

**Пояснювальна записка  
до дипломного проекту**

на тему: «Електромеханічне обладнання Коржівського нафтового родовища з  
модернізацією штангового насоса»

Київ – 2026 рік

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

НН Інститут енергозбереження та енергоменеджменту  
(повне найменування інституту, факультету)

Кафедра автоматизації електротехнічних та мехатронних комплексів  
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ:  
Завідувач кафедри  
\_\_\_\_\_Сергій БОЙЧЕНКО

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2026 р.

**Дипломний проект**  
**на здобуття ступеня бакалавра**

з спеціальності – 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка  
Освітня програма: Інжиніринг інтелектуальних електротехнічних та мехатронних  
комплексів

(код та назва напряму підготовки або спеціальності)

на тему: «Електромеханічне обладнання Коржівського нафтового родовища з  
модернізацією штангового насоса»

Виконала: студентка 4 курсу, групи ОА-21  
Курганська Вероніка Ігорівна  
(прізвище, ім'я, по батькові)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Керівник к.т.н., доц. Мейта О.В.  
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Консультанти:

Технологічна частина д.т.н., проф. Сліденко В.М.  
(назва розділу) (вчені ступінь та звання, прізвище, ініціали)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Електропостачання к.т.н., доц. Мейта О.В.  
(назва розділу) (вчені ступінь та звання, прізвище, ініціали)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Охорона праці к.т.н., доцент Мітюк Л.О.  
(назва розділу) (вчені ступінь та звання, прізвище, ініціали)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Рецензент проф. каф. ЕП, к.т.н. Калінчик В.П.  
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Засвідчую, що у цьому дипломному проекті немає  
запозичень з праць інших авторів без відповідних  
посилань.

Студентка \_\_\_\_\_  
(підпис)

Київ – 2026 рік

## ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУ

| № з/П | Формат | Позначення                          | Найменування                                                       | Кількість | Примітка |
|-------|--------|-------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|-----------|----------|
| 1     | A4     |                                     | Завдання на дипломний проект                                       | 2         |          |
| 2     | A4     | ОА-21.03.2097<br>с.000.005.00 ПЗ    | Пояснювальна записка                                               | 88        |          |
| 3     | A1     | ОА-21.03.2097<br>с.000.005.00 С7    | Технологічна схема<br>(Схема комбінована розташування)             | 1         |          |
| 4     | A1     | ОА-21.03.2097<br>с.000.005.00 ЕЗ    | Схема електропостачання<br>Коржівського родовища                   | 1         |          |
| 5     | A1     | ОА-21.03.2097<br>с.000.005.00 СК    | Складальне креслення<br>штангової свердловинної насосної установки | 1         |          |
| 6     | A1     | ОА-21.03.2097<br>с.000.005.00 С.000 | Деталювання                                                        | 1         |          |

|           |                   |       |      |                               |                                                            |        |
|-----------|-------------------|-------|------|-------------------------------|------------------------------------------------------------|--------|
|           |                   |       |      | ОА-21.03.2097-с.005.000.00 ПЗ |                                                            |        |
|           | ПІБ               | Підп. | Дата |                               |                                                            |        |
| Розробн.  | Курганська        |       |      | Відомість дипломного проекту  | Лист                                                       | Листів |
| Керівн.   | Мейта             |       |      |                               | 3                                                          | 1      |
| Консульт. | Сліденко<br>Мітюк |       |      |                               | КПІ ім. Ігоря Сікорського<br>Каф. <u>АЕМК</u><br>Гр. ОА-21 |        |
| Н/контр.  | Кулаковський      |       |      |                               |                                                            |        |
| Зав.каф.  | Бойченко          |       |      |                               |                                                            |        |

**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)

Спеціальність – 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Освітньо-професійна програма «Інжиніринг інтелектуальних електротехнічних та мехатронних комплексів»

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри АЕМК

\_\_\_\_\_ Сергій БОЙЧЕНКО

(підпис)

(ініціали, прізвище)

“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2026 р.

**ЗАВДАННЯ**

**на дипломний проект студенту**

**Курганській Вероніці Ігорівні**

Тема дипломного проекту «Електромеханічне обладнання Коржівського нафтового родовища з модернізацією штангового насоса»,

науковий керівник Мейта Олександр Вячеславович, к.т.н, доцент  
(прізвище, ім'я, по-батькові, науковий ступінь, вчене звання, посада)

затверджені наказом по університету від « 26 » 05 2026 р. № 1910-с

1. Термін подання студентом дисертації « 08 » червня 2026 р.

2. Вихідні дані для проекту: Коржівське нафтогазове родовище, штангова насосна установка.

3. Зміст пояснювальної записки:

- 1) Технологічний комплекс електромеханічного обладнання Коржівського нафтового родовища;
- 2) Система електропостачання Коржівського нафтового родовища;
- 3) Спеціальна частина. Вибір та обґрунтування параметрів функціонування штангового насосу. Дослідження характеристик п'єзоелектричного активатора штангового насосу методом цифрового моделювання;
- 4) Охорона праці.

4. Перелік графічного матеріалу: 4 креслення (А-1) за матеріалами розділів, презентація 15-20 слайдів – наочні матеріали за результатами виконання проекту.

5. Консультант розділів проекту:

| Розділ               | ПІБ викладача | Підпис         |                  |
|----------------------|---------------|----------------|------------------|
|                      |               | Завдання видав | Завдання прийняв |
| Технологічна частина | Сліденко В.М  |                |                  |
| Електропостачання    | Мейта О.В.    |                |                  |
| Охорона праці        | Мітюк Л.О.    |                |                  |

Дата видачі завдання: «17» квітня 2026 р.

Календарний план

| № з/п | Назва етапів виконання дипломного проекту                                                                            | Термін виконання етапів дипломного проекту | Примітка |
|-------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|----------|
| 1.    | Вибір тематики проекту                                                                                               | 17.04.2026                                 |          |
| 2.    | Розроблення комплексу механізації родовища                                                                           | 30.04.2026                                 |          |
| 3.    | Розроблення системи електропостачання                                                                                | 13.05.2026                                 |          |
| 4.    | Огляд джерел інформації щодо обладнання нафтовидобутку                                                               | 15.05.2026                                 |          |
| 5.    | Розрахунок та обґрунтування параметрів штангового насоса з п'єзоелектричним активатором                              | 22.05.2026                                 |          |
| 6.    | Моделювання роботи п'єзоелектричного активатора та оцінка енергетичних параметрів модернізованої насосної установки. | 01.06.2026                                 |          |
| 7.    | Оформлення презентації, рецензування                                                                                 | 03.06.2026                                 |          |
| 8.    | Подання бакалаврського проекту на захист                                                                             | 08.06.2026                                 |          |

Студент

\_\_\_\_\_ Вероніка КУРГАНСЬКА  
(підпис) (ім'я, прізвище)

Керівник проекту

\_\_\_\_\_ Олександр МЕЙТА  
(підпис) (ім'я, прізвище)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка містить: 88 сторінки, 24 рисунка, 8 таблиць та 26 посилань.

На Коржівському нафтовому родовищі комплекс електромеханічного обладнання штангових свердловинних насосних установок відіграє ключову роль у забезпеченні стабільного видобутку нафти. Інтенсивне випадання асфальтено-смолистих і парафінових відкладень призводить до погіршення умов експлуатації, зниження продуктивності обладнання, підвищення витрат електроенергії та зростання ризику виникнення аварійних ситуацій.

В ході цієї роботи було проведено аналіз існуючого обладнання нафтопромислу та повний розрахунок системи його електропостачання. На основі отриманих результатів проведено модернізацію системи, яка полягає у використанні п'єзоелектричного активатора безпосередньо у свердловині для екологічно безпечного руйнування парафінових ланцюгів.

В результаті на моделювання розв'язано диференціальне рівняння коливань пружної системи, визначено параметри імпульсного гідроудару та розроблено алгоритм динаміки резонансного розгону активатора.

**Мета:** підвищення енергоефективності процесу видобутку нафти на Коржівському родовищі шляхом модернізації електромеханічної системи штангового насоса за рахунок встановлення п'єзоелектричного активатора.

**Об'єкт:** імпульсний ефект у привібійній зоні пласта.

**Предмет:** гібридна електромеханічна система штангового насоса з п'єзоелектричним активатором.

**Ключові слова:** КОРЖІВСЬКЕ НАФТОВЕ РОДОВИЩЕ, ШТАНГОВО-НАСОСНА УСТАНОВКА, ІМПЛОЗІЯ, ГІДРОУДАР, П'ЄЗОЕЛЕКТРИЧНИЙ АКТИВАТОР, ВИТА ПРУЖИНА

## ABSTRACT

The report contains: 88 pages, 24 figures, 8 tables, and 26 references.

At the Korzhiv oil field, the electromechanical equipment of the rod-type wellhead pumping units plays a key role in ensuring stable oil production. The intensive formation of asphaltene-resinous and paraffin deposits leads to deteriorating operating conditions, reduced equipment productivity, increased electricity consumption, and a higher risk of emergencies.

In the course of this work, an analysis of existing oilfield equipment was conducted, along with a comprehensive calculation of its power supply system. Based on the results obtained, the system was modernized by utilizing a piezoelectric activator directly in the wellbore for the environmentally safe disruption of paraffin chains.

As a result, the differential equation of oscillations of the elastic system was solved through modeling, the parameters of the implosive water hammer were determined, and an algorithm for the dynamics of the activator's resonant acceleration was developed.

**Objective:** to improve the energy efficiency of the oil production process at the Korzhivskoye field by modernizing the electromechanical system of the rod pump through the installation of a piezoelectric actuator.

**Object:** the implosion effect in the near-wellbore zone of the formation.

**Subject:** a hybrid electromechanical system of a rod pump with a piezoelectric activator.

**Keywords:** KORZHIVSKE OIL FIELD, PISTON PUMP UNIT, IMPLOSION, WATER HAMMER, PIEZOELECTRIC ACTUATOR, COIL SPRING

## Зміст

|                                                                                                    |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ЗНАЧЕНЬ .....                                                                      | 10 |
| ВСТУП .....                                                                                        | 11 |
| РОЗДІЛ 1. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА .....                                                               | 15 |
| 1.1 Значення нафтовидобувної галузі України та перспективи розвитку механізованого видобутку ..... | 15 |
| 1.2 Загальна характеристика Коржівського нафтового родовища.....                                   | 16 |
| 1.3 Фізико-хімічні властивості нафти Коржівського родовища .....                                   | 18 |
| 1.4 Основні способи механізованого видобутку нафти .....                                           | 20 |
| 1.5 Основні проблеми експлуатації штангових насосних установок .....                               | 22 |
| 1.6 Методи підвищення ефективності роботи ШСНУ .....                                               | 24 |
| Висновки до розділу 1.....                                                                         | 30 |
| РОЗДІЛ 2. ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ .....                                                                  | 31 |
| 2.1 Розрахунок електричного освітлення.....                                                        | 32 |
| 2.1.1 Розрахунок електричного освітлення приміщення.....                                           | 32 |
| 2.1.2 Розрахунок електричного освітлення майданчика .....                                          | 33 |
| 2.2 Розрахунок електричних навантажень.....                                                        | 34 |
| 2.3 Розрахунок електричних мереж .....                                                             | 39 |
| 2.3.1 Розрахунок електричної мережі за нагрівом розрахунковим струмом в тривалому режимі.....      | 39 |
| 2.3.2 Розрахунок електричної мережі за економічною густиною струму.....                            | 40 |
| 2.3.3 Вибір ліній мережі за умови механічної міцності .....                                        | 41 |
| 2.3.4 Розрахунок електричної мережі за допустимими втратами напруги .....                          | 41 |
| 2.4 Розрахунок струмів короткого замикання.....                                                    | 44 |
| 2.4.1 Розрахунок опорів у в.б.о. для елементів тільки з реактивним опором ...                      | 46 |
| 2.4.2 Розрахунок опорів у в.б.о. для елементів з активним та реактивним опором .....               | 47 |
| 2.4.3 Визначення струмів та потужностей КЗ .....                                                   | 48 |
| 2.5 Вибір електричних апаратів.....                                                                | 49 |
| Висновки до розділу 2.....                                                                         | 52 |

|           |      |                 |        |      |                     |      |         |
|-----------|------|-----------------|--------|------|---------------------|------|---------|
|           |      |                 |        |      | ДП ОА-21.05.000 ПЗ  |      |         |
|           |      |                 |        |      |                     |      |         |
| Зм.       | Арк. | № докум.        | Підпис | Дата | Дипломний<br>проект |      |         |
| Розроб.   |      | Кирганська В.І. |        |      |                     |      |         |
| Перевір.  |      |                 |        |      |                     |      |         |
| Реценз.   |      |                 |        |      |                     |      |         |
| Н. Контр. |      |                 |        |      |                     |      |         |
| Затверд.  |      | Мейта О.В.      |        |      | КПІ НН ІЕЕ ОА-21    |      |         |
|           |      |                 |        |      | Літ.                | Арк. | Аркушів |
|           |      |                 |        |      |                     | 9    | 94      |

|                                                                                             |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| РОЗДІЛ 3. СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА .....                                                          | 53 |
| 3.1 Будова та основні характеристики штангових свердловинних насосів ....                   | 53 |
| 3.2 Основні елементи конструкції штангових насосів .....                                    | 57 |
| 3.3 П'єзоелектричні елементи та їх використання у нафтовидобувній промисловості .....       | 61 |
| 3.4 Імплозійний ефект та використання гідроудару для впливу на привибійну зону пласта ..... | 63 |
| 3.5 Опис конструкції об'єкту проектування .....                                             | 65 |
| 3.6 Визначення кінематичних і силових параметрів імплозійного гідроудару .....              | 66 |
| 3.7 Розв'язок диференціального рівняння коливань та інтерпретація результатів .....         | 73 |
| 3.8 Дослідження умов резонансу в системі п'єзоактиватора .....                              | 76 |
| 3.9 Дослідження динаміки резонансного розгону .....                                         | 78 |
| Висновки до розділу 3 .....                                                                 | 80 |
| РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ .....                                                               | 81 |
| 4.1 Загальні положення охорони праці на нафтовидобувних підприємствах .                     | 81 |
| 4.2 Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів .....                                | 82 |
| 4.3 Вимоги електробезпеки під час експлуатації обладнання .....                             | 83 |
| 4.4 Пожежна та вибухова безпека .....                                                       | 84 |
| 4.5 Санітарно-гігієнічні умови праці .....                                                  | 86 |
| 4.6 Безпека під час монтажу та обслуговування п'єзоелектричного активатора .....            | 87 |
| 4.7 Засоби індивідуального захисту працівників .....                                        | 88 |
| 4.8 Заходи щодо покращення умов праці та підвищення безпеки .....                           | 88 |
| 4.9 Надання першої допомоги при виробничих травмах та ураженні електричним струмом .....    | 89 |
| Висновки до розділу 4 .....                                                                 | 90 |
| ВИСНОВКИ .....                                                                              | 91 |
| СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ .....                                                                     | 92 |

|           |      |                 |        |      |                     |                  |      |
|-----------|------|-----------------|--------|------|---------------------|------------------|------|
|           |      |                 |        |      | ДП ОА-21.05.000 ПЗ  |                  |      |
| Зм.       | Арк. | № докум.        | Підпис | Дата |                     |                  |      |
| Розроб.   |      | Кирганська В.І. |        |      | Дипломний<br>проект | Літ.             | Арк. |
| Перевір.  |      |                 |        |      |                     |                  | 9    |
| Реценз.   |      |                 |        |      |                     |                  | 94   |
| Н. Контр. |      |                 |        |      |                     | КПІ НН ІЕЕ ОА-21 |      |
| Затверд.  |      | Мейта О.В.      |        |      |                     |                  |      |

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ЗНАЧЕНЬ

У цьому пункті наведено список скорочень, що використовуються в роботі.

ШСНУ – штангова свердловинна насосна установка;

НКТ – насосно-компресорні труби;

АСПВ – асфальтено-смолисті та парафінові відкладення;

ПАР – поверхнево-активна речовина;

ПЗП – приви́бійна зона пласта;

МРП – міжремонтний період;

ККД – коефіцієнт корисної дії;

КТП – комплектна трансформаторна підстанція;

ЛЕП – лінія електропередачі;

КЗ – коротке замикання;

ЕП – електроприймач;

ДНС – дотискувальна насосна станція;

КНС – кущова насосна станція;

ВАО – вибухозахищений асинхронний електродвигун;

ПЗС – приви́бійна зона свердловини.

|     |      |          |        |      |                    |      |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|     |      |          |        |      | ДП ОА-21.05.000 ПЗ | Лист |
|     |      |          |        |      |                    | 10   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    |      |

## ВСТУП

Нафтогазовий комплекс України є однією з ключових галузей економіки держави, оскільки забезпечує енергетичну безпеку, стабільність функціонування промисловості та потреби населення у паливно-енергетичних ресурсах [1, 2]. У сучасних умовах виснаження традиційних покладів вуглеводнів особливої актуальності набуває питання підвищення ефективності експлуатації діючих родовищ. Значна частина родовищ України перебуває на пізніх стадіях розробки, що супроводжується зниженням пластового тиску, зменшенням дебіту свердловин та ускладненням умов експлуатації обладнання [1, 3]. Саме тому актуальним напрямком розвитку нафтовидобувної галузі є впровадження сучасних енергоефективних технологій і модернізація існуючих систем механізованого видобутку нафти.

Одним із таких об'єктів є Коржівське нафтове родовище, експлуатація якого характеризується необхідністю підтримання стабільного рівня видобутку при одночасному зниженні енерговитрат та підвищенні надійності роботи обладнання. Для більшості свердловин родовища основним способом механізованого видобутку залишаються ШСНУ, які завдяки простоті конструкції, ремонтпридатності та можливості роботи у складних умовах отримали широке поширення у нафтовидобувній промисловості [3, 4].

Разом із перевагами традиційні ШСНУ мають низку суттєвих недоліків. До них належать значні втрати електроенергії, нерівномірність навантаження на привід, підвищений знос механічних елементів та часті відмови обладнання. Особливо негативно на роботу насосних установок впливають асфальтено-смолисті та парафінові відклади (АСПВ), висока в'язкість пластової рідини, наявність механічних домішок і корозійно-активного середовища [3, 5]. Це призводить до збільшення навантаження на електропривод, зниження коефіцієнта корисної дії установки та скорочення міжремонтного періоду роботи свердловин.

У зв'язку з цим важливим напрямком удосконалення електромеханічного обладнання є застосування інноваційних технологій, здатних підвищити

|     |      |          |        |      |                    |      |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|     |      |          |        |      | ДП ОА-21.05.000 ПЗ | Лист |
|     |      |          |        |      |                    | 11   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    |      |

ефективність процесу видобутку нафти. Одним із перспективних рішень є використання п'єзоелектричних елементів у складі насосного обладнання. П'єзоелектричні активатори дозволяють створювати додаткові вібраційні впливи на робоче середовище та елементи насосної установки, що сприяє зменшенню утворення парафінових відкладень, покращенню текучості нафти та зниженню механічного опору під час роботи насоса [6, 7, 8]. Крім того, використання таких елементів дає можливість частково компенсувати втрати енергії за рахунок перетворення механічних коливань у електричну енергію, що позитивно впливає на загальну енергоефективність установки.

Модернізація електромеханічного обладнання штангового насоса шляхом встановлення п'єзоелектричного елемента дозволить не лише підвищити продуктивність свердловини, але й покращити надійність роботи електроприводу, зменшити динамічні навантаження на вузли установки та скоротити експлуатаційні витрати [7, 8].

**Актуальність теми** зумовлена необхідністю переходу до енергоефективних технологій у нафтовидобутку. Коржівське родовище характеризується специфічними геолого-технічними умовами, де традиційні методи інтенсифікації припливу не завжди демонструють очікувану ефективність.

Основні чинники, що визначають актуальність модернізації:

1. Механізований нафтовидобуток за допомогою ШСНУ є одним із найбільш енергозатратних технологічних процесів у промисловості. Основна частка споживаної електроенергії витрачається на подолання сил тертя у системі «штанги-труби» та на підйом в'язкої рідини. Впровадження інтелектуальних п'єзоелектричних систем активації дозволяє змінити реологічні властивості нафти безпосередньо у свердловині, знижуючи її в'язкість та опір руху. Це призводить до розвантаження електродвигуна верстата-качалки, зменшення пікових пускових струмів та оптимізації споживання реактивної потужності, що в масштабах родовища дає суттєву економію енергоресурсів.
2. Однією з головних проблем Коржівського родовища є інтенсивне випадання парафінів на стінках НКТ та робочих органах насоса. Це призводить до

|     |      |          |        |      |                    |      |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|     |      |          |        |      | ДП ОА-21.05.000 ПЗ | Лист |
|     |      |          |        |      |                    | 12   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    |      |

звуження прохідного перерізу труб, зростання гідравлічних втрат та частих аварійних зупинок для проведення підземних ремонтів. П'єзоелектричний активатор створює високочастотні ультразвукові коливання, які руйнують структурні зв'язки парафінових ланцюгів та перешкоджають їх адгезії до металевих поверхонь. Такий акустичний вплив забезпечує стабільний дебіт свердловини та значно подовжує міжремонтний період (МРП) роботи обладнання.

3. На відміну від традиційних методів очищення свердловин за допомогою агресивних хімічних реагентів, п'єзоелектрична активація є екологічно чистим фізичним методом впливу. Це зменшує ризик забруднення пластових вод та ґрунтів, що є надзвичайно важливим для збереження екосистеми регіону розташування Коржівського родовища.

Застосування п'єзокерамічних матеріалів для створення ультразвукових коливань безпосередньо у зоні роботи насоса є перспективним напрямком, що відповідає світовим тенденціям цифровізації та інтелектуалізації нафтових промислів.

**Метою дипломного проєкту** є підвищення енергоефективності процесу видобутку нафти на Коржівському родовищі шляхом модернізації електромеханічної системи штангового насоса за рахунок встановлення п'єзоелектричного активатора.

Для досягнення мети було визначено наступні **задачі**:

- Аналіз сучасного стану електромеханічного обладнання нафтових родовищ та виявлення основних проблем в їх експлуатації.
- Вибір електромеханічного обладнання для видобутку нафти штанговим способом в умовах Коржівського родовища.
- Встановлення залежностей між параметрами імпульсного гідроудару та параметрами п'єзоелектричного активатора.

- Розробка заходів з охорони праці та цивільного захисту при експлуатації оновленого електрообладнання на нафтовому промислі.

**Об'єкт:** імпульсійний ефект у привібійній зоні пласта.

**Предмет** :гібридна електромеханічна система штангового насоса з п'єзоелектричним активатором.

**Ідея роботи** полягає у створенні гібридної електромеханічної системи, де механічна енергія штангового насоса доповнюється високочастотною енергією ультразвукових коливань п'єзоелектричного активатора.

Ключовий аспект полягає в тому, що встановлення п'єзоелектричного елемента безпосередньо над або під всмоктуючим клапаном насоса дозволяє знизити в'язкість нафти в зоні підйому. Це зменшує гідродинамічний опір і, як наслідок, механічне навантаження на штанги та споживання струму електродвигуном. Такий підхід дозволяє перетворити стандартну систему ШСНУ на високотехнологічний комплекс, здатний ефективно працювати зі складними типами нафти.

|     |      |          |        |      |                    |      |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|     |      |          |        |      | ДП ОА-21.05.000 ПЗ | Лист |
|     |      |          |        |      |                    | 14   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    |      |

## РОЗДІЛ 1. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

### 1.1 Значення нафтовидобувної галузі України та перспективи розвитку механізованого видобутку

Нафтогазова галузь України є однією з базових складових економіки держави, оскільки забезпечує функціонування енергетичного сектору, промисловості, транспорту та комунального господарства. Власний видобуток нафти й природного газу має стратегічне значення для підтримання енергетичної незалежності країни та зменшення залежності від імпорتنих енергоносіїв. В умовах постійного зростання вартості енергетичних ресурсів і необхідності забезпечення стабільного функціонування енергетичної системи питання підвищення ефективності нафтовидобутку набуває особливої актуальності.

Сучасний стан нафтовидобувної галузі України характеризується значним ступенем виснаження основних родовищ. Більшість свердловин працює протягом тривалого часу, що призводить до зменшення пластового тиску, зниження дебіту та ускладнення умов експлуатації. На завершальних стадіях розробки родовищ фонтанний спосіб видобутку стає економічно недоцільним, тому основна увага приділяється механізованим способам підйому рідини.

Для забезпечення стабільного видобутку нафти застосовуються різні види насосного обладнання та систем механізованого підйому. Серед них найбільшого поширення набули штангові свердловинні насосні установки, електровідцентрові насоси та газліфтні системи. Вибір способу видобутку залежить від геолого-технічних умов свердловини, фізико-хімічних властивостей пластової рідини, глибини залягання продуктивного горизонту та економічної доцільності.

Особливістю українських нафтових родовищ є значна кількість малodeбітних свердловин, для яких найбільш ефективним способом механізованого видобутку залишаються штангові свердловинні насосні установки. Такі установки відзначаються простотою конструкції, відносно невисокою вартістю, ремонтпридатністю та можливістю експлуатації в складних умовах.

|     |      |          |        |      |                    |      |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|     |      |          |        |      | ДП ОА-21.05.000 ПЗ | Лист |
|     |      |          |        |      |                    | 15   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    |      |

Разом із тим робота ШСНУ супроводжується значними енерговитратами, нерівномірністю навантаження електроприводу та підвищеним механічним зношуванням обладнання.

У сучасних умовах особливого значення набуває питання енергоефективності нафтовидобувного обладнання. Вартість електроенергії є одним із ключових факторів собівартості видобутку нафти. Значна частина електроенергії витрачається на роботу електроприводів насосних установок, тому модернізація електромеханічних систем є важливим напрямком розвитку нафтовидобувної галузі.

Основними напрямками вдосконалення систем механізованого видобутку [9,10]:

1. використання енергоощадних електродвигунів;
2. впровадження частотно-керованих електроприводів;
3. автоматизація технологічних процесів;
4. застосування сучасних систем діагностики;
5. використання інноваційних технологій для боротьби з парафіновими відкладеннями.

Модернізація електромеханічного обладнання штангових насосних установок є важливим і актуальним завданням, спрямованим на підвищення ефективності видобутку нафти та зменшення експлуатаційних витрат.

## **1.2 Загальна характеристика Коржівського нафтового родовища**

Коржівське нафтове родовище належить до числа родовищ України, які мають важливе значення для забезпечення стабільного видобутку вуглеводневої сировини та підтримання функціонування паливно-енергетичного комплексу держави. Воно характеризується складною будовою продуктивних пластів та різноманітністю фізико-хімічних властивостей пластових флюїдів.

Коржівське родовище розташоване в межах нафтогазоносного регіону України, який характеризується значними запасами вуглеводнів і тривалою історією промислового освоєння.

|     |      |          |        |      |                    |      |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|     |      |          |        |      | ДП ОА-21.05.000 ПЗ | Лист |
|     |      |          |        |      |                    | 16   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    |      |

Геологічна будова району формувалася протягом тривалого геологічного періоду в результаті осадонакопичення, тектонічних процесів та структурних змін земної кори. У межах родовища продуктивні горизонти приурочені до осадових порід різного геологічного віку, [1] представлених переважно пісковиками, алевролітами та карбонатними породами, які мають достатні колекторські властивості для накопичення і збереження вуглеводнів.

Продуктивні пласти родовища характеризуються пористою та проникною структурою, завдяки чому відбувається накопичення нафти, газу та конденсату в пастках антиклінального або комбінованого типу. Поклади вуглеводнів залягають на значних глибинах, що обумовлює наявність підвищених пластових температур і тисків. Геологічні умови родовища визначають специфіку його розробки та особливості експлуатації свердловин.

Нафта Коржівського родовища належить до вуглеводневої сировини середньої та підвищеної в'язкості [3, 5]. У її складі містяться парафінові, смолисті та асфальтенові компоненти, а також розчинений нафтовий газ. Важливою характеристикою нафти є її густина, в'язкість, температура застигання та вміст сірки, оскільки саме ці параметри визначають умови транспортування і переробки видобутої продукції. Нафта такого типу широко використовується як сировина для нафтопереробної промисловості з подальшим отриманням моторних палив, мастильних матеріалів та інших нафтопродуктів.

Коржівське родовище характеризується багатопластовістю, тобто наявністю кількох продуктивних горизонтів, які можуть відрізнятися між собою за проникністю, товщиною пластів, насиченістю вуглеводнями та фільтраційно-ємнісними властивостями. Такі особливості потребують індивідуального підходу до розробки окремих свердловин і пластів. У межах родовища можуть зустрічатися як нафтові, так і газоконденсатні поклади, що обумовлює комплексний характер видобутку.

Важливою характеристикою родовища є його пластовий тиск та температурний режим. На початкових етапах розробки пластова енергія забезпечує природний приплив вуглеводнів до вибою свердловини, однак із часом відбувається

|     |      |          |        |      |                    |      |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|     |      |          |        |      | ДП ОА-21.05.000 ПЗ | Лист |
|     |      |          |        |      |                    | 17   |
| Зм. | Арк. | № докum. | Підпис | Дата |                    |      |

поступове виснаження пластової енергії. Це є характерною особливістю більшості родовищ, які тривалий час перебувають у промисловій експлуатації. У геологічному розрізі родовища також спостерігається наявність водоносних горизонтів, які можуть контактувати з продуктивними пластами.

Родовище має розвинену інфраструктуру, необхідну для видобутку, збору та підготовки продукції свердловин. До складу промислових об'єктів входять експлуатаційні свердловини, установки збору та сепарації продукції, системи транспортування нафти і газу, резервуарні парки, електротехнічне обладнання та допоміжні виробничі споруди. Видобута продукція проходить первинну підготовку, під час якої здійснюється відокремлення газу, води та механічних домішок від нафти.

Коржівське нафтове родовище належить до родовищ із тривалим терміном промислової експлуатації, що свідчить про його важливе економічне значення для нафтогазовидобувної галузі України. Незважаючи на поступове виснаження окремих покладів, родовище продовжує залишатися джерелом видобутку вуглеводневої сировини завдяки застосуванню сучасних технологій розробки, удосконаленню систем експлуатації свердловин та оптимізації виробничих процесів.

Загалом Коржівське родовище є характерним прикладом складного багатопластового нафтового об'єкта, який поєднує значний промисловий потенціал, складні геолого-технічні умови та важливе значення для енергетичної галузі України.

### **1.3 Фізико-хімічні властивості нафти Коржівського родовища**

Фізико-хімічні властивості нафти є одним із найважливіших факторів, що визначають умови експлуатації нафтових свердловин, ефективність роботи насосного обладнання та особливості транспортування видобутої продукції.

Для родовищ, які перебувають на пізніх стадіях розробки, значення таких характеристик суттєво зростає, оскільки зі зміною пластових умов погіршуються властивості пластової рідини та ускладнюється процес її підйому на поверхню.

|     |      |          |        |      |                    |      |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|     |      |          |        |      | ДП ОА-21.05.000 ПЗ | Лист |
|     |      |          |        |      |                    | 18   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    |      |

Нафта Коржівського нафтового родовища являє собою складну багатокомпонентну суміш рідких вуглеводнів, у складі якої також присутні розчинений газ, пластова вода та механічні домішки. Основу її складу становлять парафінові, нафтенів та ароматичні вуглеводні, співвідношення яких визначає експлуатаційні характеристики нафти та умови її видобутку.

Однією з основних характеристик є густина нафти. Вона впливає на навантаження насосного обладнання, витрати електроенергії та умови транспортування продукції. Для Коржівського родовища характерна нафта середньої густини, що потребує використання механізованих способів видобутку та стабільної роботи насосних установок.

Важливою характеристикою є в'язкість нафти, яка визначає її здатність до руху трубопроводами та насосно-компресорними трубами. Підвищена в'язкість значно ускладнює процес підйому пластової рідини, збільшує сили тертя та навантаження на привід насосної установки. Особливо помітно це проявляється в умовах зниження температури під час підйому нафти з великої глибини до поверхні.

Нафта Коржівського родовища характеризується наявністю парафінових компонентів. Парафіни є твердими вуглеводневими сполуками, які при зміні температурних умов можуть випадати в осад і накопичуватися на внутрішніх поверхнях труб та насосного обладнання. Такі відкладення погіршують прохідність трубопроводів, збільшують гідравлічний опір і негативно впливають на роботу штангових насосних установок.

Крім парафінів, у нафті містяться смолисті та асфальтенові речовини. Вони впливають на структуру нафти, її текучість та стабільність. Значний вміст смол і асфальтенів призводить до збільшення в'язкості пластової рідини та підвищує схильність до утворення асфальтено-смолистих відкладень. Це ускладнює роботу насосного обладнання та підвищує енерговитрати під час видобутку.

Важливою складовою пластової рідини є розчинений нафтовий газ. Під час руху рідини до поверхні та зниження тиску газ поступово виділяється з нафти. Наявність газу впливає на режими роботи насосного обладнання, оскільки

утворення газових бульбашок може знижувати ефективність роботи насоса та порушувати стабільність подачі рідини.

У процесі тривалої експлуатації свердловин збільшується вміст пластової води у видобутій продукції. Пластова вода містить мінеральні солі та хімічно активні компоненти, які прискорюють корозійні процеси в насосному обладнанні та трубопроводах. Зростання обводненості також призводить до збільшення навантаження на насосні установки та ускладнює процес підготовки нафти до транспортування.

У пластовій рідині також можуть міститися механічні домішки, зокрема частинки піску та продуктів корозії. Вони спричиняють абразивне зношування плунжерних пар, клапанів і внутрішніх поверхонь насосно-компресорних труб. Це призводить до зниження ресурсу роботи обладнання та збільшення частоти ремонтів.

Фізико-хімічні властивості нафти Коржівського родовища безпосередньо впливають на вибір технології видобутку, режимів роботи насосного обладнання та способів боротьби з парафіновими відкладеннями. Підвищена в'язкість, наявність парафінів, смолистих компонентів і механічних домішок створюють складні умови експлуатації свердловин та потребують застосування сучасних методів підвищення ефективності роботи штангових насосних установок.

#### **1.4 Основні способи механізованого видобутку нафти**

У процесі розробки нафтових родовищ одним із головних завдань є забезпечення ефективного підйому пластової рідини на поверхню. На початкових стадіях експлуатації родовищ підйом нафти часто здійснюється за рахунок природної енергії пласта, проте в процесі виснаження запасів пластовий тиск поступово зменшується. У таких умовах виникає необхідність застосування механізованих способів видобутку, які забезпечують стабільну роботу свердловин і підтримання необхідного рівня нафтовидобутку.

|     |      |          |        |      |                    |      |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|     |      |          |        |      | ДП ОА-21.05.000 ПЗ | Лист |
|     |      |          |        |      |                    | 20   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    |      |

Механізований видобуток нафти передбачає використання спеціального насосного або компресорного обладнання, яке створює додаткову енергію для підйому пластової рідини. Вибір способу експлуатації залежить від глибини свердловини, дебіту, фізико-хімічних властивостей нафти, пластового тиску, вмісту газу та механічних домішок.

До основних способів механізованого видобутку нафти належать [3, 4]:

- газліфтний спосіб;
- видобуток за допомогою електровідцентрових насосів;
- видобуток із використанням гвинтових насосів;
- штанговий насосний спосіб.

Найбільш поширеним способом механізованого видобутку нафти на родовищах України є використання штангових свердловинних насосних установок [3, 4, 5]. Це пояснюється простотою конструкції, високою надійністю та можливістю ефективної роботи в умовах малodeбітних свердловин.

На рис.1.1 запропонована для розгляду в дипломній роботі схема свердловини. Комплекс механізації складається з :

1. станок-качалка СК6-2.1-2500,
2. фонтана арматура АФК1,
3. штанговий насос.

Існуюча схема є працездатною, проте існує можливість її подальшої модернізації, яка буде розглянута в ході роботи. Удосконалення свердловинного обладнання може позитивно вплинути на підвищення енергоефективності системи та збільшення міжремонтного періоду експлуатації.

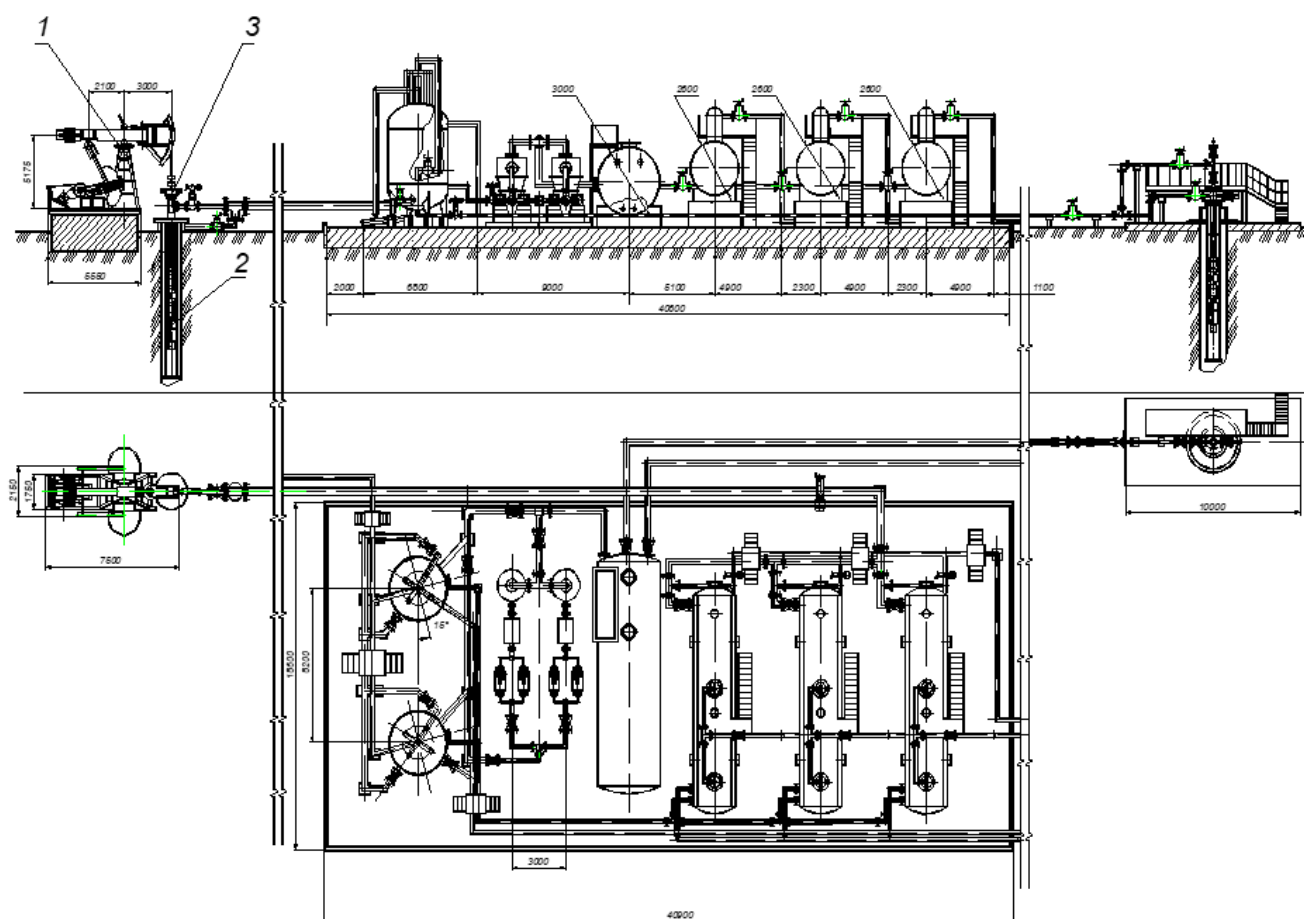


Рис.1.1 – Комплекс механізації свердловини

## 1.5 Основні проблеми експлуатації штангових насосних установок

Ефективність роботи штангових свердловинних насосних установок значною мірою залежить від умов експлуатації свердловини, фізико-хімічних властивостей пластової рідини, технічного стану обладнання та режимів роботи електроприводу. У процесі тривалої експлуатації виникає низка технічних і технологічних проблем, які призводять до зниження продуктивності свердловин, збільшення енерговитрат та скорочення ресурсу роботи обладнання.

Однією з найбільш поширених проблем є утворення асфальтено-смолистих і парафінових відкладень [3, 5]. Під час руху пластової рідини по насосно-компресорних трубах температура нафти поступово знижується, що спричиняє випадіння парафіну на внутрішніх поверхнях труб і робочих елементах насоса.

|     |      |          |        |      |
|-----|------|----------|--------|------|
|     |      |          |        |      |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |

Відкладення накопичуються на плунжері, клапанах, штангах і трубах, унаслідок чого зменшується прохідний переріз та збільшується гідравлічний опір.

Наявність парафінових відкладень призводить до зменшення продуктивності насоса, збільшення навантаження на електродвигун, підвищення споживання електроенергії, ускладнення запуску установки, підвищеного зношування плунжерної пари.

Особливо інтенсивно парафінові відкладення утворюються на свердловинах із високов'язкою нафтою та значним вмістом смолистих речовин.

Суттєвий вплив на роботу ШСНУ має висока в'язкість пластової рідини. У процесі перекачування в'язкої нафти збільшуються сили тертя між рухомими елементами насоса, що призводить до додаткових механічних навантажень. За таких умов електродвигун працює з підвищеним струмом, а енерговитрати значно зростають.

Ще однією серйозною проблемою є механічне зношування обладнання. Плунжерна пара, клапани та штанги працюють у складних умовах циклічних навантажень, впливу механічних домішок і корозійно-активного середовища.

Механічні домішки, що містяться в пластовій рідині, викликають абразивне зношування деталей насоса [3]. Частинки піску пошкоджують поверхні плунжера та клапанів, що призводить до порушення герметичності насосної системи та зниження коефіцієнта подачі.

Проблемою є також корозійне руйнування металевих елементів установки. Пластова рідина часто містить воду, сірководень, вуглекислий газ та інші агресивні компоненти, які прискорюють корозійні процеси.

У процесі роботи ШСНУ колона насосних штанг піддається постійним змінним навантаженням. Унаслідок циклічного розтягу та стиску в матеріалі штанг виникають втомні напруження, які можуть призвести до утворення тріщин та обриву штанг.

Обрив штангової колони є однією з найбільш небезпечних аварій, оскільки призводить до тривалого простою свердловини та необхідності проведення складних ремонтних робіт [11, 3].

|     |      |          |        |      |                    |      |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|     |      |          |        |      | ДП ОА-21.05.000 ПЗ | Лист |
|     |      |          |        |      |                    | 23   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    |      |

Серйозною проблемою є нерівномірність навантаження електроприводу. Під час роботи установки виникають значні коливання моменту навантаження, що негативно впливає на електродвигун і редуктор.

Нерівномірний режим роботи призводить до перегріву обмоток двигуна, збільшення пускових струмів, зниження коефіцієнта потужності, перевантаження редуктора, збільшення втрат електроенергії [9].

Особливо небезпечними є режими частих запусків і зупинок насосної установки. У момент запуску електродвигун споживає струм, що значно перевищує номінальний. Це негативно впливає на електричну мережу та скорочує термін служби двигуна.

Додатковою проблемою є недостатній рівень автоматизації багатьох насосних установок. Відсутність сучасних систем моніторингу ускладнює своєчасне виявлення несправностей та контроль технічного стану обладнання.

У результаті цього аварійні ситуації часто виявляються лише після значного погіршення роботи свердловини або повної відмови обладнання.

Важливим фактором є також значні втрати електроенергії під час транспортування та перетворення енергії в системі електроприводу. Наявність довгих кабельних ліній, нераціональні режими роботи та перевантаження електродвигунів призводять до збільшення собівартості видобутку нафти.

### **1.6 Методи підвищення ефективності роботи ШСНУ**

Одним із найбільш ефективних напрямків є оптимізація режимів роботи електроприводу. У традиційних системах електродвигуни працюють із постійною швидкістю обертання, що не дозволяє враховувати зміну навантаження в процесі роботи насоса.

Для вирішення цієї проблеми використовують частотно-керовані електроприводи [9, 10]. Частотний перетворювач дозволяє змінювати частоту обертання двигуна залежно від режиму роботи свердловини.

Використання частотного регулювання забезпечує плавний запуск електродвигуна, зменшення пускових струмів, зниження механічних навантажень, економію електроенергії, підвищення ресурсу роботи обладнання.

Завдяки плавному пуску значно зменшується ударне навантаження на редуктор, балансир та штангову колону. Це дозволяє збільшити термін служби механічних елементів установки.

Важливим напрямком є використання автоматизованих систем керування. Сучасні системи автоматизації забезпечують постійний контроль технологічних параметрів свердловини та режимів роботи електроприводу.

Автоматизовані системи дозволяють контролювати струм двигуна, аналізувати навантаження на штангову колону, визначати аварійні режими, регулювати частоту ходів насоса, здійснювати дистанційний моніторинг обладнання.

Використання систем моніторингу дозволяє своєчасно виявляти несправності та запобігати аварійним ситуаціям.

Для зменшення механічних навантажень використовують балансування приводу [3, 5]. Правильне балансування дозволяє частково компенсувати вагу штангової колони та стовпа рідини.

У результаті балансування зменшується навантаження на двигун, знижується споживання електроенергії, покращується рівномірність роботи установки, зменшується зношування редуктора.

Значна увага приділяється підвищенню зносостійкості деталей насосного обладнання. Для цього використовують леговані сталі, антикорозійні покриття, зміцнення поверхонь деталей, зносостійкі матеріали для плунжерних пар.

Для боротьби з парафіновими відкладеннями застосовують теплові, механічні та хімічні методи.

|     |      |          |        |      |                    |      |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|     |      |          |        |      | ДП ОА-21.05.000 ПЗ | Лист |
|     |      |          |        |      |                    | 25   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    |      |

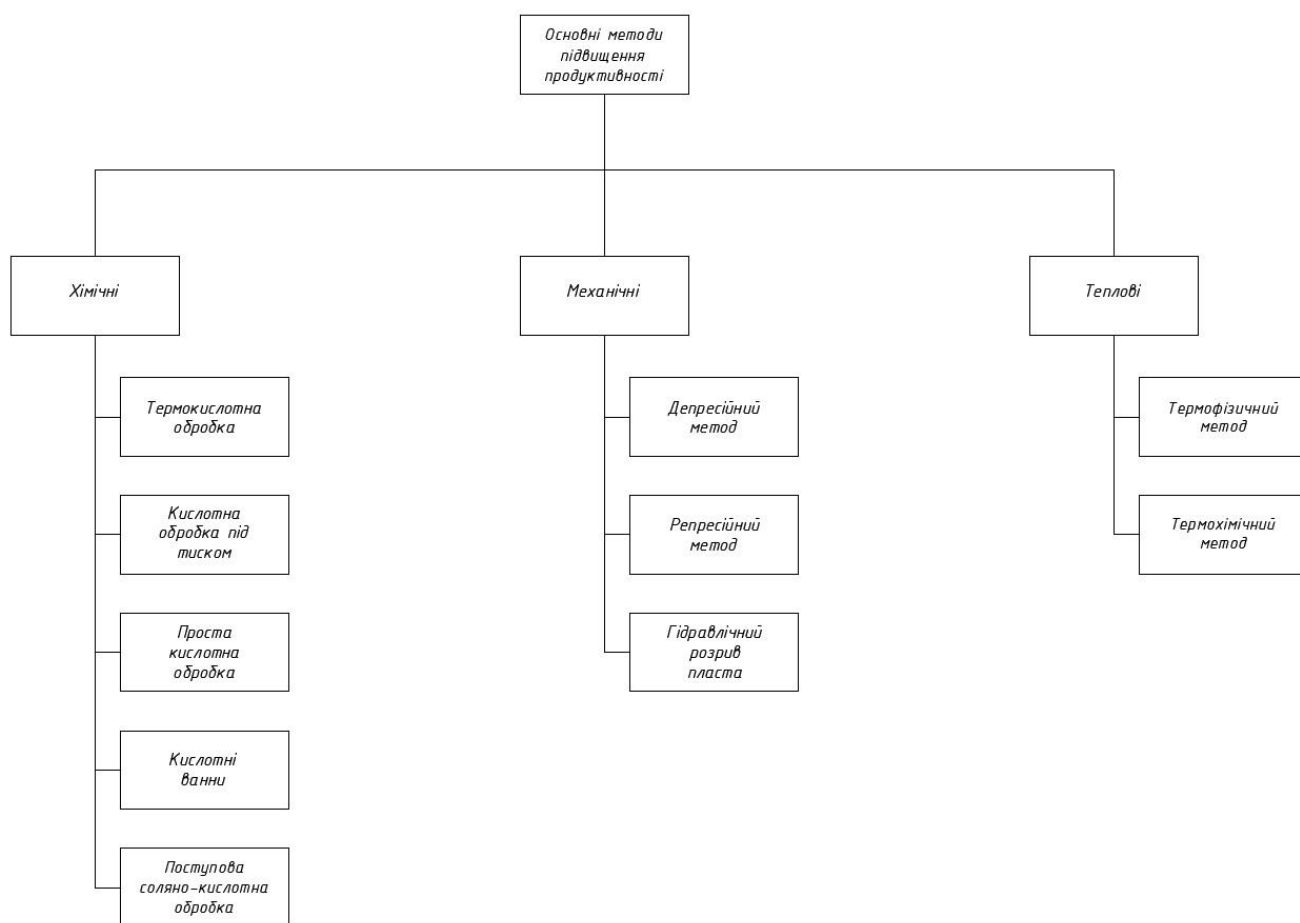


Рис.1.2 – Методи впливу на привибійну зону пласта

Теплові методи передбачають нагрівання труб і насосного обладнання для розплавлення парафіну. Недоліком такого способу є значне споживання енергії.

Механічне очищення здійснюється за допомогою скребків або спеціальних очисних пристроїв. Такий метод дозволяє ефективно видаляти відкладення, проте потребує зупинки свердловини.

Хімічні методи базуються на використанні реагентів, які запобігають утворенню парафіну або розчиняють уже наявні відкладення. Недоліком є необхідність постійного використання хімічних речовин.

Одним із перспективних напрямків є застосування вібраційних технологій. Вібраційний вплив дозволяє зменшити інтенсивність осідання парафіну та покращити текучість пластової рідини [6, 13].

В дипломному проєкті пропонується метод використання п'єзоелектричних елементів. Під дією електричного сигналу п'єзоелементи створюють високочастотні механічні коливання, які передаються на трубопроводи та насосне обладнання.

Використання п'єзоелектричних технологій забезпечує зменшення сил тертя, покращення руху рідини, зниження інтенсивності утворення парафіну, зменшення навантаження на насос, підвищення енергоефективності установки.

Перевагою п'єзоелектричних систем є відносно невелике енергоспоживання та можливість інтеграції у вже існуюче обладнання.

Патентний пошук є необхідним етапом для вивчення сучасних інженерних рішень та технологій, спрямованих на підвищення ефективності експлуатації нафтових і газоконденсатних свердловин. Основна увага зосереджена на апаратах, що використовують методи гідродинамічної та імпульсної дії.

### 1. Занурений імплзійний генератор багаторазової дії (UA 108621 U) [14]

Ця корисна модель відноситься до нафтової промисловості та використовується для видобутку нафти шляхом впливу на привибійну зону пласта.

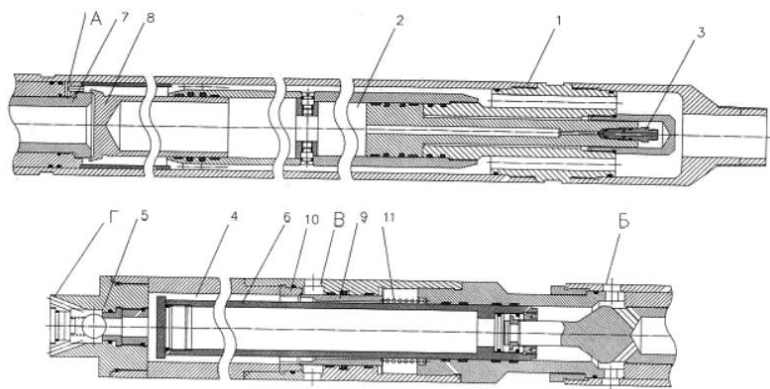


Рис. 1.3 – Конструкція зануреного імплзійного генератора багаторазової дії

Конструкція включає робочий корпус (1), пневмоаккумулятор (2), зарядний пристрій (3), циліндр імплзійної камери (4) зі зворотним клапаном (5), плунжер (6), шток (7), поршень (8), а також клапанний вузол у складі клапана (9), сідла (10) та пружини (11).

Принцип роботи цього механізму ґрунтується на циклічному генеруванні хвиль розрідження та підвищеного тиску. У процесі роботи рідина подається в корпус (1) і діє на шток (7) із поршнем (8), змушуючи їх рухатися вгору та витягувати плунжер (6) з імпульсійної камери (4). Це призводить до збільшення внутрішнього об'єму камери та стрімкого падіння тиску в ній. Наприкінці свого ходу плунжер (6) піднімає клапан (9), утворюючи зазор із сідлом (10), що забезпечує сполучення затрубного простору з імпульсійною камерою. Унаслідок цього рідина на великій швидкості спрямовується в камеру (4), створюючи у свердловині хвилю розрідження. Надалі потік рідини рухається вниз по камері і через зворотні клапани (5) надходить у свердловину, що генерує хвилю підвищеного тиску. Після завершення цього етапу відбувається розстикування спряжених деталей: шток (7) зміщується донизу, а поршень (8) під дією тиску газу в пневмоаккумуляторі наздоганяє його для наступного з'єднання. При подальшому нагнітанні робочої рідини цей гідродинамічний цикл повторюється.

## 2. Імпульсійний гідрогенератор (UA 65391 U) [15]

Ця корисна модель призначена для ремонту нафтових і газоконденсатних свердловин та використовується для видобутку нафти.

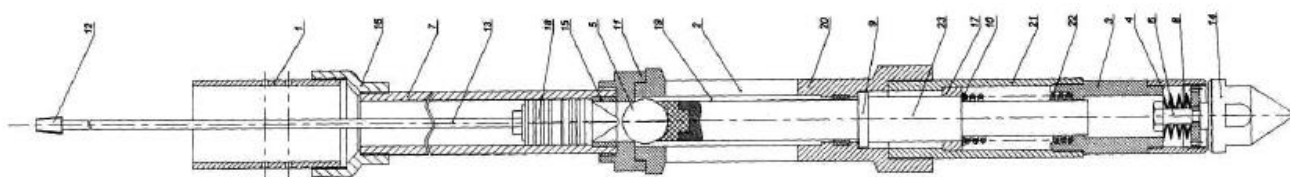


Рис.1.4 – Імпульсійний гідрогенератор

Принцип роботи пристрою полягає в тому, що під час підйому насосної штанги з плунжером (18) всередині циліндра імпульсійної камери (7), яка перекрита запірним клапаном (5), формується зона розрідження. У момент виходу плунжера за межі циліндра імпульсійної камери свердловинна рідина під дією тиску з колони

|     |      |          |        |      |                    |      |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|     |      |          |        |      | ДП ОА-21.05.000 ПЗ | Лист |
|     |      |          |        |      |                    | 28   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    |      |

НКТ та затрубного простору через забірний трубопровід (1) на високій швидкості спрямовується в нижню частину циліндра. Внаслідок цього у привибійній зоні спочатку генерується імпульс депресії, а потім виникає гідравлічний удар із тиском, що суттєво перевищує пластовий. Під дією потоку рідини під час гідроудару запірний клапан (5) відходить від сідла клапанної муфти (11), відкриваючи доступ до циліндра імпульсійної камери. При цьому клапан разом зі штоком зміщуються донизу, відкриваючи вікна робочого циліндра (2), тоді як плаваючий поршень (17) залишається у нерухомому стані.

Основна частина енергії гідравлічного удару передається безпосередньо на пласт через відкриті вікна робочого циліндра. Після проходження цих вікон шток починає взаємодіяти з плаваючим поршнем (17) гідравлічного амортизатора, що призводить до зростання гідравлічного опору та часткового поглинання осьової енергії. Решта її об'єму спрямовується на витіснення рідини крізь зазор, утворений між нерухомим (4) та рухомим (14) соплами. Сформований таким чином кільцевий струмінь рідини під високим тиском діє на породу-колектор через перфораційні отвори свердловини. Залишкова енергія удару гаситься жорстким підпружиненням упором (6).

Після згасання ударної хвилі всі рухомі елементи конструкції повертаються у початкове положення під дією циліндричної пружини. Очікуваний технічний результат полягає у збільшенні коефіцієнта корисної дії (ККД) завдяки раціональному та послідовному розподілу енергії гідроудару.

### **3. Комбінований спосіб обробки привибійної зони пласта (u201613619) [16]**

Концепція дії запропонованого способу базується на синергетичному поєднанні механічного руйнування гірської породи вибухом та її миттєвого хімічного захисту безпосередньо в момент утворення нових тріщин. Замість традиційних металевих або кумулятивних зарядів у свердловину спускають торпеду, сегменти якої виготовлені у вигляді твердих циліндричних блоків із ПАР та сухої кислоти, підібраних під мінералогічний склад колектора й пластового флюїду. З протилежних зовнішніх боків цих сегментів у спеціальних виїмках

розміщують вибухові шнури , що забезпечує точне центрування заряду по осі свердловини та максимальне його наближення до стінок пласта.

У момент підривання детонуючого шнура вибухова хвиля виконує подвійну роботу. З одного боку, вона створює в привибійній зоні розгалужену систему мікротріщин. З іншого боку, колосальний тиск та температура вибуху миттєво подрібнюють і розчиняють тверду хімічну основу торпеди. Отриманий висококонцентрований розчин ПАР та кислоти під дією тієї ж вибухової енергії миттєво вдавлюється у щойно створені канали , випереджаючи проникнення важкої та шкідливої рідини глушіння. Хімічні компоненти консервують утворені тріщини, знижують поверхневий натяг та блокують проникнення стороннього фільтрату. Завдяки цьому новоутворені мікротріщини не закриваються і не забруднюються , що дозволяє максимально зберегти природну проникність пласта , полегшити освоєння свердловини та суттєво підвищити її дебіт.

### **Висновки до розділу 1**

Коржівське родовище характеризується нафтовою сировиною середньої та підвищеної в'язкості з смолистими, парафіновими та асфальтеновими компонентами, що потребує використання механізованих способів видобутку та стабільної роботи насосних установок.

Існуючі способи підвищення продуктивності та зменшення енергоємності нафтовидобудку базуються на хімічних, механічних та теплових методах.

Для зменшення витрат електричної енергії, що споживається двигунами штангових насосів доцільно застосування п'єзоелектричного впливу на привибійну зону пласта, що дозволяє зменшити інтенсивність осідання парафіну та покращити текучість пластової рідини.

|     |      |          |        |      |                    |      |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|     |      |          |        |      | ДП ОА-21.05.000 ПЗ | Лист |
|     |      |          |        |      |                    | 30   |
| Зм. | Арк. | № докum. | Підпис | Дата |                    |      |

## РОЗДІЛ 2. ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

Особливе значення для ефективної роботи родовища має система електропостачання. Нафтовидобувні підприємства є споживачами значної кількості електроенергії, оскільки робота насосних установок, систем автоматизації, освітлення та допоміжного обладнання потребує безперервного живлення.

Електропостачання свердловин Коржівського родовища здійснюється від мережі промислового електропостачання через комплектні трансформаторні підстанції [17, 18]. Для живлення електроприводів штангових насосних установок використовують трифазну мережу змінного струму. Основними споживачами електроенергії є асинхронні електродвигуни приводів насосних установок.

Особливістю електроспоживання ШСНУ є нерівномірний характер навантаження. Під час роботи установки електродвигун працює у циклічному режимі, що супроводжується значними коливаннями струму та навантаження. Такі режими призводять до додаткових втрат електроенергії, нагрівання обмоток двигуна та зниження коефіцієнта потужності.

Крім того, значна віддаленість свердловин одна від одної обумовлює потребу у використанні розгалужених повітряних і кабельних ліній електропередач. Це призводить до додаткових втрат напруги та ускладнює забезпечення стабільного електроживлення обладнання. У зв'язку з цим особливого значення набуває підвищення енергоефективності електроприводів та оптимізація режимів роботи насосних установок.

Для забезпечення надійної роботи електромеханічного обладнання на родовищі використовують системи автоматичного захисту та контролю параметрів електромережі [18, 19, 20].

Вони забезпечують захист електродвигунів від перевантажень, коротких замикань, обриву фаз і аварійних режимів роботи.

## 2.1 Розрахунок електричного освітлення

### 2.1.1 Розрахунок електричного освітлення приміщення

Вхідними даними для розрахунку електричного освітлення приміщення є:

- довжина приміщення:  $A = 12\text{м}$ ;
- ширина приміщення:  $B = 8\text{м}$ ;
- висота підвісу світильника над робочою поверхнею:  $h = 2\text{м}$ ;
- характеристики приміщення: світла стеля/сірі стіни;
- нормована освітленість:  $E_n = 15\text{лк}$ .

Електричне освітлення приміщення буде розраховане за допомогою методу коефіцієнта використання світлового потоку:

1. Приймаємо тип світильника і знаходимо світловий потік лампи:

Обрано світильник СЗПР, світловий потік якого становить  $F_d = 12500\text{ лм}$ .

2. Розраховуємо показник приміщення:

$$i = \frac{A \cdot B}{h \cdot (A + B)} = \frac{12 \cdot 8}{2 \cdot (12 + 8)} = 2,4 \quad (2.1.1)$$

3. Розраховуємо загальний світловий потік, потрібний для забезпечення необхідної освітленості:

$$F = \frac{K_z \cdot E_{min} \cdot S \cdot z}{K_v} \quad (2.1.2)$$

де  $K_z$  – коефіцієнт запасу, який враховує старіння ламп та заповищення їхніх ковпаків  $K_z = 1,5 \dots 2,0$  для люмінісцентних ламп, обрано  $K_z = 1,9$ ,  $E_{min} = E_n = 15\text{лк}$  – мінімальна освітленість,  $S$  – площа освітлюваного приміщення,  $\text{м}^2$ ,  $z$  – коефіцієнт нерівномірності освітлення,  $z = 1,3 \dots 1,4$ , обрано  $z = 1,35$ ,  $K_v$  – коефіцієнт використання освітлювальних установок, прийнято  $K_v = 0,22$ .

Тоді:

$$F = \frac{1,9 \cdot 15 \cdot 12 \cdot 8 \cdot 1,35}{0,22} = 16790\text{ лм}$$

4. Обчислюємо потрібну кількість ламп:

$$n = \frac{F}{F_{\text{л}}} = \frac{16790}{12500} = 1,34 = 2 \quad (2.1.3)$$

### 2.1.2 Розрахунок електричного освітлення майданчика

Вхідними даними для розрахунку електричного освітлення майданчика є:

- довжина території:  $a = 20\text{м}$ ;
- ширина території:  $b = 25\text{м}$ ;
- нормована освітленість:  $E_{\text{н}} = 12 \text{ лк}$ .

Електричне освітлення майданчика буде розраховане за допомогою методу коефіцієнта світлового потоку:

1. Визначаємо світловий потік, необхідний для створення на площі необхідної освітленості  $E_{\text{н}} = 12 \text{ лк}$ :

$$\Sigma\Phi = E_{\text{н}} \cdot S \cdot Z \cdot k_3 \cdot k_{\text{вт}} \quad (2.1.4)$$

де  $k_3 = 1,2 \dots 1,5$  – коефіцієнт запасу, обрано  $k_3 = 1,3$ ,  $k_{\text{вт}} = 1,15 \dots 1,5$  – коефіцієнт, що враховує втрати світла в залежності від конфігурації освітлюваної площі, обрано  $k_{\text{вт}} = 1,2$ ,  $Z = 1 \dots 3$  – коефіцієнт нерівномірності освітлення, обрано  $Z = 2$ .

Тоді:

$$\Sigma\Phi = 12 \cdot 20 \cdot 25 \cdot 1,3 \cdot 1,2 = 18720 \text{ лм}.$$

2. Табл.2.1.1 – Прийнятий прожектор:

| Тип світильника | Тип лампи     | Напруга, В | Потужність, кВт | Світловий потік, лм $10^3$ | Максимальна сила світла, кд $10^3$ | ККД, % |
|-----------------|---------------|------------|-----------------|----------------------------|------------------------------------|--------|
| ИСУ-01          | КГ-220-2000-3 | 220        | 2               | 54                         | 1,85                               | 65     |

3. Визначаємо число прожекторів для освітлення даної площі:

$$N_{\text{пр}} = \frac{\sum \Phi}{\Phi_{\text{л}} \cdot \eta_{\text{пр}}} = \frac{18,72}{54 \cdot 0,65} = 0,53 = 1 \quad (2.1.5)$$

де  $\eta_{\text{пр}}$  – ККД прожектора (у відносних одиницях, а не відсотках);  $\Phi_{\text{л}}$  – світловий потік лампи прожектора, лм.

4. Визначаємо висоту встановлення прожектора на щоглі:

$$h \geq \sqrt{\frac{I_{\text{max}}}{300}} \geq \sqrt{\frac{1850}{300}} = 2,5 \quad (2.1.6)$$

5. Визначаємо необхідну на освітлення прожекторами потужність:

$$P_{\text{po}} = N_{\text{св}} \cdot P_{\text{л}} = 1 \cdot 2 = 2 \text{ кВт} \quad (2.1.7)$$

$$S_{\text{po}} = \frac{P_{\text{po}}}{\eta_{\text{м}} \cdot \eta_{\text{ен}} \cdot \cos \varphi_{\text{св}}} = \frac{2}{0,95 \cdot 0,85 \cdot 0,95} = 2,61 \text{ кВА} \quad (2.1.8)$$

де  $\eta_{\text{м}} = 0,94 \dots 0,96$  – ККД освітлювальної електричної мережі, обрано  $\eta_{\text{м}} = 0,95$ ;  $\eta_{\text{ен}}$  – енергетичний ККД світильника, який враховує втрати потужності в пусковому апараті (для люмінесцентних світильників  $\eta_{\text{ен}} = 0,83 \dots 0,87$ ), обрано  $\eta_{\text{ен}} = 0,85$ ;  $\cos \varphi_{\text{св}}$  – коефіцієнт потужності з люмінесцентною лампою.

## 2.2 Розрахунок електричних навантажень

Розрахункове навантаження і-ї групи однорідних за режимами роботи ЕП, що об'єднані єдиним технологічним процесом і територією розташування визначається методом коефіцієнта попиту:

за активною потужністю:

$$P_{\text{р.і}} = K_{\text{пі}} \cdot \sum P_{\text{НОМі}} = K_{\text{пі}} \cdot P_{\text{ГРі}}, \text{ кВт}; \quad (2.2.1)$$

де  $K_{\text{пі}}$  – коефіцієнт попиту і-ї групи, що задано у Табл.2.2.1;

$P_{\text{і}}$  – номінальні активні потужності ЕП групи (кВт), що визначаються зі схеми електропостачання, числові значення наведено у Табл.2.2.1.

за реактивною потужністю:

$$Q_{p.i} = P_{p.i} \cdot \operatorname{tg} \varphi, \text{ кВАр}; \quad (2.2.2)$$

де  $\operatorname{tg} \varphi$  – визначається за відомою величиною  $\cos \varphi$ , числові значення наведено у Табл.2.2.1.

за повною потужністю:

$$S_{p.i} = \sqrt{P_{p.i}^2 + Q_{p.i}^2}, \text{ кВА} \quad (2.2.3)$$

Табл.2.2.1 – Електроприймачі Коржівського нафтового родовища

| Приймачі електроенергії                                 | Кількість | Встановл. потужність, кВт | Коефіцієнт |          |                  |                               | Розрахункова потужність |       |        |
|---------------------------------------------------------|-----------|---------------------------|------------|----------|------------------|-------------------------------|-------------------------|-------|--------|
|                                                         |           |                           | Кп         | $\eta_n$ | $\cos \varphi_n$ | $\operatorname{tg} \varphi_n$ | $P_p$                   | $Q_p$ | $S_p$  |
| 1                                                       | 2         | 3                         | 4          | 5        | 6                | 7                             | 8                       | 9     | 10     |
| <b><u>Магістральна ЛЕП №1. Електроприймачі 6 кВ</u></b> |           |                           |            |          |                  |                               |                         |       |        |
| <b><u>КТПСК-25</u></b>                                  |           |                           |            |          |                  |                               |                         |       |        |
| Двигун качалки АСП-51-4                                 | 2         | 7,5                       | 0,75       | 1        | 0,83             | 0,672                         | 11,25                   | 7,56  | 13,55  |
| <b><u>КТПСК-25</u></b>                                  | 3         |                           |            |          |                  |                               | 33,75                   | 22,68 | 40,66  |
| <b><u>Магістральна ЛЕП №2. Електроприймачі 6 кВ</u></b> |           |                           |            |          |                  |                               |                         |       |        |
| <b><u>КНС</u></b>                                       |           |                           |            |          |                  |                               |                         |       |        |
| Електродвигун ВАО-250                                   | 4         | 250                       | 0,75       | 1        | 0,82             | 0,698                         | 750                     | 523,5 | 914,63 |
| Електродвигун ВАО-500                                   | 2         | 500                       |            | 1        | 0,82             | 0,698                         | 750                     | 523,5 | 914,63 |
| Разом                                                   |           |                           |            |          |                  |                               | 1500                    | 1047  | 1829   |
| <b><u>Електроприймачі 0,4 кВ</u></b>                    |           |                           |            |          |                  |                               |                         |       |        |
| <b><u>Витратний склад хлористого кальцію і КГЦ</u></b>  |           |                           |            |          |                  |                               |                         |       |        |
| Насос                                                   | 1         | 77                        | 0,65       | 1        | 0,81             | 0,724                         | 50,05                   | 36,24 | 61,79  |
| Насос                                                   | 1         | 66                        |            | 1        | 0,79             | 0,776                         | 42,9                    | 33,29 | 54,3   |
| Зарядний пристрій                                       | 1         | 15                        |            | 1        | 0,7              | 1,02                          | 9,75                    | 9,95  | 13,93  |
| Вентиляція                                              | 1         | 2,2                       |            | 1        | 0,79             | 0,776                         | 1,43                    | 1,11  | 1,81   |
| Освітлення                                              | 1         | 4                         |            | 1        | 0,8              | 0,75                          | 2,6                     | 1,95  | 3,25   |
| Разом для витратного складу хлористого кальцію і КГЦ    |           |                           |            |          |                  |                               | 106,73                  | 82,53 | 135,08 |
| <b><u>Склад хімреактивів</u></b>                        |           |                           |            |          |                  |                               |                         |       |        |
| Насос                                                   | 1         | 50,2                      | 0,65       | 1        | 0,86             | 0,593                         | 32,63                   | 19,35 | 37,93  |
| Насос                                                   | 1         | 37,2                      |            | 1        | 0,84             | 0,646                         | 24,18                   | 15,62 | 28,79  |
| Вентиляція                                              | 1         | 0,3                       |            | 1        | 0,8              | 0,75                          | 0,2                     | 0,15  | 0,24   |
| Освітлення                                              | 1         | 3,5                       |            | 1        | 0,8              | 0,75                          | 2,28                    | 1,71  | 2,84   |
| Разом для складу хімреактивів                           |           |                           |            |          |                  |                               | 59,28                   | 36,82 | 69,81  |

Продовження табл.2.2.1

|                                                         |   |       |      |   |      |        |        |        |        |
|---------------------------------------------------------|---|-------|------|---|------|--------|--------|--------|--------|
| 1                                                       | 2 | 3     | 4    | 5 | 6    | 7      | 8      | 9      | 10     |
| <b><u>Витратний склад емульгатора</u></b>               |   |       |      |   |      |        |        |        |        |
| Насос                                                   | 3 | 40    | 0,65 | 1 | 0,84 | 0,646  | 78     | 50,4   | 92,86  |
| Разом для електроприймачів 0,4 кВ                       |   |       |      |   |      |        | 244,01 | 169,74 | 297,75 |
| Разом для магістральної ЛЕП №2                          |   |       |      |   |      |        | 1744   | 1217   | 2127   |
| <b><u>Магістральна ЛЕП №3. Електроприймачі 6 кВ</u></b> |   |       |      |   |      |        |        |        |        |
| <b><u>ДНС</u></b>                                       |   |       |      |   |      |        |        |        |        |
| Двигун ВАО-250                                          | 4 | 250   | 0,75 | 1 | 0,82 | 0,698  | 750    | 523,5  | 914,63 |
| <b><u>Електроприймачі 0,4 кВ</u></b>                    |   |       |      |   |      |        |        |        |        |
| <b><u>Лабораторно-побутовий корпус</u></b>              |   |       |      |   |      |        |        |        |        |
| Технологічне обладнання їдальні                         | 1 | 144,5 | 0,65 | 1 | 0,85 | 0,62   | 93,93  | 58,23  | 110,51 |
| Вентиляція                                              | 1 | 18,8  |      | 1 | 0,8  | 0,75   | 12,22  | 9,17   | 15,28  |
| Обладнання КВП                                          | 1 | 10    |      | 1 | 0,7  | 1,02   | 6,5    | 6,63   | 9,3    |
| Разом для лабораторно-побутового корпусу                |   |       |      |   |      |        | 112,65 | 74,03  | 135,07 |
| <b><u>Каналізаційна насосна станція</u></b>             |   |       |      |   |      |        |        |        |        |
| Насос                                                   | 2 | 3,2   | 0,65 | 1 | 0,85 | 0,62   | 4,16   | 2,58   | 4,9    |
| Насос                                                   | 2 | 8     |      | 1 | 0,86 | 0,593  | 10,4   | 6,17   | 12,1   |
| Разом для каналізаційної насосної станції               |   |       |      |   |      |        | 14,56  | 8,75   | 17     |
| <b><u>Площадка для зберігання НКТ</u></b>               |   |       |      |   |      |        |        |        |        |
| Електропідйомник                                        | 1 | 6     | 0,65 | 1 | 0,81 | 0,724  | 3,9    | 2,82   | 4,82   |
| Кран                                                    | 1 | 5     |      | 1 | 0,78 | 0,802  | 3,25   | 2,61   | 4,17   |
| Освітлення                                              | 1 | 0,5   |      | 1 | 0,8  | 0,75   | 0,33   | 0,24   | 0,41   |
| Разом для площадки для зберігання НКТ                   |   |       |      |   |      |        | 7,48   | 5,67   | 9,39   |
| Разом для електроприймачів 0,4 кВ                       |   |       |      |   |      |        | 134,68 | 88,45  | 161,46 |
| Разом для магістральної ЛЕП №3                          |   |       |      |   |      |        | 884,68 | 611,95 | 1076   |
| <b><u>Магістральна ЛЕП №4. Електроприймачі 6 кВ</u></b> |   |       |      |   |      |        |        |        |        |
| <b><u>КТПСК-25</u></b>                                  |   |       |      |   |      |        |        |        |        |
| Двигун АСП-51-4                                         | 2 | 7,5   | 0,75 | 1 | 0,72 | 0,9638 | 11,25  | 10,84  | 15,63  |
| <b>КТПСК-25</b>                                         | 3 |       |      |   |      |        | 33,75  | 32,53  | 48,87  |
| <b><u>Водозабірна свердловина</u></b>                   |   |       |      |   |      |        |        |        |        |
| Електродвигун                                           | 1 | 40    | 0,5  | 1 | 0,82 | 0,698  | 20     | 13,96  | 24,39  |
| Втрати в трансформаторі ТМН-400/10                      |   |       |      |   |      |        | 8      | 4      | 400    |
| Втрати в трансформаторі ТМН-160/10                      |   |       |      |   |      |        | 3,2    | 1,6    | 160    |
| Для підприємства                                        |   |       |      |   |      |        | 3612   | 2515   | 4951   |

Розраховуємо кожну групу електроприймачів, що зазначена у Табл.2.2.1 за відповідними формулами (2.2.1 – 2.2.3):

### **Магістральна ЛЕП №1. Електроприймачі 6 кВт. КТПСК-25:**

Ця група електроприймачів знаходиться на стороні високої напруги, та являє собою установку, що складається з трьох об'єднаних груп, які мають однакову структуру та живляться від спільного джерела електропостачання, кожна група включає по два асинхронні електродвигуни АСП-51-4. Проведемо розрахунок однієї структурної одиниці даної групи, що складається з двох двигунів:

$$P_{p11} = 0,75 \cdot 2 \cdot 7,5 = 11,25 \text{ кВт};$$

$$Q_{p11} = 11,25 \cdot 0,672 = 7,56 \text{ кВАр};$$

$$S_{p11} = \sqrt{11,25^2 + 7,56^2} = 13,55 \text{ кВА}.$$

Далі, для того, щоб отримати відповідні значення потужностей помножимо отримані нами значення на кількість «структурних одиниць» даної групи:

$$P_{p1} = 11,25 \cdot 3 = 33,75 \text{ кВт};$$

$$Q_{p1} = 7,56 \cdot 3 = 22,68 \text{ кВАр};$$

$$S_{p1} = 13,55 \cdot 3 = 40,66 \text{ кВА}.$$

Отримані результати заносимо в Табл.2.2.1.

Так само розраховуємо інші групи електроприймачів, також знаходимо потужність для кожної з ЛЕП шляхом додавання всіх груп електроприймачів, що до неї під'єднані, результати вносимо в Табл.2.2.1.

Також, при виборі загального трансформатора необхідно врахувати втрати трансформаторів КНС та ДНС. Вважаємо, що до трансформаторів КНС підключено споживачі 1 та 2 категорії, отже в післяаварійному режимі трансформатор має бути розрахований на потужності споживачів двох секцій шин. Розрахована потужність, що передається на трансформатори КНС складається з потужностей витратного складу хлористого калію КТЦ,

|     |      |          |        |      |                    |      |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|     |      |          |        |      | ДП ОА-21.05.000 ПЗ | Лист |
|     |      |          |        |      |                    | 37   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    |      |

складу хімреактивів та витратного складу емульгатора ЕС-2. Вона становить:

$$S_{\text{т.кнс}} = S_{\text{ктц}} + S_{\text{хр}} + S_{\text{се}} = 135,08 + 69,81 + 92,86 = 297,75 \text{ кВА}$$

За цією потужністю та з урахуванням того, що трансформатори знаходяться на стороні високої напруги обрано трансформатор ТМН-400/10.

Визначимо втрати в обраному трансформаторі:

$$\Delta P_{\text{тр.кнс}} = 0,02 \cdot S_{\text{н.т}} = 0,02 \cdot 400 = 8 \text{ кВт};$$

$$\Delta Q_{\text{тр.кнс}} = 0,01 \cdot S_{\text{н.т}} = 0,01 \cdot 400 = 4 \text{ кВАр.}$$

За аналогією обираємо трансформатори, що підключено до ДНС та визначаємо втрати. В цьому випадку вважаємо, що до трансформаторів підключено споживачі 1-2 категорії (лабораторно-побутовий комплекс та каналізаційна насосна станція) та 3-ї категорії – площадка для зберігання НКТ. Споживач 3ї категорії може бути відключений в післяаварійному режимі. Тоді:

$$S_{\text{т.днс}} = S_{\text{лпк}} + S_{\text{нс}} = 135,07 + 17 = 152,07 \text{ кВА}$$

Обрано трансформатор ТМН 160/10. Його втрати:

$$\Delta P_{\text{тр.днс}} = 0,02 \cdot S_{\text{н.т}} = 0,02 \cdot 160 = 3,2 \text{ кВт};$$

$$\Delta Q_{\text{тр.днс}} = 0,01 \cdot S_{\text{н.т}} = 0,01 \cdot 160 = 1,6 \text{ кВАр.}$$

Результати обчислень заносимо в Табл.2.2.1 та розраховуємо сумарну потужність по підприємству. Вона становить  $S_{\text{підп}} = 4951 \text{ кВА}$ . Трансформатор підключено до живлення 35кВ, на основі цих двох показників обрано ТМН-6300/35 з наступними характеристиками:

Табл.2.2.2 – Характеристики трансформатора ТМН-6300/35:

| Тип         | $S_{\text{ном}}$ ,<br>кВА | Номинальні напруги, кВ |          | $P_{\text{к}}$ , кВт | Напруга КЗ,<br>$U_{\text{к}}^{\%}$ |
|-------------|---------------------------|------------------------|----------|----------------------|------------------------------------|
|             |                           | ВН                     | НН       |                      |                                    |
| ТМН-6300/35 | 6300                      | 35                     | 6,3;10,5 | 46,5                 | 7,5                                |

## 2.3 Розрахунок електричних мереж

Розрахунок мережі Коржівського нафтового родовища виконується за класичною методикою [21], та включає в себе наступні перевірки:

- за допустимим нагрівом розрахунковим (робочим) струмом в трифазному режимі роботи;
- за економічною густиною струму;
- за допустимими втратами напруги;
- за термічною стійкістю струму КЗ (тільки для КЛ);
- за механічною міцністю.

За результатами розрахунків приймається найбільше значення стандартного перерізу, як таке, що задовольняє вище означеним критеріям.

### 2.3.1 Розрахунок електричної мережі за нагрівом розрахунковим струмом в тривалому режимі

Розрахунок проводиться для 4-х ліній високої напруги L1-L4. Це повітряні лінії з алюмінієвими жилами.

Вхідними даними для розрахунків слугують розрахункові струми в лініях L1-L4, які визначаються за формулою:

$$I_{p.i} = \frac{S_{p.i}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}, \text{ А}; \quad (2.3.1)$$

Для визначення розрахункових струмів використовуємо розрахункові значення активної потужності ( $S_{p1} - S_{p4}$ ) з попереднього змістовного блоку розрахунків:

В якості номінальної напруги використовується  $U_1 = 6 \text{ кВ}$ . Отримані результати заносимо в Табл.2.3.1.

Вибір перерізу проводів повітряних ліній та жил кабелів за нагрівом розрахунковим (робочим) струмом в нормальному тривалому режимі роботи полягає в порівнянні розрахункового струму і-ї лінії з допустимим

струмом, для якого ПУЕ рекомендує стандартні значення перерізів проводів ПЛ та жил кабелів, за умови:

$$I_p \leq I_{\text{доп}} \quad (2.3.2)$$

Обираємо  $I_{\text{доп}}$  та переріз проводу  $S_{\text{ст}}$  для розрахованих  $I_{p.1} - I_{p.4}$ , матеріал – алюміній.

- $I_{p.2} = 88$  А. Обираємо провідник такий, щоб виконувалась умова перевірки. Обрано провід А-16, в якому  $I_{\text{доп}} = 105$  А,  $S_{\text{ст}} = 16$  мм<sup>2</sup>.

Провідник, обраний для  $I_{p.2}$  підійде також для інших ліній, оскільки струм  $I_{p.2}$  є найбільшим серед перерахованих.

### 2.3.2 Розрахунок електричної мережі за економічною густиною струму

Вибір економічно доцільного перерізу провідників КЛ і ПЛ, що рекомендують ПВЕ, виконують за економічною густиною струму в залежності від матеріалу провідника та кількості годин використання максимуму навантаження, а для кабелів, крім того, і від матеріалу ізоляції. Величина економічного перерізу визначається розрахунковим струмом і-ї лінії та економічною густиною струму за умови:

$$S_{\text{ЕК}} = \frac{I_p}{j_{\text{ЕК}}}, \text{ мм}^2, \quad (2.3.3)$$

де  $I_p$  – розрахунковий струм, А,  $j_{\text{ЕК}}$  – економічна густина струму, А/мм<sup>2</sup>.

Економічна густина струму визначається в залежності від типу ліній та тривалості навантажень. Всі лінії виконані з алюмінію, приймаємо густину:

$$j_{\text{ЕК}} \text{ алюмінію} = 1,1 \text{ А/мм}^2,$$

Отримані значення заокруглюємо до найближчого меншого стандартного значення, оскільки метод дещо завищує розрахункові значення. Результати заносимо в Табл.2.3.1.

|     |      |          |        |      |                    |      |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|     |      |          |        |      | ДП ОА-21.05.000 ПЗ | Лист |
|     |      |          |        |      |                    | 40   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    |      |

### 2.3.3 Вибір ліній мережі за умови механічної міцності

У практиці проектування систем електропостачання промислових підприємств перерізи проводів повітряних (ПЛ) та кабельних (КЛ) ліній визначають відповідно до вимог ПУЕ. Вибір здійснюється за критерієм мінімально допустимого перерізу або за умовою забезпечення необхідної механічної міцності залежно від типу та класу напруги лінії.

$$S_{\text{мех}1} = 35 \text{ мм}^2,$$

$$S_{\text{мех}2} = 35 \text{ мм}^2,$$

$$S_{\text{мех}3} = 35 \text{ мм}^2,$$

$$S_{\text{мех}4} = 35 \text{ мм}^2.$$

### 2.3.4 Розрахунок електричної мережі за допустимими втратами напруги

Розрахунок електричної мережі за допустимим втратами напруги полягає в перевірці найбільшого перерізу отриманого в результаті розрахунків за означеними вище умовами.

В загальному випадку допустима втрата напруги продиктована допустимими відхиленнями напруги ( $\pm 2,5\%$ ), що за абсолютною величиною дорівнює  $5\%$ . Втрати напруги в будь-якій лінії не повинні перевищувати  $|u_{\text{доп}\%}| = 5\%$ .

Розрахункова втрата напруги в  $i$ -тій лінії:

$$\Delta u_{pi}\% = \frac{P_{pi} \cdot R_{Li} + Q_{pi} \cdot X_{Li}}{10U_{\text{ном}}^2}, \quad (2.3.4)$$

де  $P_{pi}$  та  $Q_{pi}$  – розрахункові значення активної та реактивної потужності  $i$ -тої лінії, кВт;

$R_{Li} = r_0 \cdot L_i$ ,  $X_{Li} = x_0 \cdot L_i$  – активний та реактивний опори ліній, Ом;  $L_i$  – довжина лінії, км;

$x_0 = 0,4$  Ом/км – реактивний опір ПЛ,  $U > 1$  кВ довжиною 1 км;

$x_0 = 0,8$  Ом/км – реактивний опір КЛ,  $U > 1$  кВ довжиною 1 км;

|     |      |          |        |      |                    |      |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|     |      |          |        |      | ДП ОА-21.05.000 ПЗ | Лист |
|     |      |          |        |      |                    | 41   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    |      |

$r_0$  – активний опір лінії довжиною 100 Ом,  $r_0 = \frac{1000}{\gamma S}$ ;

$s$  – переріз проводу ПЛ або жили КЛ, мм<sup>2</sup> (за економічною густиною);

$\gamma$  – питомий опір матеріалу провідника: для алюмінію  $\gamma = 32$  м/(Ом · мм<sup>2</sup>).

Номінальна потужність:  $U_{\text{ном}} = U_1 = 6$  кВ.

Реактивний опір (усі ПЛ,  $U > 1$  кВ):

$$X_{L1} = 0,4 \cdot 5,2 = 2,08 \text{ Ом};$$

Активний опір:

активний опір лінії довжиною 100 Ом:

$$r_{01} = \frac{1000}{32 \cdot 35} = 0,9 \text{ Ом/км};$$

Тоді:

$$R_{L1} = 0,9 \cdot 5,2 = 4,64 \text{ Ом};$$

Тоді розрахункова втрата напруги в  $i$ -тій лінії:

$$\Delta u_{pi} \% = \frac{P_{pi} \cdot R_{Li} + Q_{pi} \cdot X_{Li}}{10U_{\text{ном}}^2}, \quad (2.3.5)$$

Усі наступні лінії розраховуємо за аналогією. Результати заносимо в Табл.2.3.2.

Порівнюємо отримані значення втрат напруг з допустимим:

$$\Delta u_{pi} < 5\%.$$

Всі отримані величини проходять перевірку.

Заносимо результати всіх перевірок у Табл.2.3.1 – Табл.2.3.2.

Табл.2.3.1 – Результуюча таблиця вибору провідників на стороні високої напруги:

| №  | За допустимим нагрівом |                  |                   | За економічною густиною струму |                  |                 | За механічною міцністю |
|----|------------------------|------------------|-------------------|--------------------------------|------------------|-----------------|------------------------|
|    | $I_p$                  | $I_{\text{доп}}$ | $S_{\text{нагр}}$ | $J_{\text{ЕК}}$                | $S'_{\text{ЕК}}$ | $S_{\text{ЕК}}$ | $S_{\text{мех}}$       |
| L1 | 3,91                   | 105              | 16                | 1,1                            | 3,6              | 16              | 35                     |

Продовження Табл.2.3.1:

| №  | За допустимим нагрівом |                  |                   | За економічною густиною струму |                  |                 | За механічною міцністю |
|----|------------------------|------------------|-------------------|--------------------------------|------------------|-----------------|------------------------|
|    | $I_p$                  | $I_{\text{доп}}$ | $S_{\text{нагр}}$ | $J_{\text{ЕК}}$                | $S'_{\text{ЕК}}$ | $S_{\text{ЕК}}$ | $S_{\text{мех}}$       |
| L2 | 88                     | 105              | 16                | 1,1                            | 80               | 70              | 35                     |
| L3 | 88                     | 105              | 16                | 1,1                            | 80               | 70              | 35                     |
| L4 | 4,51                   | 105              | 16                | 1,1                            | 80               | 16              | 35                     |

Табл.2.3.2 – Результуюча таблиця вибору провідників на стороні високої напруги:

| №  | За допустимими втратами напруги |       |       |       |                |                | Остаточний переріз |
|----|---------------------------------|-------|-------|-------|----------------|----------------|--------------------|
|    | $P_p$                           | $Q_p$ | $R_L$ | $X_L$ | $\Delta U, \%$ | $S_{\Delta U}$ | $S_{\text{ост}}$   |
| L1 | 33,75                           | 22,68 | 4,64  | 2,08  | 0,57           | 35             | 35                 |
| L2 | 750                             | 523,5 | 0,71  | 0,64  | 2,5            | 70             | 70                 |
| L3 | 750                             | 523,5 | 0,1   | 0,08  | 0,3            | 70             | 70                 |
| L4 | 33,75                           | 32,53 | 0,41  | 0,184 | 0,06           | 35             | 35                 |

Також проведемо розрахунок ліній низької напруги за нагрівом. Розрахунок проводиться аналогічно, в якості напруги прийнято  $U_2 = 0,4$  кВт. Результати розрахунків заносимо у Табл.2.3.3:

Табл. 2.3.3 – Результуюча таблиця вибору провідників на стороні низької напруги:

| Лінія                                  | $I_p$ | $I_{\text{доп}}$ | $S_{\text{нагр}}$ |
|----------------------------------------|-------|------------------|-------------------|
| Витратний склад хлористого кальцію КТЦ | 97,5  | 110              | 50                |

Продовження Табл.2.3.3:

| Лінія                               | $I_p$ | $I_{\text{доп}}$ | $S_{\text{нагр}}$ |
|-------------------------------------|-------|------------------|-------------------|
| Склад хімреактивів                  | 50,4  | 60               | 16                |
| Витратний склад<br>емульгатора ЕС-2 | 67    | 75               | 25                |
| Лабораторно-<br>побутовий корпус    | 97,5  | 110              | 50                |
| Каналізаційна насосна<br>станція    | 12,3  | 19               | 2,5               |
| Площадка для<br>зберігання НКТ      | 13,5  | 19               | 2,5               |

## 2.4 Розрахунок струмів короткого замикання

Коротке замикання (КЗ) є аварійним режимом в електромережі, за якого відбувається випадкове з'єднання кількох фаз між собою або однієї фази з землею (у мережах із заземленою нейтраллю). Зазвичай це трапляється через пробій ізоляції або механічні пошкодження обладнання.

Під час КЗ загальний опір мережі різко падає, що призводить до стрибкоподібного зростання струмів, які можуть у десятки разів перевищувати номінальні значення. Щоб запобігти руйнуванню системи за ті мікросекунди, поки спрацьовує релейний захист, виконують розрахунок параметрів КЗ (струму та потужності). Це дозволяє коректно підібрати захисну апаратуру за критеріями термічної та електродинамічної стійкості. Величина цих струмів безпосередньо залежить від потужності джерела живлення, а також внутрішнього та еквівалентного опорів мережі, які найчастіше розраховують у відносних одиницях.

Для подальших розрахунків задаємося базисною потужністю. Приймаємо  $S_6 = 100 \text{ МВА}$ .

Визначаємо базисні напруги, використовуючи вхідні дані:

|     |      |          |        |      |                    |      |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|     |      |          |        |      | ДП ОА-21.05.000 ПЗ | Лист |
|     |      |          |        |      |                    | 4.4  |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    |      |

$$U_{6i} = 1,05 \cdot U_{номi} \quad (2.4.1)$$

$$U_{61} = 1,05 \cdot 35 = 36,75 \text{ кВ};$$

$$U_{62} = 1,05 \cdot 6 = 6,3 \text{ кВ};$$

Визначаємо базисні струми. Кількість базисних струмів визначається кількістю точок КЗ (в КР – 6 точок КЗ (Рис.2.4.1), отже буде 6 значень базисних струмів).

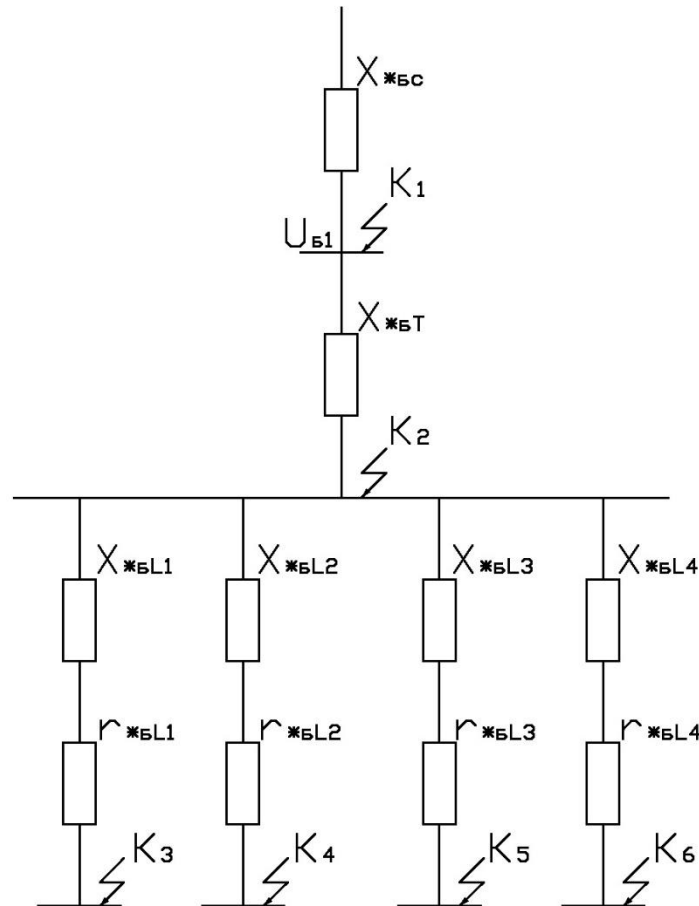


Рис.2.4.1 – Схема заміщення

$$I_{6i} = \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot U_6}, \text{ кА} \quad (2.4.2)$$

Для різних точок КЗ можуть бути однакові базисні струми, оскільки напруга для деяких точок залишається незмінною:

- Для точки  $K_1$  (джерело живлення) – базисна напруга  $U_{61}$ ;
- Для точок  $K_2$  (шина),  $K_3 - K_6$  (лінії L1 –L4) базисна напруга  $U_{62}$ ;

Результати розрахунків заносимо в Табл.2.4.1.

### 2.4.1 Розрахунок опорів у в.б.о. для елементів тільки з реактивним опором

Визначаємо опори у в.б.о. для елементів тільки з реактивним опором. Задана потужність трифазного короткого замикання системи  $S_K^{(3)} = 50$  МВА.

Тоді, точка  $K_1$ : При замиканні в цій точці короткозамкнене коло складається лише з джерела живлення (тільки реактивна складова), тому вираз для повного опору у в.б.о. можна записати:

$$Z_{*бс} = x_{*бс}, \quad (2.4.3)$$

$$\rightarrow x_{*бс} = \frac{S_б}{S_K^{(3)}} = \frac{100}{50} = 2 \text{ в. б. о}; \quad (2.4.4)$$

Точка  $K_2$ : При замиканні в цій точці опір короткозамкненого кола складатиметься з опору джерела живлення ( $x_{*бс}$  визначено при розрахунках точки  $K_1$ ) та опору трансформатора Т1 ( $x_{*бТ1}$ ). Обидва елементи мають тільки реактивну складову опору:

$$Z_{*б2} = x_{*бс} + x_{*бТ1}, \quad (2.4.5)$$

Приведення реактивного опору трансформатора до в.б.о.:

$$x_{*бТ1} = \frac{S_б}{S_{ном.Т}} \cdot \left( \frac{U_K^{\%}}{100} \right), \quad (2.4.6)$$

Напряга короткого замикання  $U_K^{\%}$  наведена у п.2:

$$x_{*бТ1} = \frac{100}{6,3} \cdot \left( \frac{7,5}{100} \right) = 1,2 \text{ в. б. о};$$

$$Z_{*б2} = 2 + 1,2 = 3,2 \text{ в. б. о.}$$

## 2.4.2 Розрахунок опорів у в.б.о. для елементів з активним та реактивним опором

Враховувати активну складову опору треба для ліній та малопотужного трансформатора (Т3).

Точки  $K_3 - K_6$ : (При замиканні в цій точці опір короткозамкненого кола складатиметься з опору джерела живлення), опору трансформатора та опору лінії, яка розраховується.

Загальний вираз  $z_{*6\Sigma} = \sqrt{(\sum x_{*6i})^2 + (\sum r_{*6i})^2}$  містить дві суми (активних та реактивних опорів). Розглядаємо їх окремо.

Сума активних опорів складається (в цьому випадку) лише з одного опору – активного опору лінії і-тої лінії, яка розраховується (джерело та трансформатор Т1 активного опору не мають).

$$\sum r_{*6i} = r_{*6Li}, \quad (2.4.7)$$

Значення активного опору у відносних базисних одиницях:

$$r_{*6Li} = r_0 \cdot L_i \cdot \left( \frac{S_6}{U_6^2} \right), \quad (2.4.8)$$

де  $r_0$  – обчислювалось при розрахунках втрат напруги в лініях,  $L_i$  – довжина лінії в км.

$$r_{*6L1} = r_{01} \cdot L_1 \cdot \left( \frac{100}{U_{61}^2} \right) = 4,64 \cdot \left( \frac{100}{6,5^2} \right) = 11,7 \text{ в. б. о};$$

Сума реактивних опорів складається з трьох елементів - реактивного опору джерела, трансформатора Т1 та і-тої лінії, яка розраховується:

$$\sum x_{*6i} = x_{*6c} + x_{*6T1} + x_{*6Li}; \quad (2.4.9)$$

Реактивний опір лінії знаходиться аналогічно активному:

$$x_{*6Li} = x_0 \cdot L_i \cdot \left( \frac{S_6}{U_6^2} \right), \quad (2.4.10)$$

$$x_{*6L1} = x_{01} \cdot L_1 \cdot \left( \frac{100}{U_{62}^2} \right) = 2,08 \cdot \left( \frac{100}{6,5^2} \right) = 5,24 \text{ в. б. о};$$

Тоді:

$$\sum x_{*61} = 2 + 1,2 + 5,24 = 8,43 \text{ в. б. о};$$

Знаходимо повний опір до точки Короткого Замикання:

$$z_{*6\Sigma} = \sqrt{\left(\sum x_{*6i}\right)^2 + \left(\sum r_{*6i}\right)^2}, \quad (2.4.11)$$

$$z_{*6\Sigma1} = \sqrt{(8,43)^2 + (11,7)^2} = 14,42 \text{ в. б. о};$$

Інші лінії розраховуємо за аналогією, результати заносимо в Табл.2.4.1.

### 2.4.3 Визначення струмів та потужностей КЗ

Струм трифазного КЗ визначається відповідним базисним струмом в точці короткого замикання та повним опором у відносних базисних одиницях до точки короткого замикання:

$$I_{ki}^{(3)} = \frac{I_{6i}}{z_{*6i}}; \quad (2.4.12)$$

$$I_{k1}^{(3)} = \frac{I_{61}}{z_{*61}} = \frac{1,57}{2} = 0,8 \text{ кА};$$

Значення інших струмів отримаємо перерахунком відповідного струму короткого замикання:

- струм двофазного КЗ:

$$I_{ki}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{ki}^{(3)};$$

$$I_{k1}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{k1}^{(3)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 0,8 = 0,68 \text{ кА};$$

- миттєве значення ударного струму КЗ:

$$i_{yi} = k_y \cdot \sqrt{2} \cdot I_{ki}^{(3)}, \quad (2.4.13)$$

де  $k_y = 1,8$ .

$$i_{y1} = 1,8 \cdot \sqrt{2} \cdot I_{k1}^{(3)} = 1,8 \cdot \sqrt{2} \cdot 0,8 = 2 \text{ кА};$$

- діюче значення повного струму КЗ:

|     |      |          |        |      |                    |      |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|     |      |          |        |      | ДП ОА-21.05.000 ПЗ | Лист |
|     |      |          |        |      |                    | 48   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    |      |

$$I_{yi} = I_{ki}^{(3)} \cdot \sqrt{1 + 2 \cdot (k_y - 1)^2} = I_{ki}^{(3)} \cdot q, \quad (2.4.14)$$

де  $q = 1,52$ .

$$I_{y1} = I_{k1}^{(3)} \cdot 1,52 = 1,52 \cdot 0,8 = 1,2 \text{ кА};$$

- потужність трифазного КЗ:

$$S_i^{(3)} = \frac{S_{\Sigma}}{z_{\Sigma i}}, \quad (2.4.15)$$

$$S_1^{(3)} = \frac{S_{\Sigma}}{z_{\Sigma 1}} = \frac{100}{2} = 50 \text{ МВА};$$

Інші точки розраховуються аналогічно. Результати обрахунків представимо у вигляді Табл.2.4.1:

Табл.2.4.1 – Розрахунок струмів КЗ

| Точка<br>КЗ $k_i$ | Опір точки $k_i$ |                |                | $U_{\Sigma i},$<br>кВ | $I_{\Sigma i},$<br>кА | $I_k^{(3)},$<br>кА | $S_k^{(3)},$<br>МВА | $I_k^{(2)},$<br>кА | $i_y,$<br>кА | $I_y,$<br>кА |
|-------------------|------------------|----------------|----------------|-----------------------|-----------------------|--------------------|---------------------|--------------------|--------------|--------------|
|                   | $x_{\Sigma i}$   | $r_{\Sigma i}$ | $z_{\Sigma i}$ |                       |                       |                    |                     |                    |              |              |
| 1                 | 2                | 0              | 2              | 36,75                 | 1,57                  | 0,8                | 50                  | 0,68               | 2            | 1,2          |
| 2                 | 1,2              | 0              | 3,2            | 6,3                   | 9,16                  | 3,6                | 31,34               | 2,5                | 7,3          | 4,4          |
| 3                 | 8,43             | 11,7           | 14,42          | 6,3                   | 9,16                  | 0,64               | 7                   | 0,55               | 1,62         | 0,97         |
| 4                 | 4,8              | 1,8            | 5,2            | 6,3                   | 9,16                  | 1,8                | 19,5                | 1,55               | 4,55         | 2,72         |
| 5                 | 3,4              | 0,23           | 3,4            | 6,3                   | 9,16                  | 2,7                | 29,4                | 2,34               | 6,9          | 4            |
| 6                 | 3,7              | 1,04           | 4              | 6,3                   | 9,16                  | 2,4                | 26,3                | 2,1                | 6,14         | 3,7          |

## 2.5 Вибір електричних апаратів

В умовах Коржівського нафтового родовища проводиться вибір наступних електричних апаратів:

- вимикачі на напругу 35 кВ;
- вимикачі на напругу 6 кВ;
- вимикачі на напругу 0,4 кВ.

Для всіх апаратів проводиться 4 перевірки, для вимикачів додатково проводиться перевірка за струмом вимикання:

1. Номінальна напруга апарата ( $U_{н.ап}$ ) має бути рівною, або більшою за напругу мережі ( $U_c$ ):

$$U_{н.ап} \geq U_c$$

2. Номінальний струм апарата ( $I_{н.ап}$ ), має бути рівним, або більшим за робочий чи розрахунковий струм  $I_p$ :

$$I_{н.ап} \geq I_p$$

3. Миттєве значення струму динамічної стійкості апарата ( $i_{дс.ап}$ ), має бути рівним, або більшим за миттєве значення ударного струму КЗ ( $i_y$ ) для точки схеми, де апарат встановлюється:

$$i_{дс.ап} \geq i_y$$

4. Добуток квадрата струму термічної стійкості ( $I_{тс.ап}$ , кА) апарата та його часу дії  $t_{тс}$ , має бути рівним, або більшим за добуток квадрата діючого значення усталеного струму КЗ ( $I_\infty$ ) на приведений час дії КЗ ( $t_{пр}$ ):

$$I_{тс}^2 t_{тс} \geq I_\infty^2 t_{пр}$$

5. Вимикачі високої напруги, що призначені для комутації не тільки струмів навантаження, а й вимикання струмів КЗ, вибираються додатково за здатністю вимикання струмів або потужності КЗ за умови:

$$I_{вим} \geq I_{кi}^{(3)}$$

Результати перевірок заносимо у Табл.2.5.

|     |      |          |        |      |                    |      |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|     |      |          |        |      | ДП ОА-21.05.000 ПЗ | Лист |
|     |      |          |        |      |                    | 50   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    |      |

Табл.2.5 – Вибір електричних апаратів для Коржівського нафтового родовища

| Адреса |        | Функціональне призначення та умовні позначення |                                        | Тип ел.апаратів | Умови вибору електричних апаратів              |       |                                               |       |                                                     |                |                                              |       |                                                                      |                       |
|--------|--------|------------------------------------------------|----------------------------------------|-----------------|------------------------------------------------|-------|-----------------------------------------------|-------|-----------------------------------------------------|----------------|----------------------------------------------|-------|----------------------------------------------------------------------|-----------------------|
|        |        |                                                |                                        |                 | За номінальною напругою<br>$U_{н.ап} \geq U_c$ |       | За номінальним струмом<br>$I_{н.ап} \geq I_p$ |       | За струмом вимикання<br>$I_{вим} \geq I_{кi}^{(3)}$ |                | За ел.-дин стійністю<br>$i_{дс.ап} \geq i_y$ |       | За термічною стійкістю<br>$I_{mc}^2 t_{mc} \geq I_{\infty}^2 t_{пр}$ |                       |
|        |        |                                                |                                        |                 | $U_{н.ап}$                                     | $U_c$ | $I_{н.ап}$                                    | $I_p$ | $I_{вим}$                                           | $I_{кi}^{(3)}$ | $i_{дс.ап}$                                  | $i_y$ | $I_{mc}^2 t_{mc}$                                                    | $I_{\infty}^2 t_{пр}$ |
| 35кВ   |        | Q1                                             | Дж живлення Трансформатор              | С-35М-630/10    | 35                                             | 35    | 630                                           | 103,9 | 10                                                  | 0,7            | 26                                           | 2     | $10^2 \cdot 4$                                                       | $0,7^2 \cdot 0,25$    |
| ВН     | 6 кВ   | Q2                                             | Шина                                   | ВММ-10/400/10   | 10                                             | 6     | 400                                           | 184   | 10                                                  | 2,8            | 25,5                                         | 7,3   | $10^2 \cdot 4$                                                       | $2,8^2 \cdot 0,25$    |
|        |        | Q3                                             | L1                                     | ВММ-10/400/10   | 10                                             | 6     | 400                                           | 3,91  | 10                                                  | 0,64           | 25,5                                         | 1,62  | $10^2 \cdot 3$                                                       | $0,64^2 \cdot 0,25$   |
|        |        | Q4                                             | L2                                     | ВММ-10/400/10   | 10                                             | 6     | 400                                           | 88    | 10                                                  | 1,8            | 25,5                                         | 4,55  | $10^2 \cdot 3$                                                       | $1,8^2 \cdot 0,25$    |
|        |        | Q5                                             | L3                                     | ВММ-10/400/10   | 10                                             | 6     | 400                                           | 88    | 10                                                  | 2,7            | 25,5                                         | 6,9   | $10^2 \cdot 3$                                                       | $2,7^2 \cdot 0,25$    |
|        |        | Q6                                             | L4                                     | ВММ-10/400/10   | 10                                             | 6     | 400                                           | 4,51  | 10                                                  | 2,4            | 25,5                                         | 6,14  | $10^2 \cdot 3$                                                       | $2,4^2 \cdot 0,25$    |
| НН     | 0,4 кВ | Q7                                             | Витратний склад хлористого кальцію КТЦ | A3714Б          | 0,6                                            | 0,4   | 160                                           | 97,5  | -                                                   | -              | -                                            | -     | -                                                                    | -                     |
|        |        | Q8                                             | Склад хімреактивів                     | A3714Б          | 0,6                                            | 0,4   | 80                                            | 50,4  | -                                                   | -              | -                                            | -     | -                                                                    | -                     |
|        |        | Q9                                             | Витратний склад емульгатора ЕС-2       | A3714Б          | 0,6                                            | 0,4   | 80                                            | 67    | -                                                   | -              | -                                            | -     | -                                                                    | -                     |
|        |        | Q10                                            | Лабораторно-побутовий корпус           | A3714Б          | 0,6                                            | 0,4   | 160                                           | 97,5  | -                                                   | -              | -                                            | -     | -                                                                    | -                     |
|        |        | Q11                                            | Каналізаційна насосна станція          | A3714Б          | 0,6                                            | 0,4   | 32                                            | 12,5  | -                                                   | -              | -                                            | -     | -                                                                    | -                     |
|        |        | Q12                                            | Площадка для зберігання НКТ            | A3714Б          | 0,6                                            | 0,4   | 32                                            | 13,5  | -                                                   | -              | -                                            | -     | -                                                                    | -                     |

## Висновки до розділу 2

Для забезпечення потреб Коржівського нафтового родовища в електричній енергії та виконання вимог до надійності електропостачання доцільне застосування двотрансформаторної підстанції з масляними трансформаторами ТМН-400/10 та ТМН-160/10, потужність яких відповідає розрахунковому максимуму навантаження 4951кВА визначеного методом коефіцієнта попиту.

Розподіл електричної енергії по підприємству реалізовано з використанням алюмінієвих проводів А-16 тип та переріз яких було обрано за розрахунковими навантаженнями та з урахуванням умов роботи нафтовидобувного виробництва.

Комутація та захист живлячих ліній реалізована за допомогою вимикачів ВММ-10/400/10 на стороні високої напруги та АЗ714Б на стороні низької напруги, які були обрані у відповідності до номінальних та аварійних режимів.

|     |      |        |        |      |                    |      |
|-----|------|--------|--------|------|--------------------|------|
|     |      |        |        |      | ДП ОА-21.05.000 ПЗ | Лист |
|     |      |        |        |      |                    | 52   |
| Зм. | Арк. | № док. | Підпис | Дата |                    |      |

## РОЗДІЛ 3. СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

### 3.1 Будова та основні характеристики штангових свердловинних насосів

Дослідження технологій із застосуванням п'єзоелектричного активатора проводилось в роботі [22], для подальшого розвитку цієї ідеї доцільно використати отримані раніше результати.

Штанговий насос – це пристрій, призначений для підйому нафти зі свердловини, дія якого ґрунтується на використанні станка-качалки. Основним елементом такого насоса є поршень. Насоси цього типу розраховані на відкачування рідин з нафтових свердловин при температурі не більше 130°C, обводненні до 99% за обсягом, в'язкості до 0,3 Па·с, мінералізації води до 10 г/л, вмісті механічних домішок до 3,5 г/л, вільного газу на прийомі до 25%, сірководню до 50 мг/л і концентрації іонів йоду рН 4,2-8,0 [3, 4].

Штанговий насос має наступну конструкцію:

Свердловинний штанговий насос містить циліндр (1) з всмоктуючим клапаном (2) і розміщений у циліндрі (1) порожнистий плунжер (3) з нагнітальним клапаном (4). Плунжер (3) ділить порожнину циліндра на всмоктувальну порожнину (5) і нагнітальну порожнину (6). Частина (7) всмоктуючої порожнини (5) утворена внутрішньою поверхнею (8) циліндра, що охоплює нижній кінець вересня плунжера (3). Діаметр внутрішньої поверхні (8) циліндра (1) перевищує діаметр зовнішньої поверхні плунжера (3). В стінці нижнього кінця виконані отвори (10) для повідомлення порожнини (11) плунжера (3) з порожниною (5) циліндра (1). Відстань від отворів (10) до поверхонь, що ущільнюються циліндра (1) визначається дослідно-експериментальним шляхом з умови оптимального видалення газу з частини (7) порожнини (5). Поз. (12) на кресленні позначена обсадна труба свердловини, поз. (13) – колона штанг, поєднана з плунжерів (3).

Пристрій працює наступним чином. Після занурення насоса в обсадних колон (12) свердловини його вузли займають положення, показане на кресленні.

Порожнини (5) і (11) повідомлені один з одним за допомогою отворів (10) і заповнені рідиною газонасиченої на величину, яка визначається динамічним рівнем

|     |      |        |        |      |                    |      |
|-----|------|--------|--------|------|--------------------|------|
|     |      |        |        |      | ДП ОА-21.05.000 ПЗ | Лист |
|     |      |        |        |      |                    | 53   |
| Зм. | Арк. | № док. | Підпис | Дата |                    |      |

рідини в свердловині. Газ, що виділяється з рідини, що знаходиться в порожнинах (5) і (11), виходить у насосно-компресорні труби (не показані).

Після включення привода насоса колона штанг (13) з плунжерів 3 піднімаються вгору, нагнітальний клапан (4) закритий, всмоктуючий клапан (2) циліндра (1) відкривається і газонасичена рідина заповнює об'єм порожнини (5), звільняються при ході плунжера вгору. Газ, що накопився у верхній частині порожнини (7), виходить з неї через отвір (10) до тих пір, поки ці отвори не буде перекривати ущільнювальна поверхність циліндра (1).

При ході колони штанг (13) з плунжерів (3) вниз всмоктувальний клапан (2) закривається, нагнітальний клапан (4) відкривається і рідина з порожнини (5) витісняється в порожнину (11) плунжера (3). Наприкінці ходу вниз отвори (9), (10) відкриваються і газ, що накопився в частині (7) порожнини (5), проривається в порожнину (11) плунжера (3) та далі - в насосно-компресорні труби. Далі в процесі зворотно-поступального руху колони штанг (13) з плунжерів (3) цикли повторюються.

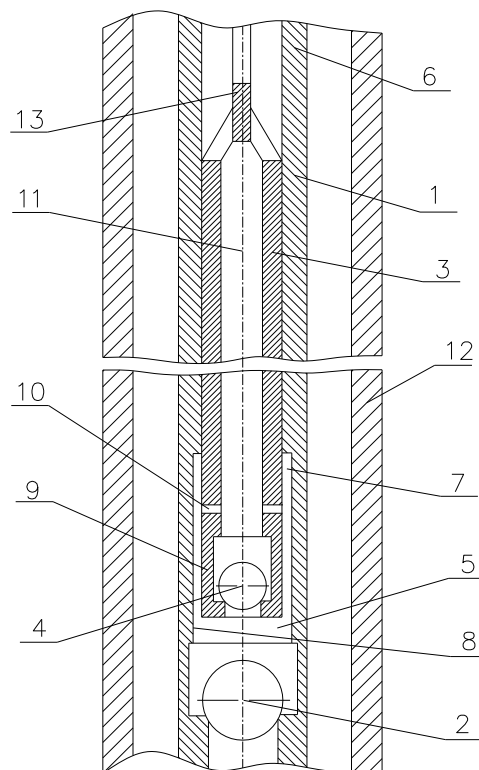


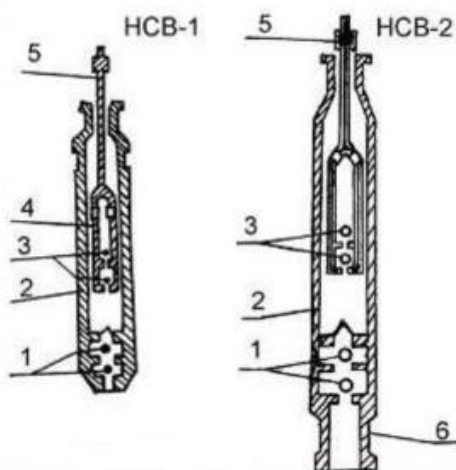
Рис.3.1 – Конструкція штангового насоса

При русі штанги вниз, створюється перепад тиску між при вибійною зоною і верхньою частиною корпусу активізатора. При різниці тиску  $>5$  МПа, пружина стискається і починається відповідно рух плунжера, при цьому нафта стрибком починає рухатись в штанговий насос, тобто створюється депресія у при вибійній зоні.

Існують два основні види штангових насосів: **вставні** та **не вставні (трубні)**.

**Вставні штангові насоси** доцільно використовувати при великій кількості піску у свердловині. Рух піску разом з рідиною відбувається всередині штанг, що унеможливорює потрапляння піщинок у зазор між тертьовими частинами насоса під час роботи або зупинки. Вставний насос опускається у зібраному вигляді (циліндр разом з плунжером) на штангах у труби НКТ (насосно-компресорних труб) і кріпиться в потрібному місці за допомогою спеціальних замкових опор. Замкова опора, яка має гідравлічний або механічний якір, забезпечує герметичне кріплення насоса в муфті колони НКТ і запобігає його зриву. Дістають такий насос також зібраним на штангах. Залежно від місця розташування замка, вставні насоси поділяються на насоси з **верхнім розташуванням замка (НВ1)** та насоси, замок в яких розташовується в їх **нижній частині (НВ2)**.

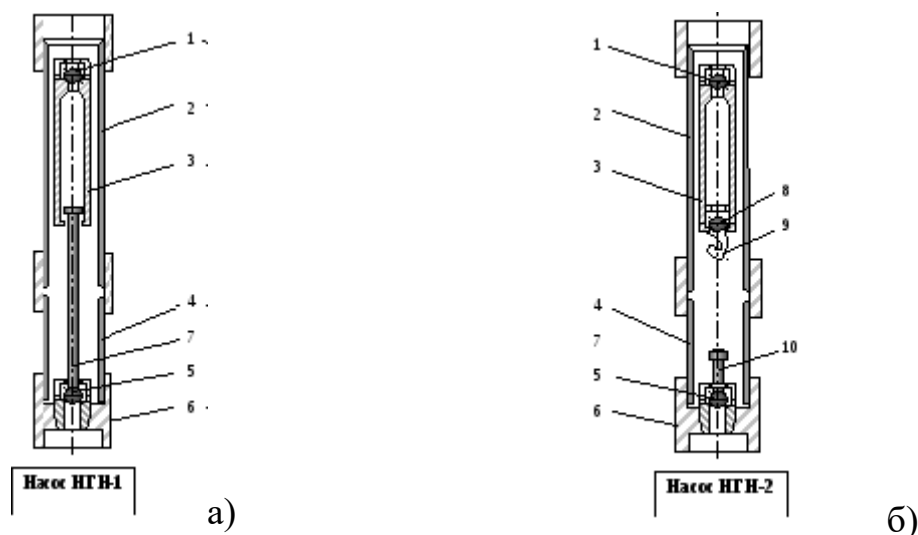
Вставні штангові насоси складаються з таких основних елементів (рис.3.2):



1-всмоктуючий клапан, 2-циліндр, 3-зворотній клапан, 4-плунжер, 5-штанга, 6-замок.

Рис.3.2 – Основні елементи вставного штангового насосу

**Не вставні (трубні) штангові насоси** відрізняються тим, що циліндр вбудований у колону НКТ, і для заміни насоса необхідний підйом усієї колони НКТ. Основні вузли не вставних насосів опускаються в свердловину окремо: циліндр – на НКТ, а плунжер і всмоктуючий клапан – на насосних штангах. Піднімають такий насос також окремо: спочатку плунжер із всмоктуючим клапаном на штангах, а згодом – циліндр на НКТ. Недоліком не вставних насосів є необхідність окремого підйому штанг з плунжером і НКТ з циліндром для ремонту або заміни. Не вставні насоси бувають двох типів: **двоклапанний НГН-1** та **триклапанний НГН-2** (рис.3.3).



а – двоклапанний НГН-1, б - триклапанний НГН-2;

1,8-нагнітальний клапан, 2-циліндр, 3- плунжер, 4-патрубок-подовжувач, 5- всмоктуючий клапан, 6-сідло конуса, 7-шток, 9-фігурний паз, 10- укорочений шток.

Рис.3.3 – Основні типи не вставних штангових насосів

Насос НГН-1 призначений для експлуатації свердловин глибиною до але має недолік у вигляді великого об'єму шкідливого простору. Цей недолік ліквідовано в насосах НГН-2 завдяки встановленню ще одного нагнітаючого клапана в нижній частині.

### 3.2 Основні елементи конструкції штангових насосів

**Циліндри** глибинного насоса можуть бути цілісними, виготовленими з однієї труби (що отримали найбільше поширення у вставних насосах), або зібраними з окремих втулок. Цілісні циліндри виготовляють зі сталі марки 38Х2МЮА. Внутрішня поверхня піддається азотуванню для збільшення твердості та зносостійкості.

Твердість зміцненого шару не менше НКР 80 і НВ 1000 - 1200. Допуск на непрямолінійність осі циліндра до 0,01 мм на 1 м довжини.

Шероховатість внутрішньої поверхні циліндра  $K_d = 0,32$  мкм. На кінцях циліндрів може бути передбачено рифлення для захоплення ключами при збірці-розбиранні насоса.

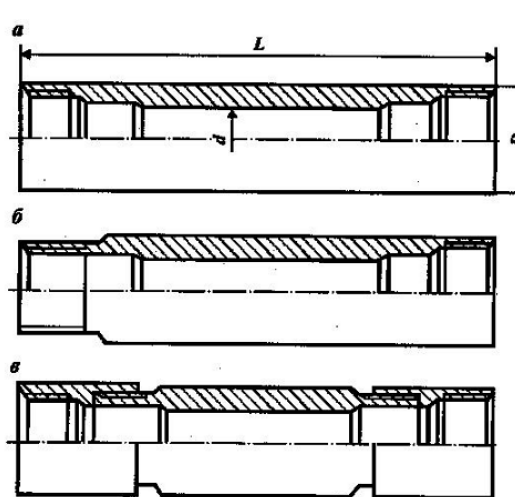


Рис.3.4 – Безвтулочні циліндри

Довжина циліндрів (рис. 3.4, а, б) змінюється від 3300 до 6600 мм в залежності від ходу плунжера відповідно 1200 і 3500 мм, а довжина циліндрів (рис. 3.4, в) - від 6600 до 8700 мм.

Стандарт передбачає випуск циліндрів умовним діаметром 29, 32, 38, 44, 57, 70, 95 мм, при цьому фактичні внутрішні діаметри циліндрів можуть відрізнятися від цих значень, але вони повинні бути кратні 0,05: 28,6-29,0 мм; 32,0-32,4 мм; 38,0-38,4 мм; 43,6-44,0 мм; 56,6-57,0 мм; 69,6-70,0 мм; 94,6-95,0 мм.

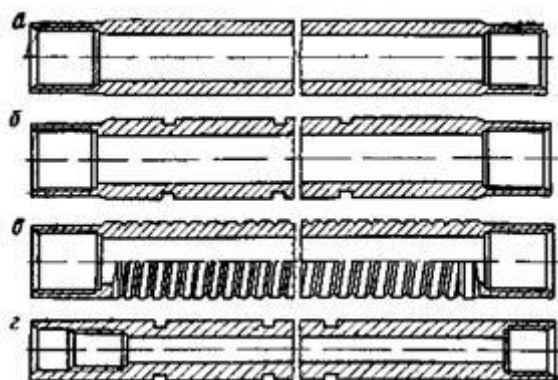
Товщина стінки циліндра становить 6,5 мм для вставних і 6,5-8,0 мм для невставних насосів. Граничне відхилення внутрішнього діаметра циліндра - верхнє +0,03, нижнє - 0,01 мм.

Суцільні циліндри прості і надійні, отже, набули широкого поширення. Однак для їх виготовлення необхідні гарна верстатна база і високі технології, так як до внутрішньої поверхні пред'являються дуже жорсткі вимоги як з точки зору її геометрії, так і зносостійкості.

Циліндри, зібрані з втулок, дешевші у виготовленні, оскільки втулки уніфіковані, але в процесі експлуатації співвісність окремих втулок може порушуватися, що загрожує заклинюванням плунжера.

**Плунжери** виготовляють із цільних сталевих труб. Зовнішню поверхню шліфують, покривають шаром хрому і полірують для підвищення зносостійкості та антикорозійності. Рух плунжера визначається рухом головки балансира станка-качалки.

Випускаються плунжери звичайного типу, з кільцевими канавками, з гвинтовими канавками та **піскобре**. Плунжери з канавками та піскобрей використовуються в піщаних свердловинах, де необхідно забезпечити винос абразиву із зазору або перешкодити його потраплянню.



а- плунжер звичайного типу, б- з кільцевими канавками, в- з гвинтовою канавкою, г- піскобрей

Рис.3.5 – Плунжери

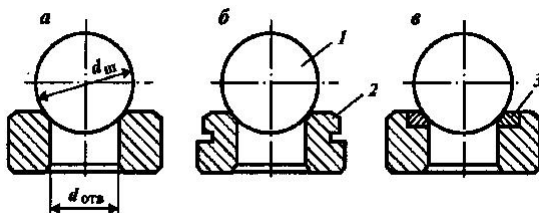
|     |      |          |        |      |
|-----|------|----------|--------|------|
|     |      |          |        |      |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |

Фактичні зовнішні діаметри плунжера повинні бути кратні 0,025 і змінюються в межах 28,5-29,025; 31,9-32,425; 37,9-38,425; 43,5-44,025; 56,5-57,025; 69,5-70,025; 94, 5-95,025.

Зовнішня поверхня плунжера має твердий характер. За певних умов (велика обводненість, малі зазори, велика швидкість відкачування) плівка відкачуваної рідини в зазорі між плунжерів і циліндром починає рватися, тому утворюються місцеві зони сухого тертя і, як наслідок, задираки плунжера. При цьому відкачується рідина, що знаходиться в канавках при русі плунжера, відновлює плівку на внутрішній поверхні циліндра і покращує умови тертя пари плунжер - циліндр. Крім того, при від - хитавиці рідин з механічними домішками частинки, потрапляючи в зазор, збільшують тертя, але, перекочуючись в зазорі, потрапляють в канавки і виходять з контакту.

На працездатність насоса значно впливає зазор між плунжером і циліндром, який змінюється в межах 0,01 - 0,170 мм.

**Клапанні вузли** – це одні з найважливіших вузлів, які включають всмоктувальний та нагнітальний клапани. Основою їхніх конструкцій є пара сідло клапана й кулька.

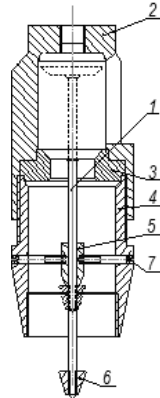


а – тип К, б – тип КБ, в – тип КИ; 1 – шарік, 2 – сідло, 3 – кільце з твердого сплаву

Рис. 3.6 – Пара сідло-шарік

Нагнітальний клапан встановлюється у верхній чи нижній частинах плунжера, а всмоктувальний клапан – у нижній частині циліндра. Клапани типу КІ (з кільцем із твердого сплаву) комплектують абразивостійкі насоси. Чим більший діаметр прохідного отвору сідла, тим менші гідравлічні втрати на клапанному вузлі.

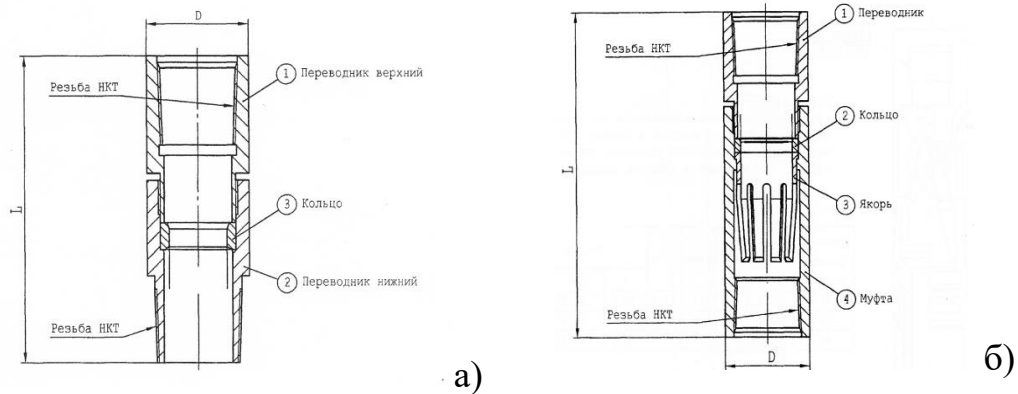
Останнім часом також встановлюють тарілчасті клапани (рис.3.7), які суттєво у (1,2 - 1,45) збільшують пропускну здатність та зменшують гідравлічний опір.



1 – клапан тарілчастий; 2 – обойма; 3 – сідло; 4 – хвостовик; 5 – напрямна; 6 – контрвантаж; 7 – гвинт

Рис.3.7 – Тарілчастий усмоктувальний клапан глибинного штангового насоса трубного типу

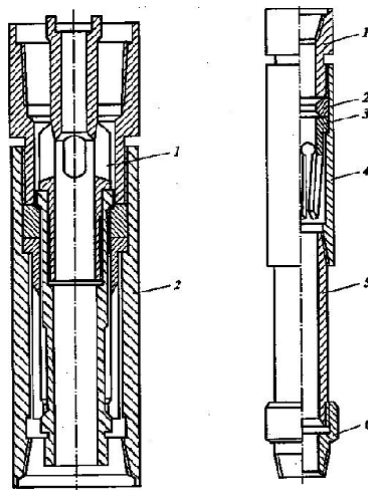
**Замкові опори** механічного типу призначені для закріплення вставних насосів у колоні НКТ. Виготовляються такі замкові опори механічного типу (рис.3.8)



а- Замкова опора НМ ( з якорем на насосі), б- замкова опора ОМ (з якорем на колоні труб НКТ)

Рис.3.8– Замкові опори механічного типу

Передбачено випуск замкової опори пружинного типу як для верхнього, так і для нижнього кріплення насоса. Основними елементами замкової опори (рис.3.9) є пружинний якір 3 та опорне кільце 2.



1,6-перевідники, 2-опорне кільце, 3-пружинний якір, 4-опорна муфта, 5-сорочка.

Рис. 3.9 – Замкова опора

Для підвищення надійності насос може комплектуватися додатковим обладнанням, наприклад, фільтром-заглушкою (для захисту від великих сторонніх предметів), ліфтовим клапаном-відсікачем (для ремонту без глушіння свердловини), скребками-центраторами колони штанг (для очищення труб від парафіну та стирання) та магнітним активатором (для зниження інтенсивності парафіновідкладень і корозії).

### 3.3 П'єзоелектричні елементи та їх використання у нафтовидобувній промисловості

П'єзоелектричні елементи є сучасними технічними пристроями, здатними перетворювати механічну енергію в електричну та навпаки. Їх робота базується на п'єзоелектричному ефекті, який полягає у виникненні електричного заряду в деяких матеріалах під дією механічного навантаження або у зміні геометричних розмірів матеріалу під впливом електричного сигналу.

П'єзоелектричний ефект був відкритий у кристалічних матеріалах, які мають здатність реагувати на зовнішній механічний або електричний вплив. Сучасні п'єзоелектричні елементи виготовляються переважно з п'єзокерамічних матеріалів,

які характеризуються високою чутливістю, міцністю та здатністю працювати у широкому діапазоні частот.

Найбільш поширеними матеріалами для виготовлення п'єзоелементів є кварц, титанат барію та цирконат-титанат свинцю. Такі матеріали мають високу механічну стійкість і можуть працювати в складних умовах, зокрема при впливі вібрацій, температурних коливань і механічних навантажень [6, 7, 8].

П'єзоелектричні елементи широко використовуються в різних галузях техніки. Їх застосовують у датчиках тиску, системах автоматизації, ультразвукових генераторах, медичному обладнанні, вимірювальних приладах та системах контролю. Завдяки здатності створювати високочастотні механічні коливання п'єзоелементи отримали значне поширення у вібраційних і ультразвукових технологіях.

У нафтовидобувній промисловості п'єзоелектричні елементи розглядаються як перспективний засіб підвищення ефективності роботи свердловинного обладнання. Особливий інтерес становить використання п'єзоелектричних активаторів у складі штангових насосних установок.

Під час подачі електричного сигналу п'єзоелемент створює високочастотні механічні коливання, які передаються на елементи насосного обладнання та пластову рідину. Вібраційний вплив сприяє покращенню руху нафти, зменшенню сил тертя та зниженню інтенсивності утворення парафінових відкладень.

Ультразвукові коливання, створювані п'єзоелектричними елементами, здатні руйнувати структуру парафінових утворень та перешкоджати їх осіданню на внутрішніх поверхнях насосно-компресорних труб і робочих деталях насоса. Це дозволяє підтримувати стабільну прохідність труб та покращувати умови роботи насосного обладнання.

Однією з важливих переваг п'єзоелектричних систем є їх компактність і можливість інтеграції в існуючі конструкції штангових насосних установок. Встановлення п'єзоелементів не потребує суттєвої зміни конструкції обладнання, що спрощує процес модернізації.

Використання п'єзоелектричних активаторів дозволяє зменшити навантаження на електропривод насосної установки, підвищити стабільність роботи обладнання та скоротити енергоспоживання. Завдяки зменшенню інтенсивності утворення парафінових відкладень збільшується міжремонтний період роботи свердловини та знижується потреба у проведенні очисних робіт.

Перспективність застосування п'єзоелектричних елементів у нафтовидобутку пов'язана також із розвитком сучасних енергоефективних технологій та автоматизованих систем керування. Використання таких елементів дозволяє поєднати механічний видобуток нафти з сучасними методами вібраційного впливу на пластову рідину та насосне обладнання.

Для умов Коржівського нафтового родовища застосування п'єзоелектричних активаторів є перспективним напрямком модернізації штангових насосних установок. Використання високочастотних коливань дозволяє покращити умови експлуатації насосного обладнання, підвищити ефективність роботи свердловин та зменшити експлуатаційні витрати.

### **3.4 Імплозійний ефект та використання гідродару для впливу на приви́бійну зону пласта**

Одним із перспективних напрямків розвитку технологій інтенсифікації продуктивності нафтових свердловин є застосування методів, що поєднують депресійний та імплозійний вплив на приви́бійну зону пласта. Їхня дія полягає у створенні значного перепаду тисків між окремими зонами свердловини, що спричиняє виникнення інтенсивних гідродинамічних процесів. У результаті такого впливу покращуються фільтраційні характеристики колектора та створюються сприятливі умови для надходження пластових флюїдів до вибою свердловини.

Імплозійний механізм дії характеризується швидким переміщенням рідини в область пониженого тиску з подальшим формуванням короткочасного, але значного імпульсу тиску. Фактично це явище можна розглядати як процес миттєвого стискання внутрішнього об'єму середовища, що супроводжується концентрацією енергії в локальній зоні. У свердловинній практиці подібний ефект отримують

|     |      |          |        |      |                    |      |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|     |      |          |        |      | ДП ОА-21.05.000 ПЗ | Лист |
|     |      |          |        |      |                    | 63   |
| Зм. | Арк. | № докum. | Підпис | Дата |                    |      |

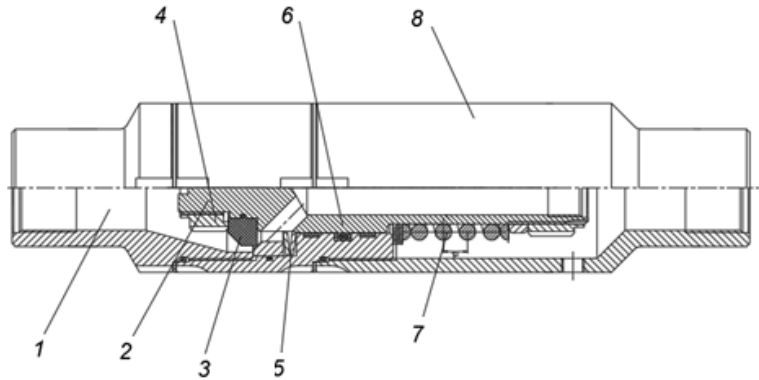
шляхом руйнування спеціальних герметичних елементів або порожнистих конструкцій, занурених у рідинне середовище. У момент втрати їхньої цілісності виникає різкий перепад тиску, який передається навколишньому середовищу та впливає на привибійну частину пласта.

Для утворення тріщин в привибійній зоні пласта достатньо створити тиск, що рівний однократному гірському тиску. Тиск розриву пласта має перевищувати суму пластової і горизонтальної складової гірського тиску.

Одним із найбільш ефективних різновидів імпульсного впливу є використання явища гідравлічного удару. Воно виникає внаслідок миттєвої зміни параметрів руху потоку рідини в замкненій системі, що призводить до формування хвилі підвищеного тиску. У технічних трубопровідних системах такий процес вважається небажаним, оскільки може викликати механічні пошкодження обладнання, деформацію труб та вихід із ладу насосних агрегатів. Саме тому для захисту трубопроводів використовують зворотні клапани, демпфери та інші запобіжні пристрої [6, 14, 15].

У технологіях видобування нафти гідравлічний удар, навпаки, використовується як корисний інструмент стимулювання пласта. Короткочасний імпульс високого тиску забезпечує утворення мікротріщин і розширення наявних каналів фільтрації, що покращує проникність привибійної зони. Поєднання імпульсного впливу та гідроударних процесів сприяє підвищенню продуктивності свердловин, збільшенню дебіту та покращенню умов надходження пластових флюїдів до вибійної частини свердловини.

### 3.5 Опис конструкції об'єкту проектування



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

Рис.3.10 – Вібруючий активізатор штангового насоса

Питання підтримання та відновлення дебіту нафтових свердловин сьогодні залишається одним із ключових завдань нафтовидобувної галузі. Для покращення фільтраційних властивостей привибійної частини пласта застосовують широкий спектр технологічних рішень та спеціалізованого обладнання, спрямованого на усунення забруднень і відкладень у зоні припливу. Реалізація таких заходів дає змогу підвищити ефективність надходження пластового флюїду до свердловини та збільшити обсяги видобутку. Однак більшість існуючих методів використовуються переважно під час проведення капітальних ремонтів. У процесі подальшої експлуатації відбувається повторне накопичення колючих утворень у перфораційних каналах і привибійній зоні, що поступово погіршує умови фільтрації та знижує продуктивність свердловини.

Метою бакалаврської роботи є визначення та обґрунтування конструктивних і робочих параметрів п'єзоактиватора, який монтується на насосно-компресорних трубах у складі штангової насосної установки. Пристрій призначений для здійснення очищення привибійної області пласта під час штатної роботи свердловини без необхідності її зупинки для проведення ремонтно-відновлювальних операцій.

Дія п'єзоактиватора ґрунтується на поєднанні імпульсного гідродинамічного впливу та електрофізичних процесів. Під час роботи штангового насоса в зоні між

|     |      |        |        |      |                    |      |
|-----|------|--------|--------|------|--------------------|------|
|     |      |        |        |      | ДП ОА-21.05.000 ПЗ | Лист |
|     |      |        |        |      |                    | 65   |
| Зм. | Арк. | № док. | Підпис | Дата |                    |      |

насосом і встановленим активатором формується область зниженого тиску, що виникає внаслідок відбору рідини з імпульсійної камери. Різниця тисків між затрубним простором і внутрішнім каналом насосно-компресорних труб викликає відкриття імпульсного клапана, через який пластова рідина інтенсивно надходить до імпульсійного каналу. Одночасно відбувається переміщення стовпа рідини, розташованого над пристроєм, що супроводжується різким збільшенням тиску в інтервалі перфорації. Після досягнення рівноваги тисків клапан швидко перекриває потік, унаслідок чого виникає короткочасний гідравлічний удар. Сформована хвиля підвищеного тиску поширюється у напрямку продуктивного пласта через перфораційні канали, сприяючи руйнуванню та винесенню кольматуючих утворень.

Підсилення ефективності імпульсного впливу забезпечується використанням у конструкції пристрою п'єзоелектричних елементів з високими значеннями п'єзомодуля. Під дією механічних навантажень у цих елементах виникає електричне поле, яке впливає на фізико-хімічні характеристики нафтового середовища. У результаті зменшується в'язкість рідини та покращуються її реологічні властивості, що сприяє більш інтенсивному руху потоку в робочих каналах активатора. Підвищення швидкості переміщення флюїду дозволяє посилити імпульсійний ефект і збільшити ефективність очищення привибійної зони пласта, забезпечуючи стабільніші показники роботи нафтової свердловини.

### **3.6 Визначення кінематичних і силових параметрів імпульсійного гідродудару.**

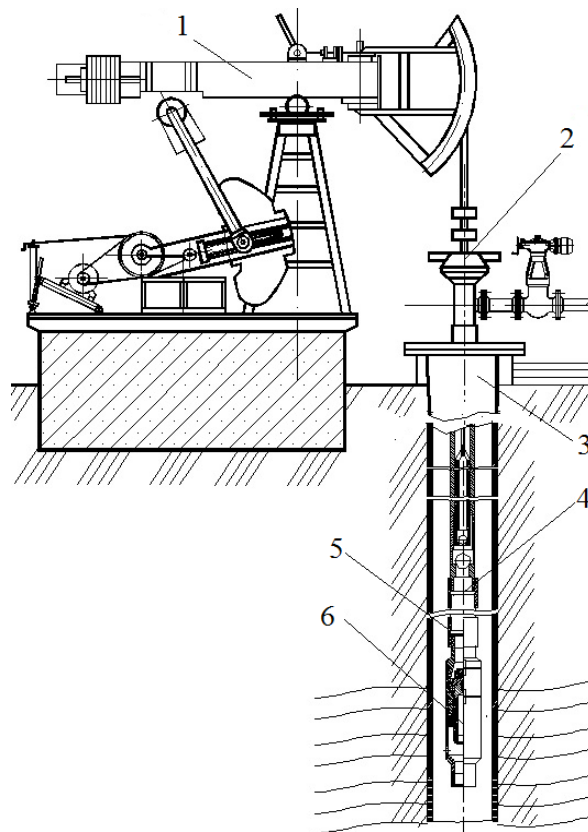
Монтаж п'єзоактиватора здійснюється одночасно зі спуском штангової насосної установки у свердловину, при цьому пристрій встановлюється на колоні насосно-компресорних труб і конструктивно з'єднується з насосом (рис. 3.11). Під час роботи свердловини та відкачування пластової рідини у внутрішній порожнині НКТ між насосом і п'єзоактиватором утворюється область пониженого тиску.

Унаслідок виникнення перепаду тисків між внутрішнім простором труб і затрубною зоною спрацьовує імпульсний клапан пристрою, через який рідина із зони вищого тиску швидко надходить до робочого каналу активатора. Одночасно відбувається інтенсивне переміщення рідинного стовпа, розташованого над пристроєм, що супроводжується короточасним підвищенням тиску в інтервалі перфорації та прилеглий привибійній зоні пласта.

У результаті зазначених процесів формується гідродинамічний вплив, за своїми характеристиками подібний до імпульсний явища, який сприяє руйнуванню та видаленню відкладень, що перешкоджають надходженню пластового флюїду.

Підвищення ефективності такого впливу забезпечується застосуванням у конструкції активатора спеціальних п'єзоелектричних вставок, що характеризуються високими значеннями п'єзоелектричного коефіцієнта. При дії механічних навантажень на ці елементи реалізується прямий п'єзоелектричний ефект, унаслідок якого генерується локальне електричне поле.

Створене електричне поле впливає на фізичний стан пластової рідини, змінюючи міжмолекулярні взаємодії та покращуючи її реологічні характеристики. Це проявляється у зменшенні в'язкості нафти та зростанні її рухливості. Завдяки покращенню текучості збільшується швидкість проходження флюїду через робочий канал пристрою, що додатково посилює імпульсний гідродинамічний вплив і підвищує результативність очищення привибійної зони свердловини.



1 – верстат-гойдалка, 2 – фонтанна арматура; 3 – обсадна колона, 4 – штанговий насос, 5 – НКТ, 6 – п'єзоактиватор.

Рис.3.11 – Схема установки п'єзоактиватора з гідравлічним приводом від штангового насосу

За основний пружний елемент п'єзоактиватора прийнята вита пружина (рис.3.12).

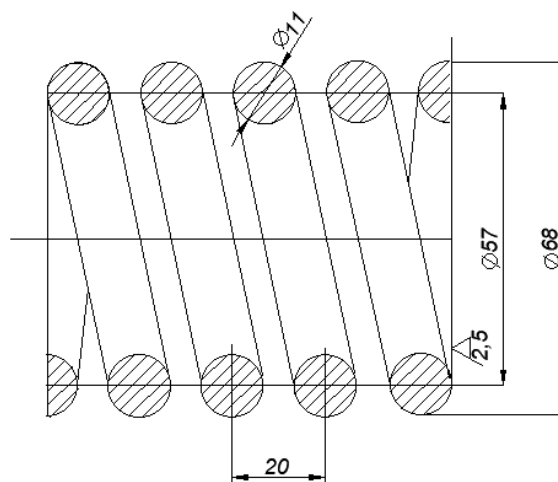


Рис.3.12 – Пружина вита

Конструктивні параметри:

- зовнішній діаметр -  $D_1 = 68$  мм;
- внутрішній діаметр -  $D = 57$  мм;
- діаметр дроту  $d = 11$  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.

Площа перерізу дроту:

$$S_d = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = 95,033 \text{ мм}^2$$

Об'єм дроту:

$$V = L_{\text{п}} \cdot S_d = 716,3 \cdot 4 = 6,807 \cdot 10^4 \text{ мм}^3,$$

де  $L_{\text{п}}$  – довжина розгорнутої пружини  $L_{\text{п}} = l_1 \cdot n = 716,3$  мм.

Маса пружини:

$$m = V \cdot \rho \cdot 10^{-9} = 0,531 \text{ кг},$$

де  $\rho = 7,8 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$  – густина сталі.

Жорсткість пружини:

$$c = \frac{G \cdot d^4}{8 \cdot D^3 \cdot i} = 2,701 \cdot 10^5 \text{ Н/м}.$$

Сила пружини:

$$F(x) = c_{\text{пр}} \cdot x;$$

Енергія опору пружини стиснення:

$$L(x) = \frac{c_{\text{пр}} \cdot x^2}{2};$$

|     |      |          |        |      |                    |      |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|     |      |          |        |      | ДП ОА-21.05.000 ПЗ | Лист |
|     |      |          |        |      |                    | 69   |
| Зм. | Арк. | № докum. | Підпис | Дата |                    |      |

На рис.3.13 наведені поточні значення – характеристики сили опору пружини  $F(x)$  та енергія опору пружини стисненню  $L(x)$ .

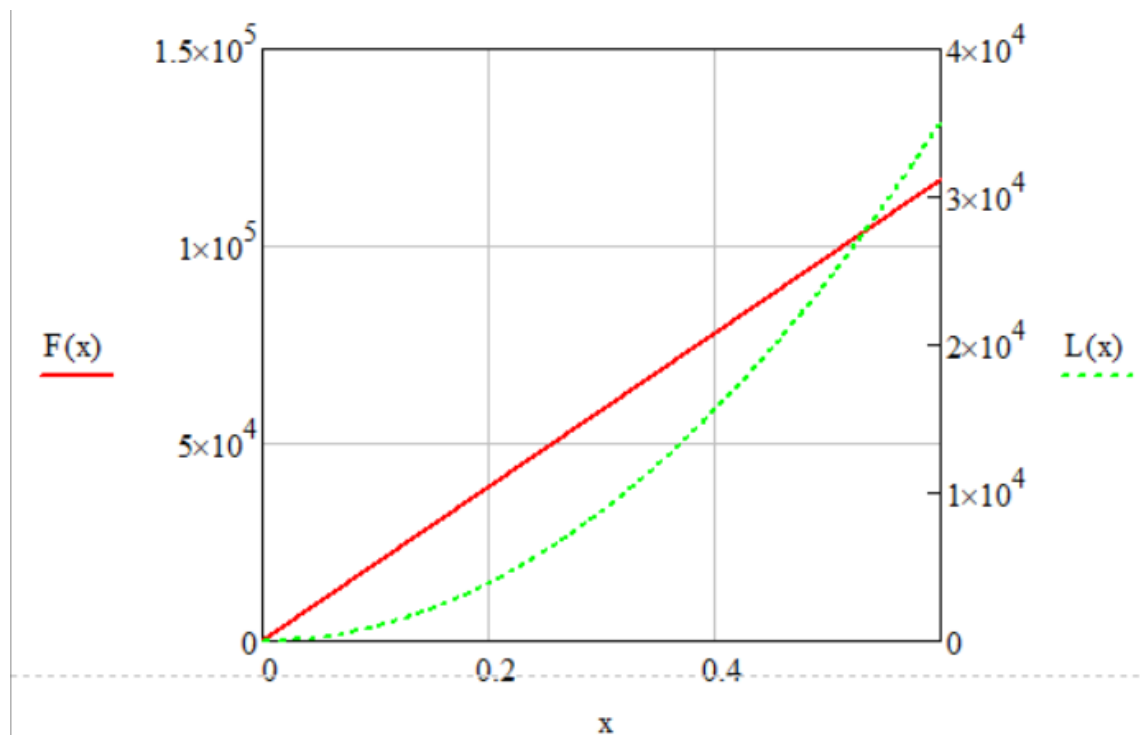


Рис.3.13 – Характеристики сили опору пружини  $F(x)$  та енергії опору пружини стисненню  $L(x)$ .

Залежність, наведена на рис.3.13 дозволяє оцінити механічні властивості пружного елемента п'єзоактиватора.

Крива сили опору демонструє залежність між деформацією пружини та силою, яка виникає у відповідь на стискання. Із зростанням деформації збільшується і сила пружності, що відповідає закону Гука та свідчить про стабільну роботу пружної системи в межах допустимих навантажень. Друга крива відображає накопичення потенціальної енергії в пружині. Оскільки енергія пропорційна квадрату деформації, її зростання відбувається інтенсивніше, ніж зміна сили опору.

Це свідчить про здатність пружини накопичувати значну кількість енергії, яка в подальшому використовується для формування імпульсного впливу на рідину в насосі. Даний графік дозволяє визначити оптимальні параметри пружини, оцінити межі допустимих деформацій, а також проаналізувати запас енергії, необхідний для ефективної роботи п'єзоелектричного активатора.

Отримані результати мають важливе значення для оцінки надійності конструкції, довговічності пружного елемента та стабільності роботи всього насосного обладнання.

Максимальні значення при повній деформації пружини  $x_{max} = 0,03$  м складають  $F(0,03) = 8,103 \cdot 10^3$  Н;  $L(0,03) = 121,552$  Дж.

Швидкість руху рідини в імпульзійному каналі НКТ в залежності від його довжини визначається:

$$w(x) = \phi \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot p_0 \cdot d}{\rho \cdot \lambda \cdot x} \cdot \left(1 - \exp\left(\frac{-\lambda \cdot (x - l_0)}{d}\right)\right)} \cdot 10^3 \frac{\text{м}}{\text{с}},$$

де  $\phi$  – коефіцієнт швидкості, прийнятий для даної конструкції  $\phi = 0,71$ ;  $p_0$  – перепад тиску на клапані, тобто  $p_0 = \Delta p = \frac{F(x_{06})}{S_{\text{кл}}} = 1,13$  МПа, де  $F(x_{06}) = c \cdot x_{06}$ , де  $x_{06} = 0,6 \cdot x_{max} = 0,6 \cdot 0,03 = 0,018$  м,  $S_{\text{кл}} = 4,3 \cdot 10^{-3}$  м<sup>2</sup> – площа клапану;  $\rho = 1000$  кг/м<sup>3</sup> – густина рідини;  $d = 0,059$  м – внутрішній діаметр каналу;  $\lambda = 0,02$  – коефіцієнт гідравлічного опору тертя;  $x$  – довжина імпульзійного каналу;  $l_0 = 0,05$  м – розмір, який характеризує втрати довжини імпульзійного каналу через розташування імпульсного клапану.

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

$$p(x) = w(x) \cdot c \cdot \rho,$$

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

Отримані графіки залежностей швидкості та тиску в рідині в залежності від довжини  $x$  імпульзійного каналу наведені на рис.3.14:

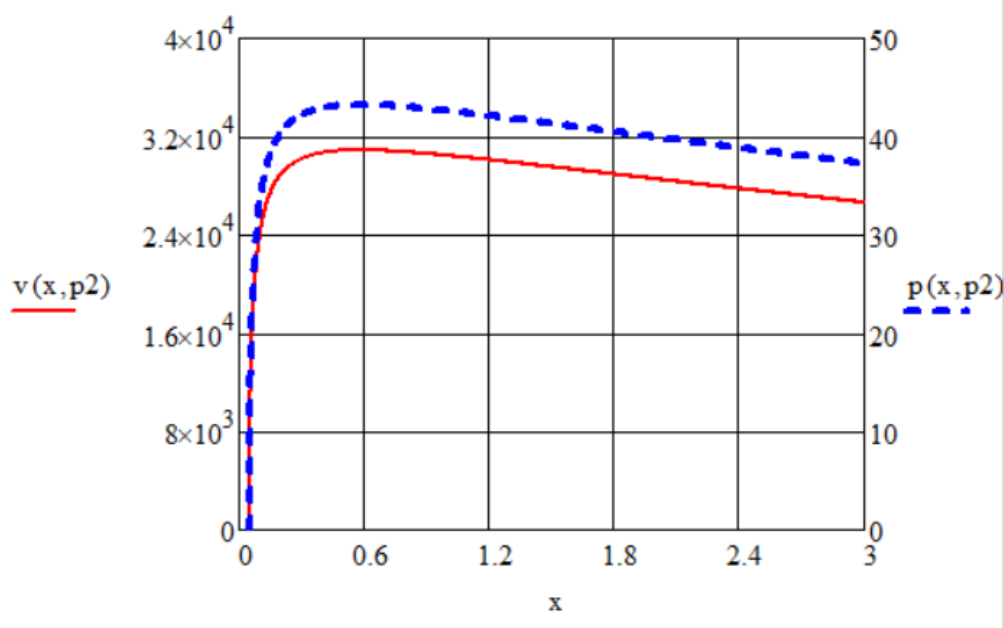


Рис.3.14 – Залежність швидкості імпульсного потоку та підвищення імпульсного тиску від довжини імпульсного каналу

Аналіз рис.3.14, на якому наведені залежності швидкості імпульсного потоку та підвищення імпульсного тиску від довжини імпульсного каналу, дозволяє оцінити гідродинамічні процеси, що виникають у системі під час роботи п'єзоактиватора. Крива швидкості потоку показує, що зі збільшенням довжини каналу швидкість руху рідини поступово зменшується через зростання втрат енергії на гідравлічний опір та тертя. Одночасно спостерігається зміна імпульсного тиску, величина якого безпосередньо залежить від швидкості потоку відповідно до формули Жуковського. При зменшенні швидкості руху рідини знижується і величина імпульсного тиску, який формується в системі.

Графік дозволяє визначити оптимальну довжину імпульсного каналу, за якої забезпечується достатня швидкість потоку та ефективний імпульсний вплив на пласт. Крім того, дослідження цієї залежності дає можливість оцінити ефективність передачі енергії в системі та умови виникнення гідроудару. Результати аналізу безпосередньо впливають на оцінку ефективності очищення привибійної зони та підвищення проникності пласта.

### 3.7 Розв'язок диференціального рівняння коливань та інтерпретація результатів

Маса золотника складає  $m = 3,049$  кг; встановлена жорсткість пружини  $c = 2,701 \cdot 10^5$  Н/м; частота власних коливань пружної системи  $\omega = \sqrt{\frac{c}{m}} = 297,626$  рад/с; прийmemo за усереднений декремент затухання  $\Delta = 1,4$  для гідравлічних систем.

Коефіцієнт дисипації:

$$k = \frac{\ln \Delta \cdot \omega}{\sqrt{4 \cdot \pi^2 + \ln^2 \Delta}} = 15,915$$

Частота затухаючих коливань:

$$k_1 = \sqrt{\omega^2 - k^2} = 297,2 \frac{1}{c}$$

В якості моделі коливального імпульсного процесу прийнята модель Кельвіна-Фойхта (рис.3.15).

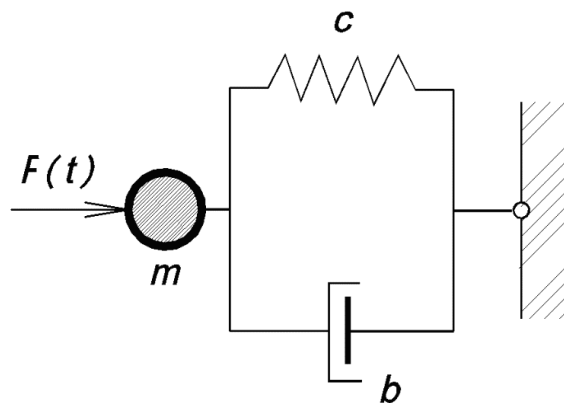


Рис.3.15 – Модель коливального імпульсного процесу

Визначимо чи можливий резонанс. Встановимо ефективну гармоніку:

$n_r = \frac{k_1}{\omega_1} = 236.505$ , де  $\omega_1 = 2 \cdot \pi \cdot f = 1,257$  рад/с, де  $f = \frac{12}{60} = 0,2$  Гц при умові, що штанга насоса здійснює 12 ходів на хвилину, приймається ціле число  $n_r = 237$ , що дає змогу розглядати перехідний процес тільки за один цикл.

Тоді неоднорідне рівняння вироджується в однорідне:

$$x'' + 2kx' + \omega^2 = 0$$

Розв'язок такого рівняння відомий в формі:

$$x = A \cdot e^{-kt} \sin(\omega \cdot t + \varphi_0)$$

де  $\varphi_0 = \frac{\pi}{2}$  – початкова фаза, що приймається умовно;  $A = x_{08} - x_{06} = 6 \cdot 10^{-3}$  – переміщення в межах деформації пружини.

На рис.3.16 наведено графік затухаючих коливань в межах одного циклу плунжерного насоса.

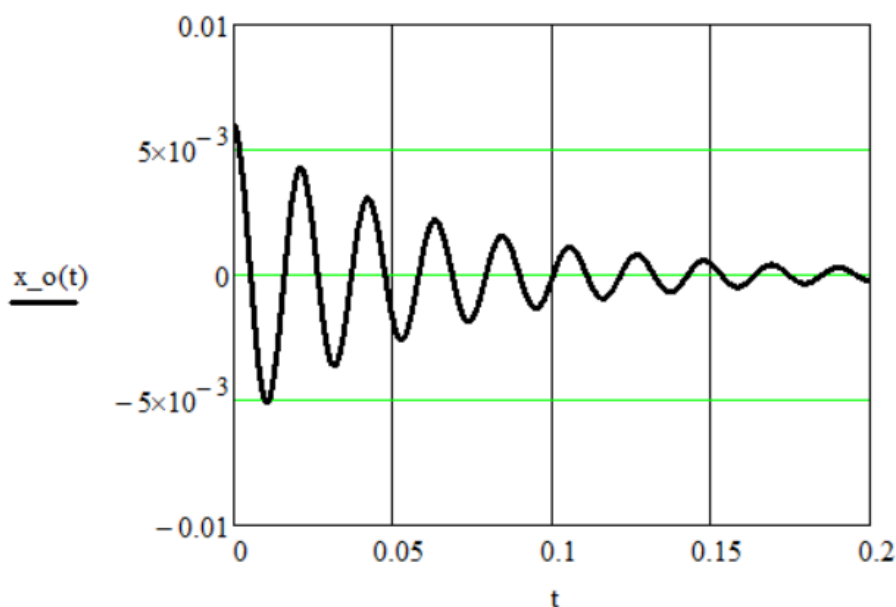


Рис.3.16 - Графік затухаючих коливань в межах одного циклу плунжерного насоса

Залежність, показана на рис.3.16 – графік затухаючих коливань у межах одного циклу плунжерного насоса, дозволяє дослідити динамічну поведінку пружної системи після імпульсного впливу. На графіку видно, що найбільша амплітуда коливань виникає на початковому етапі, після чого вона поступово зменшується внаслідок втрат енергії в системі. Таке затухання пояснюється дією гідравлічного опору, внутрішнього тертя матеріалів та демпфування коливань.

Характер зміни амплітуди дозволяє оцінити ступінь дисипації енергії та швидкість переходу системи до стійкого режиму роботи. Дослідження графіка дає

|     |      |        |        |      |                    |      |
|-----|------|--------|--------|------|--------------------|------|
|     |      |        |        |      | ДП ОА-21.05.000 ПЗ | Лист |
|     |      |        |        |      |                    | 74   |
| Зм. | Арк. | № док. | Підпис | Дата |                    |      |

можливість визначити рівень динамічних навантажень, оцінити вплив коливань на елементи насосного обладнання та спрогнозувати можливий знос деталей при тривалій експлуатації. Особливо важливим є визначення швидкості затухання, оскільки надмірно тривалі коливання можуть викликати підвищену вібрацію та втому матеріалу.

Визначимо параметри частинного розв'язку:

$$N = \frac{a \cdot (\omega^2 - \omega_1^2)}{(\omega^2 - \omega_1^2) + 4 \cdot k^2 \cdot \omega_1^2} = -2,078 \cdot 10^{-3}$$

$$M = \frac{-2 \cdot k \cdot \omega_1 \cdot a}{(\omega^2 - \omega_1^2) + 4 \cdot k^2 \cdot \omega_1^2} = -0,168,$$

де  $\omega_1 = \omega_1 \cdot n_r = 297,823 \text{ рад/с}$ ;  $a = \frac{F(x_{06})}{m} = 1,594 \cdot 10^3 \text{ м/с}^2$ .

Амплітуда вимушених коливань:

$$A = \sqrt{M^2 + N^2} = 0,168 \text{ м},$$

Початкова фаза:

$$\phi_1 = \text{atan}\left(\frac{M}{N}\right) = 1,558 \text{ радіан} = 44,644^\circ,$$

Частинний розв'язок неоднорідного рівняння:

$$x_q(t) = A \cdot \sin(\omega_1 \cdot t + \phi_1)$$

Загальний розв'язок неоднорідного рівняння:

$$x_{\text{но}}(t) = x_0(t) + x_q(t)$$

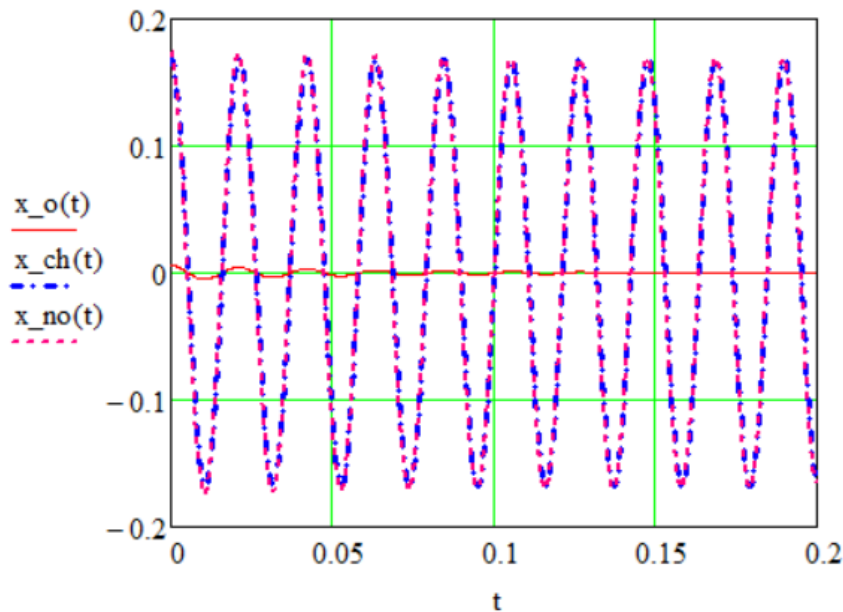


Рис.3.17 – Графік вимушених коливань

Аналіз рис.3.17, на якому наведений графік вимушених коливань, дозволяє оцінити роботу системи під дією зовнішнього періодичного навантаження, яке створюється під час руху штангового насоса. На відміну від затухаючих коливань, у цьому випадку енергія постійно надходить у систему, тому коливальний процес підтримується протягом усього циклу роботи. Графік демонструє зміну амплітуди коливань та особливості встановлення сталого режиму.

Аналіз кривої дозволяє визначити, як частота зовнішнього впливу взаємодіє з власними параметрами пружної системи.

### 3.8 Дослідження умов резонансу в системі п'єзоактиватора

Вхідні параметри:

- $a = 1,594 \cdot 10^3 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$ ;
- $\omega = 297,626 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$ ;
- $k = 15,915 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$ ;
- $\omega_1 = 297,823 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$ ;
- $A = 6 \cdot 10^3 \text{ м.}$

Частотний параметр:

$$q_1 = \frac{\omega_1}{\omega} = 1,0001$$

$$\alpha = \frac{2k}{\omega} = 0,107$$

Визначення резонансних кривих для різних значень частотно-дисипаційного параметру (діапазон зміни частотного параметру  $q = 0,0.001..2$ ):

$$\alpha = 0,107$$

$$A_{11}(q) = \frac{a}{\omega^2 \cdot \sqrt{\alpha^2 \cdot q^2 + (1 - q^2)^2}}$$

$$\alpha = 0,3$$

$$A_{12}(q) = \frac{a}{\omega^2 \cdot \sqrt{\alpha^2 \cdot q^2 + (1 - q^2)^2}}$$

$$\alpha = 0,5$$

$$A_{13}(q) = \frac{a}{\omega^2 \cdot \sqrt{\alpha^2 \cdot q^2 + (1 - q^2)^2}}$$

$$\alpha = 0,7$$

$$A_{14}(q) = \frac{a}{\omega^2 \cdot \sqrt{\alpha^2 \cdot q^2 + (1 - q^2)^2}}$$

Крива максимальних авмплітуд:

$$A_{max}(q) = \frac{a}{\omega^2 \cdot \sqrt{1 - q^4}}$$

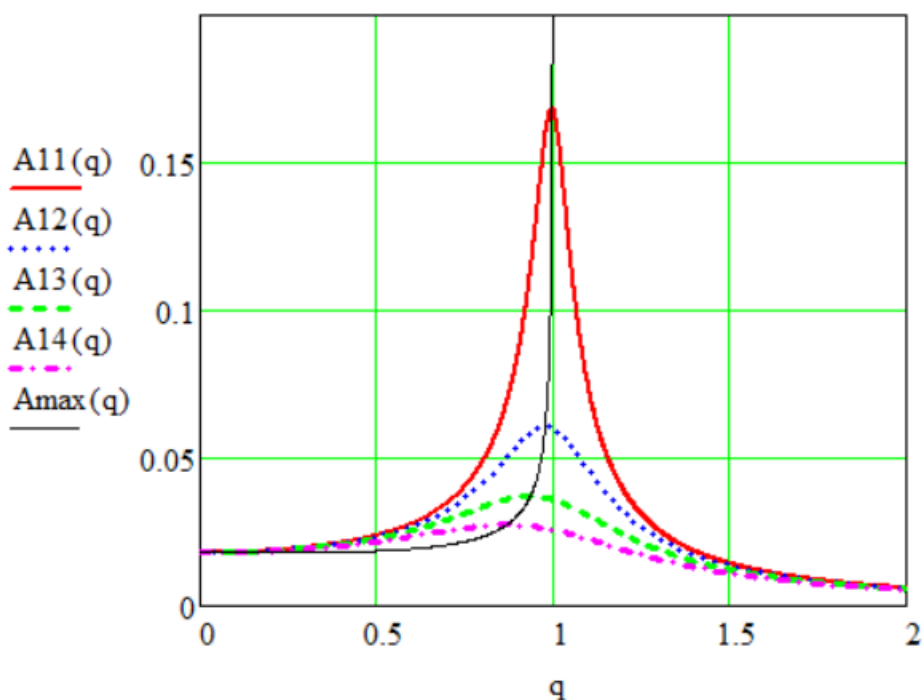


Рис. 3.18 – Графік резонансних кривих

На рис.3.18 наведені графіки резонансних кривих, що дозволяє дослідити залежність амплітуди коливань від частоти зовнішнього впливу при різних значеннях демпфування. На графіку спостерігається різке збільшення амплітуди поблизу резонансної частоти, що свідчить про виникнення резонансного режиму.

При цьому висота резонансного піку залежить від величини дисипації енергії.

Аналіз таких залежностей дозволяє визначити небезпечні режими роботи системи та оцінити ризик виникнення надмірних вібрацій.

Графік також дозволяє оцінити ефективність демпфування та підібрати параметри системи таким чином, щоб уникнути небезпечних режимів експлуатації. Дослідження є корисним для забезпечення надійної та безпечної роботи модернізованого насосного обладнання.

### 3.9 Дослідження динаміки резонансного розгону

Вхідні дані:

- $\alpha = 1,594 \cdot 10^3 \frac{\text{м}}{\text{с}^2};$
- $\omega_1 = 297,823 \frac{\text{рад}}{\text{с}};$

Зміна амплітуди протягом часу:  $t = 0,0001..0,2$  с.

Криві-косинусоїди:

$$x(t) = \frac{-a}{2 \cdot \omega_1} \cdot t \cdot \cos(\omega_1 \cdot t)$$

$$x_1(t) = \frac{-a}{2 \cdot \omega_1} \cdot t$$

$$x_2(t) = \frac{a}{2 \cdot \omega_1} \cdot t$$

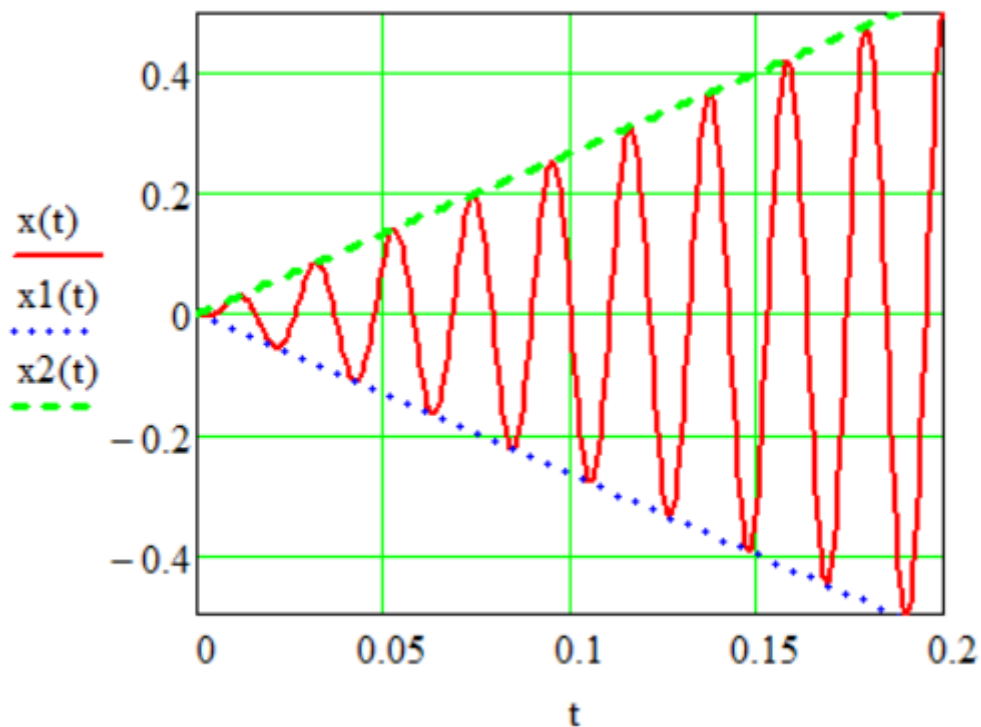


Рис. 3.19 – Графік резонансного розгону

Графік резонансного розгону на рис.3.19, дозволяє дослідити процес поступового накопичення енергії в системі при наближенні до резонансної частоти. На графіку видно, що амплітуда коливань зростає з часом, причому найбільш інтенсивне збільшення відбувається в момент наближення частоти зовнішнього впливу до власної частоти системи.

Це свідчить про виникнення резонансного розгону, при якому система починає накопичувати енергію значно швидше, ніж вона розсіюється.

Аналіз даного графіка дозволяє оцінити динамічну стійкість системи, визначити швидкість розвитку небезпечних коливань та спрогнозувати можливість виникнення аварійних режимів [2, 13].

### Висновки до розділу 3

Розроблена конструктивна схема п'єзоелектричного активатора для поточного очищення привибійної зони пластової системи безпосередньо в процесі експлуатації нафтової свердловини.

П'єзоелектричний активатор за рахунок прямого п'єзоефекту із генерацією електричного поля активізує молекулярну структуру рідини, сприяє зниженню її в'язкості та підвищенню текучості, що, у свою чергу, приводить до зростання швидкості руху рідини в імпульзійному каналі та додатково підсилює імпульзійний вплив.

Встановлено параметри пружного елемента п'єзоелектричного активатора (маса золотника  $m = 3,049$  кг; жорсткість пружини  $c = 2,701 \cdot 10^5$  Н/м; частота власних коливань пружної системи  $\omega = 297,626$  рад/с) та побудовані його силові та енергетичні характеристики.

Отримано характеристики імпульзійного потоку в залежності від довжини імпульзійного каналу що дозволило встановити, що максимальне значення швидкості ( $3,4 \cdot 10^4$  м/с) відповідає довжини імпульзійного каналу (0,3м).

В результаті аналізу графіка резонансних кривих було встановлено, що розглянута система має коефіцієнт дисипації рівний 15,915.

|     |      |          |        |      |                    |      |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|     |      |          |        |      | ДП ОА-21.05.000 ПЗ | Лист |
|     |      |          |        |      |                    | 80   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    |      |

## РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ

### 4.1 Загальні положення охорони праці на нафтовидобувних підприємствах

Нафтогазовидобувна галузь належить до категорії виробництв підвищеної небезпеки, оскільки експлуатація свердловин, електромеханічного обладнання, насосних установок та систем електропостачання супроводжується дією значної кількості небезпечних і шкідливих виробничих факторів. Під час видобутку нафти працівники можуть зазнавати впливу електричного струму, підвищеного рівня шуму та вібрації, загазованості повітря робочої зони, несприятливих метеорологічних умов, рухомих частин машин та механізмів, а також пожежо- та вибухонебезпечних речовин. У зв'язку з цим забезпечення належного рівня охорони праці є одним із головних завдань при проєктуванні, модернізації та експлуатації електромеханічного обладнання Коржівського нафтового родовища [23, 24, 25].

Організація безпечних умов праці на підприємствах нафтовидобувної галузі повинна здійснюватися відповідно до вимог Закону України «Про охорону праці», Кодексу цивільного захисту України, Правил безпечної експлуатації електроустановок споживачів, Правил безпеки в нафтогазовидобувній промисловості та інших нормативних документів. Основною метою охорони праці є збереження життя, здоров'я та працездатності персоналу в процесі трудової діяльності шляхом створення безпечних і нешкідливих умов праці.

Особливу увагу на родовищі необхідно приділяти електромеханічному обладнанню свердловин, до складу якого входять електродвигуни, станки-гойдалки, трансформаторні підстанції, кабельні лінії, системи автоматичного керування та контрольно-вимірювальні прилади. Під час роботи такого обладнання можливе виникнення аварійних режимів, коротких замикань, витоків струму, перегріву електричних машин і механічних пошкоджень рухомих елементів. Усі ці фактори становлять потенційну небезпеку для обслуговуючого персоналу.

У межах даного дипломного проєкту розглядається модернізація штангового насоса шляхом встановлення п'єзоелектричного активатора.

|     |      |          |        |      |                    |      |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|     |      |          |        |      | ДП ОА-21.05.000 ПЗ | Лист |
|     |      |          |        |      |                    | 81   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    |      |

Впровадження нового елемента в технологічну систему потребує детального аналізу питань безпеки праці, оскільки під час монтажу, налагодження та експлуатації п'єзоелектричного активатора можуть виникати додаткові небезпечні фактори, пов'язані з електричною енергією, високочастотними коливаннями та впливом вібрації [19, 20, 23].

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

Під час експлуатації електромеханічного обладнання нафтового родовища працівники можуть зазнавати впливу різноманітних небезпечних і шкідливих факторів виробничого середовища. Одним із найбільш небезпечних факторів є електричний струм. Електродвигуни станків-гойдалок, силові кабелі, трансформаторні підстанції працюють під високою напругою, що створює ризик ураження персоналу електричним струмом у разі пошкодження ізоляції, порушення правил експлуатації або виникнення аварійних ситуацій.

Особливу небезпеку становить робота в умовах підвищеної вологості, яка характерна для нафтових промислів. Волога негативно впливає на стан ізоляції електрообладнання, сприяє виникненню струмів витоку та підвищує ризик електротравматизму. Тому всі електротехнічні установки повинні мати надійне заземлення, захисне відключення та відповідати вимогам електробезпеки.

Значний вплив на організм працівників мають шум та вібрація, які виникають під час роботи насосних агрегатів, редукторів, електродвигунів і станків-гойдалок.

Тривалий вплив шуму може призвести до погіршення слуху, підвищеної втомлюваності, зниження концентрації уваги та нервового напруження. Вібрація негативно впливає на опорно-руховий апарат людини та може викликати професійні захворювання.

Під час видобутку нафти існує небезпека загазованості робочої зони шкідливими та вибухонебезпечними газами. Нафта та супутній нафтовий газ містять вуглеводні, сірководень та інші токсичні речовини. У разі витоку газу можливе отруєння персоналу або виникнення вибуху.

|     |      |        |        |      |                    |      |
|-----|------|--------|--------|------|--------------------|------|
|     |      |        |        |      | ДП ОА-21.05.000 ПЗ | Лист |
|     |      |        |        |      |                    | 82   |
| Зм. | Арк. | № док. | Підпис | Дата |                    |      |

Особливо небезпечним є сірководень, який навіть у невеликих концентраціях негативно впливає на дихальну систему та нервову систему людини.

Додатковим небезпечним фактором є рухомі частини обладнання. Під час роботи станка-гойдалки рухаються балансир, штанги, кривошипно-шатунний механізм та інші елементи. У разі недотримання безпечної відстані або відсутності захисних огорожень можливе травмування працівників.

У процесі модернізації штангового насоса із встановленням п'єзоелектричного активатора необхідно враховувати можливість виникнення високочастотних коливань та локального нагрівання окремих елементів конструкції. Неправильне встановлення або порушення режимів роботи активатора може призвести до перевантаження обладнання та аварійних ситуацій.

#### **4.3 Вимоги електробезпеки під час експлуатації обладнання**

Електробезпека є одним із найважливіших напрямів охорони праці на нафтовидобувних підприємствах. Усі електроустановки Коржівського нафтового родовища повинні відповідати вимогам чинних нормативних документів і забезпечувати безпечну експлуатацію в умовах підвищеної небезпеки.

Для захисту персоналу від ураження електричним струмом необхідно застосовувати комплекс організаційних і технічних заходів. До організаційних заходів належать проведення інструктажів, навчання персоналу, перевірка знань правил безпеки та допуск до роботи лише працівників, які мають відповідну кваліфікацію.

Усі роботи в електроустановках повинні виконуватися за нарядом-допуском або розпорядженням із дотриманням вимог безпечної організації праці.

До технічних заходів належать захисне заземлення, занулення, використання автоматичних вимикачів, пристроїв захисного відключення та ізолюючих засобів. Корпуси електродвигунів, трансформаторів, насосних агрегатів і металевих конструкцій повинні бути надійно заземлені. Опір заземлювального пристрою має відповідати нормативним вимогам.

|     |      |          |        |      |                    |      |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|     |      |          |        |      | ДП ОА-21.05.000 ПЗ | Лист |
|     |      |          |        |      |                    | 83   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    |      |

Особливу увагу необхідно приділяти стану кабельних ліній. Кабелі повинні мати справну ізоляцію, бути захищеними від механічних пошкоджень та впливу агресивного середовища. Забороняється експлуатація електрообладнання з пошкодженою ізоляцією або несправними засобами захисту.

Під час обслуговування п'єзоелектричного активатора необхідно проводити повне знеструмлення системи та перевірку відсутності напруги. Працівники повинні використовувати діелектричні рукавички, інструмент з ізольованими ручками та інші засоби індивідуального захисту.

#### **4.4 Пожежна та вибухова безпека**

Нафтовидобувні підприємства належать до категорії об'єктів із підвищеним рівнем пожежної та вибухової небезпеки, оскільки в процесі видобутку, транспортування та зберігання нафти і супутнього газу використовуються легкозаймисті та вибухонебезпечні речовини. На території Коржівського нафтового родовища експлуатується значна кількість електромеханічного обладнання, насосних агрегатів, силових електроустановок, кабельних мереж та резервуарів, робота яких за певних умов може стати джерелом займання. У зв'язку з цим питання пожежної та вибухової безпеки мають першочергове значення під час експлуатації та модернізації штангового насоса із встановленням п'єзоелектричного активатора.

Основними причинами виникнення пожеж на нафтових промислах є короткі замикання в електричних мережах, перевантаження електродвигунів, пошкодження ізоляції кабелів, перегрів підшипників та рухомих механізмів, утворення іскор під час роботи електрообладнання, порушення герметичності трубопроводів і резервуарів, а також недотримання правил поводження з вогнеонебезпечними речовинами. Значну небезпеку становлять витoki нафти та супутнього газу, які можуть утворювати вибухонебезпечні газоповітряні суміші. За наявності джерела запалювання навіть незначна концентрація вуглеводневих парів здатна спричинити вибух або швидке поширення пожежі.

|     |      |          |        |      |                    |      |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|     |      |          |        |      | ДП ОА-21.05.000 ПЗ | Лист |
|     |      |          |        |      |                    | 84   |
| Зм. | Арк. | № докum. | Підпис | Дата |                    |      |

Особливу небезпеку становить супутній нафтовий газ, який містить метан, пропан, бутан, сірководень та інші горючі компоненти. У разі накопичення газу в замкнених або слабо вентильованих просторах можливе утворення вибухонебезпечного середовища. Крім того, сірководень є токсичною речовиною, яка негативно впливає на організм людини навіть у невеликих концентраціях. Тому на території родовища необхідно постійно контролювати концентрацію шкідливих і вибухонебезпечних газів у повітрі робочої зони за допомогою газоаналізаторів та автоматичних систем контролю.

Пожежна безпека електромеханічного обладнання забезпечується правильним вибором електроапаратури, своєчасним технічним обслуговуванням та дотриманням встановлених режимів експлуатації. Електродвигуни станків-гойдалок, трансформатори та кабельні лінії повинні відповідати умовам експлуатації у вибухонебезпечних зонах. Для цього використовується електрообладнання у вибухозахищеному виконанні, конструкція якого унеможливорює виникнення іскор або небезпечного нагрівання поверхонь.

Усі металеві конструкції, трубопроводи, резервуари та корпуси електрообладнання повинні бути надійно заземлені. Це необхідно для захисту від статичної електрики, яка може накопичуватися під час руху нафти, газу або роботи механізмів. Іскра статичної електрики здатна стати джерелом займання вибухонебезпечної суміші, тому контроль стану заземлювальних пристроїв має проводитися регулярно.

Під час модернізації штангового насоса шляхом встановлення п'єзоелектричного активатора необхідно враховувати додаткові вимоги пожежної безпеки. Монтажні та налагоджувальні роботи повинні виконуватися лише після повного відключення обладнання від джерел живлення та перевірки відсутності вибухонебезпечної концентрації газів у робочій зоні. Усі електричні з'єднання активатора мають бути надійно ізольовані та захищені від впливу вологи, пилу й агресивного середовища. Не допускається експлуатація обладнання у разі пошкодження ізоляції, перегріву або появи сторонніх шумів і вібрацій.

|     |      |        |        |      |                    |      |
|-----|------|--------|--------|------|--------------------|------|
|     |      |        |        |      | ДП ОА-21.05.000 ПЗ | Лист |
|     |      |        |        |      |                    | 85   |
| Зм. | Арк. | № док. | Підпис | Дата |                    |      |

Для запобігання виникненню пожеж на території родовища повинні проводитися регулярні профілактичні огляди обладнання, перевірка стану електричних мереж, очищення механізмів від нафтопродуктів та усунення можливих витоків. Особливу увагу слід приділяти стану вентиляційних систем, оскільки ефективна вентиляція запобігає накопиченню горючих парів і газів у виробничих приміщеннях.

На виробничих об'єктах повинні бути передбачені первинні засоби пожежогасіння. Для гасіння загорянь електрообладнання використовуються порошкові та вуглекислотні вогнегасники, які дозволяють ліквідувати пожежу без пошкодження електричних установок. Також на території повинні бути встановлені пожежні щити, пожежні гідранти, резервуари з водою та ящики з піском. Усі засоби пожежогасіння повинні проходити регулярну перевірку та перебувати у справному стані.

Важливе значення має організація евакуації персоналу у разі виникнення аварійної ситуації. На підприємстві повинні бути розроблені плани локалізації та ліквідації аварійних ситуацій, визначені маршрути евакуації та порядок дій працівників у разі пожежі чи вибуху. Персонал зобов'язаний проходити протипожежні інструктажі та брати участь у навчальних тренуваннях.

У разі виникнення пожежі необхідно негайно зупинити роботу обладнання, відключити електроживлення аварійної ділянки, повідомити пожежну службу та розпочати евакуацію людей із небезпечної зони. Гасіння пожежі повинно здійснюватися відповідно до характеру загоряння та типу обладнання. Забороняється використовувати воду для гасіння електроустановок, які перебувають під напругою, оскільки це може призвести до ураження електричним струмом та поширення аварійної ситуації [24].

#### 4.5 Санітарно-гігієнічні умови праці

Під час експлуатації електромеханічного обладнання важливе значення мають санітарно-гігієнічні умови праці. До основних факторів виробничого середовища належать мікроклімат, освітлення, рівень шуму, вібрації та

|     |      |        |        |      |                    |      |
|-----|------|--------|--------|------|--------------------|------|
|     |      |        |        |      | ДП ОА-21.05.000 ПЗ | Лист |
|     |      |        |        |      |                    | 86   |
| Зм. | Арк. | № док. | Підпис | Дата |                    |      |

загазованості.

На відкритих майданчиках нафтового родовища працівники піддаються впливу несприятливих погодних умов, зокрема низьких температур у зимовий період, сильного вітру та атмосферних опадів. Для забезпечення нормальних умов праці персонал повинен бути забезпечений спеціальним одягом, утепленим взуттям та засобами індивідуального захисту.

Виробничі приміщення повинні мати достатнє природне та штучне освітлення. Недостатня освітленість робочих місць призводить до підвищення втомлюваності та збільшує ризик травматизму. Освітлювальні прилади у вибухонебезпечних зонах повинні бути у вибухозахищеному виконанні.

Для зниження рівня шуму необхідно застосовувати шумоізоляційні матеріали, амортизатори та своєчасно проводити технічне обслуговування обладнання. Працівники, які перебувають у зонах підвищеного шуму, повинні використовувати протишумові навушники або вкладиші.

Особлива увага приділяється вентиляції виробничих приміщень. Система вентиляції повинна забезпечувати видалення шкідливих газів і підтримання допустимих концентрацій небезпечних речовин у повітрі робочої зони.

#### **4.6 Безпека під час монтажу та обслуговування п'єзоелектричного активатора**

Монтаж п'єзоелектричного активатора на штанговий насос пов'язаний із виконанням електромонтажних та механічних робіт. Усі роботи повинні виконуватися відповідно до затвердженої технологічної документації та вимог охорони праці.

Перед початком монтажу необхідно зупинити насосну установку, відключити електроживлення та вивісити попереджувальні плакати про заборону вмикання обладнання. Працівники повинні перевірити відсутність тиску в системі та переконатися у безпечному стані обладнання.

Під час монтажу активатора необхідно використовувати справний інструмент і засоби індивідуального захисту. Особливу увагу слід приділяти герметичності

|     |      |        |        |      |                    |      |
|-----|------|--------|--------|------|--------------------|------|
|     |      |        |        |      | ДП ОА-21.05.000 ПЗ | Лист |
|     |      |        |        |      |                    | 87   |
| Зм. | Арк. | № док. | Підпис | Дата |                    |      |

з'єднань та надійності кріплення пристрою.

Після завершення монтажу проводиться перевірка працездатності системи, контроль параметрів електроживлення та тестування обладнання в робочому режимі. Усі випробування повинні виконуватися під контролем відповідальних осіб.

Під час експлуатації активатора необхідно регулярно проводити технічне обслуговування, перевіряти стан електричних з'єднань, ізоляції та кріпильних елементів. У разі виявлення несправностей обладнання повинно бути негайно виведене з експлуатації до усунення дефектів [23, 26].

#### **4.7 Засоби індивідуального захисту працівників**

Для забезпечення безпечних умов праці працівники нафтового родовища повинні бути забезпечені засобами індивідуального захисту відповідно до характеру виконуваних робіт. До основних засобів захисту належать спеціальний одяг, захисне взуття, каски, рукавички, окуляри, респіратори та засоби захисту органів слуху.

Працівники, які виконують роботи в електроустановках, повинні використовувати діелектричні рукавички, боти та ізолюючі підставки. Для захисту органів дихання від шкідливих газів необхідно застосовувати фільтрувальні або ізолюючі протигази.

Засоби індивідуального захисту повинні проходити регулярну перевірку та випробування. Забороняється використання несправних або пошкоджених засобів захисту.

#### **4.8 Заходи щодо покращення умов праці та підвищення безпеки**

Для підвищення рівня безпеки на Коржівському нафтовому родовищі доцільно впроваджувати сучасні системи автоматизації та дистанційного контролю роботи обладнання. Автоматизація дозволяє зменшити участь людини у небезпечних технологічних процесах та своєчасно виявляти аварійні режими роботи.

|     |      |        |        |      |                    |      |
|-----|------|--------|--------|------|--------------------|------|
|     |      |        |        |      | ДП ОА-21.05.000 ПЗ | Лист |
|     |      |        |        |      |                    | 88   |
| Зм. | Арк. | № док. | Підпис | Дата |                    |      |

Використання п'єзоелектричного активатора сприяє зниженню енергоспоживання та навантаження на механічні елементи штангового насоса, що позитивно впливає на надійність обладнання та зменшує ймовірність аварійних ситуацій.

Важливим напрямом підвищення безпеки є проведення регулярних інструктажів, навчання та тренувань персоналу щодо дій у разі аварійних ситуацій. Працівники повинні знати правила користування засобами захисту, порядок надання першої допомоги потерпілим від електричного струму та дії у випадку пожежі або витоку газу.

#### **4.9 Надання першої допомоги при виробничих травмах та ураженні електричним струмом**

Під час експлуатації електромеханічного обладнання на нафтовому родовищі існує ризик отримання працівниками виробничих травм, опіків, механічних ушкоджень та ураження електричним струмом. Тому важливим елементом системи охорони праці є своєчасне та правильне надання першої домедичної допомоги потерпілим до прибуття медичного персоналу.

У разі ураження людини електричним струмом необхідно насамперед негайно припинити дію струму на потерпілого шляхом відключення електроживлення або відокремлення потерпілого від струмопровідних частин за допомогою сухих діелектричних предметів. При цьому особа, яка надає допомогу, повинна дотримуватися правил особистої безпеки, щоб уникнути власного ураження електричним струмом.

Після звільнення потерпілого необхідно оцінити його стан, перевірити наявність свідомості, дихання та пульсу.

Якщо потерпілий не дихає, слід негайно розпочати серцево-легеневу реанімацію шляхом непрямого масажу серця та штучного дихання до прибуття швидкої медичної допомоги. У разі отримання опіків або механічних травм необхідно накласти стерильну пов'язку та забезпечити потерпілому спокій.

|     |      |          |        |      |                    |      |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|     |      |          |        |      | ДП ОА-21.05.000 ПЗ | Лист |
|     |      |          |        |      |                    | 89   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    |      |

На території Коржівського нафтового родовища всі виробничі ділянки повинні бути забезпечені аптечками першої допомоги, укомплектованими відповідно до встановлених норм.

Працівники підприємства повинні проходити періодичне навчання з надання домедичної допомоги, оскільки своєчасні та правильні дії у перші хвилини після нещасного випадку значно підвищують шанси на збереження життя та здоров'я потерпілого.

#### **Висновки до розділу 4**

В умовах експлуатації Коржівського родовища наявні такі небезпечні та шкідливі виробничі фактори як підвищена загазованість повітря робочої зони вуглеводнями; високий тиск у технологічних мережах та арматурі; вибухопожежонебезпека нафтогазових сумішей; небезпека ураження електричним струмом; рухомі частини обладнання; а також підвищені рівні шуму й вібрації від роботи насосних та компресорних станцій.

З урахуванням вимог вибухо-, електро- та пожежобезпеки сформовано комплекс заходів, що включає в себе впровадження автоматичних систем контролю загазованості; використання обладнання у вибухозахищеному виконанні; надійне заземлення, занулення та блискавкозахист установок; монтаж систем аварійного вимкнення та скидання тиску; забезпечення об'єктів засобами пожежогасіння; суворий контроль за веденням вогневих робіт, а також видачу персоналу антистатичного спецодягу та засобів індивідуального захисту.

Належний рівень організації охорони праці та виконання запропонованого комплексу заходів дає можливість забезпечити безпеку під час видобування нафти.

|     |      |          |        |      |                    |      |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|     |      |          |        |      | ДП ОА-21.05.000 ПЗ | Лист |
|     |      |          |        |      |                    | 90   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    |      |

## ВИСНОВКИ

Проаналізовано сучасного стану експлуатації електромеханічного обладнання нафтових родовищ та виявлення наступні основних проблеми, що впливають на енергоємність процесу видобутку нафти такі як підвищена в'язкість нафти та утворення асфальто-парафінових відкладень під час експлуатації свердловини.

Для організації видобутку нафти в умовах Коржівського родовища штанговим способом раціональним є використання станка-качалки СК6-2.1-2500, фонтанної арматури АФК1, вставних штангових насосів.

Встановлено, що гідроудар в привибійній зони виникатиме при максимальному значенні швидкості потоку ( $3,4 \cdot 10^4$  м/с), що відповідає довжини імпульсійного каналу 0,3 м. Розраховано оптимальні параметри пружини для системи п'єзоактиватора ( $c = 2,701 \cdot 10^5$  Н/м), оцінено межі допустимих деформацій (0,6 м) та визначено коефіцієнт дисипації енергії (15,915), що вказує на те, що резонанс не матиме руйнуючого впливу на роботу електромеханічної системи.

Розроблено комплекс заходів з охорони праці та цивільного захисту при експлуатації оновленого електрообладнання на нафтовому промислі.

|     |      |          |        |      |                    |      |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|     |      |          |        |      | ДП ОА-21.05.000 ПЗ | Лист |
|     |      |          |        |      |                    | 91   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    |      |

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Мойсишин В.М., Дорошенко В.С. Експлуатація нафтових і газових свердловин. – Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2017. – 295 с.
2. ДСТУ EN 60034-30-1:2022. Машини електричні обертові. Класи енергоефективності двигунів змінного струму. – Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2022.
3. Бойко В.С. Розробка та експлуатація нафтових родовищ. – Львів : Новий Світ-2000, 2019. – 472 с.
4. Крижанівський Є.І., Петрина Д.Ю. Технології видобування нафти і газу. – Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2020. – 412 с.
5. Середюк М.Д., Яворський А.В. Трубопровідний транспорт нафти і газу. – Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2021. – 388 с.
6. Нагорний В.П., Денисюк І.І. Імпульсні методи інтенсифікації видобутку вуглеводнів. – Київ : Інститут геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України, 2018. – 214 с.
7. Лістовщик Л.К., Сліденко В.М., Лісовол О.П. Мехатронна система імпульсного впливу на привибійну зону пласта нафтової свердловини // Енергетика, економіка, технології, екологія. – 2016. – № 4(46). – С. 66–71.
8. Кривуля С.В., Бойченко С.В. Електромеханічні системи автоматизації технологічних процесів. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. – 312 с.
9. Бойченко С.В., Мойсеєнко В.В. Основи електромеханічних систем і комплексів. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 286 с.
10. Сліденко В.М., Шевчук С.П. Стабілізація функціонування гірничої машини з імпульсним виконавчим органом : монографія. – Київ : НТУУ «КПІ», 2010. – 192 с.
11. Бойченко С.В., Мойсеєнко В.В. Основи електромеханічних систем і комплексів. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 286 с.
12. Дудля М.А., Бойко В.С. Нафтогазопромислове обладнання : навчальний посібник. – Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2018. – 356 с.

|     |      |          |        |      |                    |      |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|     |      |          |        |      | ДП ОА-21.05.000 ПЗ | Лист |
|     |      |          |        |      |                    | 92   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    |      |

13. Гончар В.Ф., Тищенко Л.П. Електрообладнання і автоматизація сільськогосподарських агрегатів і установок. – Київ : Вища школа, 1989. – 287 с.
14. Патент України на корисну модель № 108621 У. Занурений імпульсійний генератор багаторазової дії / Сліденко В.М., Лістовщик Л.К. – Опубл. 25.07.2016.
15. Патент України на корисну модель № 65391 У. Імпульсійний гідрогенератор / Сліденко В.М. та ін. – Опубл. 12.12.2011.
16. Пат. 121805 Україна, МПК E21B 43/22, E21B 43/27. Спосіб обробки приви́бійної зони пласта / Вахрив А. П., Євсєєв О. В., Гордієнко О. М. ; опубл. 27.07.2020, Бюл. № 14.
17. Рябенко І.С., Мейта О.В. Проектування електропостачання та електрообладнання машин і установок геотехнічних виробництв : навч. посіб. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 244 с.
18. Кочкодан В.Б. Електропостачання промислових підприємств. – Львів : Львівська політехніка, 2018. – 276 с.
19. ДСТУ EN 60034-30-1:2022. Машини електричні обертові. Класи енергоефективності двигунів змінного струму. – Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2022.
20. ДСТУ EN 60204-1:2022. Безпечність машин. Електрообладнання машин. Частина 1. Загальні вимоги. – Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2022.
21. Рябенко І.С., Мейта О.В. Проектування електропостачання та електрообладнання машин і установок геотехнічних виробництв : навч. посіб. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 244 с.
22. Кизима, С. М. П'єзодепресатор штангового насоса за технологічних умов Артюхівського нафтогазового родовища : магістерська дис. : 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка / Кизима Софія Михайлівна. – Київ, 2022. – 73 с.
23. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів. – Київ : Міністерство енергетики України, 2023. – 412 с.

|     |      |          |        |      |                    |      |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|     |      |          |        |      | ДП 0А-21.05.000 ПЗ | Лист |
|     |      |          |        |      |                    | 93   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    |      |

- 24.Правила охорони праці під час розробки нафтових і газових родовищ. – Київ : Держпраці України, 2022. – 168 с.
- 25.Кодекс газотранспортної системи України. – Київ : НКРЕКП, 2023. – 356 с.
- 26.Третьякова Л.Д. Охорона праці в галузі : навчальний посібник. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 235 с.

|     |      |          |        |      |                    |      |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|     |      |          |        |      | ДП 0А-21.05.000 ПЗ | Лист |
|     |      |          |        |      |                    | 94   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    |      |