

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
Навчально – науковий інститут енергозбереження та енергоменеджменту
Кафедра автоматизації електротехнічних та мехатронних комплексів

До захисту допущено:
Завідувач кафедри
_____Сергій БОЙЧЕНКО
« ____ » _____ 2024 р.

Дипломний проєкт
на здобуття ступеня бакалавра
за освітньо-професійною програмою – Інжиніринг інтелектуальних
електротехнічних та мехатронних комплексів
спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
на тему: «Електромеханічне обладнання та автоматизація комплексу з
штанговим насосом для нафтовидобувних свердловин»

Виконала:

Студентка 4 курсу, групи ОА-01
МаламанСофія Олегівна.

Керівник

Ст.викл. Прядко С.Л.

Консультант з електропостачання

К. т. н., доцент Мейта О.В.

Консультант з охорони праці

К.т.н., доцент Мітюк Л.О.

Нормоконтролер

К. т. н., доцент Кулаковський Л.Я.

Рецензент

_____ посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ім'я, по батькові

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації немає
запозичень з праць інших авторів без відповідних
посилань

Студент _____

Київ – 2024 року

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

**Навчально-науковий інститут енергозбереження та енергоменеджменту
Кафедра автоматизації електротехнічних та мехатронних комплексів**

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський) за освітньо-професійною програмою
«Інжиніринг інтелектуальних електротехнічних та мехатронних комплексів»
Спеціальність – 141«Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Сергій БОЙЧЕНКО

« ____ » _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проєкт
Маламан Софії Олегівні

1. Тема проєкту: **« Електромеханічне обладнання та автоматизація комплексу з штанговим насосом для нафтовидобувних свердловин»**, керівник проєкту Прядко Сергій Леонідович, старший викладач

Затверджено наказом по університету від «29 » травня 2024 р. №2182-с

2. Дата подання студентом дисертації «12» червня 2024 р.

3.**Вихідні данні до проєкту:** планована діяльність передбачає продовження видобування вуглеводнів на Щурівському родовищі, що забезпечує видобування нафти і газу в межах гірничого відводу. Площа ліцензійної ділянки - 1,7 км². Залягання промислово-нафтонасичених пластів продуктивних горизонтів в інтервалі глибин від 3028 до 3382 м.

4.Зміст пояснювальної записки:

а) **Загальна частина.** Провести аналіз технологічного комплексу з видобування нафти. Розрахувати основні параметри верстата – гойдалки та провести вибір обладнання для штангової насосної установки. Запропонувати шляхи підвищення дебіту свердловини.

б) **Електропостачання.** спроектувати систему електропостачання насосної станції та ділянок з видобування нафти; розрахувати потужність трансформаторів живлення ділянок електропостачання; провести розрахунок площі перерізу проводів, розрахунок струмів короткого замикання та вибрати захисну апаратуру

в) **Спеціальна частина.** вибрати та обґрунтувати регульований електропривод для приводу насосів верстатів-гойдалок, спроектувати регульований електропривод згідно технічних вимог , запропонувати систему курування, з розрахунком регуляторів таавтоматизовау систему керування насосною установкою верстата-гойдалки;

д) **Охорона праці.** провести аналіз шкідливих та небезпечних факторів при роботі верстатів -гойдалок та визначити заходи безпеки при експлуатації свердловин штанговими насосами ;засоби індивідуального захисту

5.Орієнтовний перелік графічного матеріалу:

1 аркуш – Схема з курсового, сліденка

2 аркуш - Схема електропостачання нафтовидобувного комплексу;

3 аркуш – Функціональна схема вентильного двигуна.

4 аркуш - Система керування вентильним двигуном.

6. Консультанти розділів проєкту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Дата, підпис	
		завдання видав	завдання прийняв
2. Електропостачання	К.т.н., доцент, Мейта О.В.		
5. Охорона праці	К.т.н., доцент Мітюк Л.О.		

7. Дата видачі завдання: «15» квітня 2024 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1.	Загально-технічна частина	15.04-28.04	
2.	Електропостачання	20.04-5.05	
3.	Спеціальна частина	25.03-1.06	
4.	Охорона праці	22.04-5.06	
5.	Підготовка графічного матеріалу	1.05-10.06	

Студентка _____

Софія МАЛАМАН

Науковий керівник _____

Сергій ПРЯДКО

ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЄКТУ

№ з/п	Формат	Позначення	Найменування	Кількість листів	Примітка
1	A4		Завдання на дипломний проєкт	2	
2	A4		Пояснювальна записка	87	
3	A1		Технологічна схема	1	
4	A1		Схема електропостачання	1	
5	A1		Функціональна схема перетворювача частоти	1	
6	A1		Моделювання	1	

					ОА-01.							
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата								
Розроб.		Маламан С.О.							Літ.	Арк.	Аркушів	
Перевір.		Прядко С.Л.										90
Реценз.									НТУУ "КПІ" НН-ІЕЕ ОА-01			
Н. Контр.		Кулаковський Л.Я.										
Затверд.												

**Пояснювальна записка
До дипломного проєкту
на тему: «Електромеханічне обладнання та
автоматизація комплексу з штанговим насосом для
нафтовидобувних свердловин»**

Київ– 2024

Зміст

Вступ.....	4
Список скорочень.....	5
1 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	6
1.1 Перспективні формації північно західної частини	6
1.2 Вибір обладнання для штангової насосної установки	9
1.3 Вибір основних параметрів верстата-гойдалки	11
1.4 Підвищення дебіту свердловини	13
1.5 Визначення кінематичних та силових характеристик імпульсного гідроудару	15
2 ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ	22
2.1 Проектування системи електропостачання нафтовидобувного підприємства Щурівського родовища.....	22
2.2 Розрахунок освітлення.....	24
2.2.1 Розрахунок освітлення промислової площадки.....	24
2.2.2 Розрахунок освітлення насосної подачі пластової води	25
2.2.3 Розрахунок необхідної для освітлення потужності	26
2.2.4 Вибір трансформатора освітлення.....	26
2.2.5 Вибір кабелів для освітлення промислової площадки.....	26
2.2.6 Вибір кабелів для освітлення насосної станції	27
2.3 Розрахунок електричних навантажень і вибір потужностей трансформаторів	27
2.4 Розрахунок електричної мережі напругою 6 кВ	31
2.4.1 Розрахунок електричної мережі за нагрівом розрахунковим струмом в тривалому режимі.....	31
2.4.2 Розрахунок електричної мережі за економічною густиною.....	33
2.4.3 Вибір перерізу проводів ПЛ за умови механічної міцності	33
2.4.4 Розрахунок електричної мережі за допустимими втратами напруги.....	33
2.5 Компенсація реактивної потужності.....	35
2.6 Розрахунок струмів короткого замикання.....	35
2.7 Вибір апаратури управління та захисту.....	38
2.7.1 Електричні апарати розподільчого пристрою 35-220 кВ.....	38
2.7.2 Загальні умови вибору електричних апаратів.....	39
2.8 Основні енергетичні показники	40
Висновки до розділу	42
3. СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА	43
3.1 Сучасний стан розвитку управління електроприводами в електромеханічних системах верстатів - гойдалок.....	43

					ОА-01.			
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Маламан С.О.						
Перевір.		Прядко С.Л.						
Реценз.								
Н. Контр.		Кулаковський Л.Я.						
Затверд.								
					Літ.		Арк.	Аркуші
								88
					Зміст			
					НТУУ "КПІ" НН-ІЕЕ ОА-01			

3.2 Реалізація безперервного режиму експлуатації нафтових свердловин з низьким дебітом шляхом регулювання частоти обертання електродвигунів верстатів-гойдалок	45
3.3 Вибір оптимальних параметрів електроустаткування	50
3.4 Розрахунок і вибір елементів вихідного фільтра	56
3.5 Розрахунок і вибір елементів згладжуючого фільтру	57
3.6 Застосування мікроконтролерів у нафтовидобуванні	60
3.7 Зарубіжні контролери для штангових глибинних насосів (ШГН).....	65
Висновки до розділу	69
4 ОХОРОНА ПРАЦІ	71
4.1. Аналіз шкідливих та небезпечних факторів.....	71
4.2 Заходи безпеки зі зменшення шуму та вібрації	75
4.3 Мікроклімат на робочому місці.....	76
4.4 Вентиляція	76
4.5. Електричне освітлення	76
4.6 Електробезпека	77
4.7 Захист від статичної електрики	79
4.8 Блискавкозахист	79
4.9 Пожежна безпека.....	81
4.10 Технологічна безпека при експлуатації свердловин штанговими насосами	82
4.11 Засоби індивідуального захисту	83
Висновки	84
Список використаної літератури	85

РЕФЕРАТ

Дипломний проєкт на тему «Електромеханічне обладнання та автоматизація комплексу з штанговим насосом для нафтовидобувних свердловин»: 87 с., 4 розділа, 27 рис., 20 табл., 30 джерел.

В дипломному проєкті розглянуто особливості електромеханічного обладнання та автоматизації комплексу з штанговим насосом для нафтовидобувних свердловин, як об'єктів енергоефективного управління засобами регульованого електроприводу. На основі аналізу навантажувальних діаграм роботи штангового насоса визначено аналітичну залежність моменту від навантаження на свердловину. Розроблено функціональну схему керування вентильним двигуном з урахуванням особливостей роботи штангового насоса. Запропоновано використання синхронних двигунів, для забезпечення енергозберігаючих режимів роботи нафтовидобувних комплексів. Визначено раціональні режими роботи насосних агрегатів з штанговим насосом. Графічна частина розроблялася з використанням програм AutoCAD 2019, Microsoft Visio, [MathLab](#).

					ОА-01.	Арк
						2
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

ABSTRACT

Diploma Project on the topic "Electromechanical Equipment and Automation of the Complex with a Rod Pump for Oil Wells": 87 pages, 4 sections, 27 figures, 20 tables, 30 sources.

The diploma project discusses the features of electromechanical equipment and automation of the complex with a rod pump for oil wells as objects of energy-efficient management using adjustable electric drives. Based on the analysis of load diagrams of the rod pump's operation, an analytical dependence of the torque on the load on the well is determined. A functional control scheme for a brushless motor, taking into account the features of the rod pump's operation, has been developed. The use of synchronous motors is proposed to ensure energy-saving operating modes of oil production complexes. Rational operating modes of pumping units with a rod pump are determined. The graphic part was developed using AutoCAD 2019, Microsoft Visio, and MathLab.

					OA-01	Арк
						3
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

Вступ

З механізованих способів видобутку нафти найбільшого поширення набули штангові свердловинні насосні установки (ШСНУ). Цьому сприяли конструктивна простота, недефіцитність і дешевизна матеріалів, що застосовуються при їх виготовленні, висока надійність і невибагливість в обслуговуванні. На нафтових промислах галузі основний фонд свердловин експлуатується насосним способом, у тому числі майже три чверті – штанговими насосними свердловинними установками. Таке широке поширення експлуатації свердловин штанговими установками пояснюється тим, що цей спосіб найбільш економічний та гнучкий щодо регулювання відбору рідини. До переваг ШСНУ належить:

- простота конструкції;
- простота обслуговування та ремонту в промислових умовах;
- зручність регулювання;
- можливість обслуговування установки працівниками низької кваліфікації;

малий вплив на роботу ШСНУ фізико-хімічних властивостей рідини, що відкачується;

- високий ККД;
- можливість експлуатації свердловин малих діаметрів.

Актуальність проблеми зумовлена тим, що сучасний етап розвитку української нафтової промисловості характеризується збільшенням кількості родовищ, які значно вичерпали свій ресурс і знаходяться в пізній стадії розробки, коли відбір нафти зі свердловини зменшується, а тому зростають витрати на її видобування. В роботі розглядаються проблеми видобування нафти штанговими глибинними помпами, за допомогою яких в Україні експлуатується більшість свердловин. Керування їх роботою потребує впровадження постійно діючого моніторингу стану кожної свердловини та її нафтовидобувного обладнання.

					ОА-01	Арк
						4
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

Список скорочень

АД – асинхронний двигун;
АФ – активні фільтри;
ВД – вентильний двигун;
ДПР – датчик положення ротора;
ЕМС – електромеханічна система;
ККД – коефіцієнт корисної дії;
ККП – коректор коефіцієнта потужності;
СД – синхронний двигун;
СДПМ – синхронний двигун з постійними магнітами;
СІФУ – системи імпульсно-фазового управління;
СК – синхронний компенсатор;
СМ – синхронна машина;
СШНУ – свердловини штангові насосні установки;
УГПН – установка гідравлічно поршневого насоса;
УЕДН – установка з діафрагмовим насосом та електроприводом;
УЕВН – установка з гвинтовим насосом та електроприводом;
УЕЦН – установки занурювані відцентрові насоси з електроприводом;
УСН – установка зі струменевими насосами;
ЧРП – частотно-регульований привод;
ШІМ – широтно-імпульсна модуляція.

					ОА-01	Арк
						5
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

1 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

1.1 Перспективні формації північно західної частини

Останні дослідження показали, що Україна володіє значними запасами нетрадиційних вуглеводнів (сланцевий газ, газ ущільнених порід, сланцева нафта), які можуть перевищувати традиційні ресурси. Однією з найперспективніших областей є північно-західна частина Дніпровсько-Донецької западини (ДДЗ). Тут було виявлено понад 35 родовищ нафти і газу, які експлуатуються вже понад 20 років. Проте, запаси цих родовищ є незначними і не можуть забезпечити стабільну ресурсну базу.

Аналіз геологічних матеріалів показує, що в породах девонського, турнейсько-нижньовізейського та візейського комплексів є щільні породи-колектори і сланцеві породи, які можуть містити нетрадиційні вуглеводні. Прикладом цього є Рудівське та Свиридівське газоконденсатні родовища, де в турнейських комплексах міститься понад 12 млрд м³ газу.

Попередні дослідження свідчать, що в північно-західній частині ДДЗ можна очікувати значні запаси нетрадиційних вуглеводнів.

Щурівське нафтове родовище розташоване в Прилуцькому районі Чернігівської області, за 15 км від Прилук, у західній частині приосьової зони ДДЗ. Розвідка родовища тривала з 1961 по 1975 роки. У 1975 році, при випробуванні свердловини №7, було виявлено верхній візейський горизонт (глибина 3045-3053 м), де зафіксували фонтан нафти з дебітом 46 тонн на добу через штуцер діаметром 5 мм. Загалом на родовищі пробурено 12 пошукових і розвідувальних свердловин, які охоплюють розріз від четвертинних до девонських відкладів.

					ОА-01	Арк
						6
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 1.1 – Схема розміщення Щурівської площі [1]

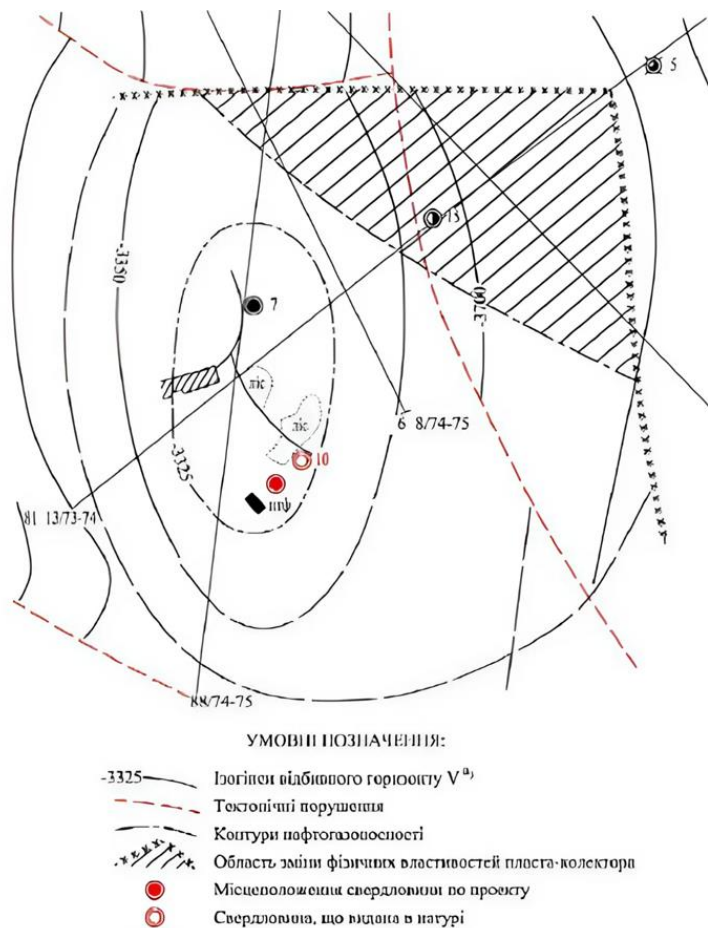


Рисунок 1.2 – Структурна схема Щурівської площі по відбивному горизонту

					ОА-01	Арк
						7
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

Щурівське родовище було введено в дослідно-промислову експлуатацію в 1977 році, а промислову розробку почали з 1986 року. Геологічна будова родовища включає докембрійський кристалічний фундамент та осадові породи палеозойського і кайнозойського періодів. Структурно Щурівське родовище представляє собою брахіантиклінальну складку. Продуктивні горизонти зв'язані з верхньовізейськими відкладами, де колектори представлені теригенними породами (пісковиками та алевролітами) порового типу. Експлуатаційні об'єкти родовища характеризуються значним розчленуванням пластів і мінливістю їх параметрів.

Станом на 01.01.2018 року на родовищі було пробурено 31 видобувну свердловину, з яких сім (№73, 74, 75, 76, 79, 81, 86) діючих, чотири (№72, 78, 83, 85) не експлуатуються, шість (№70, 71, 77, 80, 82, 84) є спостережними, а решта були ліквідовані через повне обводнення горизонтів та відсутність подальшої доцільності використання як контрольних чи нагнітальних свердловин.

На родовищі облаштовано необхідні комунікації та установки для збору, підготовки і транспортування нафти і газу. Принципові схеми транспортування та збору продукції свердловин наведені на рис. 1.3 та 1.4 відповідно.

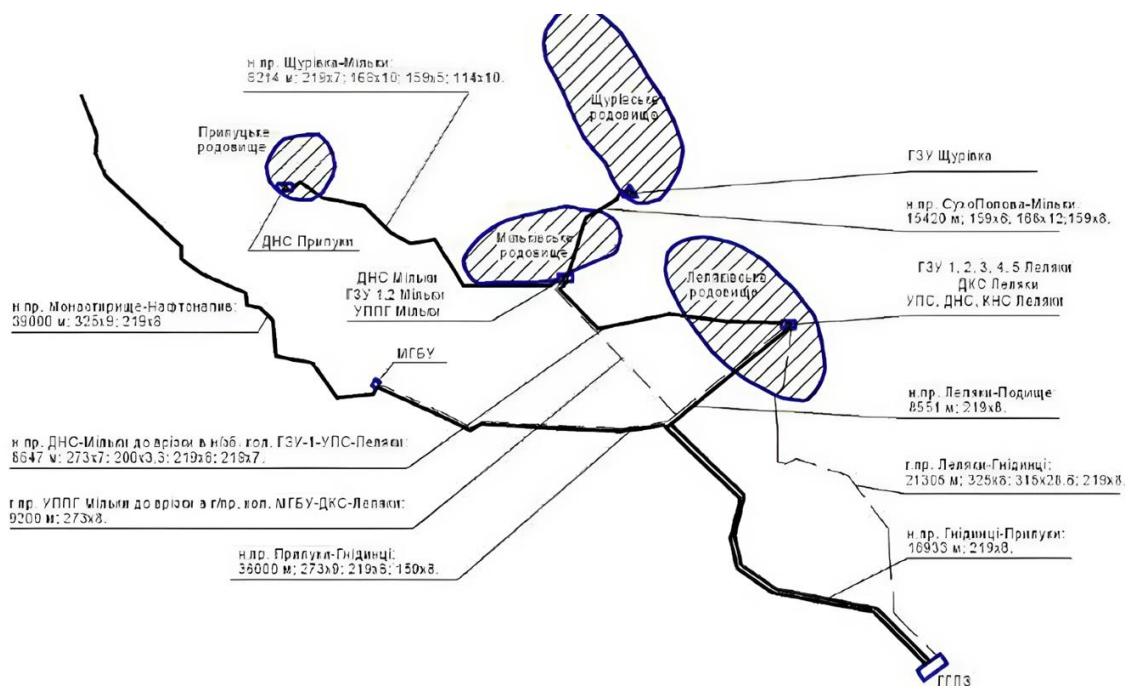


Рисунок 1.3 – Принципова схема транспортування продукції свердловин
Щурівського родовища

					ОА-01	Арк
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		8

Другий етап - вибір колони штанг. Після визначення діаметра насоса, довжини ходу плунжера та кількості качань, підбирається конструкція колони штанг, а потім обчислюється їх деформація.

Третій етап - вибір колони труб. Труби зазвичай підбираються з конструктивних міркувань, враховуючи тип насоса - вставний або трубний. Після цього перевіряється їх міцність. Рекомендується використовувати рівномічні труби з висадженими кінцями, що забезпечують максимальну глибину спуску насоса. Після вибору колони труб, визначається їх деформація під час роботи насоса.

Четвертий етап - вибір типу верстата-гойдалки. На основі результатів перших трьох етапів визначається необхідна довжина ходу точки підвіски штанг з урахуванням деформації штанг і труб, а також максимальне навантаження на полірований шток. Виходячи з цих даних, вибирається станок-качалка, що відповідає потрібним параметрам. Якщо серед наявних моделей немає відповідного верстата (наприклад, довжина виходить завищеною), перші два етапи повторюються, враховуючи насос, що забезпечує потрібну продуктивність.

Вибраний станок-качалка має мати запас по максимальному навантаженню в точці підвіски штанг, довжині ходу та кількості качань, щоб під час експлуатації свердловин можна було змінювати ці параметри як у бік зменшення, так і збільшення.

Після вибору моделі верстата-гойдалки проводиться розрахунок урівноважування та перевірка відповідності максимального крутного моменту паспортним даним.

Тип наземної частини установки визначається з урахуванням умов її експлуатації. Балансирні станки-гойдалки з баланси́рним урівноважуванням використовуються на неглибоких свердловинах з невеликою кількістю качань. Найбільш універсальні установки з роторним та комбінованим урівноважуванням.

П'ятий етап - вибір приводного електродвигуна. Знаючи тангенціальну силу на пальці кривошипа, визначається потужність приводного двигуна, а частота

					ОА-01	Арк
						10
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

обертання його валу встановлюється на основі передавального відношення редуктора та клиноремінної передачі.

1.3 Вибір основних параметрів верстата-гойдалки

Станок-качалка СКДТ10-3,5-5600 (СКТ10) балансируного типу використовується як індивідуальний привід для штангового свердловинного насоса. Цей станок-качалка СКДТ 10 (СКТ 10) призначений для монтажу на високому фундаменті. Чотириланковий перетворювальний механізм приводу виконаний за несиметричною схемою, що дозволяє значно зменшити габарити та масу верстатів-гойдалок, а також знизити споживання енергії. Це забезпечує високу надійність та довговічність верстатів-гойдалок СКДТ10 (СКТ10).

Таблиця 1.1. Технічні характеристики верстата-гойдалки СКДТ10-3,5-5600

Параметр	Значення
Номінальне навантаження в устьовому штоку, кН	100
Максимальна довжина ходу устьового штока, м	3,5
Номінальний крутний момент на вихідному валу редуктора, кНм	56
Передаточне число редуктора	40,
Кількість качань балансира, в хв.	5....12
Потужність двигуна, кВт	30 і 37

Таблиця 1.2. Технічні характеристики електродвигуна

Тип ЕД	Рн, кВт	n, об/хв	ККД, %	cosφ	Ін, А (380В)	Кратності			Маса, кг
						Іп/ Ін	Мп/ Мн	Мп/ Мн	
АИР225М6СН	37	980	92,0	0,86	69,7	6,2	2,5	2,4	320

Відповідно до діаграми А.Н. Адоніна, приймається дебіт свердловини рівним 6 м³/добу, а діаметр плунжера свердловинного насоса – 28 мм. Уточнюється витрата, м³/добу:

					ОА-01	Арк
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		11

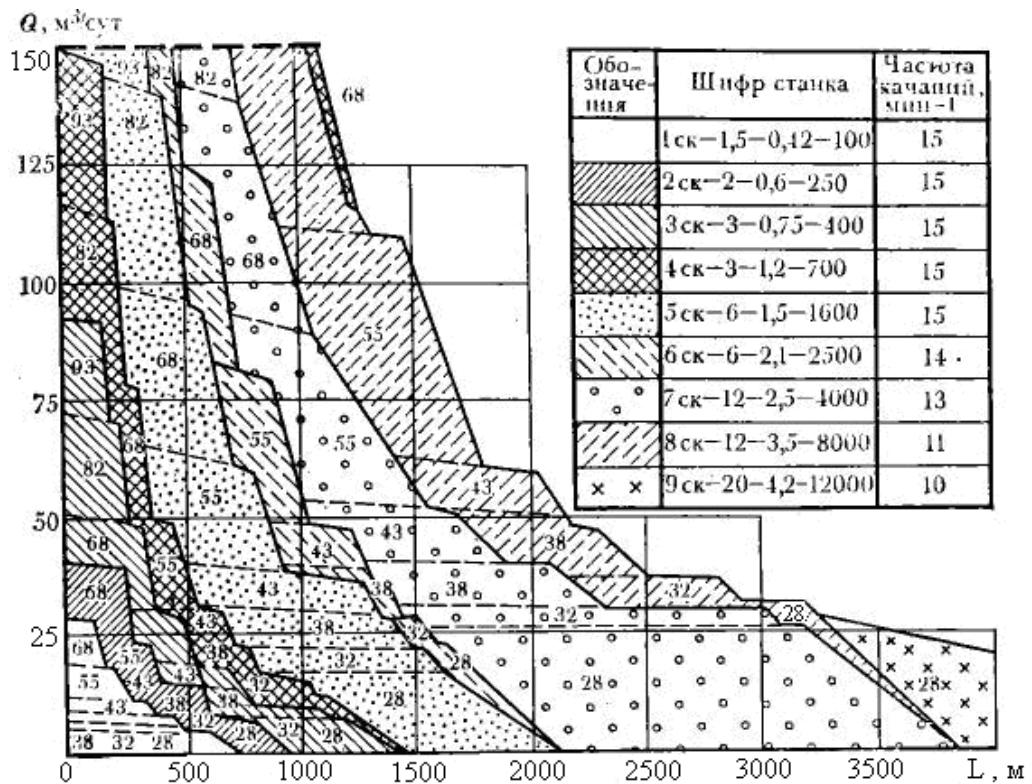


Рисунок 1.5 - Діаграма А.Н. Адоніна

де D – діаметр плунжера насоса;

L – довжина ходу головки балансиру (сальникового штока);

n – кількість качань (подвійних ходів) на хвилину;

k – коефіцієнт подачі насосної установки,

$\text{м}^3/\text{добу}$.

Для СКДТ10-3,5-5600 при діаметрі плунжера насоса 28 мм приймаються такі параметри:

- довжина ходу, м – 3,0;

- густина пластової рідини $\rho = 850 \text{ кг/м}^3$;

- кількість качань $n = 11 \text{ кач/хв}$.

Штанги колони виготовлені з марки сталі Сталь 20НМ, загартованої ТВЧ з максимальним допустимим напруженням $[\sigma_{\text{пр}}] = 90 \text{ МПа}$;

діаметр штанг $d = 19 \text{ мм}$;

маса 1 метра штанги у повітрі – 2,42 кг.

1.4 Підвищення дебіту свердловини

В процесі дипломного проектування розроблено активатор - пристрій, за допомогою якого можна було б досягнути збільшення терміну служби штангового насоса, а також підвищити дебіт свердловини.

Дана мета реалізується за допомогою п'єзоелектричного активатора, який приєднується до штангового насоса (рис.1.6).

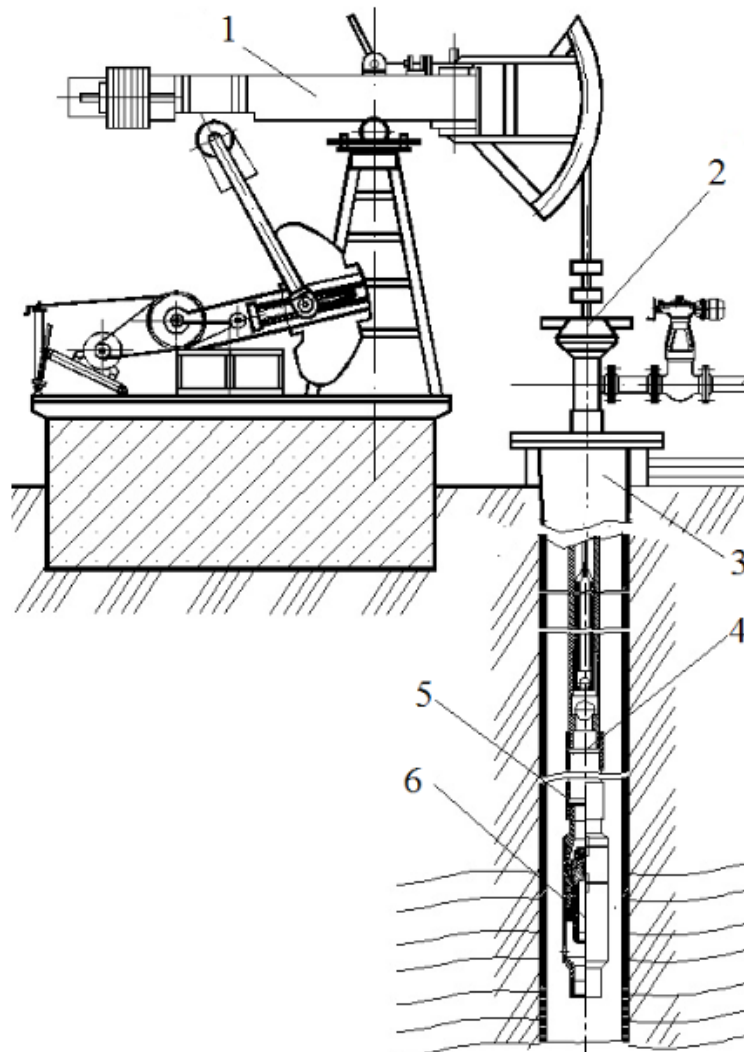


Рисунок 1.6 – Схема установки п'єзоактиватора з гідравлічним приводом від штангового насоса: 1 – верстат-гойдалка, 2 – фонтанна арматура; 3 – обсадна колона, 4 – штанговий насос, 5 – НКТ, 6 – п'єзоактиватор.

Конструкція п'єзоактиватора наведена нижче (рис.1.7).

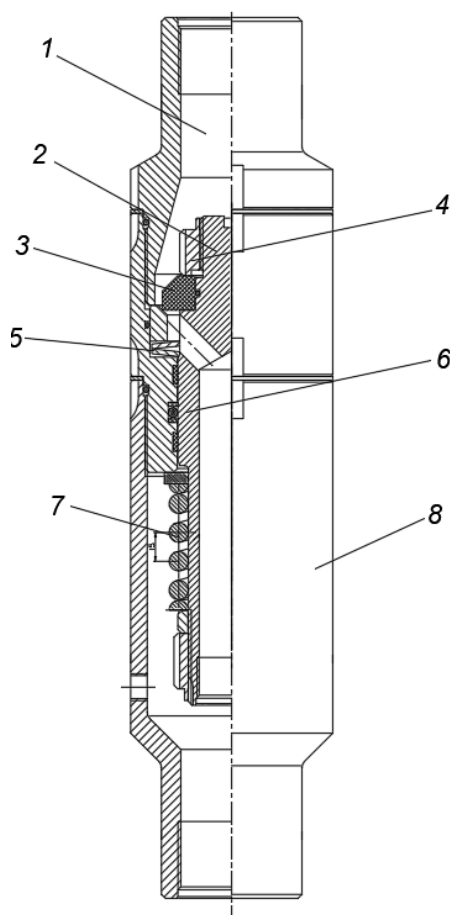


Рисунок 1.7 - Конструкція п'єзоактиватора імпульсної дії:

1 – імпульсний канал; 2 – клапан; 3 – п'єзоелемент; 4 – фіксатор; 5 – компенсатор; 6- плунжер золотника; 7 – віта пружина; 8 – корпус.

Принцип роботи п'єзоактиватора [2,3]: під час відкачування нафти штанговим насосом з імпульсній камери, в каналі НКТ, між штанговим насосом та п'єзодепресатором, відбувається падіння тиску, що призводить до утворення депресії. Під дією гідростатичного тиску в затрубному просторі відкривається імпульсний клапан 2, і рідина з зони високого тиску швидко протікає в імпульсний канал 1. На її місце переміщується стовп рідини над п'єзодепресатором, що викликає різке підвищення тиску в зоні перфорації. Тиск у затрубному просторі та в імпульсному каналі 1 вирівнюється, і клапан 2 швидко закривається, створюючи ефект прямого гідроудару. Тиск перед

					OA-01	Арк
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		14

клапаном різко зростає та поширюється в зону перфораційних отворів і пластову систему. Посилення ефекту імплозії п'єзодепресатором досягається завдяки використанню в його контактних частинах п'єзодепресатором досягається завдяки використанню в його контактних частинах п'єзоелементів з високим п'єзоелектричним модулем, які реалізують прямий п'єзоефект із генерацією електричного поля. Це активує молекулярну структуру нафти, зменшуючи її в'язкість, підвищуючи текучість і, відповідно, підсилюючи ефект імплозії за рахунок збільшення швидкості рідини в імплозійному каналі.

1.5 Визначення кінематичних та силових характеристик імплозійного гідроудару

Проблема підвищення продуктивності нафтових свердловин є важливою, і для цього застосовуються різні методи, які сприяють очищенню фільтраційної зони свердловини, що в свою чергу збільшує видобуток вуглеводнів [7]. Проте ці роботи зазвичай виконуються під час капітальних ремонтів [4, 5], після чого зони перфорації знову забруднюються в міжремонтний період, що призводить до зниження продуктивності [6].

П'єзоактиватор встановлюють у свердловину разом зі штанговим насосом, прикріплюючи його через НКТ (рис. 1.6). Під час відкачування нафти штанговим насосом у каналі НКТ між насосом і п'єзоактиватором відбувається падіння тиску, що створює депресію. Під дією гідростатичного тиску в затрубному просторі відкривається імпульсний клапан п'єзоактиватора, і рідина з зони високого тиску швидко переходить у канал низького тиску. На її місце над п'єзоактиватором опускається стовп рідини, що різко підвищує тиск у зоні перфорації. Це створює ефект, подібний до імплозії [8].

Посилення ефекту імплозії п'єзоактиватором досягається завдяки використанню у його контактних частинах п'єзоелементів з високим п'єзоелектричним модулем, які реалізують прямий п'єзоефект, генеруючи

					ОА-01	Арк
						15
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

електричне поле. Це електричне поле активує молекулярну структуру рідини, зменшуючи її в'язкість, підвищуючи текучість і тим самим підсилюючи ефект імплузії через збільшення швидкості рідини в імплузійному каналі.

Основним пружним елементом п'єзоактиватора є витка пружини. На рис. 1.8 показана схема параметризації вити пружини, яка відповідає конструкції п'єзоактиватора.

Конструктивні параметри: зовнішній діаметр $-D_1=66$ мм; внутрішній діаметр $-D=46$ мм; діаметр дроту $-d=10$ мм; крок $-t=20$ мм; кількість робочих витків $-i=3$; матеріал пружини – сталь 65Г ГОСТ 9369-60; модуль пружності $-G=8,2 \cdot 10^4$ МПа.

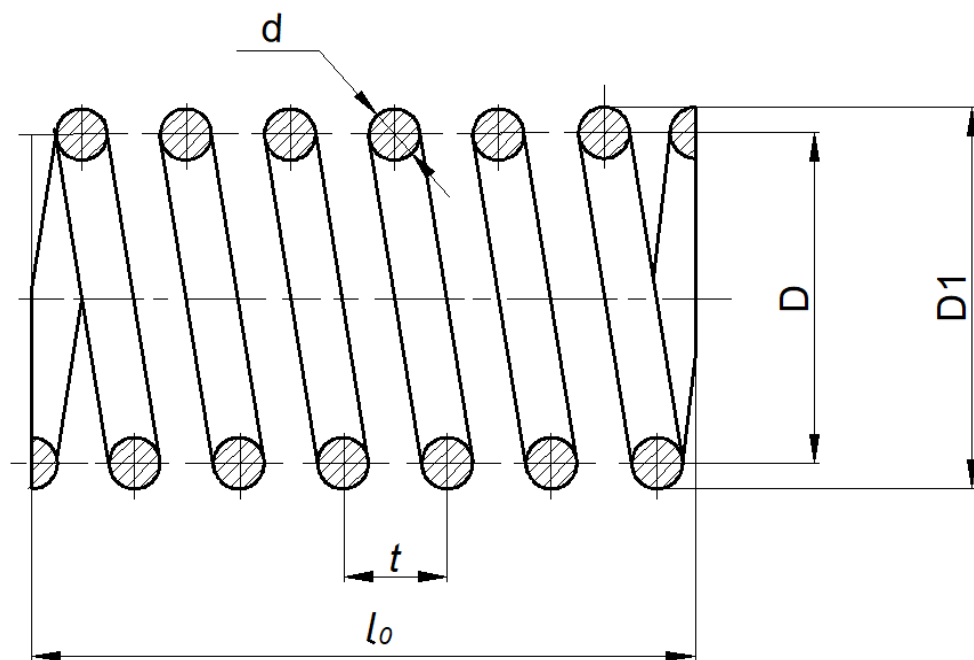


Рисунок 1.8 – Схема параметризації вити пружини

Жорсткість пружини:

$$c_{\text{пр}} = \frac{G \cdot d^4}{8 \cdot D^3 \cdot i} = 1,459 \cdot 10^5 \text{ Н/м.}$$

Опір пружини переміщенню x поршня:

$$F(x) = c_{\text{пр}} \cdot x;$$

де $x=0..20$ мм.

Енергія опору пружини при стисканні: $L(x) = \frac{c_{\text{пр}} \cdot x^2}{2}$

					ОА-01	Арк
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		16

На рис. 1.9 наведені поточні значення характеристик сили опору пружини $F(x)$ та енергії опору пружини при стисканні $L(x)$.

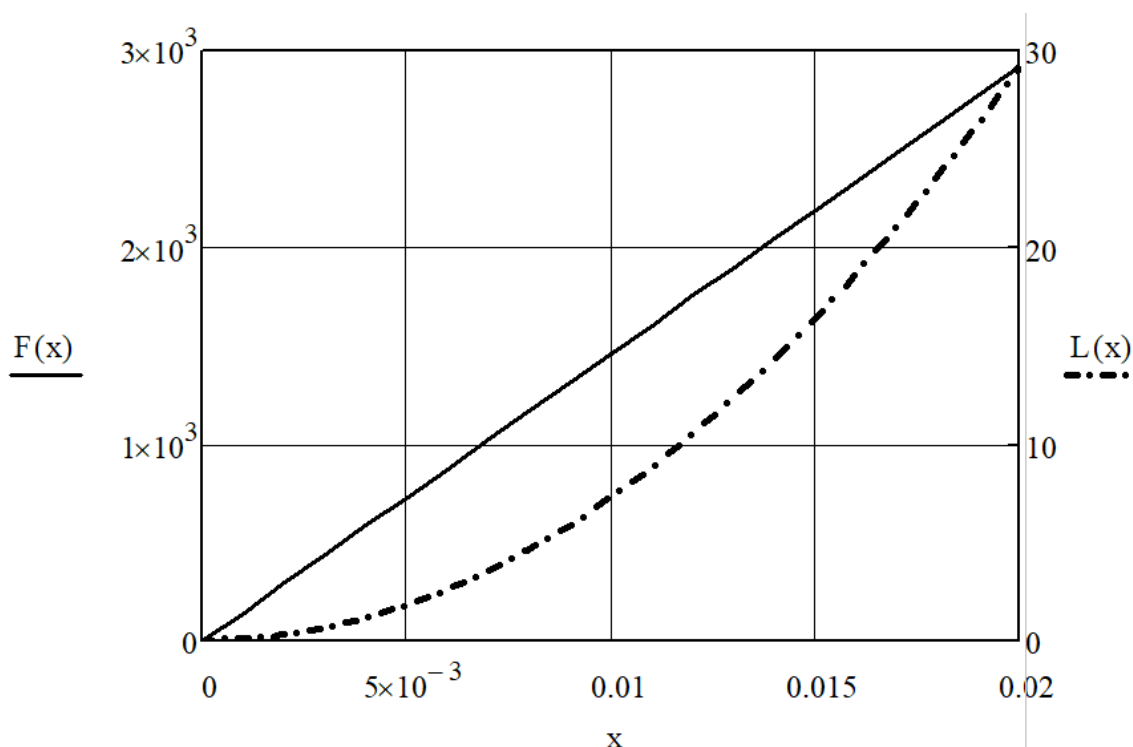


Рисунок 1.9 – Характеристики сили опору пружини 1 – $F(x)$ та енергія опору пружини стисненню 2 – $L(x)$.

Максимальні значення при повній деформації пружини, $x_{max} = 0,02$ м, становлять: $F(0,02)=2918$ Н; $L(0,02)=29,18$ Дж.

Швидкість руху рідини в імпульзійному каналі НКТ залежно від його довжини визначається за формулою [8]:

$$w(z) := \phi \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot p_0 \cdot d}{\rho \cdot \lambda \cdot (z + 0.000001)} \cdot \left(1 - \exp\left(\frac{-\lambda \cdot z}{d}\right)\right)}$$

де ϕ – коефіцієнт швидкості, прийнятий для даної конструкції $\phi=0,71$; p_0 – перепад тиску на клапані, тобто $p_0=\Delta p = 0,43$ МПа; ρ – густина рідини, $\rho = 1000$ кг/м³; d – внутрішній діаметр каналу, $d=0,059$ м; λ – коефіцієнт гідравлічного опору тертя, $\lambda=0,02$; x – довжина імпульзійного каналу; z – розмір, що характеризує втрати довжини імпульзійного каналу через розташування імпульсного клапану, $z = 0,1$ м.

					ОА-01	Арк
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		17

Підвищення тиску від різкого перекриття руху рідини імпульсним клапаном п'єзоактиватора визначається за формулою Жуковського:

$$p(z) := \rho \cdot c_{zv} \cdot w(z)$$

де c – швидкість звуку в рідині, $c=1400$ м/с.

Графіки, що показують залежність швидкості та тиску рідини від довжини хімплозійного каналу, представлені на рис. 1.10.

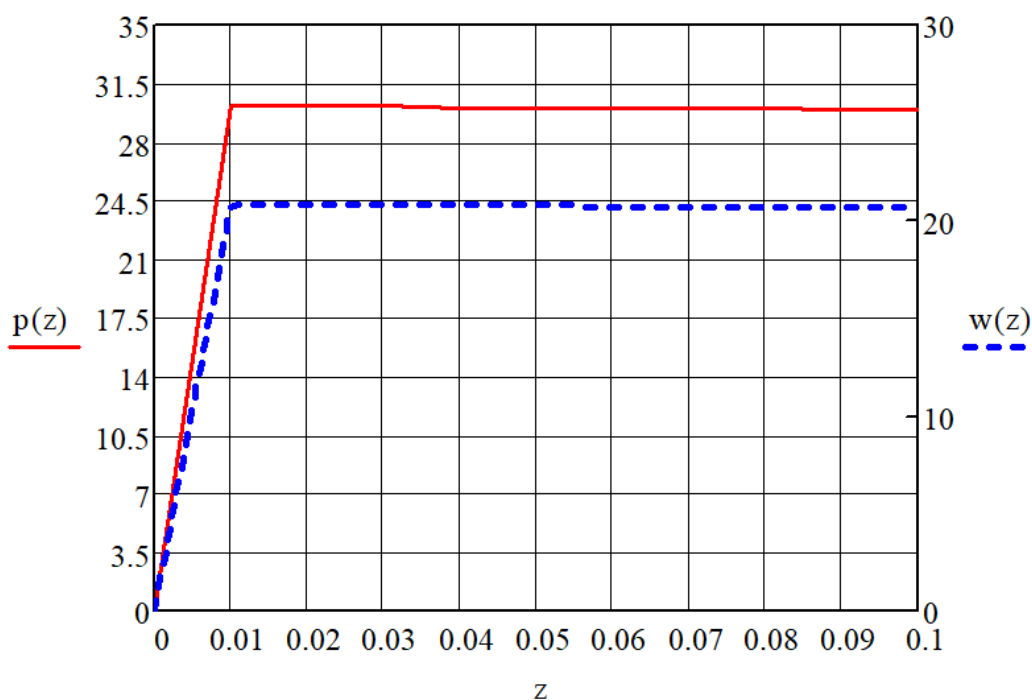


Рисунок 1.10 – Залежність швидкості імпульсного потоку (1) та підвищення імпульсного тиску (2) від довжини імпульсного каналу

Вже можемо зробити такі висновки:

а) Застосування п'єзоактиватора як постійного генератора імпульсів тиску дозволить безперервно здійснювати динамічний вплив на привибійну зону, очищуючи її від кольматантів і тим самим підвищуючи видобуток вуглеводнів.

б) Встановлено кінематичні та силові параметри процесу імпульзації при перепаді тиску між затрубним простором і депресією 0,43 МПа: швидкість рідини складає 35,3 м/с, тиск – 49,4 МПа, а оптимальна довжина імпульсного каналу – 1 м.

Маса золотника дорівнює $m = 4,25$ кг; визначена жорсткість пружини $c=1,459 \cdot 10^5$ Н/м; частота власних коливань пружної системи: $\omega=(c/m)^{0,5}=185.221$ рад/с; для гідравлічних систем прийнято усереднений декремент затухання $\Delta=1,4$.

Коефіцієнт дисипації:

$$k = \frac{\ln \Delta \cdot \omega}{\sqrt{4 \cdot \pi^2 + \ln^2 \Delta}} = 9.9 \text{ с}^{-1}$$

Частота затухаючих коливань: $k_1 = \sqrt{\omega^2 - k^2} = 184.956$ 1/с

Модель Кельвіна-Фойхта (рис. 1.11) прийнята як модель для опису коливального імпульсного процесу.

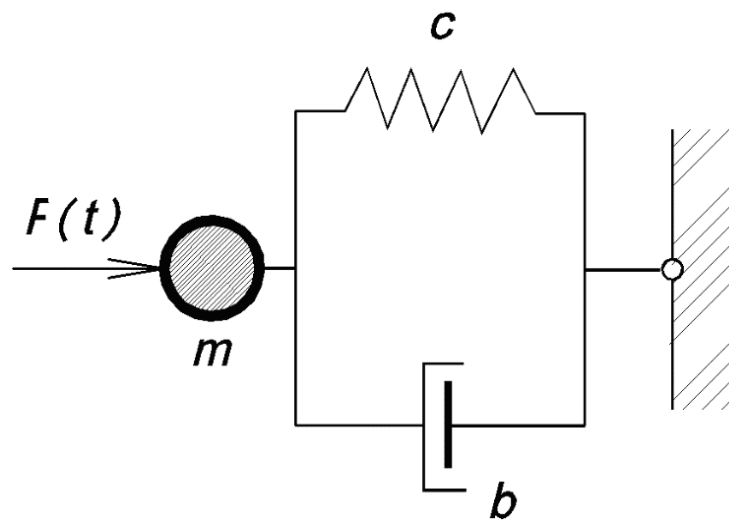


Рисунок 1.11 – Модель коливального імпульсного процесу.

Рівняння руху для цієї моделі:

$$x'' + 2kx' + \omega^2 = N \sin \omega_1 t$$

Розв'язок цього неоднорідного рівняння:

$$x_{no}(t) := x_o(t) + x_{ch}(t)$$

Визначимо параметри частинного розв'язку:

$$N := \frac{a \cdot (\omega^2 - \omega_1^2)}{(\omega^2 - \omega_1^2)^2 + 4 \cdot k_r^2 \cdot \omega_1^2} = -8.524 \times 10^{-3}$$

$$M := \frac{-2 \cdot k_r \cdot \omega_1 \cdot a}{(\omega^2 - \omega_1^2)^2 + 4 \cdot k_r^2 \cdot \omega_1^2} = -0.111$$

					OA-01	Арк
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		20

Амплітуда вимушених коливань:

$$A1 := \sqrt{M^2 + N^2} = 0.111 \text{ м}$$

Початкова фаза:

$$\phi1 := \operatorname{atan}\left(\frac{M}{N}\right) = 1.494 \text{ радіан}$$

Частинний розв'язок неоднорідного рівняння:

$$x_{ch}(t) := A1 \cdot \sin(\omega1 \cdot t + \phi1)$$

Загальний розв'язок неоднорідного рівняння:

$$x_{no}(t) := x_o(t) + x_{ch}(t)$$

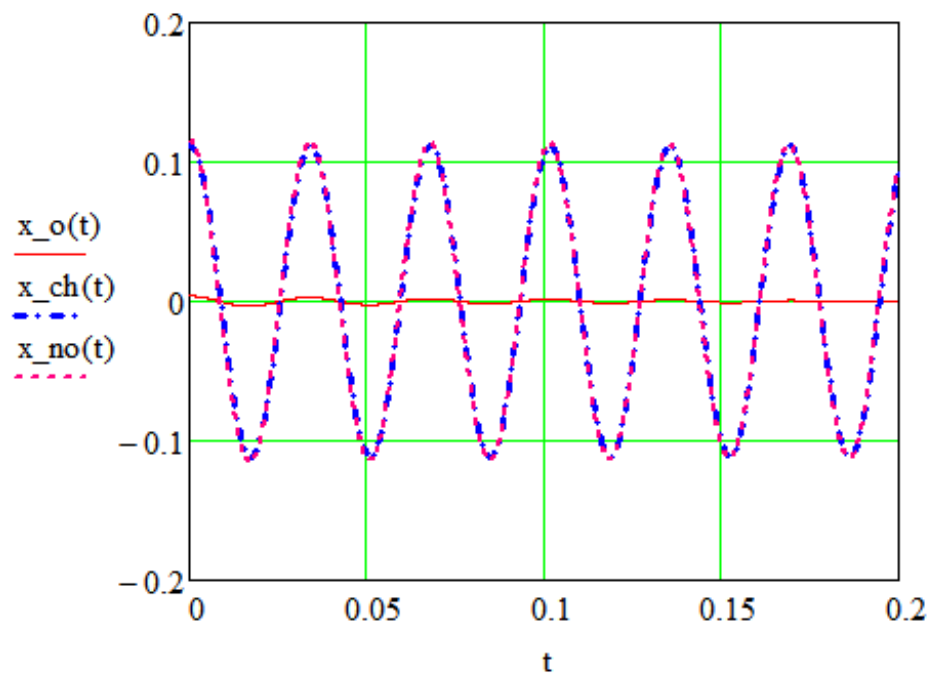


Рисунок 1.12 - Графік вимушених коливань

Висновки до розділу

П'єзоелектричний активатор для штангових насосів є передовою технологією у сфері нафтовидобутку. Його впровадження може значно підвищити ефективність процесу видобутку, знизити енергоспоживання та забезпечити точний контроль

робочих параметрів системи. Технічні переваги цієї інноваційної технології відкривають нові можливості для подальших досліджень та вдосконалення.

Застосування п'єзоелектричних активаторів потребує додаткових експериментів та визначення оптимальних параметрів для успішного промислового впровадження. Співпраця між науково-дослідними установами та промисловими компаніями є критично важливою для забезпечення широкого використання цієї технології в галузі нафтовидобутку.

Ця технологія має потенціал стати основою для розвитку нових методів і підходів у видобутку нафти, сприяючи підвищенню продуктивності та зниженню операційних витрат. Подальші дослідження та експериментальні роботи дозволять оптимізувати використання п'єзоелектричних активаторів та забезпечити їхнє ефективне впровадження в промислові процеси.

					ОА-01	Арк
						22
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

2 ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

2.1 Проектування системи електропостачання нафтовидобувного підприємства Щурівського родовища.

Проектування системи електропостачання планована діяльність передбачає продовження видобування вуглеводнів на Щурівському родовищі, що забезпечує видобування нафти і газу в межах гірничого відводу. Площа ліцензійної ділянки - 1,7 км². Залягання промислово-нафтонасичених пластів продуктивних горизонтів в інтервалі глибин від 3028 до 3382 м.

На нафтогазових підприємствах широко застосовують продуктивні механізовані комплекси установок з електричним приводом. До них відносяться: бурові верстати, насосні агрегати й інше устаткування. Ці комплекси обладнуються значною кількістю устаткування та засобами автоматики, на роботу яких впливають її фактори: робота на відкритому повітрі, кліматичні умови, забрудненість навколишнього середовища, глибина розробок та інші. До електроустаткування нафтогазових виробництв пред'являються наступні вимоги: підвищена механічна міцність зовнішніх оболонок; захист їдучих частин від пилу, вологи і хімічних реагентів; застосування тепло чи холодостійкої ізоляції.

В системі енергопостачання нафтогазового виробництва родовища споживачами електричної енергії штангові свердловинні насосні установки (ШСНУ) та нафтові електричні відцентрові насоси (ВЕЦН); окремими являються потужні пункту збору нафти ЦЗП, дожимної насосної станції (ДНС) та кушової насосної станції (БКНС). Також споживачем електричної енергоустановки підготовки пластової води (УППВ) . Потужності споживачів наведено в таблиці 2.1:

					ОА-01	Арк
						23
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.1 Електроспоживачі нафтогазового підприємства

Групи споживачів	Найменування споживачів	Обладнання	Кільк.	Загальна потужність, <i>кВт</i>
Групи 1,2,3	Штангові насосні свердловинні установки	СКДТ 10-3,5-5600	5	150
		СКДТ 8-3-4000	7	210
		СКДТ 12-3-5600	2	80
Група 4	Нафтові електричні відцентрові насоси насоси	УЭЦН МК5-125-1300	5	200
		УЭЦН МК5-125-1300	3	120
Група 5	Дожимна насосна станція	ДНС 20000-ХЛ	2	800
Група 6	Пункт збору нафти	ЦЗП	2	1032
Група 7	Блочна кущова насосна станція	БКНС1-100-РЦВ	3	2400

Установка підготовки пластової води (УППВ)-81.25

Освітлюється промислова площадка розміром 120*50 м , цех 24*14*6.

Довжини ліній електропостачання (ЛЕП) відображено у таб. 2.2.

Таблиця 2.2 Довжина ліній ЛЕП, км

L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8	Lцзб	Lднс	Lбкнс
3	4	6	3	1,2	1,5	1	2	0,2	0,5	1,9

Джерелом живлення промислу являються районні мережі енергосистеми. Схеми зовнішнього живлення визначаються специфічними умовами підприємства, а також приєднання енергосистеми. Основним питанням, які потребують вирішення при проектуванні зовнішньої СЕП є вибір напруги , числа та способу виконання ЛЕП. Живлення невеликих промислів , що мають споживачі третьої буде здійснюватися по одній ЛЕП. При великій кількості ЕП першої та другої категорій живлення повинно здійснюватися по двох і більше ЛЕП. При цьому одна чи дві ГПП, що знаходяться у центрі промислу електричних навантажень в зоні, безпечний при проведенні робіт.

					ОА-01					Арк
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата						24

Зовнішнє енергопостачання промислу повинно виконуватися по системі бічного вводу. Підстанції глибокого вводу знаходяться біля найбільших потужних вузлів споживання і живляться по радіальних чи магістральних схемах.

Число ЛЕП , що живлять промисел ,їх пропускну здатність, число та потужність трансформаторів на ГПП вибирають з розрахунку , щоб забезпечити тривале живлення ЕП першої та другої категорії при виході з ладу однієї з ЛЕП або одного з трансформаторів.

При розробці схем підстанцій орієнтуються на використання :

- блочних схем без збірних шин на первинній напрузі(ВН);
- простіших схем з мінімальною кількістю апаратів;
- односекційної системи збірних шин на ГПП;
- окремої роботи ЛЕП та трансформаторів.

2.2 Розрахунок освітлення

2.2.1 Розрахунок освітлення промислової площадки

Для освітлення промислової площадки (розміром 120*50) будемо використовувати прожектори. Мінімальну освітленість відповідно до норм приймаємо $E_p=5$ лк .

Кут нахилу оптичної осі прожектора має великий вплив на освітленість, форму і площу світлової плями .Кут при якому пляма з заданою освітленістю має найбільшу площу є оптимальним :

$$\theta = \arcsin \sqrt{m + n \cdot E_0^{2/3}} = \arcsin \sqrt{0.03 + 0.00077 \cdot 20.31^{2/3}} = 11^\circ;$$

де $K_3=1,2 \dots 1,5$ -коефіцієнт запасу;

Сумарний світловий потік , який необхідний для створення на площі S необхідної освітленості:

$$\Sigma \Phi = E_n \cdot S \cdot K_3 \cdot K_e = 5 \cdot 6000 \cdot 1,3 \cdot 1,2 \cdot 1,15 = 53820 \text{ лм};$$

					ОА-01	Арк
						25
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

де $K_v=1,15$ - коефіцієнт, що враховує втрати освітлення в ясності від конфігурації освітлюваної площі;

$Z=1,3$ - коефіцієнт нерівномірності освітлення.

Для освітлення вибираємо прожектор типу ПЗС-45А з лампою Г-220-1000-1. За умовою обмеження сліпучої дії висота H установки прожектора качається по формулі [10]:

$$H \geq \sqrt{\frac{I_{\max}}{300}} = \sqrt{\frac{130000}{300}} = 20.82 \text{ м};$$

де $I_{\max}=130000$ кд - максимальна осьова сила світла прожектора. Приймаємо висоту установки прожекторів рівну $H = 21$ м. Кількість прожекторів для освітлення заданої площі [10]:

$$N_{np} = \frac{\Sigma \Phi}{\Phi_l \cdot \eta_{np}} = \frac{53820}{18600 \cdot 0,27} = 10.07;$$

де $\Phi_l=18600$ лм - світловий потік лампи прожектора;
 $\eta_{np}=0,27$ - ККД прожектора. Приймаємо кількість прожекторів рівне $N_{pn}=10$.

2.2.2 Розрахунок освітлення насосної подачі пластової води

Для розрахунку освітлення насосної станції (розміром 24x14x6) використовуємо метод питомої потужності [10].

Застосовується для орієнтованих розрахунків при визначенні електричних навантажень на освітлення приміщень і відкритих просторів. Площа освітлювального приміщення:

$$S=24 \cdot 14= 336 \text{ м}^2;$$

Питома потужність освітлення визначається за виразом, Вт/м²:

$$\omega = \frac{E_n}{4} = \frac{10}{4} = 2,5 \text{ лк};$$

					ОА-01	Арк
						26
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

де $E_n=10$ лк - нормована освітленість.

Питома потужність знаходиться в межах від $E_n/3$ до $E_n/5$ - при освітленні лампами розжарювання , і від $E_n/10$ до $E_n/15$.при освітленні люмінесцентними лампами

$$P_{oc} = \varpi \cdot S = 2.5 \cdot 336 = 840 \text{ Вт};$$

Приймаємо лампу розжарювання Б-220-60-1. Напруга живлення лампи 220 В. Потужність застосовуємої лампи складає 60 Вт, світловий потік 840 лм. Необхідне число ламп прийнятної потужності:

$$N_l = \frac{P_{oc}}{P_l} = \frac{840}{60} = 14;$$

2.2.3 Розрахунок необхідної для освітлення потужності

Необхідна потужність для освітлення промислової площадки

$$P_{p01} = N_{св} \cdot P_l = 17 \cdot 1000 = 17000 \text{ Вт} = 17 \text{ кВт};$$

Необхідна потужність для освітлення насосної станції

$$P_{p02} = N_{св} \cdot P_l = 14 \cdot 60 = 840 \text{ Вт} = 0,84 \text{ кВт};$$

Загальна потужність для освітлення:

$$\sum P_{po} = P_{p01} + P_{p02} = 17 + 0,84 = 17,84 \text{ кВт};$$

2.2.4 Вибір трансформатора освітлення

По розрахунковій потужності споживаною освітленням вибираємо трансформатор ТСЗ-25/6.

2.2.5 Вибір кабелів для освітлення промислової площадки

Момент навантаження кабельної лінії [10]

$$M = P_{\Sigma} \cdot \left(l_1 + \frac{L}{2} \right) = 17,84 \cdot \left(6 + \frac{100}{2} \right) = 999,04 \text{ кВт} \cdot \text{м};$$

					ОА-01	Арк
						27
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

де P_E -17.84 кВт - сумарна потужність усіх світильників;

$L_1 = 6\text{ м}$ – довжина кабелю від трансформатора до першого світильника;

$L = 100\text{ м}$ – довжина лінії освітлення з рівномірним навантаженням.

Перетин струмоведучої жили магістрального кабелю [10]:

$$S = \frac{M}{C \cdot \Delta U} = \frac{999.04}{46 \cdot 6} = 5.42 \text{ мм}^2$$

де $\Delta U = 6\text{ В}$ - нормативне значення втрати напруги;

C - коефіцієнт, що залежить від напруги мережі, системи розподілу вітроенергії і матеріалу проводу. Для трифазної мережі з нульовим проводом напругою 220/380 В, виконаної алюмінієвими проводами $C=46$. Вибираємо кабель 3-х жильний на напругу до 6 кВ і з перетином жили 6 мм²

2.2.6 Вибір кабелів для освітлення насосної станції

Момент навантаження кабельної лінії:

$$M = P_{\Sigma} \cdot \left(l_1 + \frac{L}{2} \right) = 0.54 \cdot \left(15 + \frac{50}{2} \right) = 21.6 \text{ кВт} \cdot \text{м}$$

Перетин струмоведучої жили магістрального кабелю:

$$S = \frac{M}{C \cdot \Delta U} = \frac{21.6}{12.8 \cdot 4} = 0.42 \text{ мм}^2$$

Вибираємо кабель 3-х жильний ВВГ-2,5

2.3 Розрахунок електричних навантажень і вибір потужностей трансформаторів

Електричні навантаження визначаємо методом коефіцієнта попиту. Цей метод застосовується при кількості електроприймачів у групі не менше трьох. Для даного

					ОА-01	Арк
						28
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

нафтопромислу використовується обладнання, потужність та тип якого задані в таблиці 2.3 [9].

Таблиця 2.3 - Електромеханічне обладнання

	Обладнання	Двигун	Кільк.	Потужність, кВт	ККД%	$\cos\varphi$
Штангові насосні свердловинні установки	СКДТ 10-3,5-5600	АИР180М4	5	30	90	0,85
	СКДТ 8-3-4000	АИР180М4	7	30	88	0,87
	СКДТ 12-3-5600	АОП 2-84-4	2	40	90	0,88
Нафтові електричні відцентрові насоси	УЭЦН МК5-125-1300	АИР200М4	5	40	80,5	0,83
	УЭЦН МК5-125-1300	АИР200М4	3	40	80,5	0,83
Дожимна насосна станція	ДНС 20000-ХЛ	ВАО 500-2	2	400	92,5	0,9
Пункт збору нафти	ЦЗП	ВАО2-560-4	2	516	94,2	0,91
Блочна кустова насосна станція	БКНС1-100-РЦВ	СТДП-Ш-2У5	3	800	96	0,9

Також до електромеханічного обладнання відноситься УППВ, склад та потужності споживачів, якої, наведені в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 Потужності електроспоживачів УППВ

№ п/п	Об'єкт електропостачання	Електроспоживач	Потужність, кВт
1	Насосна, подачі пластової води на очисні споруди	Насос відцентровий - ЦНС-60-50 з електродвигуном - ВРШ 80-Б2	3х18,5
2	Дренажна ємність промивної води	Насос відцентровий з електродвигуном — АРС50.92.3 EX	11
3	Ємність для прийому промислових стічних вод	Насос відцентровий з електродвигуном — АРС50.92.3 EX	11
4	Сепаратор піску	Насос глибинний з електродвигуном -APN 400/2G50H AOFT- E-EX	3
5	Автоматичне керування потоком пластової води в аварійних ситуаціях	Засувка—30с94 з електроприводом - ТЭ099.059-02М	3х0,25

Сумарна потужність електроспоживачів УППВ складає 81,25 кВт

Коефіцієнт попиту для першої групи споживачів визначається за:

$$K_{n1} = 0,4 + 0,6 \cdot P_{nc} / \sum_{i=1}^n P_{1ni} = 0,4 + 0,6 \cdot 30 / 150 = 0,52$$

де P_{nc} - номінальна потужність найбільш силового двигуна;

Активна розрахункова потужність першої групи:

$$P_{p1} = K_{n1} \cdot \sum_{i=1}^n P_{1ni} = 0,52 \cdot 150 = 78 \text{ кВт}$$

Реактивна розрахункова потужність першої групи:

$$Q_{p1} = P_{p1} \cdot \operatorname{tg} \varphi_p = 78 \cdot 0,62 = 48,3 \text{ квар}$$

$\operatorname{tg} \varphi_p$ відповідає розрахунковому середньозваженому коефіцієнту потужності

$$\cos \varphi_p = \sum_{i=1}^n P_{1ni} \cdot \cos \varphi_{n1} / \sum_{i=1}^n P_{1ni} = 3 \cdot 30 \cdot 0,85 / 150 = 0,85$$

Реактивна потужність першої групи :

$$S_{p1} = \sqrt{P_{p1}^2 + Q_{p1}^2} = \sqrt{78^2 + 48,3^2} = 91,8 \text{ кВА}$$

Розрахунок інших груп ЕП проводимо аналогічно, результати розрахунку зводимо в таблицю 2.5.

Таблиця 2.5 Результати розрахунків груп ЕП

Найменування обладнання	$P_{ном}, \text{кВт}$	K_n	$P_p, \text{кВт}$	$Q_p, \text{квар}$	$S_p, \text{кВА}$	$\cos \varphi_p$	$\operatorname{tg} \varphi_p$
СКДТ 10-3,5-5600	150	0,52	78	48,340	91,8	0,85	0,62
СКДТ 8-3-4000	210	0,49	102,9	58,316	118,3	0,87	0,57
СКДТ 12-3-5600	80	0,7	56	30,226	63,6	0,88	0,54
УЭЦН МК5-125-1300	200	0,52	104	69,888	125,3	0,83	0,67
УЭЦН МК5-125-1300	120	0,6	72	48,384	86,7	0,83	0,67
ДНС 20000-ХЛ	800	0,7	560	271,220	622,2	0,9	0,48
ЦЗП	1032	0,7	722,4	329,135	793,8	0,91	0,46
БКНС1-100-РЦВ	2400	0,6	1440	697,424	1600,0	0,9	0,48
Σ			3135,3	1552,934	3323,875		

					ОА-01	Арк
						30
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

$$P_{pууПП} = 1 \cdot 81,25 = 81,25 \text{ кВт};$$

$$Q_{pууПВ} = 81,25 \cdot 0,964 = 78,33 \text{ квар}$$

$$S_{pууПП} = \sqrt{81,25^2 + 78,33^2} = 112,9 \text{ кВА}$$

Розрахуємо навантаження вузла СЕП. Вузловими точками заданої СЕП є інших розподільчих установок. Розрахункове навантаження і-го вузла визначається дамою розрахункових навантажень і-тих груп, що входять в даний вузол та окремих ЕП, а це значить що їх потрібно умовно вважати за групу, отже:

$$S_{ПП} = K_{CM} \cdot \sqrt{\left(\sum P_{ГПП}\right)^2 + \left(\sum_i Q_{ГПП}\right)^2} = 0,95 \cdot \sqrt{3135,3^2 + 1552,9^2} = 3323,8 \text{ кВа}$$

Силові трансформатори для живлення ЕП розміщуються на станціях ГПП.

Вихідними даними для вибору трансформатора підстанції є повна потужність вузла, що живить даний трансформатор. Номінальна потужність трансформатора повинна відповідати:

$$S_{н.т.} \geq S_p$$

Отже вибираємо двообмотковий трифазний масляний трансформатор типу ТМН-4000/35 з номінальною потужністю 4000 кВА, номінальні напруги обмоток високої та низької напруги 35/6,3 кВ, втрати потужності КЗ складають 33,5 кВт, напруга КЗ -7,5%.

Визначаємо втрати потужності в трансформаторі, приблизно вони можуть бути визначені:

$$\Delta P_{mp1} \approx 0,02 \cdot S_{н.т.} = 0,02 \cdot 4000 = 80 \text{ кВт}$$

$$\Delta Q_1 \approx 0,1 \cdot S_{н.т.} = 0,1 \cdot 4000 = 400 \text{ квар}$$

Розрахункове навантаження приведені к шинам 6 кВ з врахуванням втрат в трансформаторі:

$$P_p' \approx P_p + \Delta P_{mp} = 3135,3 + 80 = 3215,3 \text{ кВт}$$

$$Q_p' \approx Q_p + \Delta Q_{mp} = 1552,9 + 400 = 1952,9 \text{ квар}$$

					ОА-01	Арк
						31
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

Для живлення, керування та захисту групи споживачів СКДТ першої групи споживачів вибираємо комплектні трансформаторні підстанції КТПНД-03-100/6 номінальною потужністю 100 кВА та номінальною напругою 6/0.4 кВ.

Для живлення, керування та захисту поодиноких СКДТ другої групи споживачів вибираємо комплектні трансформаторні підстанції КТПНД-03-100/6 номінальною потужністю 100 кВА та номінальною напругою 6/0.4 кВ.

Для живлення третьої групи споживачів вибираємо комплектні трансформаторні підстанції КТПНД -63-6/0,4 номінальною потужністю 63 кВА та номінальною напругою 6/0.4 кВ.

Для живлення споруд УППВ вибираємо двохобмотковий масляний трансформатор ТМ-100/6 з номінальною потужністю 100 кВА та номінальною 6/0.4 кВ. з допустимим перевантаженням у 12,9%.

2. 4 Розрахунок електричної мережі напругою 6 кВ

Розрахунок електричної мережі полягає в аналітичному визначенні-та виборі такого перерізу провідника, що задовольняв би умови: за допустимим нагрівом розрахунковим струмом в тривалому режимі роботи; з а економічною густиною струму; за механічною міцністю; за допустимими втратами напруги [9].

2.4.1 Розрахунок електричної мережі за нагрівом розрахунковим струмом в тривалому режимі

Вибираємо переріз проводів ліній та жил кабелів за нагрівом розрахунковим (робочим) струмом в нормальному режимі роботи, Порівнюючи розрахунковий струм і-тої лінії з допустимим струмом, для Цього ПУЕ рекомендує стандартні значення перерізів проводів ПЛ та жил кабелів, за умовою:

$$I_p \leq I_{don}$$

					ОА-01	Арк
						32
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

де I_p -розрахунковий струм i -ої лінії, А;

$I_{\text{доп}}$ - тривало-допустимі струми для стандартного ряду перерізу провідника ліній. Розрахункові струми в лініях визначаємо згідно [7]:

$$I_{pi} = \frac{P_{pi}}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos \varphi_{pi}}$$

де U_n -номінальна напруга ЕП.

Для поодиноких споживачів, для яких $K_{\Pi}=1$:

$$I_p = \frac{P_{\text{ном}}}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos \varphi_{\text{ном}} \cdot \eta}$$

Отже струми повітряних ліній ЛЕП складуть відповідно :

- для L1:

$$I_{L1} = \frac{150}{\sqrt{3} \cdot 6 \cdot 0.9} = 17,3 \text{ А}$$

Розрахунок інших груп ЕП проводимо аналогічно. По розрахованими тривалим струмам вибираємо перерізи повітряних ліній з неізолюваними сталевалюмінієвих провідників, результати зводимо в таблицю 2.6.

Таблиця 2.6- Вибір стандартних перерізів ліній

Назва лінії	Довжина, м	I_p ,А	Марка проводу	$I_{\text{доп}}$,А	$S_{\text{ст}}$,мм.кв
L1	3000	17,33	АС	105	16
L2	4000	23,70	АС	105	16
L3	6000	8,93	АС	105	16
L4	3000	14,20	АС	105	16
L5	1200	259,91	АС	330	95
L6	1500	355,51	АС	380	120
L7	1000	133,89	АС	135	25
L8	2000	23,66	АС	105	16
Лднс	200	87,28	АС	105	16
Лцзп	500	111,35	АС	135	25
ЛБКНС	1900	261,84	АС	265	70

2.4.2 Розрахунок електричної мережі за економічною густиною

Вибір економічно доцільного перерізу виконують за економічною густиною струму в залежності від матеріалу провідника та кількості годин використання максимуму навантаження, а для кабелів і від матеріалу ізоляції. Величина економічного перерізу визначається розрахунковим струмом і-ої лінії за економічною густиною струму і приймається за умови [10]:

$$S_{ек} = I_p / j_{ек}, \text{ мм}^2$$

де I_p - роз рахунковий струм, А;

$j_{ек}$ - економічна густина струму, А/мм²

Оскільки агрегати на видобутку працюють тільки з перервами на ремонт і ТО, а також при зупинках, зумовлених технологією процесу вважатимемо одночасність використання максимуму енергії більше 5000 год/рік. Відповідно економічна густина струму у неізольованих ЛЕП при цьому складає 1,0.

Тоді отримаємо:

$$S_{екЛ1} = 17,3 / 1 = 17,3 \text{ мм}^2$$

Відповідно обираєм провід марки АС перерізом 16 мм. Аналогічно проводим розрахунки для решти споживачів.

2.4.3 Вибір перерізу проводів ПЛ за умови механічної міцності

Переріз проводів обирають за даними мінімально допустимих перерізів механічною міцністю згідно ПУЕ в залежності від типу ліній та напруги, талеалюмінієвих проводів при $U_n = 6-10$ кВ, мінімальний переріз звідників складає 25 мм². Таким чином приймемо переріз усіх ліній електропередачі за умови механічної міцності 25 мм².

2.4.4 Розрахунок електричної мережі за допустимими втратами напруги

Найбільший перетин з отриманих по нагріву, економічній щільності і механічній міцності струму перевіряється по допустимих втратах напруги.

					ОА-01	Арк
						34
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

При автоматичному регулюванні напруги на ГПП, втрати напруги в трансформаторі будуть компенсуватися регулятором, а втрати напруги в будь-якій лінії не повинні перевищувати $|\Delta U_{\text{дон}\%}| = 7,5\%$.

Розрахункова втрата напруги в і-й лінії:

$$\Delta U_{LI\%} = \frac{P_{pi} \cdot R_{pi} + Q_{pi} \cdot X_{LI}}{10 \cdot U_n^2}$$

де P_{pi} та Q_{pi} – розрахункові значення активної та реактивної потужності і-тої лінії L_i -довжина лінії;

R_{pi} та Q_{pi} - активний та реактивний опір ПЛ.

Для лінії L1, що живить в нормальному режимі групу 1, втрата напруги:

$$\Delta U_{LI\%} = \frac{78 \cdot 1,28 \cdot 3 + 48,3 \cdot 0,4 \cdot 3}{10 \cdot 6^2} = 0,16\%$$

Дані вибору перерізу лінії з подальшим розрахунком втрат (при нормальному режимі роботи) зводимо в таблицю 2.7.

Таблиця 2.7- Результати розрахунку втрат напруги

	L, м	S, мм ²	$\Delta U_{li} \leq \Delta U_{\text{дон}\%} = 7,5\%$						$\Delta U_{li\%}$
			r_0 , Ом/км	x_0 , Ом/км	R_{pi} , Ом	X_{pi} , Ом	P_{pi} , кВт	Q_{pi} , квар	
L1	3000	25	1,28	0,40	3,84	1,2	78	48,340	0,16
L2	4000	25	1,28	0,40	5,12	1,6	102,9	58,316	0,26
L3	6000	25	1,28	0,40	7,68	2,4	56	30,226	0,20
L4	3000	25	1,28	0,40	3,84	1,2	104	69,888	0,16
L5	1200	240	1,28	0,40	1,536	0,48	72	48,384	3,21
L6	1500	240	0,46	0,40	0,69	0,6	560	271,220	2,54
L7	1000	120	0,34	0,40	0,34	0,4	722,4	329,135	6,33
L8	2000	25	0,13	0,40	0,264	0,8	1440	697,424	0,16
Lднс	200	70	0,13	0,40	0,0264	0,08	78	48,340	0,06
Lцзп	500	95	0,13	0,40	0,066	0,2	102,9	58,316	0,18
Lбкнс	1900	240	0,27	0,40	0,513	0,76	56	30,226	1,47

З проведеного розрахунку видно, що втрати напруги в лініях не перевищують допустимі значення, тобто дані лінії задовольняють умови.

2.5 Компенсація реактивної потужності

Потужність компенсаційної установки визначається різницею між розрахунковою Q_p та величиною реактивної потужності Q_{es} , що задає енергосистема, яку визначаємо для очікуваного коефіцієнта потужності $\cos\varphi = 0,91 \dots 0,93$ після компенсації.

$$Q_{ky} = P_p \cdot (\operatorname{tg}\varphi_{c36} - \operatorname{tg}\varphi) = 3135,3 \cdot (0,61 - 0,436) = 545,5 \text{ квар}$$

$$\operatorname{tg}\varphi_{c36} = 0,61$$

По результатам розрахунку вибираємо автоматичну компенсаційну установку УКРМ 6-600, зі ступенями зміни $100+200+300 \text{ кВар}$. Установка комплектується конденсаторами з вбудованими розрядними акумуляторами.

2.6 Розрахунок струмів короткого замикання

Струми КЗ залежать не тільки від потужності енергосистеми, а й від еквівалентного внутрішнього опору джерела та опору ланцюга до точки КЗ, величини яких в більшості представлені у відносних одиницях. Розрахунок у відносних базисних одиницях означає приведення усіх величин до довільно прийнятої базисної потужності S_b , кратної десяти (10; 100; 1000 МВА). За базисні напруги U_b бі приймають номінальні напруги трансформаторів і-х ступенів напруги системи (0,69 - 63 - 10,5 - 37кВ). Розрахункову схему складають в однолінійному зображенні на базі вхідної. На розрахунковій схемі показують основні параметри елементів схеми, характерні точки схеми для яких необхідно виконати розрахунки параметрів КЗ. Схема заміщення зображена на рисунку 2.1.

					ОА-01	Арк
						36
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

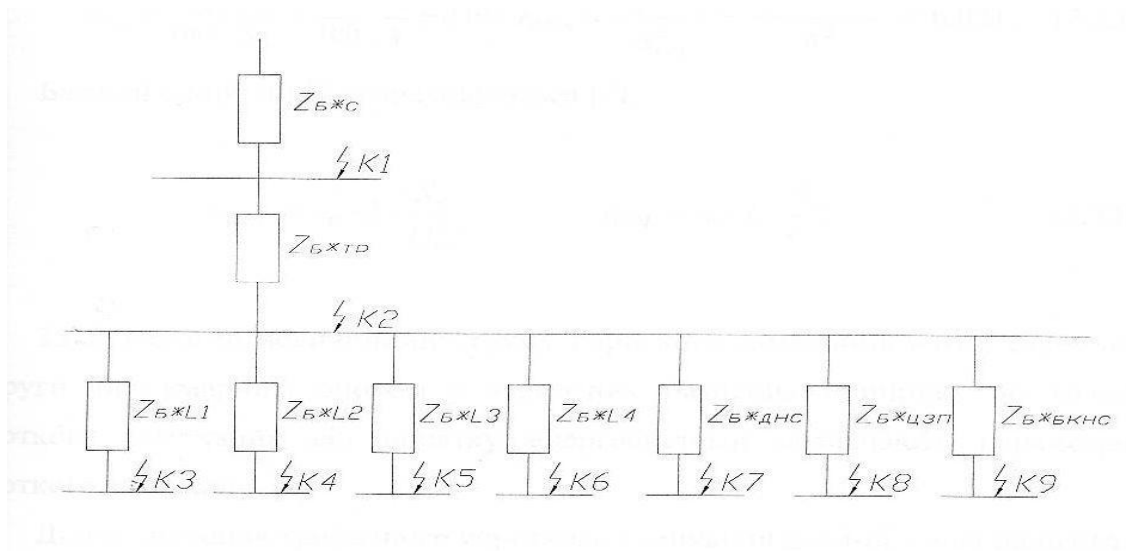


Рисунок 2.1 - Схема заміщення

Базисні струми на i -тому ступені напруги визначають за співвідношенням

$$I_{\delta i} = \frac{S_{\delta}}{\sqrt{3} \cdot U_{\delta i}}, \text{кА}$$

Базисну потужність приймаємо $S_{\delta} = S_{кз} = 100 \text{ МВА}$. Отже у даній СЕП присутні рівні напруги, відповідно для них базисні струми складуть:

$$I_{\delta 1} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 37} = 1,6 \text{ кА}$$

$$I_{\delta 2} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 9,2 \text{ кА}$$

В даному випадку джерело енергії являється нескінченно потужним, прийmemo для нього $X_{\delta.c} = 0,15$. Базисні опори трансформатора складають:

$$x_{\delta*m} = \frac{U_{k\%}}{100} \cdot \frac{S_{\delta}}{S_{нт}} = \frac{7,5}{100} \cdot \frac{100}{4} = 1,9;$$

$$r_{\delta*m} = \frac{P_{\kappa} \cdot S_{\delta}}{S_{нт}^2} = \frac{0,0335 \cdot 100}{4^2} = 0,21$$

Базисні опори ліній розраховуються:

$$x_{\delta*L} = x_0 \cdot L \cdot \frac{S_{\delta}}{U_{\delta i}^2};$$

$$r_{\sigma^*L} = r_0 \cdot L \cdot \frac{S_{\sigma}}{U_{\sigma i}^2};$$

За базисними величинами струму короткого замикання і-того ступеню уги та сумарним опором у відносних базисних одиницях до точки короткого замикання від початку енергосистеми визначають параметри короткого замикання [9].

Діюче значення трифазного короткого замикання для і-ї точки ланцюга:

$$I_{ki}^{(3)} = \frac{I_{\sigma i}}{\sum Z_{\sigma^*i}}, \text{кА}$$

Потужність трифазного короткого замикання в і-тій точці:

$$S_{ki}^{(3)} = \frac{S_{\sigma i}}{\sum Z_{\sigma^*i}}, \text{МВА}$$

Струм двофазного короткого замикання:

$$I_{ki}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{ki}, \text{кА}$$

Миттєве значення ударного струму короткого замикання:

$$i_{kyi} = \sqrt{2} \cdot I_{ki}^{(3)} \cdot \kappa_y, \text{кА}$$

де $\kappa_y=1,8$ - ударний коефіцієнт;

Діюче значення ударного струму короткого замикання :

$$I_{kyi}^{(2)} = I_{ki}^{(3)} \cdot q, \text{кА}$$

де коефіцієнт $q=1,52$.

Під сумарним опором розуміють суму всіх опорів від початку подання пення до точки короткого замикання та визначають:

$$\sum Z_{\sigma^*i} = \sqrt{(\sum R_{\sigma^*i})^2 + (\sum X_{\sigma^*i})^2}$$

Розрахунок параметрів короткого замикання приведений в таблиці 2.8

					ОА-01	Арк
						38
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.8- Розрахунок параметрів короткого замикання

Точки	$U_{\delta i}$, кВa	$I_{\delta i}$, кA	$\Sigma R_{\delta * i}$	$\Sigma X_{\delta * i}$	$\Sigma Z_{\delta * i}$	$I_{\kappa i}^{(3)}$, кA	$S_{\kappa i}^{(3)}$, MBA	$I_{\kappa i}^{(2)}$, кA	$i_{\kappa y i}$, кA	$I_{\kappa y i}$, кA
K1	37	1,6	-	1,5	1,5	10,7	66,7	0,927	2,724	1,62
K2	6,3	9,2	0,21	3,4	3,41	26,98	29,33	2,336	6,867	4,1
K3	6,3	9,2	13,12	7,63	8,24	11,17	12,14	0,967	2,843	1,69
K4	6,3	9,2	32,76	8,94	33,96	2,7	2,94	0,234	0,687	0,41
K5	6,3	9,2	15,01	10,45	18,29	5,03	5,47	0,436	1,28	0,76
K6	6,3	9,2	31,5	8,44	36,5	2,52	2,74	0,218	0,641	0,38
K7	6,3	9,2	0,47	3,45	3,48	26,44	28,74	2,29	6,731	4,01
K8	6,3	9,2	0,31	3,42	3,43	26,82	29,15	2,323	6,827	4,07
K9	6,3	9,2	2,41	5,31	5,83	15,78	17,15	1,367	4,017	2,39

2.7 Вибір апаратури управління та захисту

2.7.1 Електричні апарати розподільчого пристрою 35-220 кВ

Вибір електричних апаратів виконують згідно з повною принциповою схемою ГПП та схемою розподілу напругою 6 кВ на території підприємства.

Вибираємо електричні апарати типової схеми ГПП, якими комплектується ввід напруги 35 кВ на підстанцію та апарати одного з розподільчих пристроїв. Ввід являє собою типовий відкритий розподільчий пристрій 35 кВ збірних шин. Напруга ЛЕП від ДЖ-1 поступає через роз'єднувачі QS1 (QS2) та масляні вмикачі Q1(Q2) безпосередньо на ввід трансформатора Т1 (Г2), де встановлюються: вимірювальні трансформатори струму для живлення вимірювальних приладів та лічильників (ІТА) та для диференційного захисту (2ТА) трансформаторів ГПП; вимірювальні трансформатори напруги (TV) для живлення лічильників обліку електричної енергії, засобів релейного захисту та контролю напруги.

					ОА-01	Арк
						39
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

2.7.2 Загальні умови вибору електричних апаратів

- 1) Номінальна напруга апарата має бути рівною або більшою за напругу мережі;
- 2) Номінальний струм апарата має бути вірним або більшим за робочий розрахунковий струм ;
- 3) Миттєве значення струму динамічної стійкості апарата має бути рівним або більшим за миттєве значення ударного струму короткого замикання для точки схеми, де апарат встановлюється;
- 4) Добуток квадрата струму термічної стійкості апарата та його часу дії має бути рівним або більшим за добуток квадрата діючого значення усталеного струму КЗ на приведений час дії КЗ:

$$I_{m.c.}^2 \cdot t_{m.c.} \geq I_{\infty}^2 \cdot t_{np}$$

- 5) Вимикачі високої напруги , що призначені для комутації не тільки струмів навантаження, а й вимикання струмів або потужності КЗ за умови:

$$I_{вим} \geq I_{\kappa}^{(3)}, S_{вим} \geq S_{\kappa}^{(3)}$$

Результати вибору електричних апаратів зводимо в таблицю 2.9.

Таблиця 2.9. Вибір електричних апаратів.

Тип електричного апарату	Напруга, кВ		Струм, кА		Струм вимк. кА		Ел.-дин. стійк., кА		Термічна стійкість	
	$U_{н.ап.}$	U_m	$I_{н.ап.}$	I_p	$I_{вим}$	$I_{\kappa}^{(3)}$	$i_{д.с.}$	i_y	$I_{m.c.}^2 \cdot t_{m.c.}$	$I_{\infty}^2 \cdot t_{n.p.}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
РДПЗ2-35/100ОУ1	35	35	1000	33,1	-	1,07	63	2,72	254	$0,93^2 \cdot 0,25$
С-35М-630/10	35	35	630	33,1	10	1,07	26	2,72	104	$0,93^2 \cdot 0,25$
ВМПП-10-630/20	10	6	630	17,3	20	1,2	52	2,84	$20^2 \cdot 4$	$0,97^2 \cdot 0,25$
ВМПП-10-630/20	10	6	630	17,3	20	0,5	52	1,28	$20^2 \cdot 4$	$0,44^2 \cdot 0,25$
ВМПП-10-630/20	10	6	630	23,8	20	0,27	52	0,69	$20^2 \cdot 4$	$0,23^2 \cdot 0,25$

Продовження таблиці 2.9

Тип електричного апарату	Напруга, кВ		Струм, кА		Струм вимк. кА		Ел.-дин. стійк., кА		Термічна стійкість	
	$U_{н.ап.}$	U_m	$I_{н.ап.}$	I_p	$I_{вим}$	$I_{\kappa}^{(3)}$	$i_{д.с.}$	i_y	$I_{m.c.}^2 \cdot t_{m.c.}$	$I_{\infty}^2 \cdot t_{н.р.}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
ВМПП-10-630/20	10	6	630	23,8	20	0,25	52	0,64	$20^2 \cdot 4$	$0,22^2 \cdot 0,25$
ВМПП-10-630/20	10	6	630	111,4	20	2,64	52	6,73	$20^2 \cdot 4$	$2,29^2 \cdot 0,25$
ВМПП-10-630/20	10	6	630	111,4	20	2,64	52	6,73	$20^2 \cdot 4$	$2,29 \cdot 0,25$
ВМПП-10-630/20	10	6	630	259,9	20	1,58	52	4,02	$20^2 \cdot 4$	$1,37^2 \cdot 0,25$
ВМПП-10-630/20	10	6	630	259,9	20	1,58	52	4,02	$20^2 \cdot 4$	$1,37^2 \cdot 0,25$
ВМПП-10-630/20	10	6	630	259,9	20	1,58	52	4,02	$20^2 \cdot 4$	$1,37^2 \cdot 0,25$
ВМПП-10-630/20	10	6	630	259,9	20	1,58	52	4,02	$20^2 \cdot 4$	$1,37^2 \cdot 0,25$
ВМПП-10-630/20	10	6	630	87,3	20	2,68	52	6,83	$20^2 \cdot 4$	$2,32^2 \cdot 0,25$
ВМПП-10-630/20	10	6	630	87,3	20	2,68	52	6,83	$20^2 \cdot 4$	$2,32^2 \cdot 0,25$
ВМПП-10-630/20	10	6	630	57,9	20	2,68	52	6,83	$20^2 \cdot 4$	$2,32^2 \cdot 0,25$
ВМПП-10-630/20	10	6	630	57,9	20	2,68	52	6,83	$20^2 \cdot 4$	$2,32^2 \cdot 0,25$
ВМПП-10-630/20	10	6	630	57,9	20	2,68	52	6,83	$20^2 \cdot 4$	$2,32^2 \cdot 0,25$
ВМПП-10-630/20	10	6	630	89,1	20	1,58	52	4,02	$20^2 \cdot 4$	$2,32^2 \cdot 0,25$
ВМПП-10-630/20	10	6	630	89,1	20	1,58	52	4,02	$20^2 \cdot 4$	$1,37^2 \cdot 0,25$
ВМПП-10-630/20	10	6	630	89,1	20	1,58	52	4,02	$20^2 \cdot 4$	$1,37^2 \cdot 0,25$
ВМПП-10-630/20	10	6	630	17,3	20	1,2	52	2,84	$20^2 \cdot 4$	$0,97^2 \cdot 0,25$
ВМПП-10-630/20	10	6	630	23,7	20	0,27	52	0,69	$20^2 \cdot 4$	$0,23^2 \cdot 0,25$

2.8 Основні енергетичні показники

Річні витрати активної W_P та реактивної V_P , $V_{P,\kappa}$ електроенергії за півгодинним максимальним навантаженням T_M , тобто за розрахунковими

					ОА-01	Арк
						41
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

значеннями P_p та Q_p групи електроспоживачів і річній кількості годин використання максимуму навантаження T_M , можуть бути знайдемо за формулами:

$$W_p = P_p \cdot T_M = 3135,3 \cdot 6500 = 20379,45 \text{ МВт} \cdot \text{год}$$

$$V_p = Q_p \cdot T_M = 1552,93 \cdot 6500 = 10094,1 \text{ Мвар} \cdot \text{год}$$

$$V_{p.к} = \Delta Q_p \cdot T_M = (1552,93 - 600) \cdot 6500 = 6194,7 \text{ Мвар} \cdot \text{год}$$

де T_M для підприємств нафтовидобувної промисловості становить 6500 годин.

Визначемо річні втрати активної ΔW_p , та реактивної ΔV_p енергії у трансформаторі обчислюються за формулами:

$$\Delta P_k = I_k \% \cdot S_{н.м} / 100 = 0,9 \cdot 4000 / 100 = 0,02$$

$$\Delta Q_k = U_k \% \cdot S_{н.м} / 100 = 7,5 \cdot 4000 / 100 = 0,18$$

$$\Delta W_{mp} = \Delta P_{x.mp} + \beta^2 \cdot \Delta P_k \cdot \tau = 5 \cdot 0,83^2 \cdot 0,02 \cdot 5247,9 = 77,3 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

$$\Delta V_{mp} = \beta^2 \cdot \Delta Q_k \cdot \tau = 0,83^2 \cdot 0,02 \cdot 5247,9 = 650,7 \text{ вар} \cdot \text{год}$$

де для ТМН-4000/35 $\Delta P_{x.mp}$ – 5 кВт, I_k – 0,9 - втрати потужності та струм холостого ходу трансформатора згідно з каталогом;

ΔP_k – 32 кВт, U_k – 7,5 - витрати потужності та напруги короткого замикання трансформатора згідно з каталогом;

β - коефіцієнт навантаження трансформатора 0,83 ;

τ - час максимальних втрат (годин), який приблизно можна знайти із співвідношення

$$\tau = (0,124 + T_M \cdot 10^{-4})^2 \cdot 8760 = (0,124 + 6500 \cdot 10^{-4})^2 \cdot 8760 = 5247,9$$

Фактичний коефіцієнт реактивної потужності в середньому за розрахунковий період:

$$\operatorname{tg}(\varphi) = WQ_c / WP_c = 6194,7 / 20379,45 = 0,303$$

$$\cos(\varphi) = \cos(\operatorname{arctg}(\varphi)) = 0,956$$

					ОА-01	Арк
						42
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

Висновки до розділу

У даному розділі проведено обґрунтування вибору схеми живлення і розподілу електроенергії на Щурівському нафтовому родовищі (лист 3): значено електричні навантаження та обрано потужності трансформаторів, розраховано електричну мережу напругою 6 кВ, розраховано струми короткого замикання, проведено вибір електричних апаратів, проведений розрахунок робочого освітлення промислової ділянки та приміщення насосної подачі пластової води.

У розділі по розрахунку обрано компенсаційну УКРМ 6-600, яка встановлюється на кожній з секцій ГПП з автоматичним ввімкненням ступенів компенсації. Установка комплектується вбудованими розрядними батареями на конденсаторах. Також був проведений вибір кабелів по нагріву, економічній пильності струму та по механічній міцності. Прийнято сталевалюмінієві проводи типу АС-25, АС-70, АС-95, АС-120, АС-240, АС-D. Вибрані проводи перевірені за допустимими втратами напруги. Було обрано обладнання мережі 35 кВ ТМН-4000 35/6, РДП32-35/100ОУ1 та С-35М-630/10 для мережі 6 кВ обрано масляні вимикачі типу ВМПП-10-630/20. За результатами розрахунків річна витрата активної електричної енергії становить 20379,45 МВт.год та за результатами компенсації реактивної 6194,7 Мвар.год та $\cos(\varphi)=0,956$.

					ОА-01	Арк
						43
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

3. СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

3.1 Сучасний стан розвитку управління електроприводами в електромеханічних системах верстатів - гойдалок

В галузі нафтогазовидобування ключовим завданням є підвищення ефективності використання технологічного обладнання та розробка заходів для поліпшення енергоефективності у видобувному процесі. На сьогоднішній день на міжнародному ринку доступний широкий вибір систем управління електроприводами для верстатів - гойдалок. В країнах СНГ також існує різноманітність варіантів рішень у сфері інтелектуальних систем управління, що відрізняються алгоритмами управління, методами обробки даних та інтерфейсами. Важливо зауважити, що для асинхронних двигунів досягнення необхідних значень економії ускладнюється обмеженими можливостями регулювання, що ускладнює повне використання переваг інтелектуальних систем управління. Крім того, для верстатів - гойдалок характерний нерівномірний режим навантаження, що може призводити до зменшення корисної потужності асинхронних двигунів. Синхронні електроприводи з постійними магнітами на роторі дозволяють економно використовувати енергоресурси, включаючи організацію зворотного зв'язку з електроприводами інших верстатів. Цей тип двигуна є складною системою, що входить до регульованого електроприводу і використовується не лише для перетворення енергії, але й для зміни параметрів верстата - гойдалки.

Кількість нафтових свердловин з низьким дебітом (менше 5 т/добу) складає понад 30-50 відсотків. Спостерігається негативна тенденція до збільшення числа таких свердловин, що значною мірою зумовлено виснаженням нафтових родовищ, які знаходяться в експлуатації. Це створює нагальну проблему оптимального використання свердловин з низьким дебітом. Численні експерименти показують,

					OA-01	Арк
						44
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

що видобуток нафти можна збільшити, перевівши свердловини з циклічного режиму роботи на безперервний. Для видобутку нафти з низьким дебітом зазвичай використовуються верстати-гойдалки з плунжерними насосами. Для реалізації режиму безперервної роботи таких свердловин частоту ходу насоса плунжера доводиться зменшувати до одного ходу в хвилину [11, 12]. Подальше зменшення частоти ходу плунжера може бути недоцільним через збільшення втрат рідини, яка видобувається, через зазор між корпусом насоса та плунжером. Зі зниженням частоти ходу плунжера пропорційно зменшується теоретична продуктивність насоса, при цьому втрати рідини залишаються на тому ж рівні. В результаті реальна продуктивність насоса може знизитися до нуля. Частота ходу плунжера визначається частотою обертання валу електродвигуна, встановленого на верстаті-гойдалці, та передаточним числом кінематичного ланцюга верстата-гойдалки. Знизити частоту ходу плунжера можна двома способами: збільшенням передаточного числа кінематичного ланцюга. Двоступінчастий редуктор на верстатах-гойдалках має передаточне число 40, яке залишається постійним протягом експлуатації. Передатне число клинопасової передачі 12 можна змінювати в межах 2,8 - 4,5, замінюючи шків одного діаметра на шків іншого діаметра на валу електродвигуна. Таким чином, максимальне передаточне число кінематичного ланцюга верстата-гойдалки становить 180. Синхронна частота обертання валу ротора асинхронних електродвигунів при частоті мережі 50 Гц визначається кількістю пар полюсів обмотки статора. В асинхронних електродвигунах, що знаходяться в експлуатації на верстатах-гойдалках вітчизняного та зарубіжного виробництва [13-14], обмотки на статорі мають 2, 3 або 4 пари полюсів, що забезпечує синхронну частоту обертання валу ротора 1500, 1000 або 750 об/хв відповідно. Отже, мінімальна частота ходу плунжера насоса, яку можна досягти на верстатах-гойдалках з штатним механічним та електричним обладнанням, становить 4 ходи на хвилину, що перевищує її оптимальне значення.

					ОА-01	Арк
						45
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

3.2 Реалізація безперервного режиму експлуатації нафтових свердловин з низьким дебітом шляхом регулювання частоти обертання електродвигунів верстатів-гойдалок

Впровадження регульованого електроприводу постійного струму на верстатах-гойдалках, що працюють на свердловинах з низьким дебітом, почалося у 1987 році. Того року, за завданням керівництва об'єднання «Пермнафта», науковці кафедр «Електротехніка та електроніка» та «Електропривод і автоматизація промислових установок» Пермського політехнічного інституту замінили трифазні асинхронні електродвигуни на електродвигуни постійного струму на трьох верстатах-гойдалках Козубаївського родовища нафти і газу. Підключення електродвигунів постійного струму до мережі живлення здійснювалося через напівпровідникові керовані випрямлячі, що дозволяло здійснювати глибоке та плавне регулювання частоти обертання електродвигунів і частоти ходу плунжера насосів [12].

Заміна нерегульованих асинхронних електроприводів верстатів-гойдалок на регульовані електроприводи постійного струму дозволила перейти від циклічного режиму експлуатації свердловин до безперервного режиму їх роботи та встановити оптимальну частоту ходу плунжерів насосів відповідно до обсягу видобутої нафти. Експериментальна експлуатація регульованих електроприводів постійного струму протягом року і спостереження за роботою свердловин показали, що видобуток нафти на цих свердловинах зріс у 2,2 рази. Одночасно було виявлено суттєве зниження обводненості видобутої нафти.

Частотно-регульований асинхронний електропривод [11] за своїми функціональними можливостями подібний до регульованого електроприводу постійного струму. У цьому випадку електропривод використовує асинхронний електродвигун, встановлений на верстаті-гойдалці, але обмотка статора підключається до живильної мережі трифазного змінного струму через напівпровідниковий перетворювач частоти, а не напряму. Зміна частоти та величини напруги на обмотці статора за допомогою перетворювача дозволяє

					ОА-01	Арк
						46
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

здійснювати глибоке та плавне регулювання числа обертів валу ротора асинхронного електродвигуна, що забезпечує встановлення оптимальної частоти ходу плунжера насоса для видобутку нафти. Впровадження частотних електроприводів на верстатах-гойдалках є економічно вигіднішим порівняно з використанням електроприводів постійного струму, оскільки асинхронні електродвигуни мають нижчу вартість та менші витрати на обслуговування.

Аналіз каталогових та довідкових даних щодо асинхронних електродвигунів різних серій показує, що зі збільшенням кількості пар полюсів обмоток статора та зменшенням синхронної частоти обертання ротора енергетичні показники асинхронних перетворювачів енергії знижуються.

Це чітко ілюструється на рис. 3.1 і 3.2, де показано залежності ККД та $\cos\varphi$ від кількості пар полюсів обмоток статора електродвигунів з номінальною потужністю 30 та 5,5 кВт, що встановлюються на верстатах-гойдалках типу СКД8-3-4000 та СКД3-1,5-710. Графіки на рис. 3.1 і 3.2 також вказують на те, що в електродвигунів з однаковою кількістю пар полюсів обмоток статора енергетичні показники різні: їх значення зменшуються зі зменшенням номінальної потужності електродвигунів. Також варто звернути увагу на тенденцію до зниження числових значень енергетичних характеристик у деяких випадках.

					ОА-01	Арк
						47
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

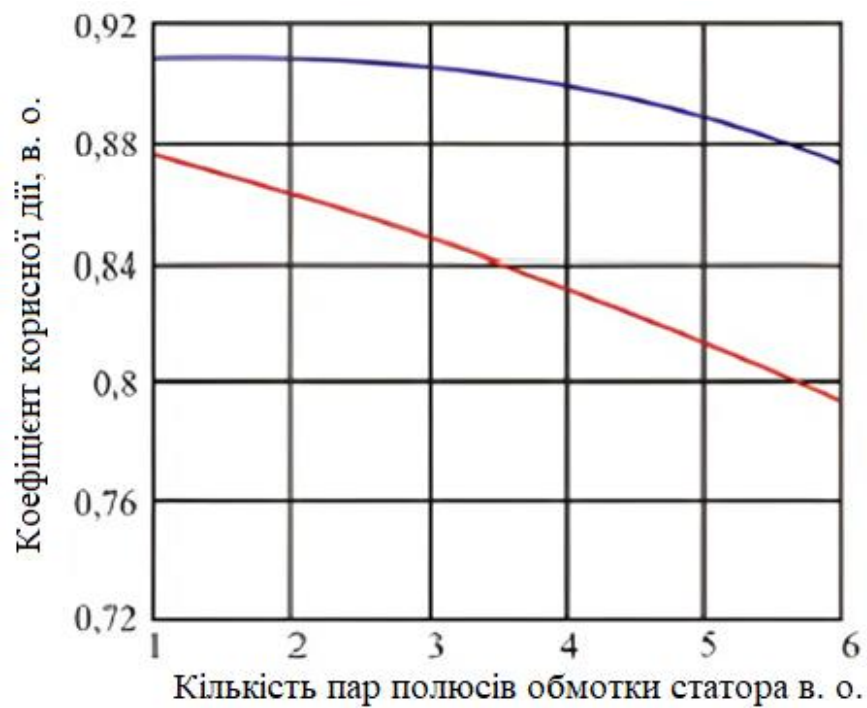


Рисунок 3.1 - Залежності ККД від кількості пар полюсів двигуна:

--- $P_{2ном} = 30$ кВт; --- $P_{2ном} = 5,5$ кВт.

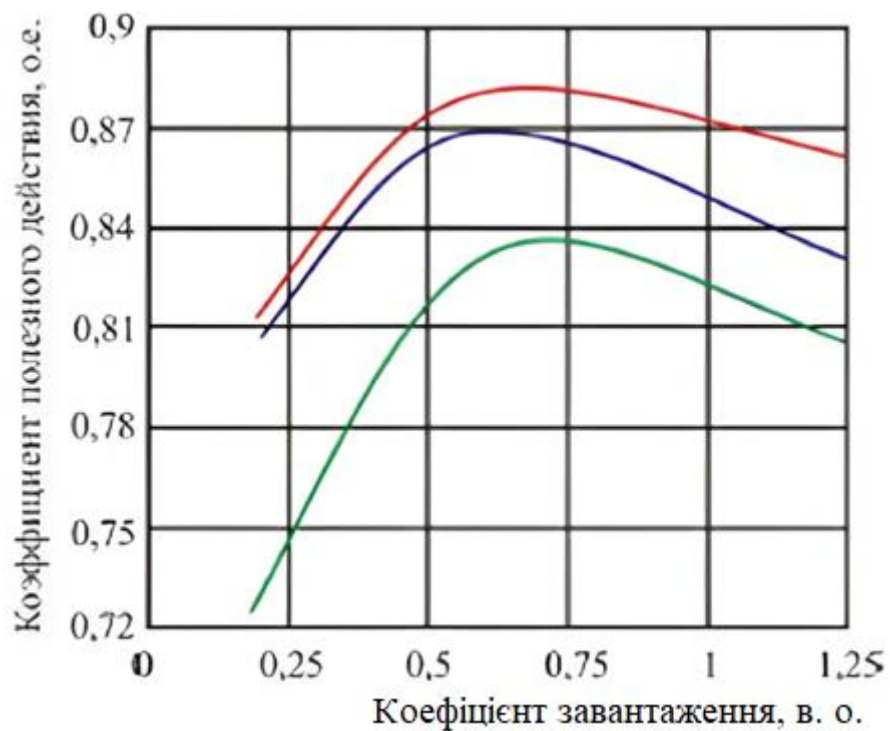


Рисунок 3.2 - Залежності ККД від коефіцієнта завантаження двигуна:

--- $n_0 = 1500 \frac{об}{хв}$; --- $n_0 = 1000 \frac{об}{хв}$; --- $n_0 = 750 \frac{об}{хв}$.

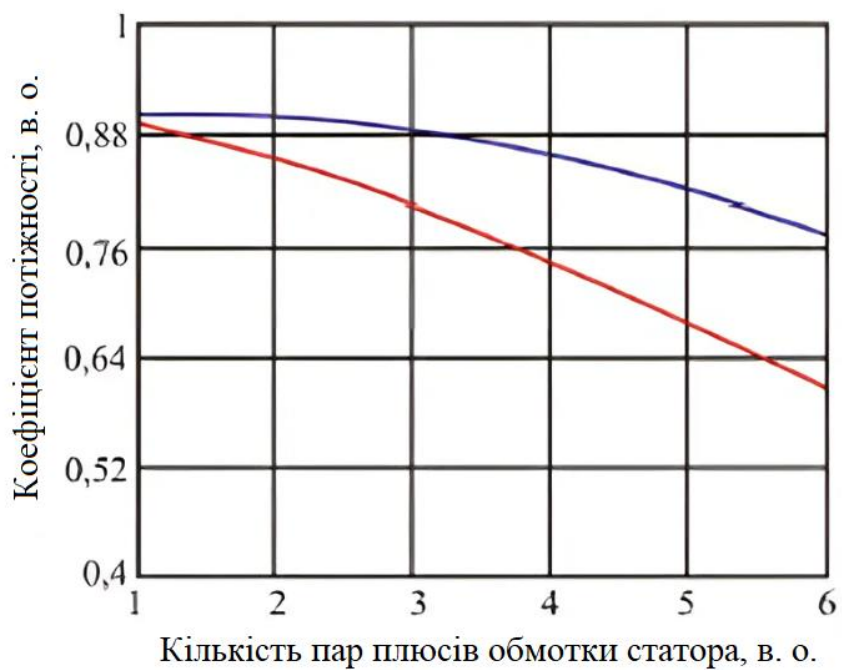


Рисунок 3.3 - Залежності $\cos \varphi$ від кількості пар полюсів двигуна:

--- $P_{2ном} = 30$ кВт; --- $P_{2ном} = 5,5$ кВт.

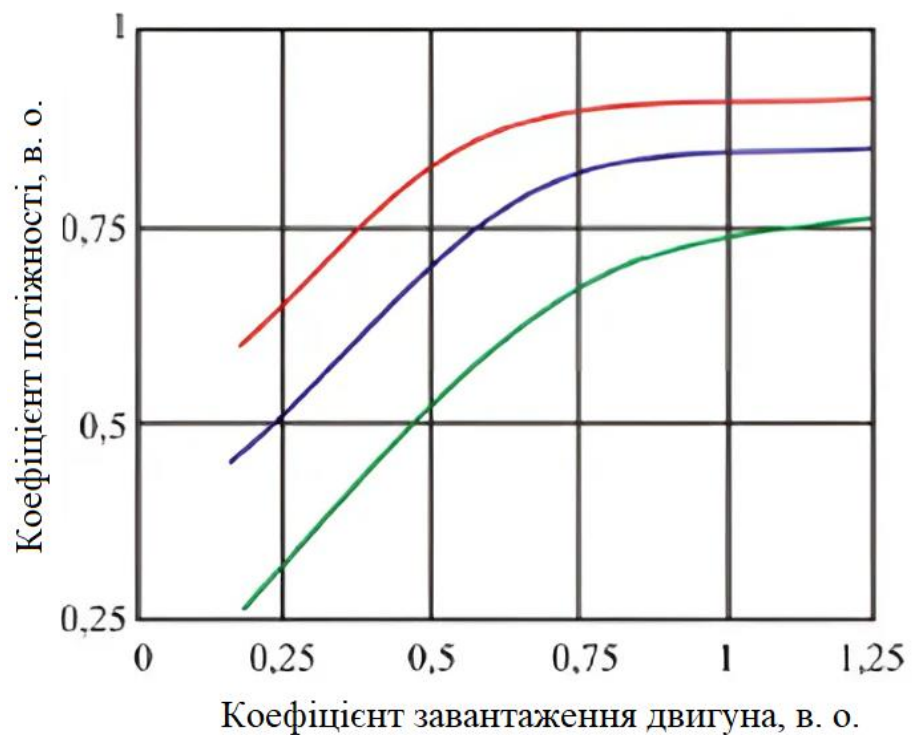


Рисунок 3.4 - Залежності $\cos \varphi$ від коефіцієнта завантаження двигуна:

--- $n_0 = 1500 \frac{\text{об}}{\text{хв}}$; --- $n_0 = 1000 \frac{\text{об}}{\text{хв}}$; --- $n_0 = 750 \frac{\text{об}}{\text{хв}}$.

Умови експлуатації верстатів-гойдалок вимагають використання регульованого приводу, проте наявні електроприводи змінного струму не дозволяють регулювати частоту обертання електродвигуна. Основною проблемою асинхронних електроприводів є їх низький коефіцієнт використання, який зумовлений «важким пуском» верстатів-гойдалок, коли пусковий обертовий момент електродвигуна перевищує обертовий момент у робочому режимі в 5-6 разів. Навантаження на двигуни не перевищує 40%, що призводить до низької ефективності і коефіцієнта потужності, збільшуючи споживання електроенергії та вимагаючи збільшення перерізу проводів живильної мережі та потужності трансформаторної підстанції. При змінному циклічному навантаженні ККД двигуна приводу верстата-гойдалки за цикл навантаження описується так [12]:

$$\eta_{\text{п}} = \eta_{\text{е}} (\eta_{\text{е}} + (1 - \eta_{\text{е}}) \cdot k_{\text{ф}}), \quad (3.1)$$

де $\eta_{\text{е}}$ – ККД двигуна, відповідний середньоквадратичній електричній потужності, $k_{\text{ф}}$ – коефіцієнт форми графіка навантаження. Вираз 3.1 показує, що $\eta_{\text{п}}$ сильніше залежить від КФ, коли $\eta_{\text{е}}$ менший.

Зазначені енергетичні коефіцієнти при змінному циклічному навантаженні дуже низькі. При повному завантаженні двигуна за нагрівом, ККД циклу знижується з 0,834 до 0,65 при переході від урівноваженого до неурівноваженого верстата, а $\cos\varphi_{\text{ц}}$ падає з 0,605 до 0,312. Це призводить до збільшення втрат як у приводах, так і в розподільчій мережі енергосистеми. Енергетичні коефіцієнти ще більше знижуються, якщо двигун не повністю завантажений або неправильно підібраний.

Потужність двигуна вибирається з урахуванням найгірших умов – циклічного режиму роботи при незбалансованому верстату-гойдалці, з коефіцієнтом форми графіка навантаження $k_{\text{ф}} = 3,94$ [11]. Кратність пускового моменту двигуна повинна перевищувати 2.

Існує методика вибору потужності двигуна. Проте на багатьох нафтових родовищах потужності асинхронних двигунів значно завищені, що призводить до додаткових втрат [13].

					ОА-01	Арк
						50
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

Деякі можливі заходи для підвищення енергоефективності приводів верстатів-гойдалок:

- балансування верстата-гойдалки;
- зниження напруги до 0,9 від номінального для малозавантажених двигунів;
- усунення режиму недовантаження асинхронних двигунів;
- відключення трансформаторів під час ремонту свердловин;
- оптимізація потужностей встановлених трансформаторів для зниження енергоспоживання;
- заміна асинхронних двигунів на синхронні двигуни з регулюванням збудження (СДРЗ).

Вирішенню проблеми енергозбереження сприяє використання синхронних двигунів (СД), які створюють у живильній мережі реактивні струми, що випереджають по фазі напругу. Це дозволяє розвантажити мережу від реактивної (індуктивної) складової струму, підвищити коефіцієнт потужності на цій ділянці мережі, що знижує струм і сприяє енергозбереженню [12, 13]. Основні переваги СД:

- можливість досягнення оптимального режиму за реактивною енергією;
- вищий ККД порівняно з асинхронними двигунами (АД);
- висока перевантажувальна здатність;
- стабільна швидкість обертання при будь-якому навантаженні на валу в межах його перевантажувальної здатності.

3.3 Вибір оптимальних параметрів електроустаткування

Регулювання продуктивності промислових механізмів шляхом зміни частоти обертання приводу значно покращує техніко-економічні показники установки. Тому важливо оптимізувати систему, спрощуючи її та мінімізуючи встановлену потужність силового устаткування [13]. Встановлена потужність обладнання ВД

					ОА-01	Арк
						51
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

залежить від технологічних вимог і структури перетворювача, способу комутації вентилів, закону управління комутатором і методу мережного управління тиристорами.

Використання залежних інверторів струму знижує ефективність СМ але спрощує комутатор за рахунок виключення пристроїв штучної і примусової комутації. наведені розрахункові дані для вибору СМ і тиристорного перетворювача залежно від закону управління ($\beta = 60^\circ$, $\beta = 50^\circ$, $\beta_{\min} = f(\gamma)$ при $\delta = 10^\circ$) при потужності на валу приводу $P_3 = 3000$ кВт.

Потужність електричної машини у ВД визначається коефіцієнтом габаритної потужності за умови рівності перших гармонік несинусоїдальної і синусоїдальної напруги і струмів. Максимум залежності $C_{\Gamma \max} = f(\beta, \gamma)$ відповідає найбільшій розрахунковій потужності.

Тиристорний перетворювач вибирається за номінальним струмом I_n і напругою U_n двигуна. Для реального діапазону зміни кутів комутації з графіків знаходимо середнє значення коефіцієнта зсуву K_{cg} і визначаємо I_n та $I_{d\max}$:

$$\left. \begin{aligned} I_n &= \frac{P_3 C_{\Gamma \max}}{\sqrt{3} U_n K_{cg}}; \\ I_{d\max} \approx I_m &= \frac{\pi \gamma I_n}{2\sqrt{6} \sin \frac{\gamma}{2}}. \end{aligned} \right\} \quad (3.2)$$

Регульований електропривод зазвичай є виконавчим пристроєм замкнутої системи автоматичного управління (САУ). Для синтезу такої системи необхідно мати лінійну (лінеаризовану) передавальну функцію. ВД як об'єкт автоматичного управління представлений передавальною функцією $WB(p)$ (рис. 3.5). Він описується системою нелінійних диференціальних і алгебраїчних рівнянь високого порядку, аналітичне розв'язання яких у загальному вигляді неможливе. Під час моделювання задач, пов'язаних із зміною швидкості, систему можна лінеаризувати за умови малих відхилень змінних від робочої точки і різних припущеннях, наприклад, $r=0$, $x_k=0$, $\gamma=0$, $\delta=0$, $\theta=\text{const}$. Однак таке розв'язання буде наближеним.

					ОА-01	Арк
						52
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

ВД можна вважати лінійним об'єктом. За таких умов складну систему нелінійних рівнянь можна перетворити на лінійну передавальну функцію, апроксимуючи розрахункові криві перехідного процесу лінійними диференціальними рівняннями необхідного порядку. Отримані в результаті апроксимації передавальні функції ВД з коефіцієнтами враховуватимуть всі початкові параметри і залежності системи без додаткових припущень, які можуть суттєво відрізнятися від реального об'єкта. Такий підхід є найбільш точним і надійним, оскільки враховує миттєві зміни енергії магнітних полів і механічної системи.

Перехідним функціям (3.3) і (3.4) відповідають стандартні диференціальні рівняння другого порядку:

$$\left. \begin{aligned} T_3 T_4 \frac{d^2 I_{ВД}}{dt^2} + (T_3 + T_4) \frac{d\omega_P}{dt} + \omega_P &= K_d U - K_d I_c \\ T_3 T_4 \frac{d^2 I_{ВД}}{dt^2} + (T_3 + T_4) \frac{dI_{ВД}}{dt} + I_{ВД} &= I_c, \end{aligned} \right\} \quad (3.3)$$

де K_d і K_{d1} - коефіцієнти передачі.

Якщо ввести позначення:

$$\begin{aligned} T_M &= T_3 + T_4; T_E T_M = T_3 T_4; \\ T_M &= J \frac{R_E}{K_e K_M}; T_E = \frac{L_E}{R_E}; \\ K_M &= C_M \cos \beta; K_e = C_e \cos \beta, \end{aligned} \quad (3.4)$$

де T_M , T_E - еквівалентні електромеханічна і електромагнітна сталі часу ВД; R_E , L_E - еквівалентні активний та індуктивний опори перетворювального кола, то можна отримати передавальні функції ВД, аналогічні приводу постійного струму.

Передавальні функції ВД за регулюючою дією визначаються з рівнянь (3.2) за нульових початкових умов і відсутності зовнішнього збурення. Представимо їх

в операторній формі як відношення зображень за Лапасом (або Карсоном) частоти обертання і струму машини до напруги, яка підводиться:

$$\left. \begin{aligned} W_{ВД}(p) &= \frac{\omega_p(p)}{U(p)} = \frac{\frac{1}{C_e \cos \beta}}{T_E T_M p^2 + T_M p + 1}; \\ W'_{ВД}(p) &= \frac{I_{ВД}(p)}{U(p)} = \frac{\frac{Jp}{C_e C_M \cos^2 \beta}}{T_E T_M p^2 + T_M p + 1}. \end{aligned} \right\} (3.5)$$

При сталій напрузі знаходимо передавальні функції по збудженню:

$$\left. \begin{aligned} F_{ВД}(p) &= \frac{\omega_p(p)}{I_c(p)} = \frac{\frac{R_E}{C_e \cos \beta} (T_E p + 1)}{T_E T_M p^2 + T_M p + 1}; \\ F'_{ВД}(p) &= \frac{I_{ВД}(p)}{I_c(p)} = \frac{1}{T_E T_M p^2 + T_M p + 1}. \end{aligned} \right\} (3.6)$$

Регульовані величини записуємо в наступному вигляді:

$$\left. \begin{aligned} \omega(t) &= W_{ВД}(p)U(t) - F_{ВД}(p)I_c; \\ I_{ВД}(t) &= W'_{ВД}(p)U(t) + F'_{ВД}(p)I_c. \end{aligned} \right\} (3.7)$$

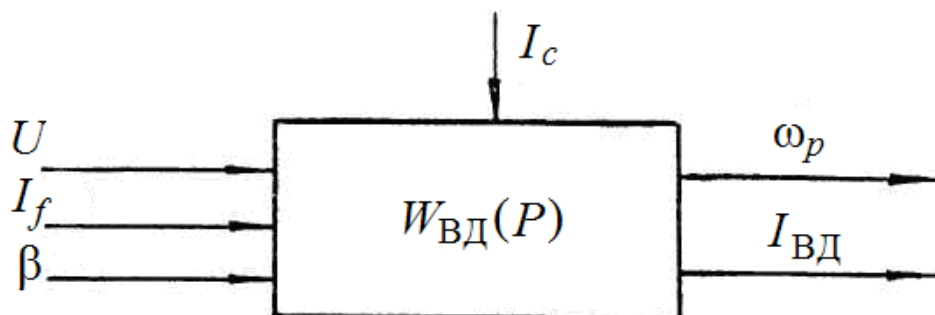


Рисунок 3.5 - ВД як об'єкт автоматичного управління

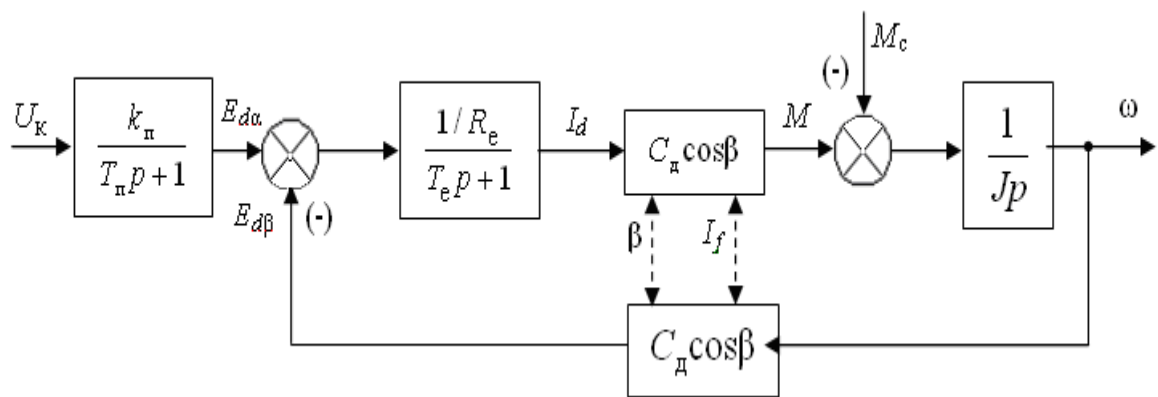


Рисунок 3.6 - Лінеаризована структурна схема ВД

Модель, на якій досліджувались характеристики ВД наведено на рис 3.7, а віртуальна модель – рис3.8

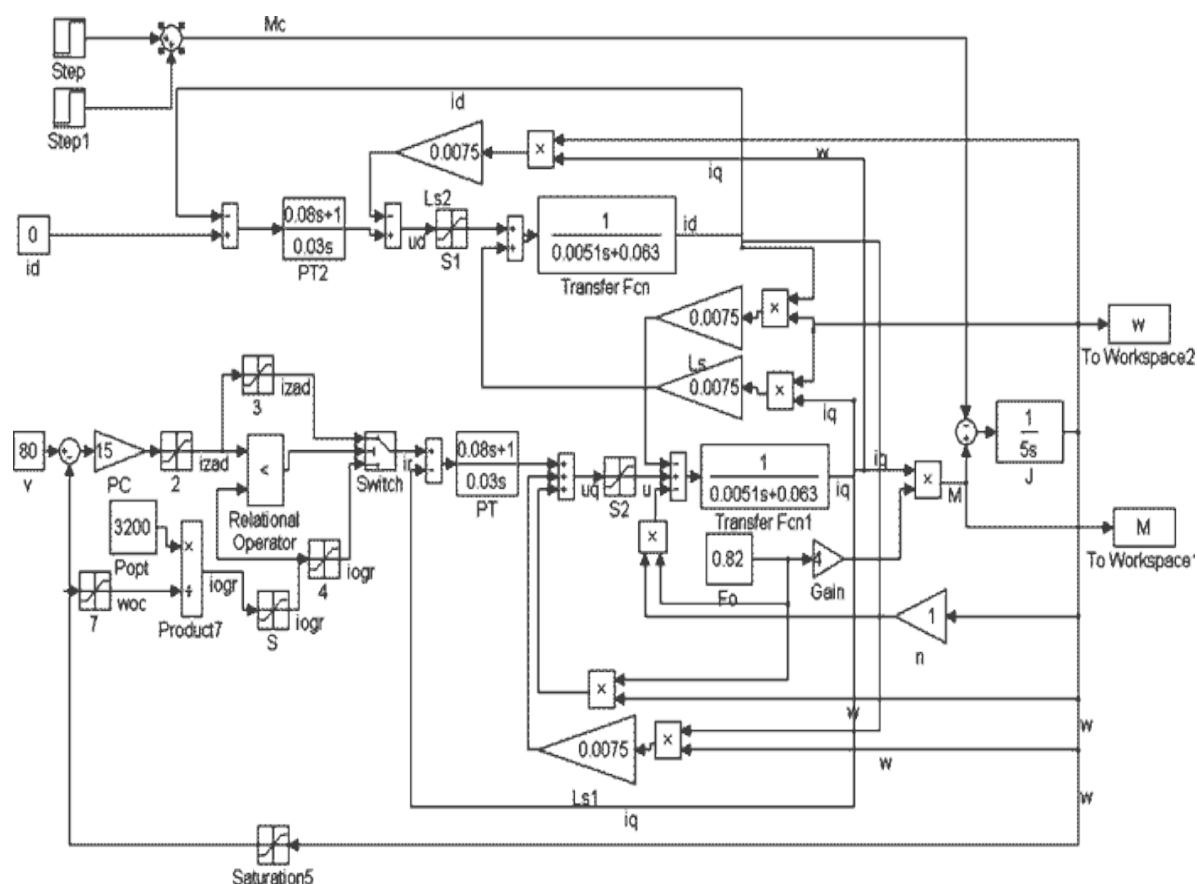


Рисунок 3.7 – Структурна схема досліджуваної моделі ВД

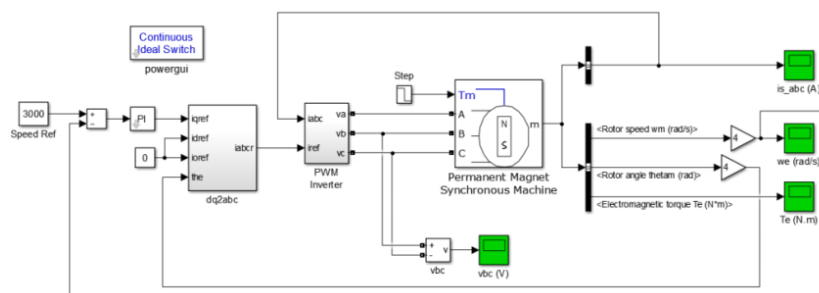


Рисунок 3.8 Віртуальна модель ВД

Результати комп'ютерного моделювання режимів пуску і гальмування віртуальної моделі електропривода з ВД з постійних магнітах з ПІ-регулятором показана на рис. 3.9. та 3.10

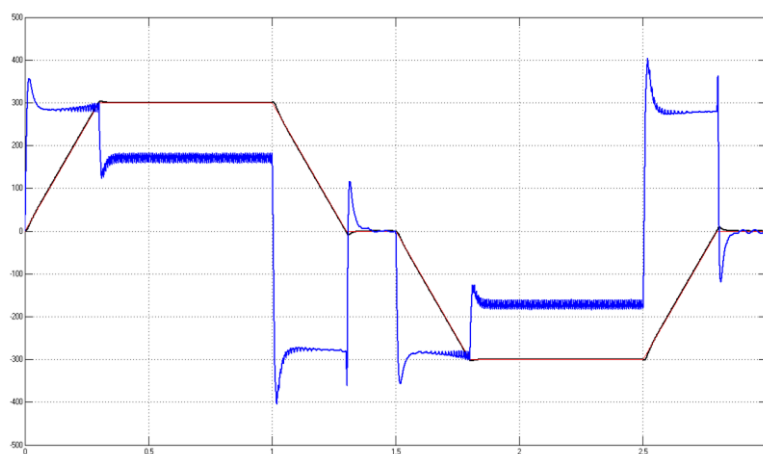


Рисунок 3.9 – Результати комп'ютерного моделювання з ПІ регулятором

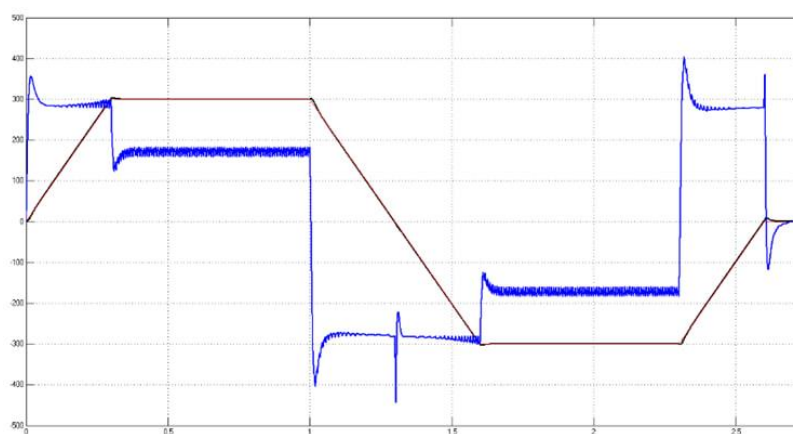


Рисунок 3.10 – Результати моделювання з ПІД регулятором

3.4 Розрахунок і вибір елементів вихідного фільтра

На виході автономного інвертора напруги розташовується фільтр. Найбільш поширеним типом вихідного фільтра є LC-фільтр. Основна вимога до фільтра - забезпечити заданий коефіцієнт гармонік змінної напруги в стаціонарному режимі.

Індуктивність фільтра визначається за формулою:

$$L_{\phi 2} \geq \frac{0,25 \cdot E_{max}}{(0,4 \dots 0,6) \cdot f_k \cdot I_{1ном}} \quad (3.8)$$

де E_{max} - максимальна напруга джерела постійної напруги, В. У нашому випадку це напруга в ланці постійного струму з урахуванням можливого перевищення напруги мережі на 10%.

$$E_{max} = 1,1 \cdot U_d = 1,1 \cdot 515 = 566,5 \text{ В}; \quad (3.9)$$

f_k - несуча частота, або частота комутації ШІМ.

У електроприводі типу АТО несуча частота змінюється програмно. У нашому випадку $f_k = 8$ кГц. дорівнює 8 кГц. Гранична частота обмежена допустимою частотою перемикання тиристорів, яка становить 10 кГц. Числове значення індуктивності фільтра визначається за формулою:

$$L_{\phi 2} \geq \frac{0,25 \cdot 515}{0,6 \cdot 8000 \cdot 8,9} = 0,003 \text{ Гн}. \quad (3.10)$$

Для установки обирається реактор типу РТСТ-20,5-2,02У3, параметри якого наведено в табл. 3.1. [4]

Таблиця 3.1 Технічна характеристика реактора РТСТ-20,5-2,02У3

Найменування	Розмірність	Значення
Номінальна лінійна напруга мережі	В	410
Номінальний фазний струм	А	20,5
Номінальна індуктивність фази	мГн	2,02
Активний опір обмотки	мОм	265

Ємність фільтра визначається за формулою:

$$C_{\phi 2} = \frac{T_k^2}{64 \cdot k_r \cdot L_{\phi 2}} \quad (3.11)$$

де T_k - період несучої частоти, с;

$$T_k = \frac{1}{f_k} = \frac{1}{8000} = 0,000125 \text{ с}; \quad (3.12)$$

k_r - коефіцієнт вищих гармонік, $k_r=0,05$;

Числове значення ємності фільтра визначається за формулою:

$$C_{\phi 2} = \frac{0,000125^2}{64 \cdot 0,05 \cdot 2,02 \cdot 10^{-3}} = 2,47 \text{ мкФ}. \quad (3.13)$$

Для установки обирається конденсатор типу МБГО–1-400В–2,4 мкФ. Дроселі включають в кожну фазу послідовно з асинхронним двигуном, а конденсатори з'єднують у трикутник і включають паралельно до двигуна. Відповідно, конденсатори суттєво не впливають на загальний опір статорного кола, тому опором фільтра при розрахунках можна знехтувати.

3.5 Розрахунок і вибір елементів згладжуючого фільтра

Згладжуючі дроселі використовуються в ланці постійного струму низьковольтних пристроїв для зменшення змінної складової струму через конденсатори фільтра та зменшення області переривчастих струмів при роботі електропривода. Конденсатор призначений для замикання реактивної складової струму статора.

Ефективність фільтра визначається коефіцієнтом згладжування, який розраховується за формулою:

$$S_{LC} = \frac{q_{\text{вх}}}{q_{\text{вих}}}, \quad (3.14)$$

де $q_{\text{вх}}$ – коефіцієнт пульсацій на вході фільтра;

$q_{\text{вих}}$ – коефіцієнт пульсацій на виході фільтра, обирається в діапазоні від 0,01 до 0,1; у нашому випадку $q_{\text{вих}} = 0,01$.

Коефіцієнт пульсацій на вході фільтра розраховується за формулою:

					ОА-01	Арк
						58
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

$$q_{\text{ВХ}} = \frac{2}{n^2 - 1} \sqrt{1 + n^2 \cdot \text{tg}^2 \alpha}, \quad (3.15)$$

де n – кількість пульсацій випрямляча; для трифазної мостової схеми $n = 6$;
 α – кут керування вентилів випрямляча; $\alpha = 0$, оскільки напруга регулюється в автономному інверторі.

$$q_{\text{ВХ}} = \frac{2}{6^2 - 1} \sqrt{1 + 6^2 \cdot \text{tg}^2 0} = 0,057. \quad (3.16)$$

Числове значення коефіцієнта згладжування визначається як:

$$S_{LC} = \frac{0,057}{0,01} = 5,7. \quad (3.17)$$

Ємність фільтра визначається з розрахунку 100 мкФ на 1 кВт потужності двигуна. Розрахункова потужність фільтра обчислюється так:

$$C_{\text{ф1}} = 100 \cdot P_{\text{дв.}} = 100 \cdot 4 = 400 \text{ мкФ}. \quad (3.18)$$

Для установки обирається конденсатор типу МБГО–1-400 В–390 мкФ.

Індуктивність фільтра визначається за формулою:

$$L_{\text{ФТ}} = \frac{S_{LC} + 1}{n^2 \cdot \omega^2 \cdot C_{\text{ф1}}};$$

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f_c = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 = 314 \text{ Гц};$$

$$L_{\text{ФТ}} = \frac{5,7 + 1}{6^2 \cdot 314^2 \cdot 390 \cdot 10^{-6}} = 4,84 \cdot 10^{-3} \text{ Гн}.$$

Для установки обирається реактор типу ФРОС–250/0,5У3, параметри якого наведено в табл 3.2.

Таблиця 3.2 Технічна характеристика реактора ФРОС–250/0,5У3

Параметр	Одиниця виміру	Значення
Номінальний постійний струм	А	320
Номінальна індуктивність фази	мГн	4,2
Активний опір обмотки	мОм	11,5

Повна схема електропривода штангового насосу по схемі вентильного двигуна наведена на аркуші 3 графічної частини дипломного проекту. Функціональна схема наведена на рис. 3.11.

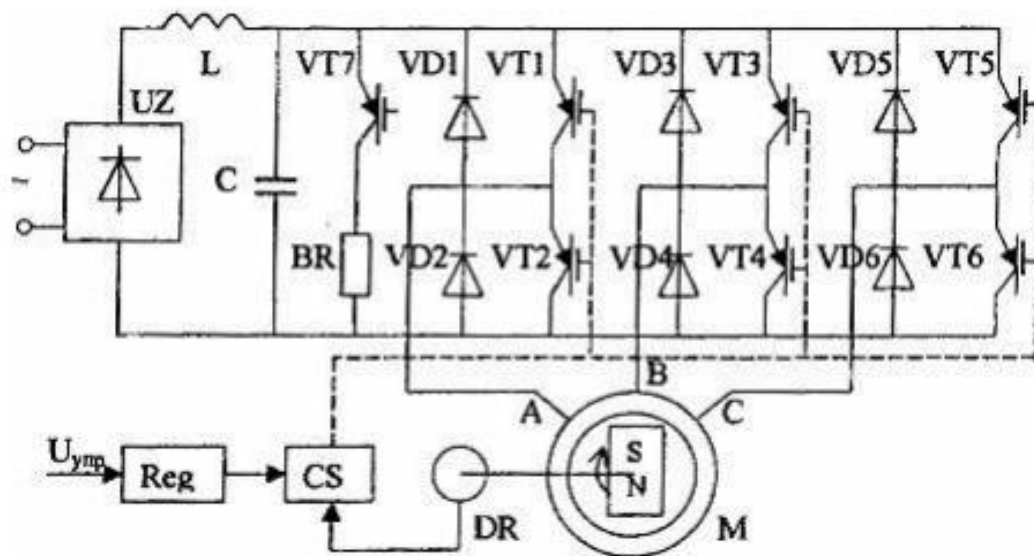


Рисунок 3.11 – Схема вентильного двигуна з транзисторним комутатором

У цій схемі зображена робота вентильного двигуна з замкнутим контуром і регулятором струму для двигуна потужністю 13 кВт при 3000 об/хв. Він живиться від інвертора PWM. Перетворювач PWM повністю змодельовано за допомогою стандартних блоків MatLabSimulink®. Його вихід проходить через блоки джерела керованої напруги, перш ніж бути застосованим до обмоток статора блоку ВД. Керування ключами інвертора вентильного двигуна зазвичай виконується на основі положення його ротора. Це забезпечує високі експлуатаційні характеристики, роблячи ВД перспективним для застосування в діапазоні малих і середніх потужностей. Перемикання комутатора ВД відбувається відповідно до поточного положення ротора. Датчик положення ротора підтримує кут між потоками на рівні $90 \pm 30^\circ$, що забезпечує максимальний обертовий момент. Напівпровідниковий комутатор, який живить обмотки статора ВД, є керованим напівпровідниковим перетворювачем із жорстким алгоритмом 120° комутації напруг або струмів трьох робочих фаз. У цій моделі використовуються два контури керування: внутрішній

контур регулює струми статора двигуна, а зовнішній контур керує швидкістю двигуна. Розглянутий вентильний двигун базується на трифазній синхронній машині з постійними магнітами на роторі. Трифазні обмотки статора живляться постійним струмом, який по черзі подається до двох послідовно з'єднаних фазних обмоток. Перемикання обмоток виконується транзисторним комутатором, побудованим за трифазною мостовою схемою. Транзисторні ключі відкриваються і закриваються залежно від положення ротора двигуна.

3.6 Застосування мікроконтролерів у нафтовидобуванні

Інтенсифікація технологічних процесів видобутку нафти потребує подальшого вдосконалення систем автоматизації нафтової галузі, що, у свою чергу, пов'язано з обробкою великого обсягу вимірювальної інформації. Це зумовлює велику увагу до розвитку вимірювальних інформаційних систем [20], які призначені для збору, перетворення, передачі, зберігання, комп'ютерної обробки та подання різної технологічної інформації. Отже, для підвищення ефективності процесу видобутку нафти необхідно модернізувати системи електроприводів штангових насосних установок (ШНУ) шляхом оптимізації режимів їх роботи та впровадження інноваційних технологій [12, 13].

Вибір режиму роботи електроприводу свердловини повинен базуватися на аналізі її продуктивності. Ефективність роботи значною мірою залежить від безперервної оптимізації експлуатаційних режимів системи "пласт–свердловина–глибинопомпова установка". Це особливо важливо для малодебітних свердловин, які працюють у режимі періодичної експлуатації. Для таких свердловин необхідно забезпечити зміну режиму роботи верстата-гойдалки відповідно до темпу наповнення глибинної помпи нафтою. Завдання полягає у контролі рівня рідини в працюючій свердловині та визначенні мінімального порогу заповнення глибинної помпи, при якому доцільно здійснювати відбір нафти. Найбільш ефективно цю

					ОА-01	Арк
						61
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

проблему можна вирішити за допомогою систем керування на основі регульованого електроприводу [15] та алгоритмів розпізнавання і діагностики

Основною тенденцією нині є впровадження "технологій інтелектуальних свердловин" (IntelligentWellTechnology, IWT) "Інтелектуальна" свердловина зазвичай включає наземне і підземне обладнання, яке містить блок керування з мікроконтролером та перетворювачем частоти, а також систему телеметрії, що забезпечує отримання інформації про параметри роботи нафтовидобувної установки. Контролер блоку керування, використовуючи отриману інформацію, керує роботою установки для забезпечення заданого режиму, наприклад, стабілізації коефіцієнта заповнення глибинної помпи. Впровадження таких технологій потребує значних наукових досліджень у сфері експлуатації свердловин і електротехнічного обладнання. Основною метою створення інтелектуальних свердловин є автоматичне керування процесом видобутку нафти в реальному часі.

Під час розробки сучасних електромеханічних систем ШНВУ важливим є створення адаптивних алгоритмів керування, які базуються на точних математичних моделях як об'єкта керування, так і процесів, що відбуваються в системі. Необхідно мати математичні моделі високої адекватності, придатні для аналізу роботи ШНУ в різних експлуатаційних режимах. Такі моделі, у поєднанні з сучасними обчислювальними методами, повинні стати основою програмного забезпечення для аналізу та діагностики електромеханічних систем ШНУ. Крім того, для успішної реалізації оптимального керування важливим є вибір апаратно-програмного забезпечення, яке повинно відповідати жорстким вимогам щодо ефективного використання ресурсів.

Рішення цих проблем можливе шляхом аналізу роботи наземного та підземного обладнання свердловини на основі математичного моделювання та створення нових мікропроцесорних систем автоматизації роботи ШНУ, що забезпечують ефективний режим роботи свердловини. Це вимагає досліджень у напрямку сучасних методів керування електроприводами, діагностики та ідентифікації стану нафтових свердловин. Особливості видобутку нафти

					ОА-01	Арк
						62
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

штанговими насосними установками, а саме відносна складність і висока вартість обладнання, значні витрати електроенергії на одиницю видобутої нафти, особливо з малодобітних свердловин, значні механічні навантаження, що виникають в установці, та трудомісткість ремонтів підземної частини обладнання, обумовлюють підвищені вимоги до оперативного контролю його стану та функцій керування електроприводом ШНВУ. Це потребує подальшого розвитку та вдосконалення методів дослідження електроприводів ШНВУ. Відомі системи автоматичного керування швидко старіють, відстають від практичних потреб і не задовольняють сучасні вимоги щодо ефективної експлуатації свердловин, надійності захисту обладнання та діагностики технічного стану. На сьогодні основний акцент робиться на використанні частотно-керованого електроприводу для регулювання продуктивності глибинної помпи. Проте не завжди такі системи керування є оптимальними для конкретних умов видобутку нафти через можливу складність та наявність надлишкових функцій, що знижує надійність системи в цілому. Тому розробка сучасних методів діагностики та систем керування штанговими нафтовидобувними установками, які забезпечують безперервний автоматичний контроль та раціональну експлуатацію свердловин на базі мікропроцесорних засобів та сучасних досягнень у теорії автоматизованого керування і електроприводу, є актуальним завданням.

Робота плунжерної помпи в ідеалізованих умовах, коли враховуються лише статичні навантаження від ваги штанг і стовпа рідини, Архімедова сила та сила пружності матеріалу штанг і труб, характеризується теоретичною динамограмою, яка має вигляд паралелограма (рис. 3.12).

					ОА-01	Арк
						63
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

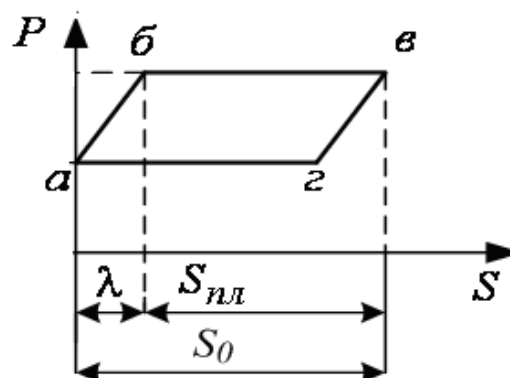


Рисунок 3.12 - Теоретична ідеалізована динамограма: P – зусилля, $S_{пл}$ – довжина ходу плунжера, S_0 – довжина ходу головки балансира, λ – видовження штанг.

На рис. 3.13 показана практична динамограма [21], яка відображає роботу глибинної помпи при справному підземному обладнанні та нормальних умовах притоку рідини.

Як видно з практичної динамограми роботи глибинної помпи (рис. 3.13), лінії розтягу та стиску штанг є паралельними, а теоретично розраховані деформації штанг та труб збігаються з практичними.

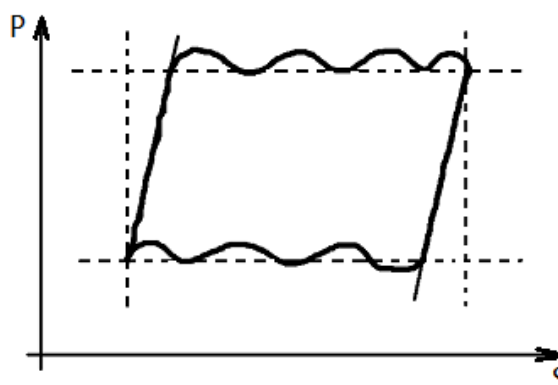


Рисунок 3.13 - Типова форма практичної динамограми (потовщена крива) при нормальній роботі помпи.

Для керування та діагностики нафтовидобувного обладнання, крім аналізу динамограм, використовують методи, що базуються на аналізі ватметрограм або струмограм. Ватметрограма записується за допомогою ватметрографа, який

відображає залежність спожитої потужності ШНВУ від положення полірованого штока протягом одного періоду гойдання верстата-гойдалки, вимірюючи струм і напругу в колі живлення двигуна. Ватметрограма надає загальну інформацію про стан нафтовидобувної установки, а динамограма – про підземну частину.

Сучасний підхід до автоматизації нафтовидобувних процесів висуває високі вимоги до програмно-апаратних комплексів для контролю та управління штанговими глибинними насосами (ШГН). Це зумовлено виснаженням нафтових родовищ, високою вартістю електроенергії, прагненням нафтових компаній знизити витрати на ремонт свердловин та більш ефективно використовувати свій персонал.

Раніше технічні засоби дозволяли лише періодичне вимірювання технологічних параметрів на свердловинах операторами за допомогою переносних комплектів обладнання. Зараз сучасні мікропроцесорні контролери, встановлені стаціонарно на родовищах, забезпечують безперервний автоматичний контроль. Для свердловин, що використовують штангові глибинні насоси, це означає вимірювання таких параметрів, як динамограма (залежність зусилля на полірованому штоку від переміщення точки підвіски штанг), динамічний рівень, ватметрограма (залежність споживаної потужності від переміщення точки підвіски штанг), вплив газового фактора, тиск на гирлі свердловини, добова продуктивність свердловини та інші. Функції управління повинні забезпечувати дистанційне включення і відключення приводного електродвигуна, аварійне відключення установки, періодичний режим роботи, плавне регулювання швидкості обертання за допомогою перетворювача частоти.

Наразі є багато розробників і виробників контролерів та станцій управління для установок ШГН. Серед зарубіжних компаній це "LufkinAutomation" (США), "eProductionSolutions" (США), "ABB" (США), "AutomationElectronics" (США), "DrSCADAAutomation" (США), "R&M EnergySystems" (США), "InternationalAutomationResources" (США) та "SPOC Automation" (США). Також відомі вітчизняні розробники, серед яких можна виділити НПФ "Екос" (Уфа), НПФ

					OA-01	Арк
						65
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

"Інтекс" (Уфа), ГУПНН "Авітрон-Ойл" (Уфа), НПО "Інтротест" (Єкатеринбург), НППФ "Інтеграл +" (Казань), "Шатл" (Казань), ЗАТ "Лінт" (Казань), ТОВ "Аякс" (Ульяновськ) та інші.

Використання сучасних інтелектуальних контролерів дозволяє вирішувати такі завдання, як автоматизація роботи верстата-гойдалки, оптимізація режимів роботи обладнання, оперативне виявлення аварійних ситуацій та невідповідностей режимів експлуатації обладнання, оперативна передача інформації про стан об'єкта на пульт оператора через систему телемеханіки.

Системи телемеханіки сьогодні зазвичай будуються з використанням радіоканалу. Тому типова станція управління включає контролер, силовий комутатор для включення та відключення електродвигуна, радіомодем та набір датчиків технологічних параметрів. Окремі станції управління мають у своєму складі перетворювачі частоти для регулювання швидкості обертання електродвигуна.

3.7 Зарубіжні контролери для штангових глибинних насосів (ШГН)

Розробкою систем автоматизації для нафтовидобувної промисловості, зокрема контролерів для ШГН, займаються такі зарубіжні компанії, як "LufkinAutomation" (США), "eProductionSolutions" (США), "ABB" (США), "AutomationElectronics" (США), "DrSCADAAutomation" (США), "R&M EnergySystems" (США), "InternationalAutomationResources" (США) та "SPOC Automation" (США).

Контролер SAM WellManager компанії Lufkin є на сьогоднішній день найпоширенішим у світі. Цей контролер підтримує підключення аналогових датчиків сили та положення, а також дискретних датчиків положення, встановлених на валу електродвигуна та вихідному валу редуктора. Дані з цих датчиків використовуються для моніторингу та управління роботою насосної установки, а також для візуального відображення графічних даних на LCD-дисплеї або екрані портативного комп'ютера у зручному форматі.

					ОА-01	Арк
						66
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

Контролер SAM WellManager визначає ступінь заповнення рідиною стовбура свердловини за динамограмою. Якщо аналіз показує, що свердловина спорожнена, насос вимикається, і свердловина переходить у режим накопичення. У цьому режимі вона знову заповнюється рідиною, після чого блок управління вмикає двигун насоса і починає відкачування.

Програмне забезпечення контролера SAM WellManager дозволяє виявляти окремі несправності насосної установки за динамограмою. Дані можуть бути переглянуті безпосередньо на свердловині у вигляді діаграм і звітів на вбудованому дисплеї.

Контролер підтримує дві конфігурації датчиків динамометрії:

1. Датчик сили розташований на штоку над верхньою траверсою (датчик типу Loadtrol), датчик положення на ефекті Холла встановлений на вихідному валу редуктора.
2. Датчик деформації балансиру поєднаний з датчиком кута нахилу балансиру.

Контролер має три режими роботи:

1. Всі включення та відключення електродвигуна виконуються за командами з диспетчерського пункту.
2. Включення та відключення електродвигуна виконуються за заданими тимчасовими уставками (періодична експлуатація).
3. Управління здійснюється автоматично за результатами аналізу динамограм.

Контролер має аналоговий вихід для підключення частотного перетворювача, що дозволяє плавно регулювати швидкість обертання електродвигуна.

На даний момент ці контролери встановлюються у станціях управління "СКАД", які випускаються АЦБПО ЕПУ ВАТ "Татнефть".

Недоліком цієї системи є висока вартість. Наприклад, вартість контролера компанії "Lufkin" (США) з датчиками динамометрії співставна з ціною повної комплектації вітчизняної станції управління.

					ОА-01	Арк
						67
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

Компанія "eProductionSolutions" (США) пропонує кілька контролерів для встановлення на свердловинах ШГН. Це контролери САС2000, САС8800, ePIC, ePAC та iBEAM.

Функціональні можливості перших трьох контролерів аналогічні SAM WellManager компанії Lufkin. Вони підтримують підключення пасивних датчиків сили, розташованих на штоку (датчик типу Loadtrol) або на балансірі, а також датчиків параметрів руху штока різних типів: датчиків Холла, розташованих на валу кривошипа, датчиків кута нахилу балансиру та потенціометричних датчиків кута. Вимірювання сигналів з аналогових датчиків здійснюється 12-розрядним АЦП з частотою 20 Гц. Можливе калібрування датчиків безпосередньо на свердловині. Контролери також визначають ступінь збалансованості противаг насосної установки. На відміну від попередніх виробів, ePAC представляє цілу систему регульованого електроприводу для насосної установки. Він дозволяє варіювати швидкість качання насоса в широких межах, а також окремо оптимізувати час ходу плунжера вгору і вниз. Найбільш оригінальною розробкою компанії є контролер iBEAM, що встановлюється на балансірі верстата-гойдалки. Він закріплюється за допомогою струбцини на балансірі, на його верхній поверхні розташована сонячна батарея, що забезпечує автономну роботу пристрою. Для роботи вночі є вбудований акумулятор. Поруч із контролером встановлюються комбіновані датчики деформації та кута нахилу балансиру. Виміряні динамограми передаються за допомогою малопотужного радіопередавача на приймальний термінал біля блоку управління електродвигуном.

У цій системі повністю виключені рухомі кабелі від датчиків та кабелі підведення живлення, що підвищує надійність та довговічність. На даний момент контролерами iBEAM оснащено близько 25 тисяч свердловин у світі.

У деяких випадках доцільно обслуговувати одним контролером цілий куш близько розташованих свердловин. Цю можливість реалізовано у контролері компанії "International Automation Resources" (США). Проте використання пасивних аналогових датчиків сили обмежує довжину з'єднувальних кабелів

					ОА-01	Арк
						68
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

кількома десятками метрів. Тому для підключення віддалених датчиків використовуються спеціальні перетворювачі вихідних сигналів пасивних датчиків у струмовий сигнал 4-20 мА. Проте навіть струмовий аналоговий сигнал піддається впливу електромагнітних завад, тому в цьому випадку доцільніше використовувати датчики з цифровим виходом.

Контролер АЕРОС 2100 компанії "Automation Electronics" (США) відрізняється високою роздільною здатністю АЦП. Для оцифрування сигналів з датчиків сили та переміщення використовується 16-розрядний АЦП. При цьому датчиками переміщення можуть бути датчики початку ходу, потенціометри, "рідинні" та "сухі" інклінометри. Гнучкий алгоритм визначення зриву подачі дозволяє працювати з горизонтальними та сильно загазованими свердловинами.

Світовий лідер у виробництві силової електроніки компанія "ABB" (США) випустила контролер ALC 600. Він підтримує підключення датчиків сили та положення та призначений для роботи з перетворювачем частоти. Випускається 12 варіантів станцій управління з цим контролером для електродвигунів потужністю від 6 до 100 кВА. Для роботи в умовах холодного клімату в шафі передбачена система підігріву.

Таблиця 3.3 Характеристики імпортованих контролерів ШГН

	<i>SAM, Lufkin</i>	<i>CAC2000,eps</i>	<i>iBEAM,eps</i>	<i>IAR</i>	<i>АЕРОС2100</i>	<i>ALC600, ABB</i>
Тип датчика зусилля	<i>Loadtrol</i> ДДБ	<i>Loadtrol</i> ДДБ	ДДБ	<i>Loadtrol</i>	<i>Loadtrol</i> ДДБ	<i>Loadtrol</i>
Тип датчиків положення	ДХ ДУН	ДХ ДУН ПДУ	ДУН	ДУН	ДХ ДУН ПДУ	ДХ
Контроль ваттметрограм	—	—	—	—	—	—
Управління перетворювачем частоти	+	+	+	—	—	+

	<i>SAM, Lufkin</i>	<i>CAC2000,eps</i>	<i>iBEAM,eps</i>	<i>IAR</i>	<i>AEPOC2100</i>	<i>ALC600, ABB</i>
Можливість обслуговування кількох свердловин	—	—	—	+	—	—
Наявність дисплея та апаратури	+	+	+	+	+	—
Інтерфейси	+	+	+	+	+	
RS-232	+	+	-	-	+	
RS-485	-	-	-	-	+	
Ethernet						
Розрядність АЦП	12	12	12	12	16	—
Діапазон робочих температур, °C	- 40...+85	-40....+85	-30...+80	- 40...+70	-40...+70	-50... +50

*ДДБ - датчик деформації балансиру

**ДХ - датчик Холла, встановлений на вихідному валу редуктора

***ДУН - датчик кута нахилу балансиру

****ПДУ - потенціометричний датчик кута

Характеристики імпортованих контролерів ШГН наведені в таблиці 3.3.

Висновки до розділу

1. Використання СДРВ в системах енергопостачання приводів з циклічним навантаженням збалансованих верстатів-гойдалок збільшує ККД всієї розподільної системи на 5,27% порівняно з асинхронними двигунами. Для незбалансованих верстатів-гойдалок цей ефект буде ще більш вираженим.

2. Термін окупності заміни асинхронних двигунів на СДРВ у приводах верстатів-гойдалок становить один рік.

3. Використання СДРВ у системах енергопостачання приводів із змінним циклічним навантаженням значно зменшує втрати напруги в розподільчій мережі,

					ОА-01	Арк
						70
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

що підвищує стійкість енергосистеми, покращує запуск двигунів, знижує необхідну потужність трансформаторів і дозволяє зменшити перетин проводів розподільчої мережі.

4. На основі порівняння характеристик асинхронних та синхронних двигунів, як привід для штангового насоса за масо-габаритними показниками та ККД, найбільш доцільним є вентильний двигун із синхронними двигунами з постійними магнітами.

5. Аналіз способів керування вентильними двигунами показав, що найбільш енергоефективним є підтримання сталої величини кута запасу δ перетворювача на мінімальному рівні.

6. Дослідження моделей вентильних двигунів із підпорядкованим керуванням та використанням ПІД-регулятора показали, що підтримання сталої величини кута запасу δ на мінімальному рівні не потребує переналаштування параметрів регуляторів, що робить цей метод оптимальним для побудови енергоефективного привода.

					ОА-01	Арк
						71
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1. Аналіз шкідливих та небезпечних факторів

Проектування, монтаж, налагодження, випробування та експлуатація бурових і нафтогазопромислових установок повинні здійснюватися відповідно до вимог [Правил безпеки у нафтогазодобувній промисловості](#) (затверджених наказом Міністерством економіки України від 27.04.2023 №2610), [Правил технічної експлуатації електроустановок споживачів](#), затверджених наказом Міністерства палива та енергетики України від 25 липня 2006 року №258, [Правил пожежної безпеки в Україні](#) та [Правил охорони електричних мереж](#), затверджених постановою Кабінету Міністрів України від 27 грудня 2022 року (1455), Правил улаштування електроустановок, затверджених наказом Міністерства енергетики та вугільної промисловості України [№476](#).

У дипломному проекті розглянуто електропривід верстата-гойдалки нафтової гойдалки, яка розташована на відкритій місцевості у північно-східній частині України. Габарити гойдалки складають: довжина – 10 м, ширина – 30 м, висота – 6 м.

Таблиця 4.1 містить перелік обладнання, що входить до складу верстата-гойдалки.

					ОА-01	Арк
						72
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 4.1. Перелік обладнання

Устаткування	Операції
Рама	На рамі монтується верстат-гойдалка
Балансир	Переміщення свердловинно-штангового насоса
Свердловинно-штанговий насос	Викачування зі свердловини нафти
Шатуни з головками шатунів	Перетворення зворотно-поступального переміщення в рух дугою балансиру
Редуктор	Зворотно-поступальне переміщення кривошипу
Кривошипи з противагами	Переміщення шатуна
Електродвигун	Перетворення електричної енергії в механічну обертальну
Гальмо колодкове	Гальмування верстата-гойдалки
Шафа управління	Пуск, зупинка, керування електродвигуном
Електродвигун	Обертання редуктора

Верстат-гойдалка СКДТ10-3,5-5600 (СКТ10)

Верстат-гойдалка СКДТ10-3,5-5600 (СКТ10) балансирного типу використовується як індивідуальний привід для штангового свердловинного насоса. Ця модель верстата-гойдалки призначена для монтажу на високому фундаменті.

Чотириланковий перетворювальний механізм приводу виконано за несиметричною схемою, що дозволило значно зменшити габарити і масу верстатів-гойдалок, а також знизити споживання енергії. Завдяки цьому забезпечується висока надійність і тривалий термін експлуатації верстатів-гойдалок СКДТ10 (СКТ10).

Таблиця 4.2 містить технічні характеристики верстата-гойдалки СКДТ10-3,5-5600 (СКТ10).

					ОА-01	Арк
						73
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 4.2. Технічні характеристики верстат-гойдалки СКДТ10-3,5-5600 (СКТ10)

Шифр	СКДТ10-3,5
Номінальне навантаження в устьовому штоку, кН	100
Максимальна довжина ходу устьового штока, м	3,5
Номінальний крутний момент на вихідному валу редуктора, кНм	56
Передаточне число редуктора	40,
Кількість качань балансира, в хв.	5....12
Потужність двигуна, кВт	30 і 37

В таблиці 4.3 наведені технічні характеристики електродвигуна АИР225 М6СН, в таблиці 4.4 – показники горючості речовин та матеріалів, в таблиці 4.5 – показники токсичності речовин та матеріалів, а в таблиці 4.6 - класифікація виробництва, середовища, будівель та споруд.

Таблиця 4.3. Технічні характеристики електродвигуна

Тип ЕД	Рн, кВт	п, об/хв	ККД, %	cosφ	Ін, А (380В)	Кратності			Маса, кг
						Іп/Ін	Мп/Мн	Мп/Мн	
АИР225М6СН	37	980	92,0	0,86	69,7	6,2	2,5	2,4	320

Таблиця 4.4. Показники горючості речовин та матеріалів

Найменування	Група горючості	$t_{всп}, ^\circ C$	Питома теплота згоряння
Нафта	ГЖ	від -35 до +121	43,7-46,2 МДж/кг
Сірководень	ГР	+300	21,53-23,37 МДж/м ³

Таблиця 4.5. Показники токсичності речовин та матеріалів

Речовина	Агрегатний стан	П.Д.К., мг/м ³	Клас небезпек	Характер токсичної дії
Нафта	Рідина	10	3	Контакт із нафтою викликає сухість шкіри, пігментацію чи стійку еритему, призводить до утворення вугрів, бородавок на відкритих частинах тіла. Гострі отруєння парами нафти викликають підвищення збудливості центральної нервової системи, зниження кров'яного тиску та нюху.
Сірководень	Газ	10	3	Вдихання повітря із вмістом сірководню викликає запаморочення, головний біль, нудоту, а зі значною концентрацією призводить до коми, судом, набряку легень і навіть до смерті. При високій концентрації одноразове вдихання може спричинити миттєву смерть.

Таблиця 4.6. Класифікація виробництва, середовища, будівель та споруд

Назва приміщення.	Відповідно до ДСТУ EN 60079-1:2019(EN 60079-1:2014, IDT; IEC 60079-1:2014, IDT)	Клас вибухонебезпечних зон відповідно до НПА ОП 40.1-1.32-01.4	Клас приміщень з навколишнього середовища. Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів р.1,2,3	Клас приміщень щодо небезпеки ураження електричним струмом. Правил технічної експлуатації електроустановок споживачів нар. 9	Відповідно до вимог, зазначених у відповідних НД ДСП 3.3.6.042-99, ДСП 3.3.6.037-99 група	Санітарний клас виробництва, ширина санітарно-захисної зони. СН 245-71
Установка відкритого типу	d	1	відкрите	3 підвищеною небезпекою	16	IV-250м

Видобуток нафти супроводжується вивільненням попутних газів, зокрема сірководню.

					ОА-01	Арк
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		75

4.2 Заходи безпеки зі зменшення шуму та вібрації

При виконанні операцій з експлуатації верстатів-гойдалок необхідно дотримуватися норм виробничого шуму та вібрації, встановлених ДСН 3.3.6.037-99 «Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку» і ДСН 3.3.6.039-99 «Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації».

Рациональний режим праці для робітників встановлюється для конкретного робочого місця або виконання певних технологічних операцій, якщо вібрація перевищує гранично допустимі рівні не більше ніж на 12 дБ.

Постійний характер шуму при тривалому впливі на людину може призвести до професійних захворювань, таких як часткова втрата слуху, що знижує працездатність. Джерелами шуму в установці є електродвигун у поєднанні з редуктором і рухомі частини верстата-гойдалки. Рівень звуку на висоті 0,8 м над ручкою гальма становить 90 дБ, тоді як гранично допустимий рівень на робочих місцях і зонах становить 80 дБ. Під час експлуатації рівень вібрації механізмів залишається досить стабільним і не перевищує допустиму величину вібрації 10,5 дБ.

Фундамент під верстат-гойдалку виконаний із монолітного залізобетону. Він забезпечує стійке горизонтальне положення фундаменту та верстата-гойдалки в процесі експлуатації. На фундамент встановлена рама верстата-гойдалки з редуктором, кривошипам та електродвигуном. Площина симетрії рами повинна проходити через центр свердловини і бути горизонтальною. Допустимі відхилення від горизонтальності: у поперечному напрямку – 2 мм/м, у поздовжньому напрямку – 4 мм/м. Перевірка горизонтальності здійснюється за допомогою брускового рівня в двох взаємно перпендикулярних напрямках на початку та в кінці рами. Для забезпечення горизонтальності рами використовують сталеві клини з подальшим усуненням зазору між фундаментом і рамою.

					ОА-01	Арк
						76
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

Для зниження шуму в установці застосовують спеціальні кожухи з тонких алюмінієвих або пластмасових листів із внутрішнім звукопоглинаючим матеріалом.

Вібрацію зменшують за допомогою віброізолюючих матеріалів і прокладок (гума, пластик), які встановлюються в місцях кріплення електродвигуна та редуктора.

4.3 Мікроклімат на робочому місці

Робота оператора за рівнем важкості виконуваних робіт відноситься до категорії Па, що включає роботи з енерговитратами від 150 до 250 ккал/год. Ці роботи передбачають постійну ходьбу, роботу сидячи або стоячи, але не включають перенесення ваги.

В таблиці 5.7 наведені дані мікроклімату на робочому місці.

Таблиця 4.7. Мікроклімат на робочому місці

Фактичне значення	Нормативні значення
Температура повітря Від -25 до +35 °С Відносна вологість повітря 70-100%	У відкритих установках не нормується

4.4 Вентиляція

Оскільки установка розташована на відкритому повітрі, система вентиляції не передбачена.

4.5. Електричне освітлення

Вимоги, викладені в цьому підрозділі, стосуються установок електричного освітлення промислових підприємств, приміщень та споруд, житлових і

					ОА-01	Арк
						77
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

громадських будівель, відкритих просторів та вулиць, а також рекламного освітлення.

Нижче наведено дані вимог для установки електричного освітлення відповідних об'єктів.

№ з/п	Найменування об'єктів	Загальна мінімальна освітленість, лк
1	Устя нафтогазових свердловин, верстати-гойдалки	30
2	Моторні будки верстатів-гойдалок, будки з апаратурою електрозаглибних насосів	30

4.6 Електробезпека

Все електроустаткування живиться від трифазної мережі з глухозаземленою нейтраллю, напругою 380/220 В і частотою 50 Гц.

Це електроустаткування належить до категорії установок з напругою до 1000 В. Наказ Міністерства енергетики та вугільної промисловості [№905 від 16.11.2012.](#)

Рама електроприводноіштангонасосної установки повинна бути надійно заземлена. Як заземлювач використовується кондуктор свердловини, з'єднаний з рамою верстата-гойдалки не менше ніж двома сталевими провідниками, які приварені до рами та кондуктора в різних місцях. Перетин кожного провідника повинен бути не меншим за 48 мм².

Металева шафа блоку управління обладнана заземлюючим болтом, до якого можна підключити заземлюючий провідник як зовні, так і всередині шафи. Біля провідника розташований знак заземлення.

Окремі заземлювачі представляють собою сталеві стрижні діаметром 1,33 см і довжиною 5 м, забиті на глибину 5,6 м.

					ОА-01	Арк
						78
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

Опір розтікання одного стрижня визначається за формулою:

$$R_{CT} = \frac{\rho}{2\pi L} \ln\left(\frac{2L}{d}\right)$$

де ρ - питомий опір ґрунту, для суглинку $\rho = 104 \text{ Ом} \cdot \text{см}$, L – довжина стрижня, мм, d – діаметр стрижня, мм.

Розрахунок опору розтікання одного стрижня:

$$R_{CT} = \frac{\rho}{2\pi L} \ln\left(\frac{2L}{d}\right) = \frac{10^4}{2 \cdot 3,14 \cdot 500} \ln\left(\frac{2 \cdot 500}{1,33}\right) = 21,08 \text{ Ом.}$$

Всі заземлювачі з'єднані смугою зі сталі перетином $5 \cdot 0,5 \text{ см}$ на глибині $0,6 \text{ м}$.
Загальна довжина смуги становить 90 м .

Опір смуги визначається за формулою:

$$R_{II} = \frac{\rho}{2\pi L} \ln\left(\frac{2L^2}{bt}\right)$$

де L – загальна довжина смуги, мм, b – ширина смуги, мм, t – товщина смуги, мм.

Розрахунок опору смуги:

$$R_{II} = \frac{\rho}{2\pi L} \ln\left(\frac{2L^2}{bt}\right) = \frac{10^4}{2 \cdot 3,14 \cdot 90000} \ln\left(\frac{2 \cdot 81 \cdot 10^8}{50 \cdot 5}\right) = 0,318 \text{ Ом.}$$

Припускається забиття 10 стрижнів, тоді їх опір розтікання струму становить:

$$R' = \frac{R_{заг}}{n} = \frac{21,08}{10} = 2,108 \text{ Ом.}$$

Загальний опір визначається за формулою:

$$R_{\text{заг}} = \frac{R_{CT}}{\eta_a},$$

де $\eta_a = 0.56$ - коефіцієнт використання вертикальних електродів.

Розрахунок загального опору:

					ОА-01	Арк
						79
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

$$R_{\text{за}} = \frac{R_{\text{НО}}}{\eta_{\text{а}}} = \frac{21,08}{0,56} = 3,76 \text{ Ом.}$$

Опір всього контуру заземлення:

$$R_3 = \frac{R_{\text{пст}} \cdot R_{\text{общ}}}{R_{\text{п}} + R_{\text{общ}}} = \frac{0,318 \cdot 3,76}{0,318 + 3,76} = 0,29 \text{ Ом.}$$

Згідно з ПУЕ, опір заземлювальних пристроїв для напруги до 1000 В має бути не більше 4 Ом. У небезпечній зоні силового обладнання можливе ураження електричним струмом. Тут застосовуються захисні пристрої, які автоматично спрацьовують під час аварії та відключають обладнання. [12]

4.7 Захист від статичної електрики

В установці існує ймовірність виникнення статичної електрики під час руху нафти трубопроводом зі швидкістю менше ніж 2 м/с. Відповідно до ГОСТ 12.1.018-93, об'єкт класифікується як клас Е1 з іскробезпеки, тобто безіскроваелектролізація.

Проектом передбачено приєднання трубопроводу до заземлювального пристрою живлення КТП 6/0,4 кВ. Метраж заземлення становить 20 метрів.

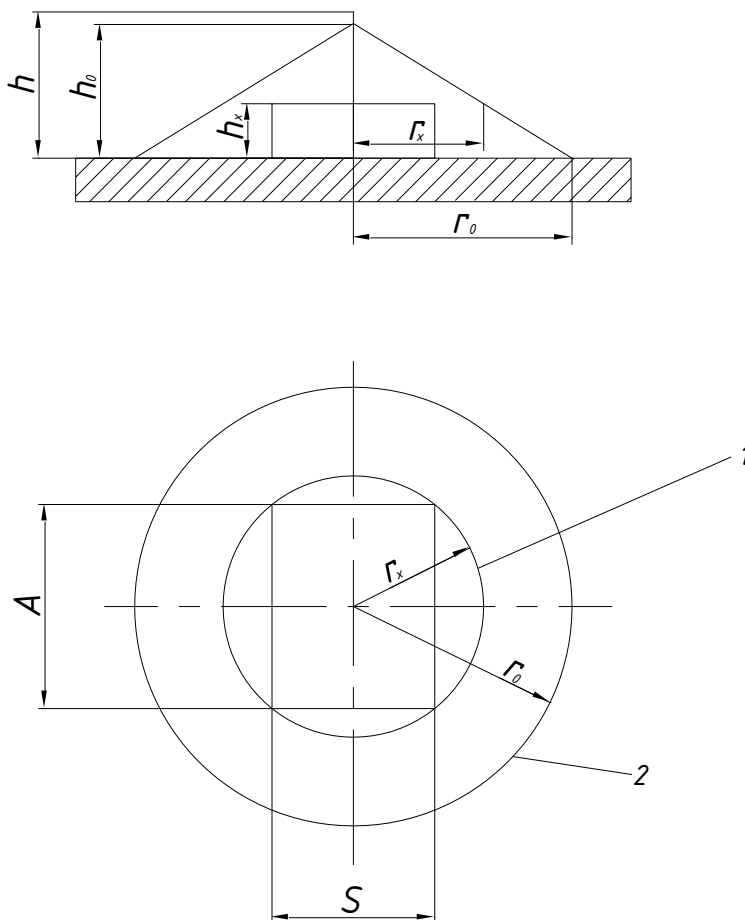
4.8 Блискавкозахист

Захист будівель та споруд від прямих ударів блискавки та вторинних її проявів здійснюється відповідно до ДСТУ EN 62305-1:2012 "Захист від блискавки. Частина 1. Загальні принципи" (EN 62305-1:2011, IDT).

Верстат-гойдалка розташований у місцевості, де тривалість гроз становить від 20 до 40 годин на рік. На цьому об'єкті удари блискавок можуть спричинити не лише пожежі та механічні руйнування, а й електричні ураження. Будівля відноситься до категорії І та зони А блискавкозахисту.

					ОА-01	Арк
						80
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

Для захисту верстата-гойдалки передбачено використання одиночного стрижневого блискавковідводу.



1 – Радіус зони захисту на висоті h_x ;

2 – Радіус зони захисту лише на рівні землі;

h_x - Висота будівлі, м.

r_x – радіус зони захисту на висоті h_x .

Рисунок 5.1 - Блискавкозахист верстата-гойдалки

Підрахунок очікуваної кількості N влучань блискавок на рік для будівель та споруд, які не мають блискавкозахисту, виконується за формулою:

$$N = \left[(S + 6 \cdot h) \cdot (A + 6 \cdot h) - 7,7 \cdot h^2 \right] \cdot n \cdot 10^{-6},$$

де $S = 10$ м, $A = 30$ м, $h_x = 6$ м – відповідно довжина, ширина та висота будівлі,
 n – середня кількість ударів блискавки на рік на одиницю площі поверхні землі,
 $n = 0,0055$.

Необхідна ширина зони захисту на висоті $h_x = 6$ м:

$$r_x = \sqrt{\left(\frac{A}{2}\right)^2 + \left(\frac{S}{2}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{30}{2}\right)^2 + \left(\frac{10}{2}\right)^2} = 15,8 \text{ м.}$$

Визначення висоти блискавковідводу:

$$h = \frac{r_x + 1,63h_x}{1,5};$$

$$h = \frac{15,8 + 1,63 \cdot 6}{1,5} = 17,05 \approx 17 \text{ м.}$$

4.9 Пожежна безпека

Проектом передбачені наступні заходи:

- Використання швидкодіючих та зворотних клапанів у запірній арматурі устя свердловини. Устява арматура дозволяє відбирати продукцію свердловини та контролювати тиск у трубному та затрубному просторі.
- Збирання та вивезення промасленої ганчірки у важкогорючих ящиках з кришкою.
- Використання засобів пожежогасіння: вогнегасники ОУ-5, ОУ-8, ОП-5, ОП-10, стаціонарні ящики з піском, вогнегасники у кімнаті відпочинку персоналу.
- Використання конструкцій з регламентованими межами вогнестійкості та горючості.

					ОА-01	Арк
						82
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

Відповідно до ГОСТ 12.1.004-91 проектом передбачено запобігання утворенню пального та вибухонебезпечного середовища шляхом застосування ізолюваного нафтового трубопроводу, покладеного в траншею на глибину 1 м.

4.10 Технологічна безпека при експлуатації свердловин штанговими насосами

Устя свердловини обладнується запірною арматурою та пристроєм для ущільнення штока. Схема обв'язки устя свердловини має забезпечувати вимірювання тиску, відбирання газу з затрубного простору та проведення досліджень. Конструкція сальникового пристрою повинна дозволяти заміну ущільнення штока при наявності тиску у свердловині.

Під час виконання робіт із зупинкою верстата-гойдалки електродвигун слід вимкнути, контрвантажі повинні бути опущені в нижнє положення та заблоковані гальмівним пристроєм, а на пусковому пристрої має бути встановлений попереджувальний знак «Не вмикати – працюють люди!».

На свердловинах з автоматичним та дистанційним керуванням верстатів-гойдалок повинні бути розміщені попереджувальні знаки «Увага! Пуск автоматичний».

Кривошипно-шатунний механізм верстата-гойдалки, майданчик для обслуговування електроприводу та пускового пристрою повинні мати огороження. Верстат-гойдалка має бути змонтований так, щоб виключити зіткнення рухомих частин з фундаментом, ґрунтом чи огорожею.

При крайньому нижньому положенні головки балансира відстань між траверсою підвіски сальникового штока або штанготримачем та устьовим сальником повинна бути не менше 20 см.

Рама верстата-гойдалки повинна бути з'єднана з кондуктором (проміжною колоною) не менше ніж двома заземлювальними сталевими провідниками, привареними в різних місцях до кондуктора (проміжної колони) та рамами.

					ОА-01	Арк
						83
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

Переріз прямокутного провідника має бути не менше ніж 100 мм², товщина стінок профільної сталі – не менше ніж 4 мм, діаметр круглих заземлювачів – 16 мм.

Заземлювальні провідники, що з'єднують раму верстата-гойдалки з кондуктором (проміжною колоною), повинні бути заглиблені в землю не менше ніж на 0,5 м. Як заземлювальні провідники може застосовуватися сталь: кругла, смугова, кутова або іншого профілю.

Верхній торець устьового сальника повинен підноситися над рівнем майданчика обслуговування не більше ніж на 1 м. Вібрація та гідравлічні удари в нагнітальних комунікаціях не повинні перевищувати норми, встановлені чинними документами щодо експлуатації та ремонту технологічних трубопроводів під тиском до 10,0 МПа (100 кгс/см²).

4.11 Засоби індивідуального захисту

Усі працівники забезпечуються безкоштовно відповідно до встановлених норм спецодягом, взуттям та іншими засобами індивідуального захисту, зокрема:

- ізоляційними рукавичками як основним засобом захисту;
- гумовими килимками як додатковим засобом захисту;
- шкіряним взуттям на гумовій підшві як засобом захисту від ураження електричним струмом та вібрації;
- захисним головним шоломом;
- навушниками для захисту від шуму;
- протигазом на випадок аварії, виникнення та гасіння пожежі.

					ОА-01	Арк
						84
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

Висновки

У дипломній роботі ми розглянули електромеханічне обладнання та автоматизацію комплексу з штанговим насосом для нафтовидобувних свердловин. Визначили аналітичну залежність моменту від навантаження на свердловину і розроблено функціональну схему керування вентильним двигуном.

Застосування п'єзоелектричного активатора дозволило підвищити ефективність видобутку, зменшити витрати енергії та забезпечити точний контроль параметрів системи. СДРВ у системах енергопостачання приводів із змінним циклічним навантаженням підвищує ККД на 5,27% у порівнянні з асинхронними двигунами, з терміном окупності заміни один рік.

Використання вентильного двигуна із синхронними двигунами з постійними магнітами є найбільш доцільним для штангового насоса. Підтримання сталої величини кута запасу δ перетворювача на мінімальному рівні є найбільш енергоефективним методом керування, що не потребує переналаштування параметрів регуляторів.

Таким чином, впровадження п'єзоелектричного активатора та використання СДРВ сприяють значному підвищенню ефективності роботи нафтовидобувних комплексів, знижуючи енергоспоживання та забезпечуючи точний контроль параметрів.

					ОА-01	Арк
						85
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

Список використаної літератури

1. Воронцова Л., Лукин О.Ю., Гурський Д.С. НЕТРАДИЦІЙНІ ДЖЕРЕЛА ВУГЛЕВОДНІВ УКРАЇНИ. Книга IV: Східний нафтогазоносний регіон: аналітичні дослідження. Монографія у восьми книгах. – Київ: Видавничо-поліграфічний центр "Київський університет", 2014. – 300 с.
2. В.П. Нагорний, І.І. Денисюк, Імпульсні методи інтенсифікації видобутку вуглеводнів – Київ: Національна академія наук України Інститут геофізики ім. С.І. Субботіна.
3. Пат. України № UA 108621 U Імплозійний гідрогенератор/ Автори: [Сліденко В.М.](#), [Ковальов І.С.](#), [Лістовщик Л.К.](#)
4. Світлицький В.М., Ягодовський С.І., Галустян Г.Р. Поточний та капітальний ремонт свердловин - К.: Логос, 2001. 344с.
5. Сліденко В.М. Стабілізація функціонування гірничої машини з імпульсним виконавчим органом: монографія/ В.М. Сліденко, С.П. Шевчук К.: НТУУ "КПІ", 2010. 192 с.
6. Лістовщик Л.К. Мехатронна система імплзійного впливу на привибіійну зону пласта нафтової свердловини/Л.К. Лістовщик, В.М. Сліденко, О.П. Лісовол// Енергетика, економіка, технології, екологія. Науковий журнал (фах. кат. «Б»)) Київ: КПІ імені Ігоря Сікорського. №4(46). 2016. С.66-71
7. Повышениепродуктивностискважин при освоении и эксплуатацииместорожденийпарафинистыхнефтей/ Р.С. Яремийчук, В.М. Светлицкий, Г.П. Савьюк. - Киев: Гос. науч.-исслед. и проект. ин-т нефт. промсти, 1993.-226 с.
8. Попов А.А. Имплзия в процессахнефтедобычи. М.: Недра, 1996. – 186 с.
9. Довідник з електропостачання промислових підприємств / під редакцією А.С. Овчаренка, М.П. Рабиновича, В.І. Мізерного та ін. / - Київ: Техніка, 1985, 279 с.

					ОА-01	Арк
						85
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

10. Навч. посіб. для студ. спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», спеціалізації «Електромеханічні та мехатронні системи енергоємних виробництв» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: І. С. Рябенко, О. В. Мейта. – Електронні текстові дані.
11. Енергозбереження засобами промислового електропривода: Навчальний посібник / Закладний О.М., Праховник А.В., Соловей О.І. – К.: Кондор, 2005.
12. Електропривод: Навч. посіб. / О.М. Закладний, В.В. Прокопенко, О.О. Закладний. – К.: Видавництво «Освіта України», 2009.
13. Енергоефективний електропривод з вентильним двигуном: Монографія / Закладний О.М., Закладний О.О. – К.: «Либра», 2012.
14. Вентильні електричні машини в системах регульованих електроприводів / Аракелян А.К., Афанасьєв А.А. – М.: «Высшая школа», 2006
15. Паначевний Б.І., Свергун Ю.Ф. Загальна електротехніка: підручник / Б.І. Паначевний, Ю.Ф. Свергун. – Київ: Каравела, 2018. – 296 с.
16. Єрмілова Н.В. Навчальний посібник з дисципліни "Електротехніка та електропостачання" для студентів спеціальності 185 «Нафтогазова інженерія та технології». – Полтава: ПолтНТУ, 2019. – 177 с. // Режим доступу: <http://reposit.nupp.edu.ua/handle/PoltNTU/6386>
17. Блантер С.Г., Суд І.І. Електрообладнання нафтової і газової промисловості / С.Г. Блантер, І.І. Суд. – М.: Недра, 1980. – 488 с.
18. Бойко, В. С. Проектування експлуатації нафтових свердловин [Текст] : підручник: у 2 ч. Ч. 1 / В. С. Бойко. – Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2002. – 215 с.
19. Прогресивні технології спорудження свердловин: монографія. / Є.А. Коровяка, А.О. Ігнатов; М-во освіти і науки України, Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». - Дніпро: 2020. - 164
20. Гірничий енциклопедичний словник / За ред. В.С. Білецького. – Донецьк: Східний видавничий дім. – Т.1. – 2001. – 512 с., Т.2. – 2002. – 639 с., Т.3. – 2004.

					ОА-01	Арк
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		86

- 21.Буріння свердловин: Довідник: У 5-ти т.: т. 2: Промивання свердловин
Відробка доліт / М.А. Мислюк, І.Й. Рибчич, Р.С. Яремійчук / АТ "Агронафта–
К.: "Інтерпрес ЛТД", 2002. – 301 с.
- 22.Машины та обладнання нафтогазових виробництв. Аналітичні дослідження:
навчальний посібник/ Л.К. Лістовщик, Л.В. Гурєєва. – Київ: КПІ ім. Ігоря
Сікорського, 2022. – 60 с.
- 23.Освоєння нафтових і газових свердловин. Наука і практика. (Монографія)/ А.І.
Булатов, Ю. Д. Качмар, О. В. Савенок, Р.С. Яремійчук. – Л.: СПОЛОМ, 2018. –
476 с.
- 24.Коцкулич Я. С., Кочкодан Я. М. Буріння нафтових і газових свердловин. —
Коломия: 1999. — 504 с. 2. Мислюк М. А., Рибчич І.Й, Яремійчук Р. С. Буріння
свердловин: Довідник. — К.: Інтерпрес ЛТД, 2002. — ТТ.1,2,3,4,5.
- 25.Допоміжна література 1. Білецький В. С. Основи нафтогазової справи / В. С.
Білецький, В. М. Орловський, В. І. Дмитренко, А. М. Похилко. — Полтава:
ПолтНТУ, Київ: ФОП Халіков Р. Х., 2017. — 312 с. 2. Яремійчук Р.С, Возний
В. Р.
- 26.Маламян В.П. Енергозбереження в нафтовидобувній промисловості. – Київ:
Наукова думка, 2015.
- 27.Науково-дослідний інститут електромеханічних систем. Технології
автоматизації нафтовидобувних комплексів. – Харків: НДІЕМ, 2020.
- 28.Овчаренко А.С., Рабинович М.П., Мізерний В.І. Справочник по
електроснабженню промислових підприємств. – Київ: Техніка, 1985. – 279
с.
- 29.Блантер С.Г., Суд І.І. Електрообладнання нафтової і газової промисловості. –
М.: Недра, 1980. – 488 с.
- 30.Воронцова Л., Лукин О.Ю., Гурський Д.С. Нетрадиційні джерела вуглеводнів
України. Книга IV: Східний нафтогазоносний регіон: аналітичні дослідження.
– Київ: Видавничо-поліграфічний центр "Київський університет", 2014. – 300
с.

					ОА-01	Арк
						87
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		