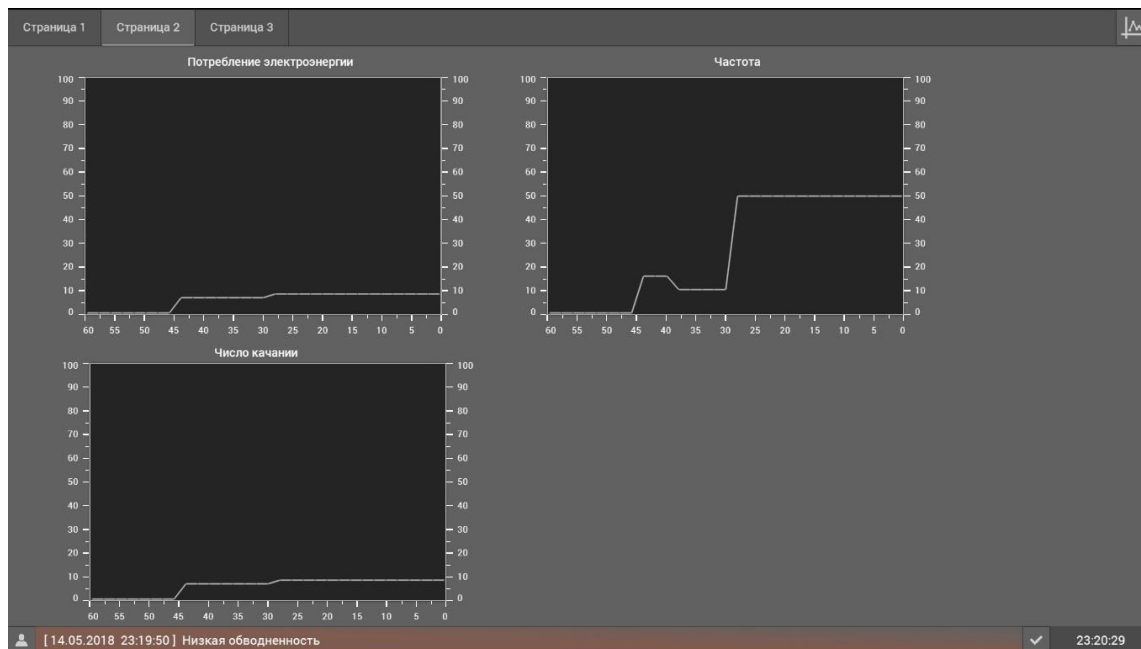


Рисунок 2.12 – Представлення зміни технологічних параметрів ШГНУ в часі у вигляді графіків.

Розроблена SCADA-система суттєво допомагає при оптимізації процесу нафтовидобутку за допомогою ШГНУ.

2.7. Структура системи автоматичного управління роботою ШГНУ на базі штучного інтелекту

Вище було відмічено, що для забезпечення оптимального режиму роботи ШГНУ використовується частотний перетворювач, який дозволяє плавно змінювати частоту обертання валу електроприводу верстата-качалки і тим самим продуктивність свердловинного насоса у функції коефіцієнта його заповнення.

Сам коефіцієнт заповнення визначається штучною нейронною мережею на основі інформації з датчика навантаження на полірований шток та датчика положення кривошипа верстата-качалки [26,27] (рис. 2.13).

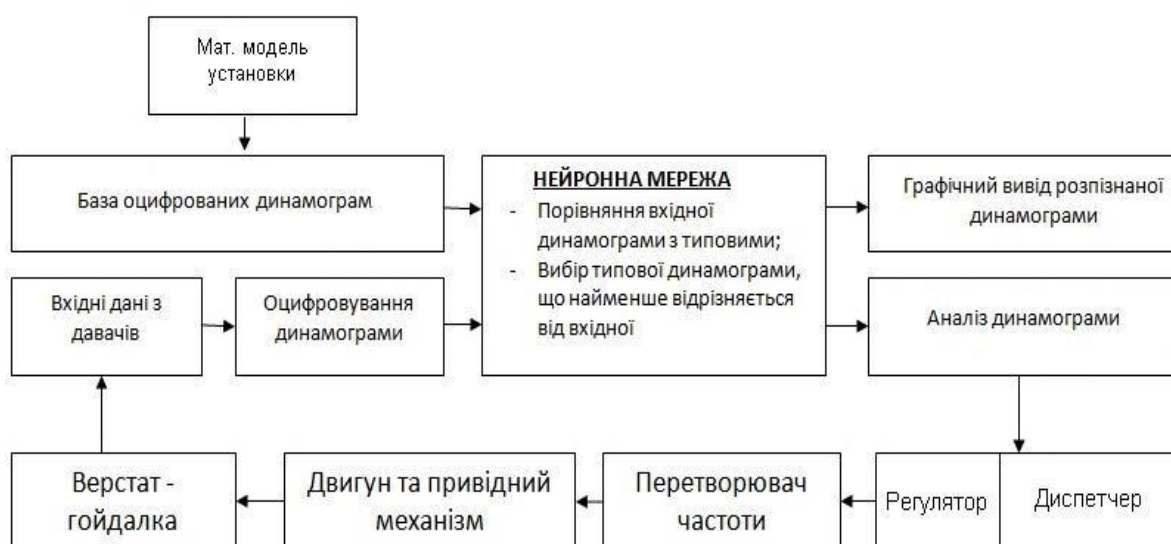


Рисунок 2.13 - Структура системи автоматичного управління роботою ШГНУ на базі штучного інтелекту

Структурна схема складається з електромеханічної та «інтелектуальної» частини. Електромеханічна частина схеми містить верстат-качалку, асинхронний двигун, частотний перетворювач частоти та регулятор. «Інтелектуальна» частина схеми реалізована на мікроконтролері, що під'єднаний до датчиків та частотного перетворювача таким чином, щоб мати можливість на основі зібраних даних визначити коефіцієнт заповнення свердловинного насоса і, відповідно, задавати частоту обертання електроприводу верстата-качалки [28].

Контролер працює за заданим алгоритмом в декілька етапів. На

					КБР СІ – 19.00.000 ПЗ	Арк.
						66
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

першому етапі проводиться збір та перетворення вхідних даних від давача зусилля та кінцевих давачів крайніх положень кривошипа. Кінцеві давачі потрібні для точного визначення періоду обертання кривошипа. Алгоритм роботи контролера реалізовано для двох випадків реалізації системи управління: з використанням давача навантаження на полірований шток та без нього, коли використовуємо інформацію з частотного перетворювача - споживана потужність електроприводу верстата-качалки. У першому випадку вхідною величиною є динамограма, а в другому – ватметрограма за період обертання кривошипа. Паралельно до обробки даних формується база даних з типовими динамограмами (ватметрограмами) та відповідними їм коефіцієнтами заповнення свердловинного насоса. Їх можна отримати двома способами, які передбачено в алгоритмі – експериментальним шляхом або використовуючи створену математичну модель ШГНУ.

На наступному етапі вхідні дані опрацьовує нейронна мережа, яка спроектована таким чином, щоб вибрати найбільш подібну до вхідної типову динамограму (ватметрограму) та відповідний їй коефіцієнт заповнення. Далі на основі здійсненого вибору формується управляючий вплив на частотний перетворювач, який задає певну частоту обертання електроприводу верстата-качалки, яка відповідає інтенсивності відбору свердловинної рідини.

Ефективність роботи такої системи залежить від багатьох факторів: структури і параметрів нейронної мережі, формування вхідних даних для навчання мережі та її роботи, адекватність математичної моделі ШГНУ. Вказані фактори детально розглянуті в роботі, яка присвячена розробці алгоритмічного забезпечення системи автоматичного управління роботою ШГНУ на базі штучного інтелекту.

					КБР СІ – 19.00.000 ПЗ	Арк.
						67
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

2.8 Розрахунки метрологічних характеристик давача та регулятора електроприводу верстата-качалки.

Розрахунок метрологічних характеристик давача тиску. Розрахуємо метрологічні характеристики датчика тиску зокрема, похибку вимірювання тиску 4Мпа на виході свердловинного насоса. В розділі 2.2 для вимірювання тиску на виході свердловинного насоса було обрано датчик Rosemount 2088G. Датчик обраний з розрахунку надійності, стабільності характеристик, зручності налаштування, великого міжповірочного інтервалу та миттєвого відгуку на зміну вимірюваної величини. Технічні характеристики датчика тиску моделі Rosemount 2088G наведені в табл. 2.4

Діапазон вимірювань:

$$P_n - P_v = 0 - 5\text{Mpa} = 5\text{МПа}.$$

Наведена похибка від впливу навколишнього середовища: сумарний вплив враховує вплив нуля та шкали вимірювання: $\pm (0,18\% \text{ ВГД} + 0,18\% \text{ діапазону вимірювання})$.

$$\text{Відносна похибка} \quad \delta = \Delta / X_{\text{ном}} 100\%. \quad (2.21)$$

$$\text{Наведена похибка:} \quad \gamma = \Delta / X_N 100\%. \quad (2.22)$$

$$\text{Відносна похибка у відсотках:} \quad \delta_1 = \gamma X_N / X_{\text{ном}}, \quad (2.23)$$

$$\delta = 0,18 \times 5 + 0,18 \times 5 = \pm 0,45\%.$$

Вплив вібрації: менше $\pm 0,1\%$ від гранично допустимого рівня:

$$\delta = 0,1 \times 5 = \pm 0,125\%.$$

Похибка від впливу джерела живлення: менше $\pm 0,005\%$ від шкали каліброваної на 1V зміни напруги на клеммах перетворювача:

$$\delta = 0,005 \times 5 = \pm 0,00625\%.$$

Відносна похибка:

$$\zeta_{\text{очн}} = \pm 0,075\%,$$

$$\zeta_{\text{доп}} = \sqrt{\delta_1^2 + \delta_2^2 + \delta_3^2}, \quad (2.24)$$

$$\zeta_{\text{доп}} = \sqrt{0,45^2 + 0,125^2 + 0,00625^2} = 0,46\%,$$

						КБР СІ – 19.00.000 ПЗ	Арк.
							68
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата			

$$\Sigma_{осн} = \zeta_{осн} + \zeta_{дон}, \quad (2.25)$$

$$\zeta_{осн} = 0,075 + 0,01718 = 0,535\%$$

$$\Delta_{\Sigma} = 0,535 \times 4/100 = 0,0214 \text{ МПа.}$$

Підсумок:

$$P = (X_{ном} \pm \Delta_{\Sigma}) = (4 \pm 0,0214) = (4,000 \pm 0,021) \text{ МПа.}$$

Розрахунок регулятора електроприводу верстата-качалки.

Розрахунок проведемо з метою забезпечення прийнятних динамічних якостей замкнутої системи з використанням регуляторів, які забезпечують типові лінійні алгоритми управління.

Функція передачі електроприводу:

$$W_{\delta\delta}(S) = K_{\delta\delta} / (T_e S + 1)(T_m S + 1) \quad (2.26)$$

Розкриваємо дужку та отримуємо функцію передачі 2-го порядку, щоб в подальшому побудувати модель у програмному середовищі Matlab та розрахувати параметри регулювання електроприводу:

$$W_{\delta\delta}(S) = K_{\delta\delta} / T_e T_m S^2 + (T_e + T_m)S + 1 \quad (2.27)$$

Коефіцієнт посилення двигуна $K_{\delta\delta}$ визначає пропорційність між швидкістю обертання валу електроприводу на холостих оборотах і поданою на вхід напругою. Простіше кажучи, коефіцієнт дорівнює відношенню швидкості холостого ходу V_{xx} та номінальної напруги двигуна U_n . Швидкість холостого ходу:

$$K_{\delta\delta} = V_{xx} / U_n = 1500 = 6,25. \quad (2.28)$$

Механічна стала часу $T_m = 0,36$ сек. Електрична стала часу асинхронного електроприводу $T_e = 0,6$ сек.

Далі підставляємо коефіцієнти у функцію передачі, отриману раніше:

$$W_{\delta\delta}(S) = 6,25 / 0.216 S^2 + 0.96 S + 1$$

Побудову замкнутої системи управління необхідно здійснити в середовищі Matlab, при цьому для отримання перехідної характеристики на вхід слід подати збудуючий вплив у вигляді ступінчастого сигналу (рис. 2.14).

					КБР СІ – 19.00.000 ПЗ	Арк.
						69
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

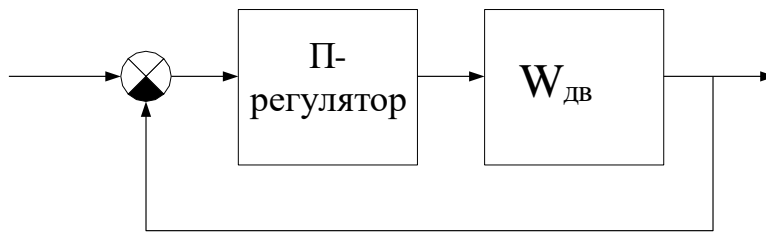


Рисунок 2.14 – Блок-схема замкнутої системи управління П-регулятором

Далі будемо модель Matlab використовуючи блоки transfer fcn і PIDcontroller в якому є функція автопідбору значення за допомогою якої знаходимо оптимальні параметри регулятора (рис. 2.15).

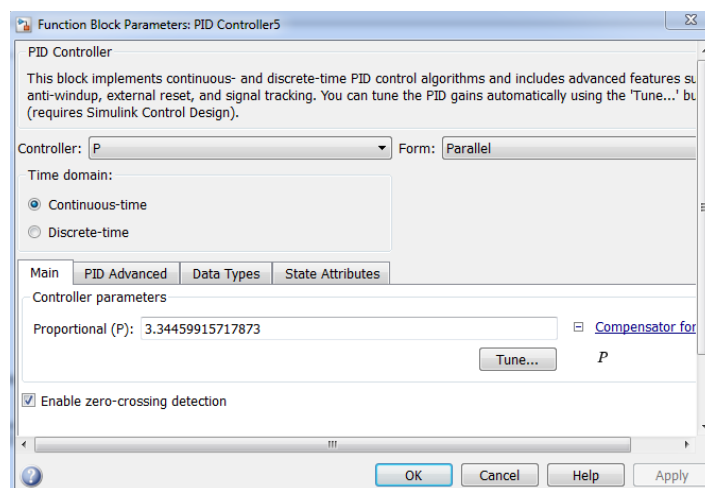


Рисунок 2.15 – Функціональний блок PID controller

Спочатку побудуємо просту замкнуту систему електроприводу для визначення початкового перехідного процесу. Далі в цю замкнуту систему, яка представлено на рис. 2.16 підключаємо по чергово блоки регуляторів (рис. 2.17).

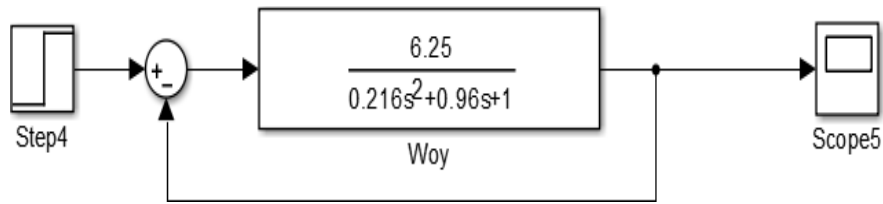


Рисунок 2.16 – Замкнута система асинхронного електроприводу

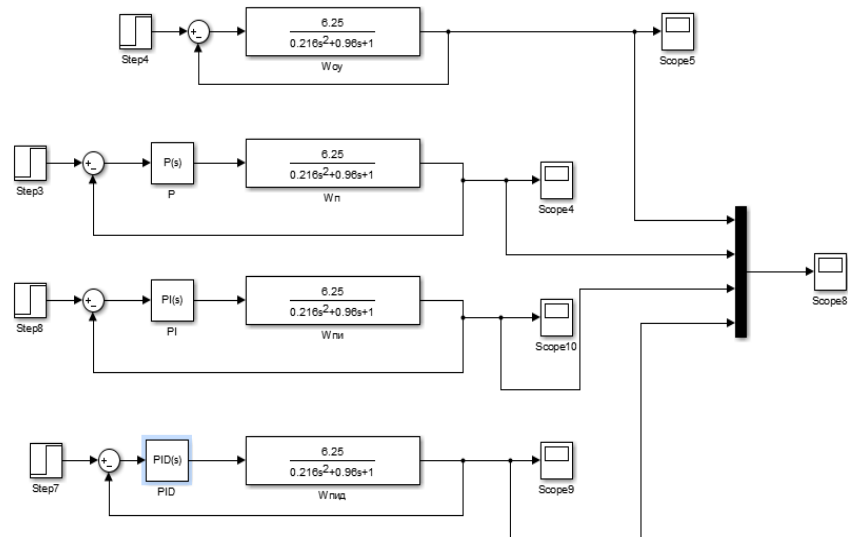


Рисунок 2.17 – Замкнута система управління електроприводом з P, PI, PID регуляторами

Нижче наведені налаштовані перехідні процеси.

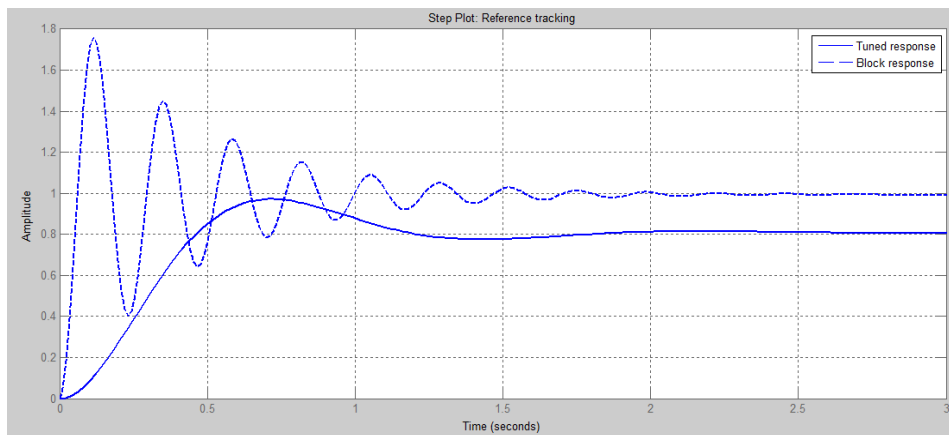


Рисунок 2.18 – Налаштування коефіцієнтів П-регулятора

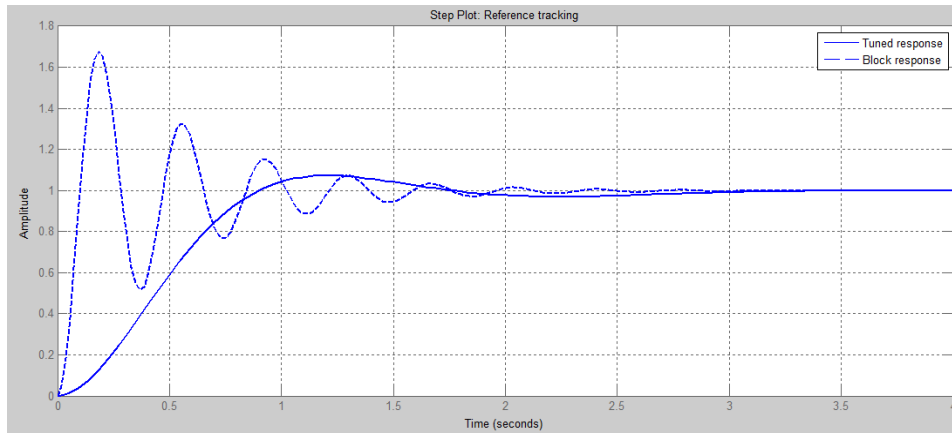


Рисунок 2.19 – Налаштування коефіцієнтів ПІ-регулятора

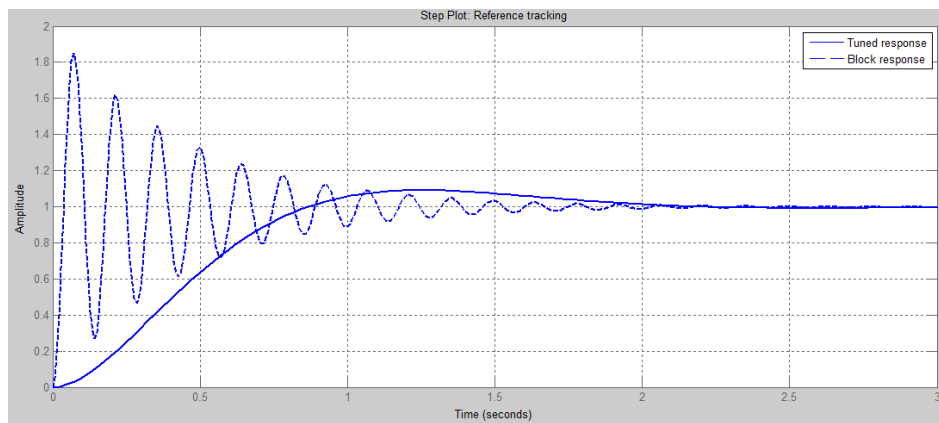


Рисунок 2.20 – Налаштування коефіцієнтів ПІД-регулятора

Після налаштування коефіцієнтів за допомогою Tune отримали числові значення коефіцієнтів, що знаходяться у функціональному блоці P (рис. 2.21), PI (рисунок 2.22), PID (рисунок 2.23) controller представлені нижче.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата

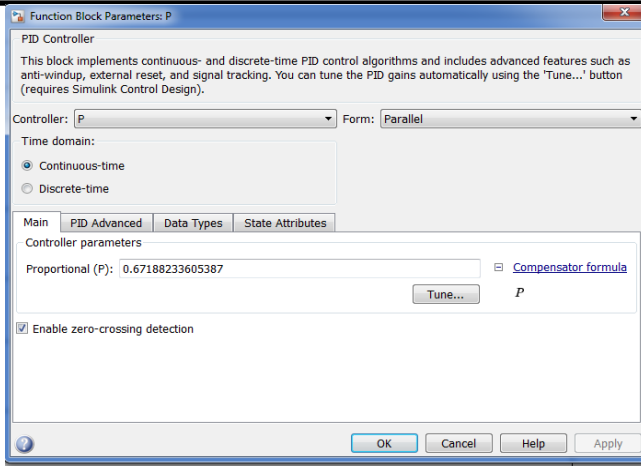


Рисунок 2.21 – Коефіцієнти регулятора P

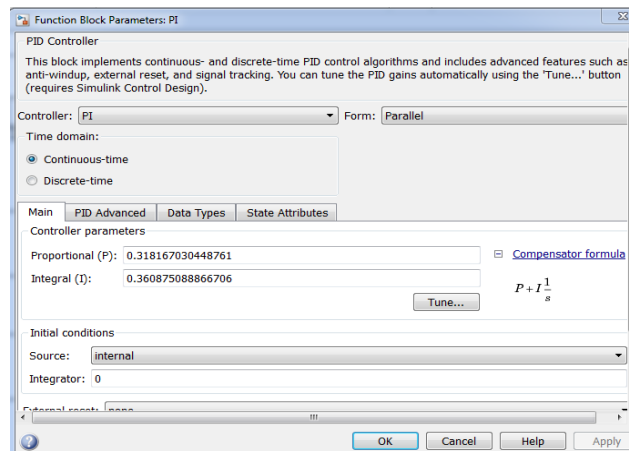


Рисунок 2.22 – Коефіцієнти PI – регулятора

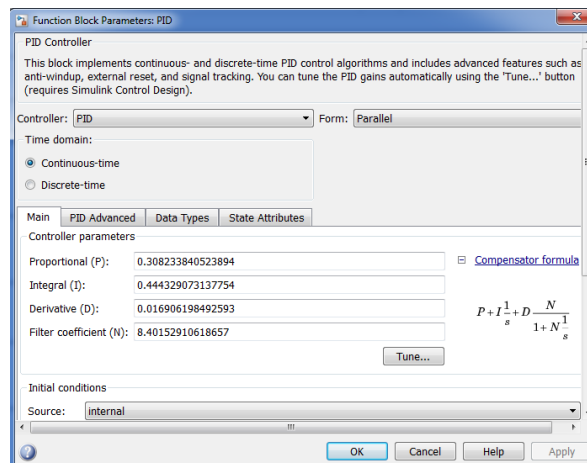


Рисунок 2.23 – Коефіцієнти PID – регулятора

Результати розрахунків коефіцієнтів замкнутої системи асинхронного електроприводу показали, що для найбільш ефективного регулювання асинхронного електроприводу слід використати ПІД регулятор.

									Арк.
									73
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата					

ВИСНОВКИ

Під час виконання бакалаврської роботи було отримано наступні результати дослідження:

1. Проведно аналіз сучасного стану автоматизації процесу нафтовидобутку з використанням ШГНУ, а саме:

- здійснено опис конструкції штангових глибинно-насосних установок

та технологічного процесу видобутку нафти з їх використанням;

- проаналізовано стан технічного забезпечення систем контролю і управління процесом нафтовидобутку з використанням ШГНУ;

- сформульовані загальні вимоги та функції системи автоматичного управління роботою штангової глибино-насосної установки;

- проаналізовано процес контролю роботи штангових глибинно-насосних установок за допомогою динамометрування та ватметрування.

2. Розроблення систему автоматичного управління ШГНУ на базі штучного інтелекту, яка включає наступне:

- аналіз передумов застосування штучного інтелекту в системах автоматизації технологічних процесів;

- обґрунтування і вибір основних контрольованих параметрів при управлінні ШГНУ;

- розроблення математичної моделі штангової глибинно – насосно установки;

- розроблення функціональної схеми системи автоматичного управління роботою ШГНУ;

- розроблення комплексу технічних засобів системи автоматичного управління роботою ШГНУ;

- проведення розроблення SCADA - системи та алгоритму контролю параметрів роботи ШГНУ;

- розроблення структури системи автоматичного управління роботою ШГНУ на базі штучного інтелекту;

					КБР СІ – 19.00.000 ПЗ	Арк.
						74
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

- проведення розрахунки метрологічних характеристик давача тиску та регулятора електроприводу верстата-качалки

					КБР СІ – 19.00.000 ПЗ	Арк.
						75
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ НА ДЖЕРЕЛА

1. Федорович Я. Т. Машины та обладнання для видобутку нафти і газу. Навч. посібник. Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2015. 344 с.
2. Федорович Я. Т., Джус А. П. Машины та обладнання для видобутку нафти і газу: практикум. Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2019. 124 с
3. Бойко В.С. Розробка та експлуатація нафтових родовищ. К.: Реал Прінт. 2004. 695 с.
4. Акульшин О. І., Бойко В. С., Дорошенко В. М. Технологія видобування, зберігання і транспортування нафти і газу: навч. посіб. Івано-Франківськ: Факел, 2003. 434 с
5. Малько Б.Д., Харун В.Н., Попович В.Я. Вплив характеристик наземного та глибинного обладнання на режим роботи верстата-гойдалки. Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. 2006. № 1(13). С. 65–69.
6. Алехин С.А., Кипнис С.Г., Оруджев В.Л., Островская А.К. Автоматизация периодически работающих скважин. М.: Недра, 1970. 112 с.
7. Алиев Т. А., Нусратов О. К. Методы и средства диагностики глубиннонасосного оборудования нефтяных скважин. Нефтяное хозяйство. 1998. № 9. С. 78–80.
8. Барский В.А., Курдюмов Д.С. Использование автоматизированного регулируемого электропривода в составе станции управления штанговой глубинно-насосной установки. Вестник НТУ ХПИ “Проблемы автоматизированного электропривода. Теория и практика”. 2003. Вып. 10, т.1. С. 284.
9. Барский В.А., Курдюмов Д.С. Станция управления штанговой глубиннонасосной установкой с частотно-регулируемым электроприводом. Міжвід. наук.-техн. зб. “Електромашинобудування та електрообладнання”: “Проблеми автоматизованого електропривода. Теорія і практика”. 2006. Темат. вип. С 170–172.
10. Лозинський О.Ю., Маляр А.В., Місюренко В.О., Молнар В.В. Система керування електроприводом штангової глибинонасосної установки на базі ПЛК

					КБР СІ – 19.00.000 ПЗ	Арк.
						76
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

MICRO TSX. Вестник НТУ ХПИ “Проблемы автоматизированного электропривода. Теория и практика”. 2008. № 30. С.277–279.

11. Заміховський Л.М. Діагностика технічного стану штангових глибинно-насосних установок [Текст]: монографія/ Л.М. Заміховський, В.А. Ровінський, О.В. Євчук - Івано-Франківськ: Симфонія форте, 2006. – 308 с.

12. Маляр А.В., Калужний Б.С. Системи автоматизованого керування і моніторингу процесом видобування нафти: Монографія. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2012. 272 с.

13. Поздеев Д.А., Кудрявцев С.В. Интеллектуальная станция ALC800 компании АВВ для управления станками-качалками. Вестник НТУ ХПИ “Проблемы автоматизированного электропривода. Теория и практика”. 2008. №30. С. 265–268.

14. Євчук О.В. Вдосконалення динамометричного методу та технічних засобів діагностування штангових глибинно-насосних установок для видобутку нафти [Текст]: дис. канд. техн. наук: 05.11.13 / Євчук Ольга Василівна - Івано-Франківськ, 2004. –119с

15. Ровінський В.А. Вдосконалення ватметрографічних методів діагностування штангових глибинно-насосних установок для видобутку нафти та розробка технічних засобів для їх реалізації [Текст]: дис. канд. техн. наук: 05.11.13/ Ровінський Віктор Анатолійович - Івано-Франківськ, 2004. -124 с.

16. Заміховський Л. М. Система контролю технічного стану глибинно-насосних штангових установок [Текст] / Л.М. Заміховський, В.В. Бандура // Зб. праць міжн. міжвуз. школи- семінару «Методи і засоби технічної діагностики». – Івано-Франківськ.- Вип. XIV - 1999. – с. 115-119

17. Хашханов І.Г. Контроль технічного стану штангової колони глибинно-насосних установок для видобутку нафти [Текст]: дис. канд. техн. наук: 05.11.13 / Хашханов Іса Геланійович - Івано-Франківськ, 2008. - 140 с

18. Осовский С. Нейронные сети для обработки информации: пер. С польск. И. Д. Рудинского. М.: Финансы и статистика, 2004. 343 с.

19. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс, 2-е изд.: пер.с англ. М.:Издательский дом “Вильямс”, 2006. 1104 с

					КБР СІ – 19.00.000 ПЗ	Арк.
						77
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

20. J.J. Hopfield. Neural Networks and Physical Systems with Emergent Collective Computational Abilities. National Academy of Sciences, USA 79, 1982, pp. 2554–2558.
21. J. Hertz, A. Krogh, and R.G. Palmer. Introduction to the Theory of Neural Computation. Addison–Wesley Longman Publishing Co. Inc. Boston, MA, USA, Reading, Mass., 1991.
22. Математичне моделювання нестационарного деформування ШГНУ [Текст] / Л. М. Заміховський, И. Г. Хашханов // Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ: ДМНТЗ. – Івано-Франківськ, 2001 – (Серія «Методи і засоби технічної діагностики»; вип. 38, (Т.8)). – С. 25-27
23. Контролер X20IF10E3-1 <https://www.standard-exchange-industry.com/fr/Automates/compacts/4562-x20if10e3-1-module-d-interface-br.html>
24. Частотні перетворювачі Prostar/ <https://www.prostar.su/>
25. Датчик тиску ROSEMOUNT 2088 G4S22A1E5M5P0050 | OMEGA SMART | ID: 6015 <https://www.gareket-engineering.com/product/datchik-davleniya-rosemount-2088-g4s22a1e5m5p0050-omega-smart/>
26. Маляр А.В., Андреїшин А.С. Вибір нейронної мережі для визначення коефіцієнта заповнення глибинної помпи. Електромеханічні і енергозберігаючі системи. Тематичний випуск “Проблеми автоматизованого електропривода. Теорія й практика”. Кременчук: КрНУ. 2012. Вип. 3/2012 (19). С. 543–545.
27. Маляр А.В., Калужний Б.С., Андреїшин А.С. Використання нейромережі для визначення коефіцієнта заповнення глибинної помпи. Вісник НУ "Львівська політехніка". “Електроенергетичні та електромеханічні системи”. 2012. № 736. С. 94–99.
28. Маляр А.В., Андреїшин А.С. Використання нейромережі для побудови системи керування електроприводом верстата-гойдалки. Вісник Нац. ун-ту “Львівська політехніка” “Електроенергетичні та електромеханічні системи”. 2011. № 707. С 72–82.

					КБР СІ – 19.00.000 ПЗ	Арк.
						78
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

БІБЛІОГРАФІЧНА ДОВІДКА

Тема бакалаврської роботи: «Розроблення технічного забезпечення САУ ШГНУ на базі штучного інтелекту»

Обсяг пояснювальної записки складає: 72 сторінки та містить 5 таблиць, 45 рисунки, список використаних джерел з 28 найменувань.

Перелік креслень графічної частини:

- БР. СІ - 19.00.00.001 – Схема розміщення на верстаті-качалці давачів контролю стану ШГНУ (листів - 1);
- БР. СІ -19.00.00.002 – Інтерфейс системи контролю та управління «інтелектуальною» свердловиною (листів - 1);
- БР. СІ - 19.00.00.003 – Вид динамограми при нормальній роботі насоса та при неповному заповненні плунжера (листів - 1);
- БР. СІ - 19.00.00.004 – Графіки вихідних і згладжених ватметрограм та їх тривимірний спектр. (листів - 1);
- БР. СІ - 19.00.00.005 – Функціональна схема автоматизації ШГНУ (листів - 1);
- БР. СІ -19.00.00.006 – Структура системи автоматичного управління роботою ШГНУ на базі штучного інтелекту (листів - 1).
- БР. СІ -19.00.00.007 – Замкнута система управління електроприводом з P, PI, PID регуляторами Налаштування коефіцієнтів ПІД-регулятора (листів - 1).;

Дата завершення бакалаврської роботи 20 червня 2025 року

Студент-бакалавр

_____ ***Петро ПЯСТА***