

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

Навчально-науковий інститут нафти і газу
Кафедра нафтогазової інженерії та технологій
Спеціальність 185 Нафтогазова інженерія та технології

До захисту

Завідувач кафедри
В.О. Сабрик
В.О. Сабрик

МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

на тему: Удосконалення та дослідження обладнання для видобування
нафти

Пояснювальна записка

Керівник

Ст. викладач Міщук Ю.С.
посада, наук. ступінь, ПІБ

Ю.С. Міщук
підпис, дата

Виконавець роботи

Гончаров Ростислав Владиславович
студент, ПІБ

група 601-МН

Ростислав Гончаров
підпис, дата

Консультант за 1 розділом

к.т.н. доц. Михайлюк О.В.
О.В. Михайлюк

посада, наук. ступінь, ПІБ, підпис

Консультант за 2 розділом

к.т.н. Сабрик В.О.
В.О. Сабрик

посада, наук. ступінь, ПІБ, підпис

Консультант за 3 розділом

к.т.н. доц. Костомарова Т.С.
Т.С. Костомарова

посада, наук. ступінь, ПІБ, підпис

Консультант за 4 розділом

к.т.н. Сабрик В.О.
В.О. Сабрик

посада, наук. ступінь, ПІБ, підпис

Дата захисту

24.01.2025р.

Полтава, 2025

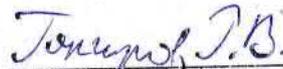
6. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № з/п | Етапи підготовки | Термін виконання |
|-------|---|------------------|
| 1 | Інформаційно-оглядова частина | 14.10-03.11 |
| 2 | Експериментальна частина | 04.11-24.11 |
| 3 | Теоретична частина (Аналітика. Статистика. Моделювання) | 25.11-15.12 |
| 4 | Впровадження результатів досліджень | 16.12-05.01 |
| 5 | Оформлення та узгодження роботи | 06.01-12.01 |
| 6 | Попередні захисти робіт | 13.01-17.01 |
| 7 | Захист магістерської роботи | |

Студент


 (підпис)


 (прізвище та ініціали)

Керівник роботи


 (підпис)


 (прізвище та ініціали)

Навчально-науковий інститут нафти і газу
Кафедра нафтогазової інженерії та технологій
Освітньо-кваліфікаційний рівень: Магістр
Спеціальність 185 Нафтогазова інженерія та технології

(цифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри НГІТ

В.О. Демченко
С.Г. Демченко

“ ” 20 року

ЗАВДАННЯ НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Гончаров Ростислав Владиславович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Удосконалення та дослідження обладнання для видобування нафти

Керівник роботи ст. викладач Міщук Юлія Сергіївна

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

затверджена наказом закладу вищої освіти від “09” 09 2024 року №10/2024

2. Строк подання студентом роботи 24.02.2024 року

3. Вихідні дані до роботи Технічні дані нафти
ВК типу СБМ, Технічні дані нафти
ВК типу СКД, Технічні дані нафти
Верстатів-каміонів типу СК

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1 Вибір та опис технологічного обладнання: 1.1 Розрахунок та вибір основного технологічного обладнання. 1.2 Опис вибраного технологічного обладнання. 2 Опис технічної пропозиції: 2.1 Опис модернізованої конструкції. 2.2 Оцінка економічної ефективності. 3 Дослідно-конструкторська робота. 4 Розрахунок працездатності. 5 Монтаж і експлуатація обладнання: 5.1 Організаційні технічні заходи з монтажу обладнання. 5.2 Експлуатація та ремонт обладнання. 5.3 Охорона праці при монтажі та експлуатації обладнання. Висновки. Список використаної літератури. Додатки

5. Перелік графічного матеріалу

Креслення 3D-модель верстатів каміонів
3D-модель верстатів каміонів
3D-модель верстатів каміонів
3D-модель верстатів каміонів

АНОТАЦІЯ

В бакалаврській роботі розроблені наступні розділи:

1. У розділі “Вибір та опис технологічного обладнання” проведено вибір та інформаційний огляд відомих верстатів-качалок різних конструкцій: балансирних, безбалансирних, балансирних з пневматичним рівноваженням, безбалансирних довгохідних, зарубіжних верстатів-качалок фірми LUFKIN. Проаналізовані штангові свердловинні насоси, які випускаються за стандартами ОСТ 26-16-06-86 й API (специфікація 11АХ), їх конструкції, переваги і недоліки.

2. В розділі “Опис технічної пропозиції” проведено обґрунтування доцільності та економічної ефективності введення запропонованих технічних рішень з модернізації штангового свердловинного насоса, з врахованим економічним ефектом від його впровадження.

3. В розділі “Дослідно-конструкторська робота” проаналізовані при промислових дослідженнях модернізованих штангових свердловинних насосів зміни та лінійні апроксимуючі залежності подачі штангових свердловинних насосів, динаміка видобутку нафти на свердловині.

4. В розділі “Розрахунки працездатності” проведено розрахунки працездатності обладнання штангової свердловинної насосної установки з модернізованим насосом: розрахунок ступінчастих колон насосних штанг; вибір необхідної потужності приводного електродвигуна; розрахунок швидкопасової передачі верстата-качалки; розрахунок оптимального режиму дійсному колони насосно-компресорних труб; розрахунок режиму роботи штангової установки; розрахунок напруженого стану гирлового штока.

5. В розділі “Монтаж і експлуатація обладнання” розглянуто основний комплекс робіт з доставки та монтажу на об’єкті верстата-качалки, а також особливості проведення монтажу штангової свердловинної насосної установки в цілому та порядок дій під час монтажу, зроблено перелік та послідовність робіт при технічному обслуговуванні і поточному ремонті верстатів-качалок. Проведені розрахунки режимів різання при виготовленні трубки.

ЗМІСТ

| | Стор. |
|--|-------|
| Вступ..... | 4 |
| 1. Вибір та опис технологічного обладнання..... | 6 |
| 1.1 Вибір технологічного обладнання | 6 |
| 1.2 Конструктивні особливості верстатів-качалок..... | 8 |
| 1.3 Класифікація свердловинних штангових насосів..... | 13 |
| 2. Опис технічної пропозиції..... | 19 |
| 2.1 Організаційно-технічні заходи щодо підвищення надійності штангових насосів..... | 19 |
| 2.2 Оцінка економічної ефективності..... | 23 |
| 3. Дослідно-конструкторська робота..... | 36 |
| 3.1 Аналіз використання модернізованих штангових свердловинних насосів..... | 36 |
| 4. Розрахунки працездатності..... | 42 |
| 4.1 Розрахунок колони насосних штанг | 42 |
| 4.2 Розрахунки потужності приводного електродвигуна верстата- качалки..... | 44 |
| 4.3 Розрахунок пасової передачі приводу верстата-качалки | 46 |
| 4.4 Розрахунок необхідного режиму підйому колони насосно- компресорних труб | 47 |
| 4.5 Визначення режиму роботи штангової свердловинної установки | 50 |
| 4.6 Розрахунок напруг в гирлову штоку | 51 |
| 5. Монтаж і експлуатація обладнання..... | 52 |
| 5.1 Технологія монтажу штангових свердловинних насосів | 52 |
| 5.2 Експлуатація і технічне обслуговування верстата-качалки | 57 |
| 5.3 Охорона праці | 61 |
| Висновки..... | 65 |
| Список використаної літератури | 67 |

ВСТУП

Актуальність теми.

Сучасними штанговими насосними установками можна видобувати нафту, як правило, з одного або двох пластів з свердловин глибиною до 3500 м з дебітом рідини від кубометра до декілька сотень кубометрів за добу. Верстаткачалка – індивідуальний балансирний механічний привід штангового свердловинного насоса.

Стандарт передбачає випуск двох схем штангових насосів: вставних і невставних. Основна принципова їх відмінність в тому, що циліндр невставного насоса вбудований в колону НКТ і для заміни насоса необхідний підйом колони НКТ. Вставний насос опускається в труби НКТ на штангах і кріпиться в потрібному місці колони за допомогою спеціального фіксуючого пристрою, званого замковою опорою. Застосування вставних насосів значно прискорює ремонт свердловини, оскільки для його зміни потрібний підйом лише штангової колони. В той же час невставний насос значно простіший по конструкції і не вимагає застосування замкової опори. Невставні насоси набули широкого поширення для підйому великих об'ємів рідин з відносно невеликих глибин, вставні ж насоси зручніші в глибоких свердловинах.

Стандарт АРІ (специфікація 11АХ) передбачає випуск штангових насосів класичного типу і типів "нерухомий циліндр - рухомий плунжер" і "нерухомий плунжер - рухомий циліндр", у яких плунжер кріпиться в трубах НКТ, а циліндр, жорстко пов'язаний з штангами, здійснює поворотно-поступальний рух. Насоси можуть бути вставні і невставні. По місцю кріплення вставні насоси можуть бути із замком вгорі і замком внизу. За типом циліндра – з товстостінним і тонкостінним циліндром. За типом плунжера – з металевим плунжером і плунжером з м'яким ущільненням.

В цілому, технологічно доцільнішим є використання насосів, виготовлених по стандарту АРІ – 11АХ, але їх використання вимагає використання муфт, штанг, НКТ, виготовлених по даному стандарту, тобто повного переоснащення

підприємств. в результаті наведеного вище виникає необхідність удосконалення штангових свердловинних насосів для підвищення їх надійності.

Мета роботи. Розроблення організаційно-технічних заходів щодо підвищення надійності штангових свердловинних насосів, виготовлених по стандарту ОСТ, для використання на сучасних нафтогазових підприємствах.

Можливі результати, які очікуються при виконанні роботи. Проведена модернізація дозволить підвищити надійність штангових свердловинних насосів.

Об'єкт дослідження. Процеси руху пластової рідини ступенями штангового свердловинного насоса.

Предмет дослідження. Властивості і характеристики модернізованого штангового свердловинного насоса.

Наукова новизна отриманих результатів.

- проаналізована робота насосів за критеріями: міжремонтний період роботи; об'ємний коефіцієнт корисної дії; збільшення видобутку нафти; коефіцієнт втрати подачі насоса;

- побудовані лінійні апроксимуючі залежності подачі штангових свердловинних насосів.

Апробація роботи. Основні положення магістерської роботи доповідались та обговорювались на 76-й науковій конференції професорів, викладачів, наукових працівників, аспірантів та студентів Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», секція нафтогазова інженерія та технології, м. Полтава, 20.05.2024 р.

Структура й обсяг магістерської роботи.

Магістерська робота складається із вступу, п'яти розділів, загальних висновків, списку використаних літературних джерел, який містить 34 найменування. Основна частина магістерської роботи викладена на 66 сторінках комп'ютерного набору і містить 10 рисунків і 13 таблиць. Повний обсяг магістерської роботи становить 69 сторінок.

1 ВИБІР ТА ОПИС ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ

1.1 Вибір технологічного обладнання

Конструкція свердловини (кількість опущених колон, глибини їх спуску і умовний діаметр) приведена у табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Конструкція свердловини

| Назва колони | Умовний діаметр, мм | Глибина спуску, м |
|-----------------------|---------------------|-------------------|
| Кондуктор | 245 | 300 |
| Технічна колона | - | - |
| Експлуатаційна колона | 146 | 1950 |

Свердловина вертикальна. Експлуатаційна колона опресована до глибини 1798 м на тиск 12,5 МПа.

Експлуатаційна колона є одноступеневою, її конструкція:

Умовний діаметр колони, мм 146

Товщина стінки, мм 10,7

Марка сталі Д

Інтервал перфорації 1884 ÷ 1885 м. Штучний вибій даної свердловини знаходиться на глибині 1914 м.

Дебіт свердловини складає 13,5 м³/добу, продукція свердловини – нафта.

Підбір основного глибинонасосного обладнання

Вихідні дані:

дебіт свердловини $Q = 12$ т/добу або $13,5$ м³/добу;

питома вага нафти $\gamma = 0,89$ т/м³;

$L = 1400$ м – глибина спуску вставного насоса НГВ1.

За допомогою діаграм визначаємо тип верстата-качалки. Даним умовам (продуктивність свердловини Q , глибина видобутку L , тип привода – балансирний верстат-качалка) відповідає верстат-качалка СКБ6-1,5-1600 з

діаметром плунжера глибинного насоса $d_{пл} = 28$ мм та ходом головки балансира, який необхідний для забезпечення заданого дебіту, $S = 1,5$ м.

Верстат - качалка СКБ6-1,5-1600, має такі показники:

хід головки балансира $S = 0,6; 0,9; 1,2; 1,5$ м;

кількість коливань за хвилину $n = 5, 9, 14$ хв⁻¹.

Враховуючи те, що діаметр плунжера насоса складає $d_{пл} = 28$ мм, вибираємо діаметр насосних труб $d_{умовн} = 60$ мм.

Діаметр насосних штанг і група міцності сталі залежать від діаметра плунжера насоса і глибини його роботи. Колона штанг буває одно-, двох- та трьохступінчастою, залежно від глибини видобутку нафти.

В заданих умовах приймаємо двохступінчасті вуглецеві насосні штанги. Довжина штанг діаметром 19 мм – 476 м (34 %), а довжина штанг діаметром 16 мм – 924 м (66 %).

Довготривала робота верстата-качалки для отримання заданого дебіту $Q = 13,5$ м³/добу буде при використанні довжини ходу 1,5 м, потрібно підібрати кількість подвійних ходів. Теоретична продуктивність насоса діаметром 28 мм при $\eta = 0,75$ приймається для розглядуваних у магістерській роботі верстатів-качалок:

$$Q_T = \frac{Q_\phi}{\eta} = \frac{13,5}{0,75} = 18 \text{ м}^3 / \text{добу} \quad (1.1)$$

Кількість качань верстата-качалки дорівнює:

$$n = n_{\max} \cdot \frac{Q}{Q_{\max}} = 15 \cdot \frac{18}{19,3} = 13,98 \text{ хв}^{-1} \quad (1.2)$$

де Q_{\max} – найбільша можлива продуктивність свердловинного насоса НГВ-1, що застосовується для видобування пластових флюїдів. При невідповідності необхідної довжини або частоти ходів зазначеним числам, то беруть усереднене значення між найближчими більшим та меншим числом.

На швидкохідному валу електродвигуна встановлюємо шків діаметром:

$$d_0 = \frac{n \cdot d_p \cdot i}{n_0} = \frac{13,98 \cdot 560 \cdot 39,924}{1500} = 208,37 \text{ мм} \quad (1.3)$$

де d_p - діаметр шківа редуктора, приймаємо $d_p = 560$ мм;

i - передаточне число редуктора, для редуктора Ц2НШ-450 передаточне число $i = 39,924$.

1.2 Конструктивні особливості верстатів-качалок

Штангові насосні установки видобувають нафту з одного або двох пластів, при цьому глибина свердловин до 3500 м, а дебіт – від 1 м³ до декількох сотень м³ за добу. Використовуються верстати-качалки (рис. 1.1), що представляють собою індивідуальний балансірний механічний привід глибинного насоса.

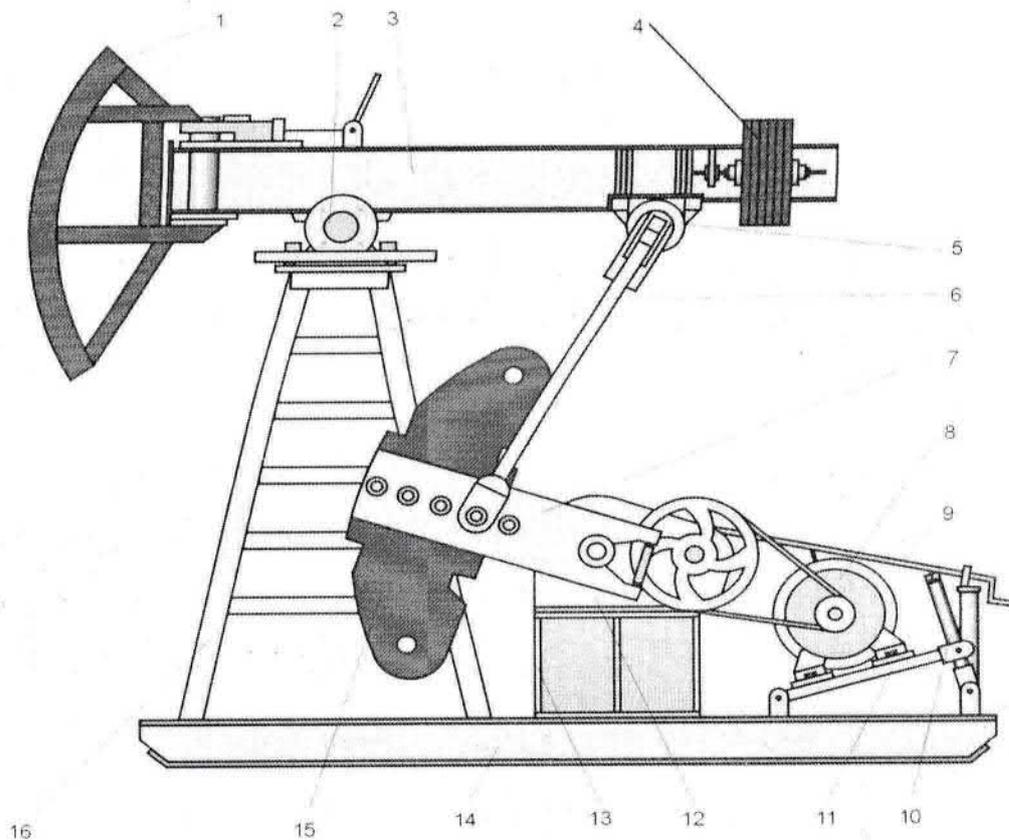


Рисунок 1.1 – Балансірний верстат-качалка

В даний час на промислах експлуатують верстати-качалки типу СК, СКН, СКД, ПШГН і румунського виробництва типу УР ("Вулкан").

Таблиця 1.2 – Технічна характеристика верстатів-качалок типу СК

| Параметр | 4СК3 1.2–700 | 6СК6 2.1–2500 | 7СК8 3.5–4000 | 7СК12 30–5600 |
|---|-----------------|------------------|------------------|------------------|
| Номінальне навантаження (на устьовому штоці), кН | 30 | 60 | 80 | 120 |
| Номінальна довжина ходу устьового штока, м | 1.2 | 2.1 | 3.5 | 2.5 |
| Номінальний крутний момент (на вхідному валі редуктора), кН·м | 7 | 25 | 40 | 40 |
| Число ходів балансира в хвилину | 5...15 | 6...15 | 5...12 | 5...12 |
| Маса, кг | 3270 | 8025 | 13540 | 13240 |

Таблиця 1.3 – Технічна характеристика ВК типу СКД

| Параметр | СКД – 3 - 1.5 –710 | СКД4 - 2.1– 1400 | СКД6 - 2.5– 2800 | СКД8 - 3.5– 4000 | СКД10 – 3.5- 5600 | СКД1 2 – 3.0– 5600 |
|---|--------------------------|------------------------|------------------------|---------------------------|-------------------------|-----------------------------|
| Номінальне навантаження (на устьовому штоці), кН | 30 | 40 | 60 | 80 | 100 | 120 |
| Номінальна довжина ходу устьового штока, м | 1.5 | 2.1 | 2.5 | 3.0 | 3.3 | 3.0 |
| Номінальний крутний момент (на вхідному валі редуктора), кН·м | 7.1 | 14 | 28 | 40 | 56 | 56 |
| Число ходів балансира в хвилину | 5...15 | 5...15 | 5...14 | 5...14 | 5...12 | 5...12 |
| Маса, кг | 3270 | 6230 | 7620 | 11600 | 12170 | 12065 |

Також мають широке застосування безбалансирні верстати – качалки (рис. 1.2), в яких балансир з шатуном замінюється гнучкою підвіскою (канатом), що перекинутий через шків. До кривошипа приєднується один кінець каната, другий приєднується до гирлового штока. Гнучка ланка з декількох канатів з'єднує кривошпи редуктора з траверсою, до неї підвішений гирловий шток. Для зрівноваження приводу використовуються кривошпи Y – подібної форми.

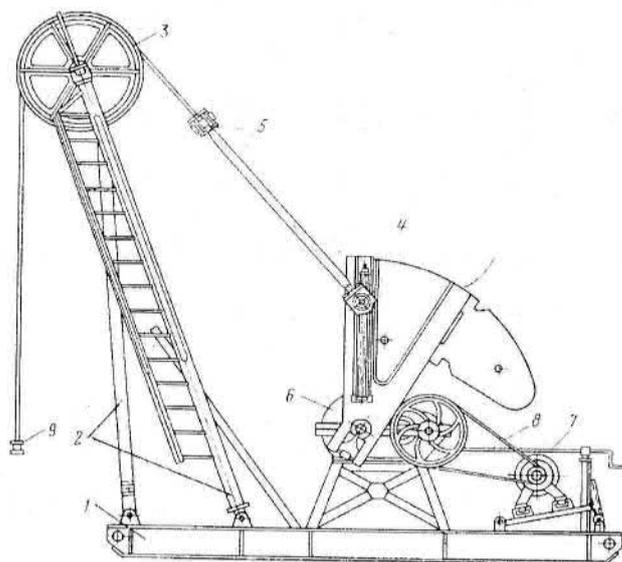


Рисунок 1.2 – Безбалансирний верстат-качалка

Таблиця 1.4 – Технічна характеристика ВК типу СБМ

| Параметр | СБМ3 – 1.8 – 700 | СБМ6 – 3 – 2500 | СБМ12 – 5 – 8000 |
|--|---------------------|--------------------|---------------------|
| Найбільше допустиме навантаження в точці підвісу штанг, Н | 300 | 600 | 1200 |
| Довжина ходу точки підвісу штанг, мм | 450...1800 | 900...3000 | 2000...5000 |
| Найбільший допустимий крутний момент на веденому валі редуктора, Н·м | 70 | 250 | 800 |
| Число коливань в точці підвісу штанг, хв ⁻¹ | 5...15 | 6...15 | 5...10 |

Зараз використовуються безбалансирні верстати – качалки типу СБМ (табл. 1.4). Вони дозволяють збільшувати довжини ходу штока та покращують умови роботи колони штанг та вузлів редуктора.

Крім того відомі верстати-качалки закордонних фірм. Американська фірма LUFKIN випускає 8 типів верстатів-качалок для задоволення всіх монтажних вимог і специфічних характеристик експлуатованих свердловин. Всі відомі верстати – качалки даної фірми мають атестат API (Американський Нафтовий Інститут), а це вказує на те, що верстати-качалки відповідають діючому стандарту.

Верстат – качалка із збалансованим кривошипом фірми LUFKIN простий в експлуатації, вимагає мінімального обслуговування. Він по конструкції з двохопорною базою, встановлюється на передньому і задньому бетонних блоках.

У верстаті – качалці з пневматичним зрівноваженням використовується у противагах стиснуте повітря, а це сприяє точнішому контролю зрівноваження. Вага всієї установки знижується, зменшуються транспортні та монтажні витрати.

Реверсивний верстат – качалка фірми LUFKIN – це покращений варіант, геометрія якого дозволяє зменшити крутний момент та споживану потужність, а також використовуються редуктор і двигун менших розмірів.

Також спроектований верстат – качалка для похилих свердловин спроектований і застосовується для відкачування нафти з свердловин із відхиленням ствола від вертикалі 45° . Їх виготовляють з багатьох стандартних деталей загальноприйнятого верстата.

Збільшення довжини ходу штанг проводиться приводом із гнучким зв'язком колони штанг та із використанням зрівноважувального вантажу. Сталева ферма встановлюється на гирлі свердловини; на верхній її площадці встановлюється привідний двигун із редуктором. Під час підземного ремонту установка верстата-качалки відкочується на рейках в сторону та звільняє місце для агрегату виконання підземного ремонту.

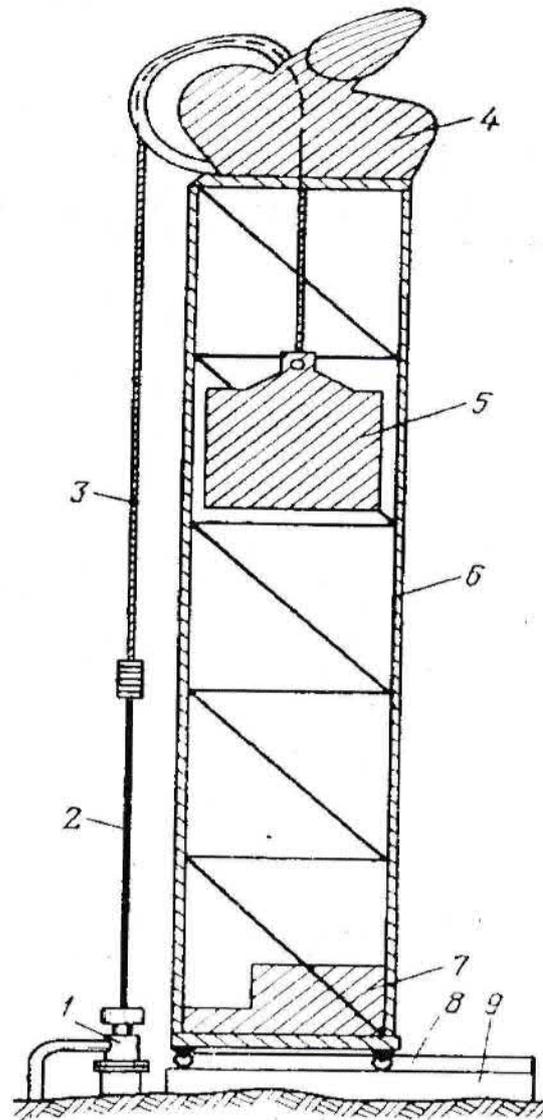


Рисунок 1.3 – Безбалансирна довгохідна установка

Крім того, у приводі балансного верстату-качалки також використовується пневматичне зрівноваження, балансир виготовляється як одноплечий важель. Для пневматичного зрівноваження використовується циліндр, в якому здійснюється зміна об'єму і тиску повітря. Поршень циліндра зв'язаний з балансиrom верстата-качалки. Така конструкція приводить до зменшення маси установки, покращує умови роботи редуктора.

За конструкцією зрівноважувальний пристрій представляє собою ресивер, циліндр, поршень зі штоком, гідравлічний затвор. Кожух зрівноважувального пристрою застосовується в якості ресивера. Повітря в ресивері під початковим тиском понижується під час переміщення балансира вниз. При цьому

накопичується потенціальна енергія, що віддається при ході балансира вгору.

Пневматичне зрівноваження використовується на потужних установках. Але має свої недоліки: складність, невелика надійність, потреба у ретельному нагляді. Перевагами пневматичного зрівноваження є: можливість експлуатації глибоких свердловин порівняно легкими верстатами-качалками, простота зрівноваження при заміні режиму роботи установки.

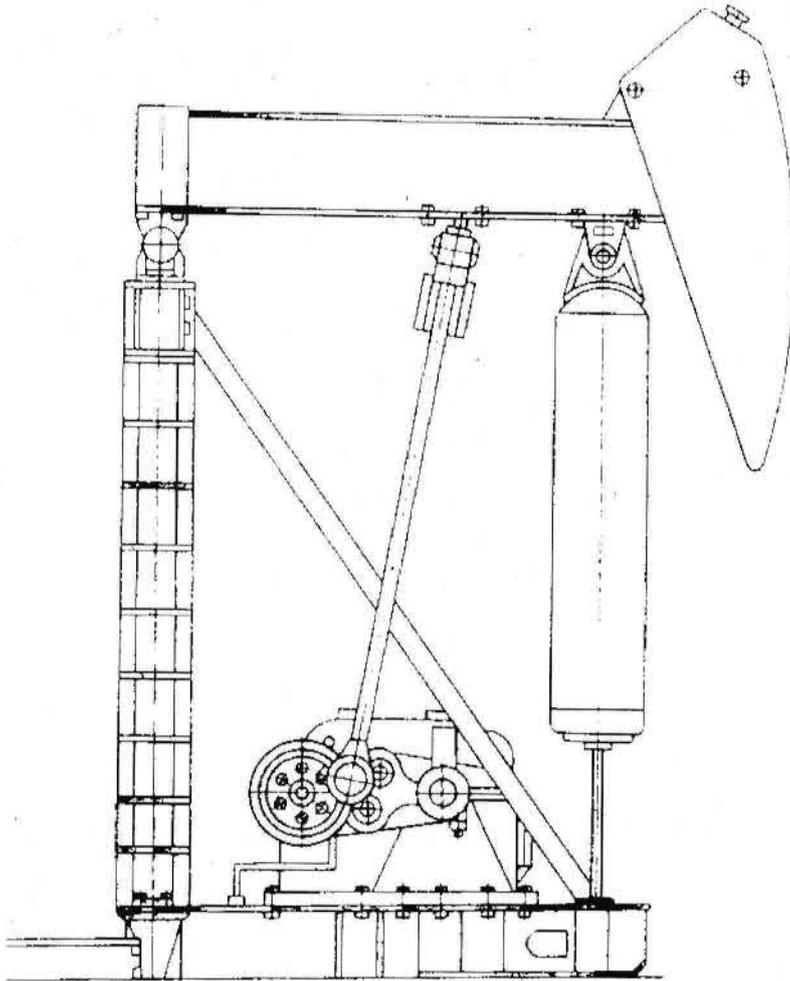


Рисунок 1.4 – Балансирний верстат-качалка з пневматичним зрівноваженням

1.3 Класифікація свердловинних штангових насосів

Свердловинні штангові насоси використовуються для відкачування рідин з температурою менше 130 °С, обводненістю менше 99 %, в'язкістю менше

0,3 Па·с, мінералізацією води менше 10 г/л, вмістом механічних домішок менше 3,5 г/л, вільного газу на прийомі менше 25 %, сірководню менше 50 міліграма/л і концентрацією іонів водню рН 4,2-8,0. Використовуються дві схеми насосів: вставні та невставні. Вони відрізняються тим, що вставний насос опускається в насосно-компресорні труби, а циліндр невставного насоса вбудований в насосно-компресорні труби. Для заміни невставного насоса потрібно піднімати колону насосно-компресорних труб. Використання вставних насосів прискорює ремонт свердловини, тому що при його заміні піднімається колона штанг, використовуються вони в глибоких свердловинах. В той же час невставний насос значно простіший по конструкції і не вимагає застосування замкової опори. Невставний насос поширений на невеликих глибинах при підйомі великих об'ємів рідини.

Випускаються насоси наступних типів: НВ1 – вставний із замком зверху, НВ2 – вставний із замком знизу, НН – невставний без якоря, НН1 – невставний із використанням захватного штоку, НН2 – невставний із якорем.

У насосів НВ1 кріплення виконується у верхній частині, а у насосів НВ2 кріплення виконується у нижній частині, що застосовується під час експлуатації глибоких свердловин, але небажано застосування при вмісті в рідині великої кількості механічних домішок. При видобуванні нафти з великим вмістом механічних домішок застосовується верхнє кріплення на невеликих підвісках.

Вузол всмоктуючого клапана невставного насоса є знімним, що дозволяє при підйомі насосно-компресорних труб із циліндром насоса уникнути виливання рідини із труб на гирлі свердловини. Найбільше застосовуються насоси НН2, так як вони мають більшу надійність, простоту конструкції механізму спорожнення. В той же час при виконанні насосів НН1 нагнітальний клапан знаходиться у верхній частині плунжера, використовується захватний шток, який закріплюється до вузла всмоктуючого клапана. Під час виконання підземного ремонту колона насосних штанг із плунжером рухається й головка штока упирається в поверхню плунжера, при цьому вузол всмоктуючого клапана зривається з сідла конуса.

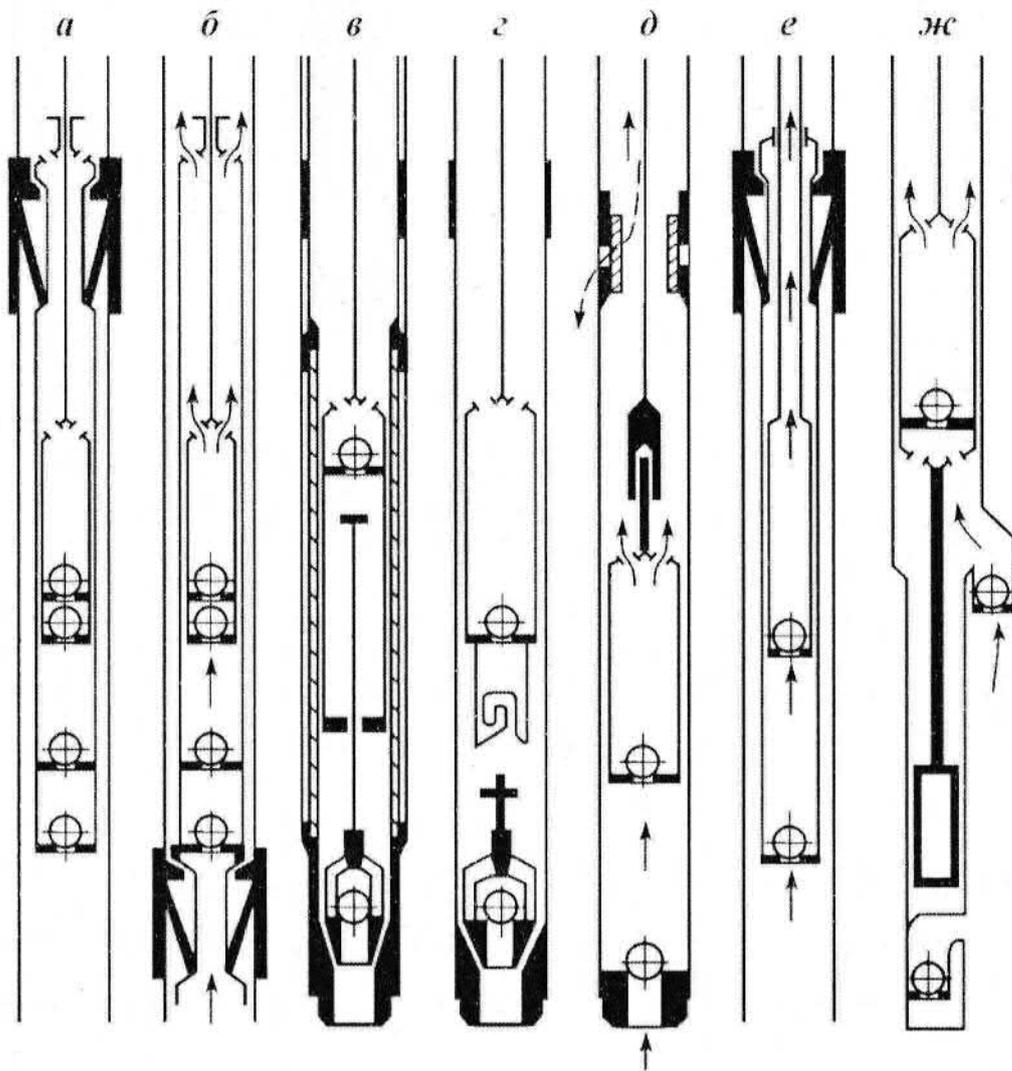


Рисунок 1.5 – Штангові свердловинні насоси звичайного (а,б,в,г,д) і спеціального (е, ж) виконання

При використанні стандарту API (специфікація 11AX "Специфікація на глибинні штангові насоси і з'єднувальні деталі") не застосовуються втулкові насоси. Однак фірми залишили їх в своїх виробничих програмах через їхню популярності.

Таблиця 1.4 – Класифікація типів штангових свердловинних насосів

| Тип насоса | Плунжерне ущільнення | | | Манжетне ущільнення | |
|---|----------------------|--------------|------------------|---------------------|--------------|
| | безтулкових насосів | | тулкових насосів | товстостінних | тонкостінних |
| | товстостінних | тонкостінних | | | |
| 1 Вставні насоси | | | | | |
| Нерухомий циліндр, верхній якір | НВ1Б | НВ1Т | НВ1С | НВ1Бм | НВ1Тм |
| Нерухомий циліндр, нижній якір | НВ2Б | НВ2Т | НВ2С | НВ2Бм | НВ2Тм |
| Рухомий циліндр, нижній якір | НВ2Ц | НВ2ЦТ | - | - | - |
| Нерухомий диференціальний циліндр, верхній якір, для відкачування легкої рідини | НВ1Д1Б | НВ1Д1Т | - | НВ1Д1Бм | НВ1Д1Тм |
| Нерухомий диференціальний циліндр, нижній якір, для відкачування важкої рідини | НВ1Д2Б | НВ1Д2Т | - | НВ1Д2Бм | НВ1Д2Тм |
| 2 Невставні (трубні) насоси | | | | | |
| Плунжер з захватним механізмом всмоктуючого клапана | - | - | НН1С | - | - |
| Плунжер із захопленням всмоктуючого клапана | НН2Б | НН2Т | НН2С | - | - |
| Плунжер з автозчепом і зливним клапаном | ННАБ | - | - | ННАБм | - |
| Плунжер диференціальний з захопленням всмоктуючого клапана | НН2ДБ | НН2ДТ | - | НН2ДБм | - |
| Плунжер диференціальний з автозчепом і зливним клапаном | ННАД1Б | ННДЦ1Т | - | ННАД1Бм | - |

За стандартом API (специфікація 11AX) випускаються штангові свердловинні насоси двох типів: класичний і "нерухомий циліндр - рухомий плунжер" або "нерухомий плунжер - рухомий циліндр". При цьому плунжер фіксується в насосно-компресорних трубах, а циліндр зв'язаний з штангами і має поступальний рух. Виготовляються вставні і невставні насоси із замком вгорі і внизу, з товстостінним і тонкостінним циліндром, а плунжер буває металевим або з м'яким ущільненням (рис. 1.6).

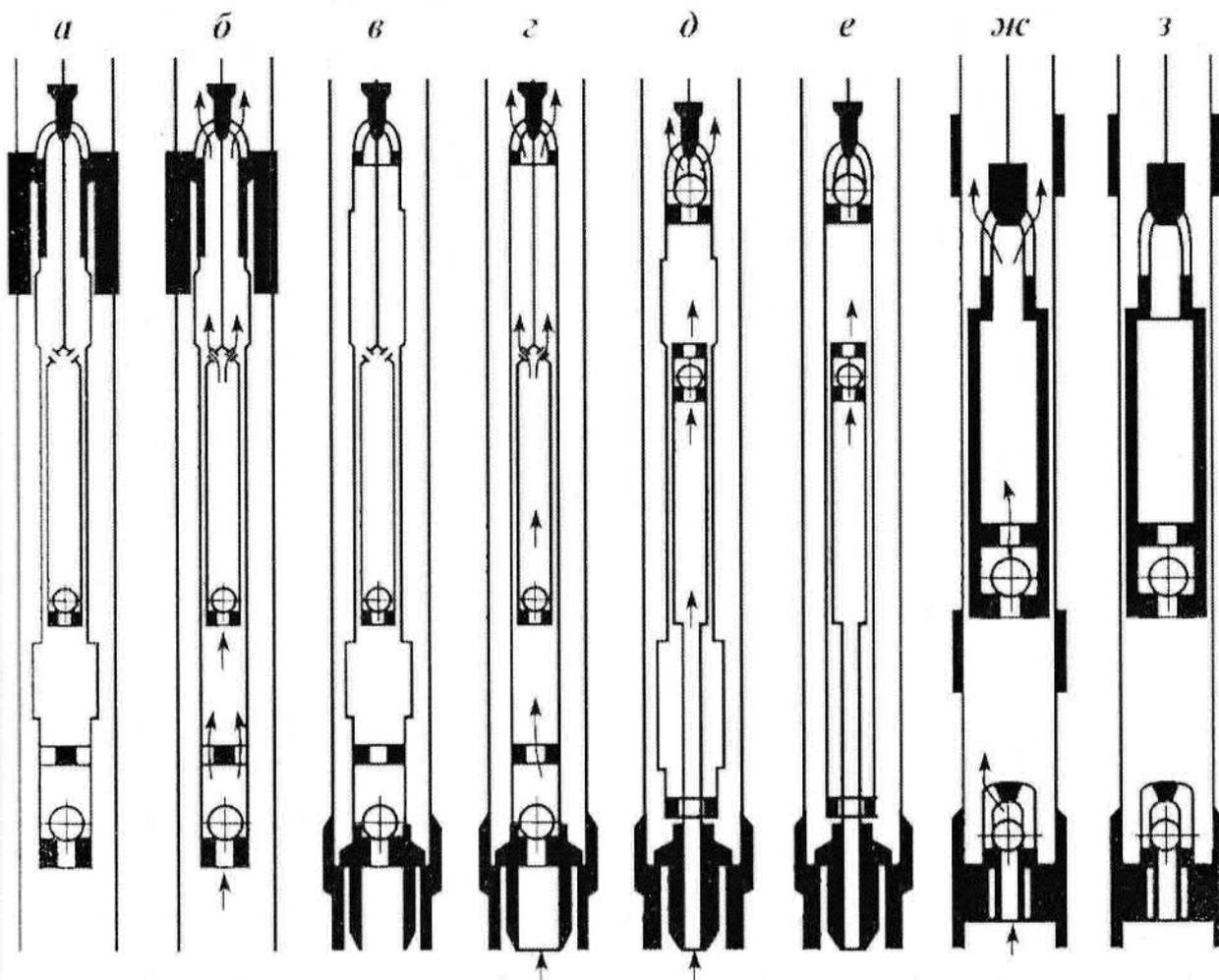


Рисунок 1.6 – Класифікація штангових свердловинних насосів за стандартом API – 11AX:

а - RHA, RLA; *б* - RWA, RSA; *в* - RHB, RLB; *г* - RWS, RSB; *д* - RHT, RLT; *е* - RWT, RST; *ж* - TH, TL; *з* - TP

Застосування насосів нової конструкції доцільне у випадку великої глибини підвіски, великого вмісту механічних домішок при роботі свердловини періодично. У даному випадку використання класичних вставних насосів призводить до попадання механічних частинок в кільцевий зазор між корпусом штангового свердловинного насоса і насосно-компресорними трубами та викликання його прихоплення.

Таблиця 1.5 – Основні типи насосів, виготовлених по API – 11AX

| Тип насоса | Металевий плунжер | | Плунжер з м'яким ущільненням | |
|---|---------------------------|--------------------------|------------------------------|--------------------------|
| | з товстостінним циліндром | з тонкостінним циліндром | з товстостінним циліндром | з тонкостінним циліндром |
| Вставний: | | | | |
| нерухомий циліндр, верхнє кріплення | RHA | RWA | Немає | RSA |
| нерухомий циліндр, нижнє кріплення | RHB | RWB | Немає | RSB |
| пересувний робочий циліндр, нижнє кріплення | RHT | RWT | Немає | RST |
| невставний | TH | Немає | TP | Немає |

Фірма SBS (Австрія) виготовляє втулкові насоси. Найдоцільнішим є використання насосів, виготовлених по стандарту API – 11AX, однак при цьому потрібно використовувати муфти, штанги, насосно-компресорні труби, які виготовлені по даному стандарту, що приведе до повного переоснащення підприємств.

Висновки

У даному розділі магістерської роботи проведено вибір та інформаційний огляд відомих верстатів-качалок різних конструкцій: балансирних, безбалансирних, балансирних з пневматичним врівноваженням, безбалансирних довгохідних, зарубіжних верстатів-качалок фірми LUFKIN. Проаналізовані штангові свердловинні насоси, які випускаються за стандартами ОСТ 26-16-06-86 й API (специфікація 11AX), їх конструкції, переваги і недоліки.

2 ОПИС ТЕХНІЧНОЇ ПРОПОЗИЦІЇ

2.1 Організаційно-технічні заходи щодо підвищення надійності штангових насосів

Є два шляхи підвищення надійності штангових свердловинних насосів – технологічна і конструктивна.

Технологічна – використання нових технологій виготовлення, що підвищують зносостійкість робочих пар насоса. До таких технологій відносять напилення, зміцнення.

Суть процесу газотермічного напилення полягає у нанесенні на поверхню деталі розплавленого матеріалу. Для цього деталь розігрівають до температури – нижче температури плавлення полум'ям, а потім подають порошок, який оплавляється полум'ям. Даний спосіб відновлення є дешевим, але він використовується в дрібносерійному виробництві, так як є ручним способом. Також при даному способі відновлення якість поверхні в основному залежить від кваліфікації робітника.

Плазмове напилення – процес нанесення покриття на поверхню деталі (виробу) за допомогою плазмового струменя. Плазмовий струмінь – це частково або повністю іонізований газ, що володіє властивістю електропровідності й має високу температуру.

Даний спосіб напилення можна здійснювати напівавтоматизованим способом, що полегшує процес. У зв'язку з автоматизацією процесу покращується якість покриття і економія матеріалу, що напиляється. Обладнання для даного способу нанесення покриття є недорогим, але його можна використовувати протягом багатьох років з мінімальною кількістю ремонтів, так як елементи установок даного типу є зносостійкими. Також для даного обладнання не потрібно кваліфікованого фахівця і оператором може бути працівник 3-4 розряду.

Як правило, плунжер виготовляється з легованої сталі 40X з наступним плазмовим напиленням зносостійким порошком ПР-НХ17СР4-7 чи твердосплавним порошком Deloro Alloy 60М фірми Deloro Stellite, або, рідше, з сталі 38Х2МЮА з наступним азотуванням чи хромуванням з товщиною шару не менше 0,07 мм і твердістю не менше HRC 64-65.

Альтернативою газотермічному напиленню може стати покриття із зносостійкого порошку сплаву ПР Х4М2Р4С2Ф методом плазмового напилення, з товщиною напиленого шару не менше 0,35 мм і твердістю не менше HRC 63.

Зносостійке покриття необхідно піддати подальшій механічній обробці для отримання необхідних параметрів шорсткості. Після зміцнення проводиться шліфування поверхні плунжера, що забезпечує необхідну форму геометричного профілю і величину шорсткості поверхні $Ra = 0,5 - 0,6$ мкм.

Напилення твердого сплаву, володіючого високою хімічною і механічною зносостійкістю, вирішує проблеми з зміцненням поверхні плунжера (табл. 5.3).

Таблиця 2.1 – Характеристика поверхневого шару плунжерів після зміцнення

| Вид покриття | Товщина покриття, мм | Твердість |
|---|----------------------|---------------|
| Напилення зносостійким сплавом (плазмове) | 0,35 | 63HRC |
| Напилення зносостійким сплавом (газополуменеве) | 0,35 | 58 HRC |
| Азотування | 0,2...0,4 | 850...1050 HV |
| хромування | 0,07 | HRC 64-65 |

HRC – по Роквеллу

HV – по Вікерсу

Азотизацію при змідненні плунжера використовують рідше, тому що вона є достатньо дорогим процесом і збільшує вартість виготовлення плунжера в 1,5 - 2 рази. До того ж експлуатаційні характеристики пари плунжер - циліндр визначаються, в основному, заляганням поверхневого шару циліндра перед операцією азотизації, оскільки товщина окисної плівки після азотизації складає величину порядку 1,0 - 1,5 мкм, тоді як залягання початкової поверхні плунжера перед напиленням не впливає на процес зносу, оскільки товщина напиленого шару повинна бути не менше 0,35 мм.

2. Конструктивним шляхом підвищення надійності ШСН є оптимізація мікропрофілів пари тертя плунжер - циліндр.

Дослідження процесу зносу пари плунжер - циліндр показали, що характеристики мікропрофілю поверхні циліндра істотно змінюються в початковий період, який відповідає інтенсивному періоду припрацювання.

На зовнішній поверхні плунжера, виготовленого по стандарту ОСТ 26-16-86 зазвичай виконуються канавки. За певних умов (велика обводненість, risks і зазори, велика швидкість відкачування) плівка відкачуваної рідини в зазорі між плунжером і циліндром починає рватися, тому утворюються місцеві зони сухого тертя і, як наслідок, задири плунжера. При цьому відкачувана рідина, що знаходиться в канавках при русі плунжера, відновлює плівку на внутрішній поверхні циліндра і покращує умови тертя пари плунжер - циліндр. Крім того, при відкачуванні рідин з механічними домішками частинки, потрапляючи в зазор, збільшують тертя, але, перекочуючись в зазорі, потрапляють в канавки і виходять з контакту.

Виходячи з потреб надійного ущільнення розроблені різні конструктивні виконання поршнів. Найпростіший з варіантів – встановлення на плунжері привулканізованих гумових манжет.

Ще одним з конструктивних варіантів виконання ущільнення є еластичні манжети, що самоущільнюються, забезпечені змащувальними елементами (рис. 2.1).

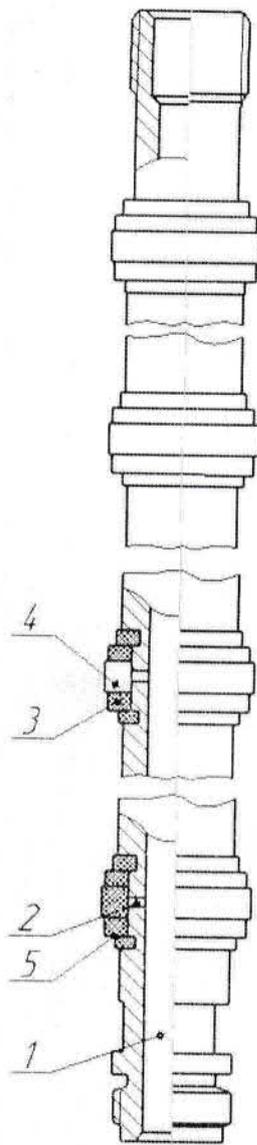


Рисунок 2.1 – Манжетне ущільнення плунжера

При ході колони штанг і плунжера насоса вгору, тобто при виконанні насосом такту всмоктування, рідина по внутрішніх робочих каналах 1 і 2 під тиском поступає до внутрішньої поверхні еластичних манжет 3 і 5, під дією виникаючих сил манжета 3 із змащувальними елементами 4 притискаються до поверхні циліндра, забезпечуючи герметичність з'єднання пари плунжер-циліндр, а манжети 5 перешкоджають попаданню абразивних частинок між дотичними поверхнями. При поворотньо-поступальному русі плунжера на внутрішню поверхню корпусу штангового насоса відбувається нанесення змащувальної плівки.

2.2 Оцінка економічної ефективності

Річний економічний ефект при використанні нових засобів праці довготривалого застосування (машини, обладнання, прилади тощо) з поліпшеними якісними характеристиками (продуктивність, довговічність, експлуатаційні затрати тощо) визначають за формулою

$$E = \left[\left(Z_1 * \frac{B_2 * (P_1 + E_H)}{B_1 * (P_2 + E_H)} + \frac{(C_1 - C_2) - E_H * (K_2 - K_1)}{P_2 + E_H} - Z_2 \right) * A_2 \right], \quad (2.1)$$

де Z_1, Z_2 – приведені витрати відповідно базового та нового засобу праці, грн.;

$\frac{B_2}{B_1}$ – коефіцієнт зростання продуктивності одиниці нового засобу праці порівняно з базовим;

B_1, B_2 – річні обсяги продукції, що виробляється за допомогою відповідно базового та нового засобу праці, натуральні одиниці;

$\frac{P_1 + E_H}{P_2 + E_H}$ – коефіцієнт зміни строку служби нового засобу праці порівняно з базовим;

P_1, P_2 – частки відрахувань на повне відновлення (реновацію) базового і нового засобу праці. Розраховуються як величини, обернені строкам служби засобів праці;

$\frac{(C_1 - C_2) - E_H * (K_2 - K_1)}{P_2 + E_H}$ – економія споживача на поточних витратах, експлуатації і відрахуваннях від супутніх капітальних вкладень за весь термін нового засобу праці порівняно з базовим, грн.;

K_1, K_2 – супутні капітальні вкладення споживача (без урахування вартості засобів праці) відповідно при використанні базового та нового засобу праці у розрахунку на обсяг продукції (роботи), що виконується за допомогою нового засобу праці, грн.;

C_1, C_2 – річні експлуатаційні затрати споживача відповідно при використанні ним базового й нового засобу праці у розрахунку на обсяг продукції (роботи), що виконується за допомогою нового засобу праці, грн.

A_2 – річний обсяг (використання) нових засобів праці у розрахунковому році в натуральних одиницях.

2.2.1 Розрахунок приведених витрат по базовій та новій техніці

Приведені затрати по базовій техніці являють собою вартість плунжера штангового свердловинного насоса, що потребує заміни, без урахування нормативного прибутку. Середня ціна, що склалася на внутрішньому ринку без урахування ПДВ, на штангову свердловинну насосну установку становить

$$C_1 = 12000000 \text{ грн.}$$

Тоді, при нормі рентабельності у 30%, собівартість становить:

$$Z_1 = \frac{C_1}{1 + H^R} = \frac{12000000}{1 + 0,3} = 9230769 \text{ грн.}$$

Вони і являють собою приведені витрати базового варіанту техніки.

Приведені витрати по новій техніці відповідають собівартості удосконаленої конструкції штангового свердловинного насоса.

2.2.2 Визначення собівартості виготовлення удосконаленої конструкції штангового свердловинного насоса

Собівартість виготовлення штангового свердловинного насоса може бути визначена за статтями калькулювання собівартості продукції для допоміжного виробництва:

- сировина та матеріали,
- основна заробітна плата;
- додаткова заробітна плата;

- відрахування на соціальне страхування;
- витрати на утримання й експлуатацію обладнання;
- загальновиробничі витрати;
- позавиробничі витрати.

До витрат за статтею «сировина та матеріали» відносять вартість основних та допоміжних матеріалів, що використовуються при виготовленні штангового свердловинного насоса. Загальні витрати на основні матеріали визначаються за формулою:

$$C^{MB}_{ОСН} = \sum_{j=1}^k N * H_{Mj} * C_{Mj} * \left(1 + \frac{P_{ТЗВ}}{100}\right) - \sum_{j=1}^k B_j * C_{Bj}, \quad (2.2)$$

Де $C^{MB}_{ОСН}$ - витрати на матеріали, грн.

k - кількість видів матеріалів, що використані при виробництві виробу;

N - кількість робочих секцій, шт.;

H_{Mj} - норма затрат матеріалів j -го найменування в натуральних одиницях виміру;

C_{Mj} - ціна одиниці матеріалів j -го виду; прайс <http://prom.ua/Stal-40h.html>

$P_{ТЗВ}$ - доля ТЗВ у вартості купованих матеріалів, % (приймаються на рівні 7% від вартості матеріалу);

B_j - кількість зворотних відходів від використання матеріалу j -го виду у натуральному виразі,

C_{Bj} - ціна одиниці відходів, грн.

Вартість допоміжних матеріалів (матеріалів технологічного призначення) приймається на рівні 5% від вартості основних матеріалів.

Тоді вартість витрат на сировину та матеріали становлять:

$$C^{MB} = C^{MB}_{ОСН} * 1,05 = 127,6 * 1,05 = 134 \text{ грн.}$$

Стаття «основна заробітна плата» включає оплату праці робітників, безпосередньо зайнятих виготовленням механізму центрування.

$$C^{OЗП} = \sum_{i=1}^n C_i^{ГОД} * Tr_i * N * k_i, \quad (2.3)$$

де $T_i^{ФАКТ}$ – трудомісткість технологічної операції i -го виду, нормо-год.;

$C_i^{ГОД}$ – годинна тарифна ставка працівника i -го розряду.

k_i – кількість виконавців технологічної операції i -го виду, чол.

Таблиця 2.1 – Розрахунок витрат на основну заробітну плату при виготовленні плунжера

| Види технологічних операцій | Кількість виконавців, чол. | Розряд робіт | Годинна тарифна ставка, грн. | Норма часу (трудомісткість), нормо-год | Витрати на основну заробітну плату |
|-----------------------------|----------------------------|--------------|------------------------------|--|------------------------------------|
| слюсарні | 1 | 4 | 28.2 | 1,5 | 272.3 |
| токальні | 1 | 3 | 25.1 | 1,5 | 242.6 |
| Всього | | | | | 514.9 |

До статті «додаткова заробітна плата» належать додаткові виплати робітникам понад встановлені норми за трудові успіхи, особливі умови праці, оплата відпусток тощо. Величина цих витрат обчислюється згідно з передбаченими умовами праці у % до основної заробітної плати (норма нарахувань на додаткову заробітну плату становить 25%). Тоді витрати за даною статтею становитимуть:

$$C^{ДЗП} = 0,25 * C^{OЗП} = 0,25 * 514,9 = 128,7 \text{ грн.}$$

Стаття «відрахування на соціальне страхування» складає 38,52%.

$$\begin{aligned} C^{ВСС} &= 0,3852 * (C^{OЗП} + C^{ДЗП}) = \\ &= 0,3852 * (514,32 + 128,7) = 247,9 \text{ грн.} \end{aligned}$$

Таким чином, прямі виробничі витрати становлять:

$$\begin{aligned} C^{ПР.ВИР} &= C^{МВ} + C^{OЗП} + C^{ДЗП} + C^{ВСС} = \\ &= 1344 + 514,9 + 128,7 + 247,9 = 1025,5 \text{ грн.} \end{aligned}$$

Витрати за статтею «витрати на утримання й експлуатацію обладнання» включають:

амортизаційні відрахування на реновацію машин та устаткування,

витрати на експлуатацію обладнання: на електроенергію, заробітну плату обслуговуючого персоналу з нарахуваннями, інші експлуатаційні затрати,

витрати на технічне обслуговування і технічний огляд, на ремонти, що здійснюються для утримання об'єкту у робочому стані;

витрати на швидкозношуваний інструмент і пристосування,

інші витрати, пов'язані з утриманням і експлуатацією обладнання.

Оскільки дані витрати є непрямими, їх величина встановлюється у відсотках до прямих виробничих витрат (приймається 54 %)

$$C^{ЕКСПЛ.ОБЛ} = 0,54 * C^{ПР.ВИР} = 0,54 * 1025,5 = 553,8 \text{ грн.}$$

До статті «адміністративні витрати» відносять витрати на організацію та управління виробництвом, їх величина становить 6 % від прямих витрат на оплату праці

$$C^{ЗВВ} = 0,06 * C^{ПР.ВИР} = 0,06 * 1025,5 = 63,2 \text{ грн.}$$

Таким чином, виробничі витрати становлять:

$$\begin{aligned} C^{ВИР} &= C^{ПР.ВИР} + C^{ЕКСПЛ.ОБЛ.} + C^{ЗВВ} = \\ &= 1025,5 + 553,8 + 63,2 = 1612,5 \text{ грн} \end{aligned}$$

До складу «витрати на збут» відносять витрати на загальне управління підприємством, витрати на доставку вдосконаленої конструкції механізму центрування до місця використання тощо. Загальний коефіцієнт таких витрат може бути прийнятий 21% виробничих витрат.

$$\begin{aligned} C^{ВИР} &= (C^{ПР.ВИР} + C^{ЕКСПЛ.ОБЛ.} + C^{ЗВВ}) \cdot 0,21 = \\ &= 1612,5 * 0,21 = 338,6 \text{ грн} \end{aligned}$$

Сума витрат за перерахованими вище калькуляційними статтями витрат складає повну собівартість штангового свердловинного насосу.

$$\begin{aligned} C^{СОБ} &= C^{ВИР} + C^{ПОЗАВИР} = \\ &= 1612,5 + 338,6 = 1951,1 \text{ грн} \end{aligned}$$

Приведені витрати у розрахунку на конструкцію штангового свердловинного насоса удосконаленого варіанту будуть становити 1951,1 грн;

тому $Z_2 = 9230769 + 1951,1 = 9232720,1$ грн.

Оптова ціна модернізованої штангової свердловинної насосної установки

$$C_2 = 9232720,1 \cdot (1 + 0,3) = 12002536 \text{ грн.}$$

2.2.3 Розрахунок зростання продуктивності штангової свердловинної насосної установки та економії споживача на поточних витратах

Розрахуємо річний фонд роботи штангової свердловинної насосної установки

$$T_p = \frac{T_\phi}{\frac{1}{t_{зм} \cdot k_{зм}} + D_p + \frac{d_n}{T_{об}}}, \text{ год.}, \quad (2.4)$$

де T_ϕ – річний фонд робочого часу. Визначається як різниця між загальною кількістю днів у році і кількістю вихідних та святкових днів; $T_\phi = 365$ днів.

$t_{зм}$ – тривалість зміни у машино-годинах, для п'ятиденного робочого тижня $t_{зм} = 8,0$ годин;

$k_{зм}$ – коефіцієнт змінності роботи штангової свердловинної насосної установки ($k_{зм} = 3$);

D_p – простой в машино-днях в усіх видах технічного обслуговування та ремонту, що припадають на одну машино-годину роботи;

d_n – тривалість одного перебезування, дні (приймаємо $d_n = 1$ день);

$T_{об}$ – тривалість роботи штангової свердловинної насосної установки на одному об'єкті, дні (приймаємо $T_{об} = 10$ днів).

Простой у всіх видах технічного обслуговування та ремонту визначаються:

$$D_p = \frac{\sum_{i=1}^m (d_{pi} + d_{ni}) \cdot a_i}{T_{ц}}, \left[\frac{\text{маш. - днів}}{\text{маш. - год}} \right], \quad (2.5)$$

де m – число різновидів технічних обслуговувань та ремонтів протягом

міжремонтного циклу, $m = 3$;

d_{pi} – тривалість перебування в i -му ремонті або технічному обслуговуванні;

d_{ni} – тривалість надання у ремонт або технічне обслуговування і повернення назад, при цьому для технічного обслуговування, оскільки воно виконується безпосередньо на місці роботи техніки, величина d_{ni} приймається рівною нулю; час у днях на доставку для поточного ремонту $d_{ni} = 10$ днів, у капітальний ремонт і назад приймається $d_{ni} = 20$ днів;

a_i – кількість i -х ремонтів або технічних обслуговувань за міжремонтний цикл;

$T_{ц}$ – час міжремонтного циклу.

Вихідні дані для розрахунку D_p занесемо до таблиці 2.3.

Розрахуємо простої в машино-днях у всіх видах технічного обслуговування та ремонту:

$$D_p^{AT} = \frac{(2+0) \cdot 12 + (10+10) \cdot 5 + (20+20) \cdot 1}{6000} = 0,014 \frac{\text{маш.} - \text{днів}}{\text{маш.} - \text{год}};$$

$$D_p^{HT} = \frac{(2+0) \cdot 12 + (10+10) \cdot 5 + (20+20) \cdot 1}{6600} = 0,013 \frac{\text{маш.} - \text{днів}}{\text{маш.} - \text{год}};$$

Знайдемо річний ефективний фонд роботи обладнання до і після модернізації:

$$T_p^{AT} = \frac{365}{\frac{1}{8 \cdot 3} + 0,014 + \frac{1}{10}} = 6100 \text{ год.},$$

$$T_p^{HT} = \frac{365}{\frac{1}{8 \cdot 3} + 0,013 + \frac{1}{10}} = 6200 \text{ год.},$$

Коефіцієнт зростання продуктивності праці за варіантом модернізації буде порівнювати:

$$k_1 = \frac{T_p^{HT}}{T_p^{AT}}, \quad (2.6)$$

$$k_1 = \frac{6200}{6100} = 1,02$$

Таблиця 2.3 - Технічне обслуговування та ремонт штангової свердловинної насосної установки

| Вид технічного обслуговування, ремонту | Періодичність виконання технічного обслуговування та ремонтів, маш.-год ($T_{ц}$) | Кількість тех. обслуговувань та ремонтів в одному ремонтному циклі (a_i) | Тривалість одного технічного обслуговування та ремонту, роб. днів (d_{pi}) | Трудомісткість виконання одного ТО й ремонту, нормо-год (r_i) |
|--|--|---|---|--|
| Для аналогової техніки | | | | |
| ТО | 300 | 12 | 2 | 7 |
| ПР | 600 | 5 | 10 | 50 |
| КР | 6000 | 1 | 20 | 120 |
| Для модернізованої техніки | | | | |
| ТО | 330 | 12 | 2 | 7 |
| ПР | 660 | 5 | 10 | 50 |
| КР | 6600 | 1 | 20 | 130 |

Знайдемо коефіцієнт зміни строків служби:

$$k_2 = \frac{P_{AT} + E_H}{P_{MT} + E_H}, \quad (2.7)$$

E_H – єдиний нормативний коефіцієнт економічної ефективності капітальних вкладень ($E_H = 0,15$);

P_{AT}, P_{MT} – частки відрахувань від балансової вартості на повне відновлення

базового та нового обладнання, які розраховуються як величини, зворотні термінам служби обладнання, з урахуванням їх морального спрацювання;

$$P_i = 1/T_i \quad (2.8)$$

T_1, T_2 – строки служби базового і нового обладнання відповідно;

$T_1 = T_2 = 12$ років, тому $k_2 = 1$.

Економію експлуатаційних витрат розраховуємо за формулою:

$$\Delta И = (S_1^{AT} - S_1^{HT}) \cdot T_p^{HT}, [\text{грн}], \quad (2.9)$$

де S_1^{AT}, S_1^{HT} – вартість 1 маш.- год роботи аналогової та модернізованої штангової свердловинної насосної установки відповідно;

T_p^{HT} – річний фонд роботи модернізованої штангової свердловинної насосної установки.

Визначимо вартість 1 маш.-год роботи штангової свердловинної насосної установки:

$$S_1 = \frac{S}{T_p}, [\text{грн/маш.-год}], \quad (2.10)$$

де S – загальні поточні витрати підприємства, пов'язані з експлуатацією штангової свердловинної насосної установки.

Загальні поточні витрати підприємства визначаються за формулою:

$$S = S_{KP} + S_{TOB} + S_{TOM}, [\text{грн}], \quad (2.11)$$

де S_{KP} – витрати на капітальний ремонт штангової свердловинної насосної установки;

S_{TOB} – витрати на заробітну плату ремонтним робітникам із урахуваннями;

S_{TOM} – витрати на матеріали та запчастини для штангової свердловинної насосної установки.

Визначаємо витрати на капітальний ремонт штангової свердловинної насосної установки:

$$S_{KP} = \frac{k_{nn} \cdot A_{кр} \cdot Ц_{AT(MT)}}{100}, [\text{грн}], \quad (2.12)$$

де k_{nn} - коефіцієнт, що враховує накладні витрати за всіма видами витрат, окрім заробітної плати;

$$k_{nn} = 1 + \frac{H_{nn}}{100}, \quad (2.13)$$

де H_{nn} - норма накладних витрат за всіма видами витрат, окрім заробітної плати, $H_{nn} = 10\%$;

$$k_{nn} = 1 + \frac{10}{100} = 1,1.$$

$A_{кр}$ - норма амортизаційних відрахувань на капітальний ремонт у відсотках від вартості штангової свердловинної насосної установки, приймаємо $A_{кр} = 5\%$.

Підставивши отримані дані у формулу 2.12 визначимо витрати на капітальний ремонт штангової свердловинної насосної установки:

$$S_{KP}^{AT} = \frac{1,1 \cdot 5 \cdot 12000000}{100} = 660000 \text{ грн.}$$

$$S_{KP}^{HT} = \frac{1,1 \cdot 5 \cdot 12002536}{100} = 660139,5 \text{ грн.}$$

Розрахуємо витрати на заробітну плату ремонтних робітників із нарахуваннями:

$$S_{тов} = \frac{T_{роб}}{T_{ц}} \cdot k_{нв} \cdot \lambda \cdot C_p \cdot \sum_{i=1}^n a_i r_i \cdot (1 + H), \text{ грн.}, \quad (2.14)$$

де $k_{нв}$ - коефіцієнт, що враховує витрати на заробітну плату;

λ - коефіцієнт, що враховує премії, $\lambda = 1,25$;

C_p - середня тарифна ставка ремонтного робітника, що обслуговує штангову свердловинну насосну установку, тарифна ставка приймається для робітника IV розряду - 28,2 грн.;

a_i - кількість ТО та ПР у ремонтному циклі, приймаємо відповідно до

таблиці 2.3;

r_i - трудомісткість ТО і ПР у ремонтному циклі, приймаємо відповідно до таблиці 2.3.

Коефіцієнт, що враховує витрати на заробітну плату, розраховується за формулою:

$$k_{ув} = 1 + \frac{H_{ув}}{100}, \quad (2.15)$$

де $H_{ув}$ - норма накладних витрат по заробітній платі, $H_{ув} = 30\%$.

$$k_{ув} = 1 + \frac{30}{100} = 1,3.$$

Підставивши всі дані у формулу 2.14 розрахуємо витрати на заробітну плату ремонтних робітників із нарахуваннями:

- для аналогової штангової свердловинної насосної установки:

$$S_{тов}^{AT} = \frac{6100}{6000} \cdot 1,3 \cdot 1,25 \cdot 28,2 \cdot (12 \cdot 7 + 5 \cdot 50) \cdot (1 + 0,3852) = 14779 \text{ грн};$$

- для модернізованої штангової свердловинної насосної установки:

$$S_{тов}^{MT} = \frac{6200}{6600} \cdot 1,3 \cdot 1,25 \cdot 28,2 \cdot (12 \cdot 7 + 5 \cdot 50) \cdot (1 + 0,3852) = 13655,5 \text{ грн};$$

Визначимо витрати на матеріали і запчастини:

$$S_{том} = k_{ин} \cdot \frac{S_{тов} \cdot (1 - H)}{k_{ув}} \cdot k_{ер}, [\text{грн}], \quad (2.16)$$

де $k_{ер}$ - коефіцієнт переходу від витрат на заробітну плату до витрат на матеріали та запчастини, $k_{ер} = 1,25$.

Підставивши всі дані у формулу 2.16 розрахуємо витрати на матеріали і запчастини:

- для аналогової штангової свердловинної насосної установки:

$$S_{том} = 1,1 \cdot \frac{14779 \cdot (1 - 0,3852)}{1,3} \cdot 1,25 = 9610,3 \text{ грн};$$

- для модернізованої штангової свердловинної насосної установки:

$$S_{том} = 1,1 \cdot \frac{13655,5 \cdot (1 - 0,3852)}{1,3} \cdot 1,25 = 8879,7 \text{ грн}.$$

Зводимо дані попередніх розрахунків в таблицю 2.4.

Таблиця 2.4 – Калькулювання поточних річних витрат

| Найменування статей витрат | Позначення | Сума витрат(АТ), грн | Сума витрат(НТ), грн |
|--|------------|----------------------|----------------------|
| Витрати на капітальний ремонт | $S_{кр}$ | 660000 | 660139,5 |
| Витрати на заробітну плату ремонтних робітників з нарахуванням | $S_{тов}$ | 14779 | 13655,5 |
| Витрати на матеріали і запчастини | $S_{тол}$ | 9610,3 | 8879,7 |
| Разом | S | 684389,3 | 682674,7 |

Визначаємо вартість роботи 1 маш.-год роботи штангової свердловинної насосної установки:

- для аналогової штангової свердловинної насосної установки:

$$S_1 = \frac{684389,3}{6100} = 112,2 \text{ грн / маш. - год.}$$

- для модернізованої штангової свердловинної насосної установки:

$$S_1 = \frac{682674,7}{6200} = 110,1 \text{ грн / маш. - год.}$$

Економія експлуатаційних витрат складе:

$$\Delta И = (112,2 - 110,1) \cdot 6200 = 13020 \text{ грн.}$$

2.2.4 Визначення економічної ефективності модернізації штангової свердловинної насосної установки

За формулою 2.1. величина економічного ефекту буде становити:

$$E = \left[9230769 \cdot 1,02 \cdot 1 + \frac{13020}{(1/12) + 0,15} - 9232720,1 \right] \cdot 1 = 238500 \text{ грн.}$$

Висновки

Суть технічного рішення з модернізації штангового свердловинного насоса полягає в тому, що порівняно із аналогом у модернізованому плунжері встановлюються самоущільнювальні еластичні манжети, які забезпечені змащувальними елементами.

Порівняння плунжерів по ОСТ і стандарту АРІ на прикладі насосів з умовним діаметром 32,0 мм показує, що діаметр плунжера насоса, виконаного по ОСТу, може опинитися в межах від 31,9 до 32,425 мм з кроком 0,025 мм. За стандартом АРІ плунжер такого насоса матиме строго заданий діаметр 31,75 мм з верхнім граничним відхиленням +0,00 мм, нижнім - 0,013 мм. Стандарт АРІ (специфікація 11АХ) не передбачає групи посадки насосів, зазори указуються покупцем індивідуально і виготовляються в будь-якому діапазоні.

За умови застосування даного технічного рішення за рік буде отримано економічний ефект на суму 238,5 тис. грн., що свідчить про доцільність проведення удосконалення штангової свердловинної насосної установки.

3 ДОСЛІДНО-КОНСТРУКТОРСЬКА РОБОТА

3.1 Аналіз використання модернізованих штангових свердловинних насосів

На більшості нафтових свердловин України використовуються засоби механізованого видобування нафти. Серед різноманітних способів видобування нафти механізований спосіб (за допомогою штангових свердловинних насосних установок (ШСНУ)) є найбільш поширеним. Кількість нафтових свердловин, які експлуатуються за допомогою ШСНУ, складає біля 70% від усіх діючих свердловин.

З точки зору техніко-економічних можливостей, ШСНУ можуть забезпечити високий напір в обмеженому діапазоні подач – від 5 до 50 м³/добу. В області подач від 1 до 40 м³/добу ШСНУ має більш високий коефіцієнт корисної дії порівняно з іншими способами видобування нафти і при подачі, що дорівнює 35 м³/добу, він може досягати максимального значення – 37%. Таким чином, ШСНУ добре пристосована для роботи в умовах малого і середнього дебіту свердловин. В Україні ШСНУ використовуються переважно в західних районах нафтовидобутку (Борислав, Долина, Надвірна), а менше – на Сході України.

Для нарощування власного видобутку вуглеводнів потрібна одна з передумов – наявність насосного обладнання, яке б відповідало високим показникам щодо продуктивності, робочих характеристик, якості, надійності та зручності експлуатації. Тому завданням даного розділу є дослідження насосного обладнання в промислових умовах.

Модернізовані штангові свердловинні насоси, які розроблені в даній магістерській роботі, призначені для роботи на глибинах до 2500 м у свердловинах з обводненою до 99% продукцією, ускладнених підвищеним вмістом піску і присутністю агресивних хімічних сполук та газу. За результатами досліджень [4] та проведених промислових випробувань, термін служби цих насосів у разі перевищує термін служби насосів-аналогів, що

обумовлено їх конструктивними особливостями.

Конструктивні особливості модернізованих насосів:

- наявність контактної ущільнення між плунжером і циліндром насоса виключає втрати через пару тертя «плунжер-циліндр» та істотно підвищує об'ємний коефіцієнт корисної дії насоса;

- контактне ущільнення плунжера володіє принципом самоущільнення, що дає можливість підтримувати герметизуючу здатність насоса впродовж тривалого періоду експлуатації;

- конструкція насоса дає можливість істотно зменшити довжину плунжера, а також збільшити величину зазору між циліндром і плунжером, а це істотно зменшує вірогідність заклинювання насоса в процесі експлуатації;

- наявність антиадгезійного покриття робочих поверхонь циліндра і плунжера перешкоджає осіданню механічних домішок, смолянистих і парафінових відкладів на спряжених деталях насоса;

- наявність частини всмоктувальної порожнини циліндра, яка утворена внутрішньою поверхнею циліндра, що охоплює нижній кінець плунжера і має діаметр, що перевищує діаметр зовнішньої поверхні плунжера, а також отворів для періодичного з'єднання всмоктувальної порожнини циліндра з порожниною плунжера в стінці нижнього кінця плунжера, забезпечує газ видалення газу з порожнини циліндра, "газова подушка" в ній не утворюється, робочий об'єм циліндра не зменшується і продуктивність насоса не падає.

Конструктивні особливості насосів полягають в конструкції плунжера з високою зносостійкістю робочої поверхні, рельєф якої перешкоджає розриву водонафтової змащувальної плівки і виключає сухе тертя до поверхні циліндра. У практиці експлуатації даних насосів був випадок падіння динамічного рівня нижче за рівень прийому, при якому насос відпрацював "насухо" близько 10 годин без будь-яких видимих наслідків.

У виробництві штангових насосів застосовуються високоякісні леговані сталі, що мають високу стійкість до абразивної дії і агресивних середовищ.

Завдяки високій точності виготовлення комплектуючих в сукупності із

застосуванням передових конструкційних матеріалів, з'явилася можливість на 2/3 зменшити довжину плунжера без помітного погіршення експлуатаційних характеристик насоса. Зменшення довжини плунжера дозволяє збільшити максимальний хід насоса порівняно з аналогічним стандартним обладнанням без зміни довжини циліндра. Ця обставина сприятливо впливає на експлуатаційний ресурс циліндра і насоса загалом, а також, дозволяє збільшити коефіцієнт подачі насоса.

Зменшення довжини в сукупності з особливостями рельєфу робочої поверхні плунжера дозволяють застосовувати насоси в умовах підвищеної загазованості пластової рідини, не збільшуючи зазор між плунжером і циліндром вище II групи посадки [8]. Завдяки щільнішій посадці плунжера в циліндрі знижуються витoki рідини, яка видобувається, але, що найважливіше, значно зменшується динаміка зношування робочих поверхонь насоса через неможливість проникнення в зазор між плунжером і циліндром твердих абразивних частинок. Детальний аналіз надійності штангових свердловинних вставних і невставних насосів різного діаметра виконано авторами [45]. Проте отримані результати та аналіз літературних джерел і виконаних досліджень свідчить про необхідність проведення промислових випробувань цих насосів та оцінки їх ресурсу.

Таблиця 3.1 – Використання модернізованих насосів на 01.11.2024 р.

| Типорозмір насоса | К-ть насосів, які експлуатувалися | Відпрацьований час, діб | К-ть насосів, що вийшли з ладу | | Середній період до підйому насоса, діб |
|-------------------|-----------------------------------|-------------------------|--------------------------------|------|--|
| | | | шт. | % | |
| НН2Б-44 | 1 | 181 | 1 | 100 | 181 |
| НВ2Б-38 | 7 | 3690,9 | 2 | 28,5 | 527,27 |
| НН2Б-70 | 1 | 475,3 | 0 | 0 | 475,3 |
| Всього | 9 | 4347,2 | 3 | 33,3 | 483,02 |

У період з 01.09.2022 р. по 1.11 2024 р. на 17 нафтових свердловинах було впроваджено 9 модернізованих штангових насосів (табл. 3.1), з них 4 використовувалися повторно без ремонту.

За станом на 01.11.2024 р. експлуатацію трьох насосів було продовжено. Три насоси підняті (підйом не пов'язаний з технічним станом ШСН) і знаходяться в робочому стані, два насоси вийшли з ладу з напрацюванням відповідно 441,5 і 665,7 діб, один насос втратив придатність до експлуатації з вини бригади ЦК і ПРС.

Аналіз роботи насосів проводився за критеріями:

- міжремонтний період роботи;
- об'ємний коефіцієнт корисної дії;
- збільшення видобутку нафти;
- коефіцієнт втрати подачі насоса.

Порівнювалось середнє напрацювання до першої відмови випробовуваних в свердловинах насосів з середнім міжремонтним періодом роботи (МРП).

Міжремонтний період роботи на 1.11.2024 р. модернізованих штангових свердловинних насосів значно більший за такий для насосів, що використовувалися раніше (табл. 3.2).

Таблиця 3.2 – Порівняння міжремонтного періоду модернізованих штангових свердловинних насосів і насосів, які експлуатувалися раніше

| Міжремонтний період насосів-аналогів на 01.03.2021 р. | Міжремонтний період насосів-аналогів на 01.10.2024 р. | Міжремонтний період модернізованих штангових свердловинних насосів на 01.10.2024 р. | Відношення спільного міжремонтного періоду модернізованих штангових свердловинних насосів до спільного міжремонтного періоду насосів-аналогів |
|---|---|---|---|
| 155 | 171 | 1845 | 10,78 |

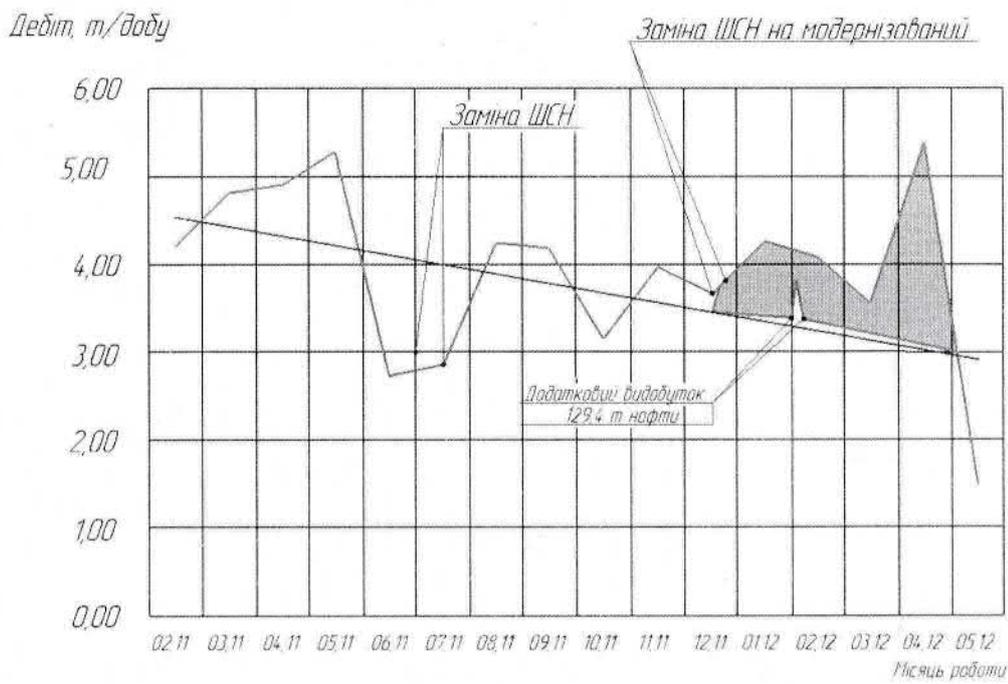


Рисунок 3.1 – Динаміка видобутку нафти на свердловині

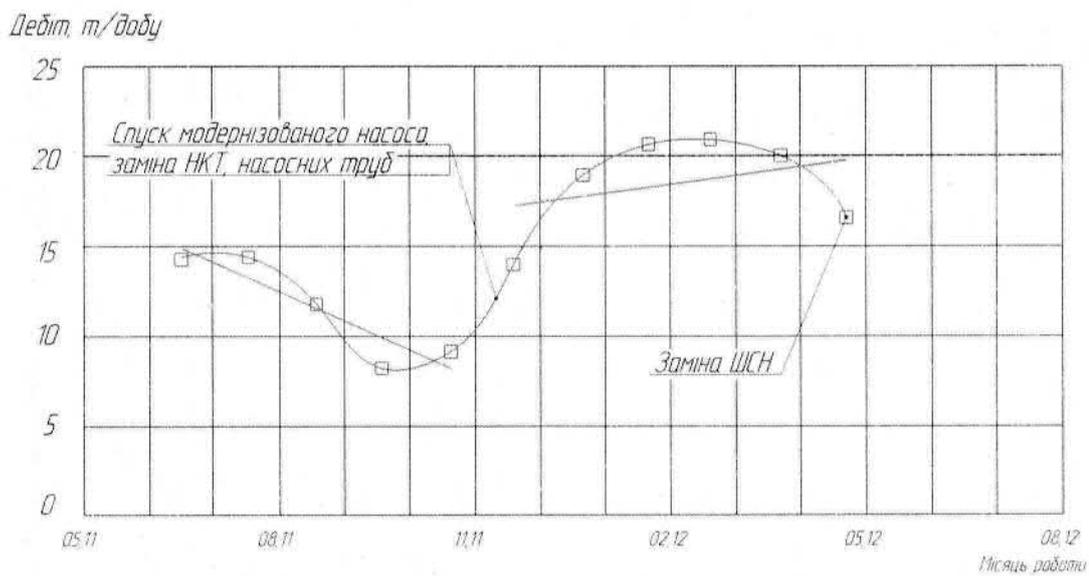


Рисунок 3.2 – Аналіз зміни та лінійні апроксимуючі залежності подачі штангових свердловинних насосів

Висновки

Проведені промислові дослідження та результати експлуатації модернізованих штангових свердловинних насосів дають підстави стверджувати, що порівняно з аналогічним обладнанням втричі збільшився міжремонтний період, пов'язаний з відмовами насосного устаткування. Відмічено значне зниження динаміки падіння видобутку внаслідок фізичного зношування вузлів тертя. В зв'язку з цим при незмінних режимах відбору практично на усіх свердловинах спостерігалось збільшення середнього об'єму видобутку за аналогічні інтервали часу. Наявність позитивної динаміки на переважній кількості свердловин дозволяє виключити випадковий вплив зміни геологічних параметрів на роботу свердловинних установок.

4 РОЗРАХУНКИ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ

4.1 Розрахунок колон насосних штанг

Під час уточнюючого розрахунку колони насосних штанг виходимо із умови одержання найменших в них напружень, а отже, найменшого навантаження на балансир. Перевіряємо міцність штанг на руйнування і витривалість.

Застосовуємо залежності (4.1) і (4.2) при коефіцієнті подачі $\eta = 0,75$ та питомій вазі нафти $\gamma = 0,89 \text{ т/м}^3$:

$$n = 8,9 \cdot \sqrt[3]{\frac{Q_T}{S^2 \cdot q_{\text{ср}}}} \quad (4.1)$$

$$F_{\text{пл}} = 0,29 \cdot \sqrt{Q_T \cdot n \cdot q_{\text{ср}}} \quad (4.2)$$

де $q_{\text{ср}} = \frac{m_1 \cdot q_1 + m_2 \cdot q_2}{100} = \frac{1,67 \cdot 66 + 2,35 \cdot 34}{100} = 1,9 \text{ кг}$ - середня вага 1 п.м.

насосних штанг, які мають діаметр 16 та 19 мм,

при цьому m_1 - маса 1 п.м. штанг 19 мм;

m_2 - маса 1 п.м. штанг 16 мм;

q_1, q_2 - відсоткові частки штанг різного діаметру в загальній довжині.

У зв'язку із необхідністю найменшого напруження в штангах, щоб визначити оптимальний режим роботи, розглядаємо декілька можливих режимів. Для цього задаємося можливими стандартними значеннями довжини ходу S та знаходимо, використовуючи формулу (4.1) значення частоти ходу n .

Площу перерізу плунжера штангового свердловинного насоса $F_{\text{пл}}$ визначаємо для значень S та n , використовуючи формулу продуктивності насоса:

$$F_{\text{пл}} = \frac{11Q_T}{sn} \quad (4.3)$$

Після цього знаходимо діаметр плунжера:

$$D_{\text{пл}} = \sqrt{\frac{F_{\text{пл}}}{0,785}} \quad (4.4)$$

Задаємося значеннями n й по формулі (4.2) визначаємо значення $F_{пл}$, а потім використовуємо формулу (4.3) й знаходимо S . Після чого діаметр плунжера визначається за формулою (4.4).

Результати розрахунків заносимо в табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Визначені параметри плунжера штангового свердловинного насоса

| № | S, м | N | F, см ² | D, см |
|-----------------------------|--------|--------|--------------------|-------|
| При стандартних значеннях S | | | | |
| 1 | 0,900 | 20,202 | 10,89 | 3,725 |
| 2 | 1,200 | 16,667 | 9,894 | 3,55 |
| 3 | 1,500 | 14,372 | 9,185 | 3,421 |
| 4 | 1,800 | 12,727 | 8,643 | 3,318 |
| 5 | 2,100 | 11,484 | 8,21 | 3,234 |
| При стандартних значеннях n | | | | |
| 6 | 10,443 | 5 | 3,792 | 2,198 |
| 7 | 4,324 | 9 | 5,088 | 2,546 |
| 8 | 2,229 | 14 | 6,346 | 2,843 |

Для заданих умов експлуатації штангової свердловинної насосної установки відповідає 3-й режим. Для нього визначаємо найбільше навантаження в точці підвісу штанг:

$$P_{\max} = \frac{F_{пл} \cdot L \cdot \gamma}{10^4} + q_{ср} \cdot L \cdot \left(b + \frac{s \cdot n^2}{1440} \right) \quad (4.5)$$

де b – коефіцієнт, який вказує на втрати ваги колони штанг в рідині;

$$b = (7850 - 890) / 7850 = 0,887;$$

$\frac{sn^2}{1440}$ – фактор динамічності;

$$p^3_{\max} = \frac{9,185 \cdot 1400 \cdot 890}{10^4} + 1,9 \cdot 1400 \cdot \left(0,887 + \frac{1,5 \cdot 14^2}{1440} \right) = 4046,95 \text{ кг} = 39700,58 \text{ Н}$$

Для заданого режиму найбільше напруження в штангах $d_{шт} = 19$ мм:

$$\sigma_{\max} = \frac{P_{\max}^3}{f_{шт}} = \frac{39700,58}{2,83 \cdot 10^{-4}} = 140,3 \text{ МПа} \quad (4.6)$$

де $f_{шт} = 2,83 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$ - площа перерізу штанг 19 мм.

Отримане напруження є допустимим для колони штанг із легованої сталі, тому що вони є меншими $[\sigma_{\max}] = 560 \text{ МПа}$.

Перевіримо витривалість колони штанг на 3-ому режимі, яке характеризує частоту їх обривів, що на свердловині-рік визначається:

$$\tau = Bn \frac{D_{пл}}{d_{шт}} L^{2,75} \quad (4.7)$$

де B - коефіцієнт, який залежить від якості використовуваного матеріалу.

Якість сталі B , довжина штанги L у кожній свердловині – це постійна величинами, а число обривів колони штанг пропорційне до параметру K . Змінними величинами будуть n , $D_{пл}$, $d_{шт}$. Найбільша кількість обривів штанг буде у верхній частині колони насосних штанг, тому розрахуємо для верхньої частини колони насосних штанг $d_{шт} = 19 \text{ мм}$.

$$K^3 = n \frac{D_{пл}}{d_{шт}} = 14 \cdot \frac{3,421}{1,9} = 25,2 \quad (4.8)$$

Отримане значення обривів допустиме, оскільки не більше $K = 30$.

4.2 Розрахунки потужності приводного електродвигуна верстата-качалки

Вихідні дані: діаметр плунжера насоса $D_{пл} = 34 \text{ мм}$; глибина експлуатованої свердловини $H = 1400 \text{ м}$; довжина ходу гирлового штока $s = 1,5 \text{ м}$; частота коливань балансира $n = 14 \text{ хв}^{-1}$.

Потужність електродвигунів визначаємо за формулами:

$$N = 1,7 \cdot K_0 \cdot K_a \cdot D_{пл}^2 \cdot H \cdot s \cdot n \cdot 10^{-7} + N_0, \quad (4.9)$$

та

$$N = 1,5 \cdot K_0 \cdot K_a \cdot Q_T \cdot H \cdot 10^{-4} + N_0 \quad (4.10)$$

де N_0 - втрати потужності двигуна при холостому ході; приймаємо 5% від загальних втрат;

$D_{пл}$, H , s , n - параметри, які задані у вихідних даних;

K_0 - відносний коефіцієнт крутного моменту, що виникає на валу електродвигуна:

$$K_0 = \sqrt{1 + \frac{3,4 \cdot s^2 \cdot 10^5}{D_{пл}^3} \left(K_c + \frac{5,6n^2}{10^4} \right)} \quad (4.11)$$

звідки

$$K_0 = \sqrt{1 + \frac{3,4 \cdot 1,5^2 \cdot 10^5}{34^3} \left(0,095 + \frac{5,6 \cdot 14^2}{10^4} \right)^2} = 1,35$$

K_a - поправковий коефіцієнт, що визначає вплив деформації насосних штанг і насосно-компресорних труб на потужність, приймаємо з врахуванням довжини ходу плунжера до полірованого штоку за формулою:

$$s_{nr} = s - \lambda = s - \frac{F \gamma H L (f_m + f_m)}{E \cdot 10^4 \cdot f_m \cdot f_m} = 1,5 - \frac{9,07 \cdot 890 \cdot 1400 \cdot 1400 (2,289 + 8,68)}{2,1 \cdot 10^6 \cdot 10^4 \cdot 2,289 \cdot 8,68} = 1,29 \quad (4.12)$$

де s - довжина ходу штанг, $s = 1,5$ м;

F - площа поперечного перерізу плунжера насоса, $F = 907$ мм²;

$H = L$ - висота, на яку піднімається нафта, $H = L = 1400$ м;

f_m - середня площа поперечного перерізу насосних штанг:

$$f_m = \frac{f_{m(16)} + f_{m(19)}}{2} = \frac{2,01 \cdot 66 + 2,83 \cdot 34}{100} = 228,9 \text{ мм}^2 \quad (4.13)$$

де $f_{m(19)}$ та $f_{m(16)}$ - площа перерізу колони насосних штанг, які мають діаметри 19 мм та 16 мм;

f_m - площа перерізу насосно-компресорних труб; $f_t = 868$ мм².

E - модуль пружності матеріалу насосних штанг; $E = 2,1 \cdot 10^6$ МПа.

Оскільки $\frac{s_{nr}}{s} = \frac{1,29}{1,5} = 0,86$, то приймаємо $K_a = 0,98$.

Для розрахунку вибираємо формулу (4.10), тоді:

$$N = 1,7 \cdot 1,35 \cdot 0,98 \cdot 34^2 \cdot 1400 \cdot 1,5 \cdot 14 \cdot 10^{-7} + \\ + 0,05 \cdot (1,7 \cdot 1,35 \cdot 0,98 \cdot 34^2 \cdot 1400 \cdot 1,5 \cdot 14 \cdot 10^{-7}) = 9,34 \text{ кВт}$$

Згідно проведених розрахунків електродвигун, що встановлений на верстаті-качалці потужністю 10 кВт, задовольняє умовам, і буде працювати з допустимим навантаженням.

4.3. Розрахунок пасової передачі приводу верстата-качалки

Пасова передача має наступні характеристики:

- тип клинового паса - Б;
- ширина клинового паса - 17 мм;
- висота клинового паса - 11 мм;
- максимальна кількість клинових пасів - 4;
- довжина клинового паса — 3350 мм.

Кількість оборотів шківів редуктора:

$$n_1 = \frac{(1 - \xi) d_w n_{el}}{d} (\text{хв}^{-1}) \quad (4.14)$$

де $\xi = 0,01$ - коефіцієнт ковзання клинового паса;

d_w - діаметр шківів на електродвигуні; $d_w = 0,208$ м;

n_{el} - число обертів ротора електродвигуна; $n_{el} = 1500 \text{ хв}^{-1}$;

d - діаметр шківів на редукторі; $d = 0,56$ м.

Отримаємо:

$$n_1 = \frac{(1 - 0,01) \cdot 0,208 \cdot 1500}{0,56} = 552 \text{ хв}^{-1}$$

Швидкість руху клинових пасів:

$$u = \frac{\pi \cdot d_w \cdot n_{el}}{60} = \frac{\pi \cdot 0,208 \cdot 1500}{60} = 16,3 \text{ м/с} \quad (4.15)$$

Отримана швидкість 16,3 м/с задовольняє вимогам, оскільки максимальна швидкість руху пасів в клинопасових передачах не більше 25 м/с. Кут обхвату

шківа визначаємо за формулою:

$$\alpha = 180^\circ - \frac{(D - d_w) \cdot 60}{n} = 180^\circ - \frac{(0,56 - 0,208) \cdot 60}{1500} = 179,9^\circ \quad (4.16)$$

Розрахункову потужність N_1 , що передається одним клиновим пасом приймаємо $N_1 = 4,05$ кВт.

Допоміжний коефіцієнт:

$$f = 1 - 0,003(180 - \alpha) = 1 - 0,003(180 - 179,9) = 0,99 \quad (4.17)$$

Найменша кількість клинових пасів:

$$n = \frac{N}{N_1 f F} \quad (4.18)$$

де F – коефіцієнт; $F = 0,55$.

Тоді отримаємо:

$$n = \frac{8,03}{4,05 \cdot 0,99 \cdot 0,55} = 3,64$$

Приймаємо $n = 4$ паси.

Число перегинів клинових пасів:

$$m = 2u / L = 2 \cdot 16,3 / 3,35 = 9,7 \text{ (с}^{-1}\text{)} \quad (4.19)$$

де $L = 3,35$ м - довжина клинового пасу .

Умова задовольняється, так як значення m не перевищує 40 с^{-1} .

4.4 Розрахунок необхідного режиму підйому колони насосно-компресорних труб

Для раціонального використання потужності установки підйому й для пришвидшення процесу СПО необхідно використовувати оптимальну оснастку талевої системи та найбільш можливу швидкість підйому колони НКТ. Важливо визначати швидкості підйому для раціонального піднімання

свердловинного обладнання залежно від ваги та інтервалу піднімання.

Кількість труб, що піднімається на кожній швидкості:

$$Z = \frac{i \cdot \eta \cdot P_{\text{хк}}}{q \cdot l}, \quad (4.20)$$

де q - вага одного погонного метра насосно-компресорної труби, $q = 95$ Н/м;

l - довжина однієї НКТ, м; $l = 8$ м;

$P_{\text{хк}}$ - найбільший натяг рухомого кінця талевого канату на кожній швидкості підйому, Н;

η - коефіцієнт корисної дії талевої системи, $\eta = 0,93$;

i - кратність оснастки, $i = 4$.

Натяг рухомого кінця каната:

$$P_{\text{хк}} = (P_{\text{г}} + P_{\text{об}}) \frac{\beta_{\text{т}}^n (\beta_{\text{т}} - 1)}{\beta_{\text{т}}^n - 1}, \quad (4.21)$$

де $P_{\text{г}}$ - вага інструменту, кН,

$P_{\text{об}} = G_{\text{мс}}$ - вага рухомого обладнання талевої системи;

n - число струн талевої системи;

$\beta_{\text{т}}$ - коефіцієнт, що враховує тертя, яке виникає в підшипниках шківів та виникає від каната до шківів; дорівнює 1,03 – 1,04.

Вантажопідіймальність агрегату залежно від швидкості піднімання гака:

| Включена передача | I | II | III | IV |
|-----------------------------------|-----|-----|-----|----|
| Вантажопідіймальність на гаку, кН | 280 | 173 | 103 | 63 |

$$P_{\text{хк1}} = (280 + 5,6) \frac{1,03^4 (1,03 - 1)}{1,03^4 - 1} = 76,8 \text{ кН.}$$

$$P_{\text{хк2}} = (173 + 5,6) \frac{1,03^4 (1,03 - 1)}{1,03^4 - 1} = 48,04 \text{ кН.}$$

$$P_{\text{хк3}} = (103 + 5,6) \frac{1,03^4 (1,03 - 1)}{1,03^4 - 1} = 29,2 \text{ кН.}$$

$$P_{\text{хк4}} = (63 + 5,6) \frac{1,03^4 (1,03 - 1)}{1,03^4 - 1} = 18,45 \text{ кН.}$$

Визначаємо кількість насосно-компресорних труб, які піднімаються на

кожній швидкості:

$$Z_1 = \frac{4 \cdot 0,93 \cdot 76,8 \cdot 10^3}{95 \cdot 8} = 374;$$

$$Z_2 = \frac{4 \cdot 0,93 \cdot 48,04 \cdot 10^3}{95 \cdot 8} = 236;$$

$$Z_3 = \frac{8 \cdot 0,93 \cdot 29,2 \cdot 10^3}{95 \cdot 8} = 140;$$

$$Z_4 = \frac{8 \cdot 0,93 \cdot 18,45 \cdot 10^3}{95 \cdot 8} = 90.$$

Після цього для машиніста установки складається програма підйому, а саме, яку кількість труб піднімати на кожній швидкості, що визначаємо у зворотному порядку:

$$\text{на IV - швидкості } Z_4 = Z_4 = 90,$$

$$\text{на III - швидкості } Z_3 = Z_3 - Z_4 = 140 - 90 = 50,$$

$$\text{на II - швидкості } Z_2 = Z_2 - Z_3 = 236 - 140 = 96,$$

$$\text{на I - швидкості } Z_1 = Z_1 - Z_2 = 374 - 236 = 138.$$

Розраховуємо число НКТ, які спущені у свердловину:

$$n = H/l; \quad (4.22)$$

де H - глибина спуску НКТ, м;

l - довжина однієї труби, м.

$$n = 1976/8 = 247 \text{ штук.}$$

На другій - четвертій передачах піднімаємо:

$$Z_2 + Z_4 + Z_3 = 96 + 90 + 50 = 236 \text{ труб.}$$

Визначаємо число труб НКТ на першій передачі:

$$Z_1 = 247 - 236 = 11 \text{ труб.}$$

Отже, робота розпочинається на першій передачі (11 насосно-компресорних труб); на другій передачі 96 труб, на третій передачі 50 труб, решту 90 труб - на четвертій передачі.

4.5 Визначення режиму роботи штангової свердловинної установки

Дебіт свердловини складає 22 м³/добу. Необхідно відрегулювати режим роботи штангової свердловинної установки. Це можна здійснити двома способами в границях технічної характеристики верстата-качалки: 1) зміна довжини ходу гирлового штока; 2) зміна кількості ходів гирлового штока.

Число подвійних ходів:

$$n = Q_T / (1440 \cdot F_n \cdot S), \quad (4.23)$$

Q_T - теоретична продуктивність насоса, м³/добу

S - довжина ходу штока, $S = 3$ м.

F_n - площа плунжера, м²;

$$F_n = \pi \cdot D^2 / 4 = 4,14 \cdot 0,032^2 / 4 = 8,03 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2,$$

де D - діаметр плунжера, м

$$Q_T = Q / b, \quad (4.24)$$

де $b = 0,74$ - коефіцієнт подачі ШСНУ.

Q - дійсна продуктивність установки.

Свердловина переводиться з $Q_1 = 28,2$ м³/добу на $Q_2 = 22$ м³/добу.

$$Q_{T1} = 28,2 / 0,74 = 38,1 \text{ м}^3/\text{добу},$$

$$Q_{T2} = 22 / 0,74 = 29,7 \text{ м}^3/\text{добу}.$$

Отже,

$$n_1 = 38,1 / (1440 \cdot 8,03 \cdot 10^{-4} \cdot 3) = 10,9 \text{ хв}^{-1}$$

$$n_2 = 29,7 / (1440 \cdot 8,03 \cdot 10^{-4} \cdot 3) = 8,6 \text{ хв}^{-1}$$

Отримано наступні результати. Модернізований свердловинний штанговий насос має характеристики: продуктивність 28,2 м³/добу при ході плунжера $S=3$ м і кількості подвійних ходів $n=12$ хв⁻¹; в той же час продуктивність 22 м³/добу при кількості подвійних ходів $n=10$ хв⁻¹.

4.6 Розрахунок напруг в гирловому штоку

При експлуатації штангової свердловинної установки в точці підвішування штанг діє навантаження:

$$P_{up} = P_c + P_{um}, \text{ Н.} \quad (4.25)$$

На колону насосних штанг діє гідростатичне навантаження:

$$P_p = [860 \cdot 9.81(1976-30) + 1.5 \cdot 10^6] \cdot \frac{3.14 \cdot 0.038^2}{4} = 20,3 \text{ кН} \quad (4.26)$$

Вага колони насосних штанг у повітрі:

$$P_{ob} = \left(\sum_{i=1}^n l_i \cdot m_i \right) \cdot g, \text{ Н,} \quad (4.27)$$

$$P_{um} = [400 \cdot 30.8 + 456 \cdot 24.05 + 1120 \cdot 16.36] \times 9.81 = 38,1 \text{ кН.}$$

Навантаження, яке діє в точці підвішування насосних штанг за формулою (4.25):

$$P_{ob} = 38,1 + 20,3 = 58,4 \text{ кН.}$$

Найбільші напруження при розтягу колони насосних штанг:

$$\sigma_p = \pm P_{ob} / F_{um25},$$

де $F_{ob 25}$ - площа перерізу насосної штанги діаметром 25 мм.

$$\sigma_p = \pm 61,65 \cdot 10^3 / 0,00049 = 125,816 \text{ МПа.}$$

Умова міцності деталі:

$$n = [\sigma] / \sigma_p \quad (4.28)$$

де $[\sigma]$ - допустима напруга при розтягу, яка складає для матеріалу штанги Сталі 40 нормалізованої $[\sigma] = 580 \text{ МПа}$.

$$n = 580 / 125,816 = 4,6.$$

Отже, коефіцієнт запасу міцності достатній.

Висновки

Проведені розрахунки працездатності обладнання штангової свердловинної насосної установки з модернізованим насосом вказують на її працездатність, так як отримані коефіцієнти міцності більші за допустимі.

5 МОНТАЖ І ЕКСПЛУАТАЦІЯ ОБЛАДНАННЯ

5.1 Технологія монтажу штангових свердловинних насосів

Підвіска канату (рис. 5.1) складається з нижньої поперечини 2, в якій приварені дві втулки. Клиновий затискач 10 служить для фіксації кінця канату 7; натискна гайка 1; підйомний гвинт 3, верхня частина якого має гострий конічний кут і отвір для вставки (нижній кінець гвинта має різьбу); верхня балка 5 приварена до втулки 4; клиновидна форма 6 використовується для затягування стрижня сальника 8; встановлюючи канатний сальник, вставляють затискну гайку 9 з отворами. У верхньому канаті є отвір для проходження кінця каната та конус для упору конічної частини гвинта.

Підвішуючи колону штанг до верхньої частини балансира, вибирають необхідну довжину каната, відрізають кінець каната і спочатку уводять у отвір верхньої балки, а потім уводять у нижній корпус балки, щоб вони могли проходити з втулок. Потім закріплюють канат, затягнувши хомут натискної гайки. Верхня частина канатної підвіски розміщується на блоку балансира, балка з'єднується з канатним сальником і фіксується плашками.

Після завершення збирання умикають поворотну верстат-качалку та тестують роботу штангового свердловинного насоса. Потім зупиняють верстат-качалку і під'єднують нагнітальну лінію до трійника.

Випускаються два варіанти стандартних штангових насосів: вставний та невставний. Основна відмінність полягає в тому, що циліндр невставного насоса вбудований в насосно-компресорні труби. Для заміни насоса труби потрібно підняти. Вставний насос опускається в труби НКТ і розміщується в правильному положенні колони за допомогою спеціального фіксуючого пристрою, який називається фіксуючою опорою. Застосування вставних насосів значно прискорює обслуговування нафтових свердловин, оскільки для заміни насоса із нафтової свердловини необхідно лише підняти штангову колону. У той же час конструкція невставних насосів, простіша і не вимагає замкової опори. Невставні насоси широко використовуються для вилучення великої

кількості рідини з невеликих глибин, тоді як вставні насоси більше підходять для глибоких свердловин.

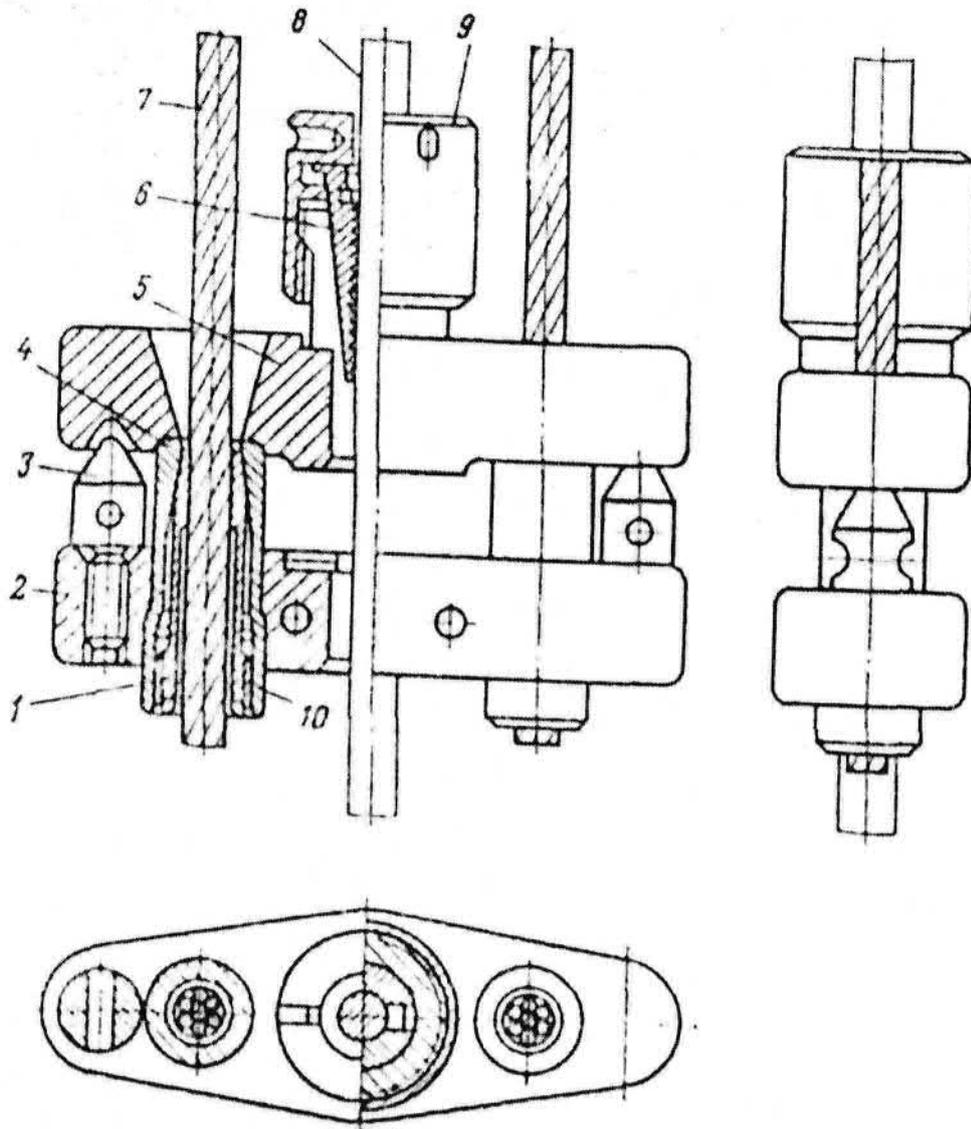


Рисунок 5.1 – Підвіска траверси

Контроль параметрів під час реєстрації та регулярних перевірок, а також те, як провести відповідне тестування на стенді:

- Сила, необхідна для переміщення плунжера.
- Калібрувальна вага вантажу, підвішеного до точки підвіски під час випробування. Інші методи створення навантажень під час випробувань включають використання динамометрів. Похибка вимірювання - $\pm 5\%$;

- універсальні інструменти для вимірювання довжини поршня загального призначення;

- Вакуум, що створюється у циліндрі насоса вимірюється вакуумметром;

- Радіальний зазор між внутрішнім діаметром циліндра та зовнішнім діаметром поршня вимірюється універсальним вимірювальним інструментом.

Ці елементи повинні бути марковані, щоб перевірити номінальний діаметр циліндра та плунжера, щоб визначити придатність комплекту насоса. Якщо група посадки не відповідає паспортним даним, насос вибраковується.

Герметичність блоку клапанів і насосу опресовується маслом Industrial I-12A протягом 15 хвилин. Тиск 16 МПа. Міцність клапанного вузла перевіряють вакуумним випробуванням. Зниження ступеня вакууму не повинно перевищувати 0,01 МПа на хвилину.

Використовується індустриальне масло I-12 для перевірки міцності циліндра, впускного та вихідного клапанів при тиску $P = 0,0125 \text{ Н} \pm 1 \text{ МПа}$ при температурі 20° С . Під час випробування тиск у насосі дорівнює довжині поршня (мм). Випробування триває 1 хвилину, а допустимий перепад тиску не перевищує 0,5 МПа.

Якість збірки механічних компонентів визначається зовнішнім оглядом. У разі дефектів якості насос можна перевірити на якість, вставивши насос у затискач та підключивши його до верхнього перевідника або стійки. Одночасно порівняйте серійний номер у паспорті з номерами на циліндрі та під ним. Якщо паспорта немає, буде записаний фактичний номер насоса.

У наступних випадках свердловинні штангові насоси бракуються:

- Якщо відстань передачі між двома кінцями корпусу і перевідника з обох сторін більше 18 мм;

- Якщо неможливо зняти всмоктуючий клапан, необхідно опустити вал і повернути його за годинниковою стрілкою на 180° , щоб зняти насос (повторити операцію 3 рази);

- Якщо вставний насос не проходить через опорне кільце стопорного замкової опори;

- Якщо не проходить плунжер в циліндр, що приєднаний до патрубків довжиною насосно-компресорних труб не менше 1200 мм;

- Порушується цілісність покриття (відшарування, лінії, тріщини, забоїни) плунжера;

- Коли знайдений олов'яно-свинцевий припій у верхній частині на кульках клапанів;

- При виявленні шорсткості поршня після хромування, коли виявляється принаймні одна деталь насоса, бува в експлуатації.

Також можна перевірити якість конструкції на спеціальному стенді та записати функціональну картограму зусиль руху плунжера в циліндрі насоса. Плунжер має рухатися по всій довжині плавно, без ривків і без заїдань.

Якщо є заїдання, ривки, нерівності або плунжери, які не можуть рухатися, або якщо плунжер не може переміщуватися через увесь циліндр, то насос бракується. Різниця навантаження на шток плунжера не повинна перевищувати 200 Н при рівномірному вздовж всієї довжини циліндра.

Перед монтажем верстата-качалки перевіряють комплектистість поставки вузлів і кріплених матеріалів (болтів, гайок, шайб). Доставлені до місця монтажу вузли верстата-качалки розташовують у послідовності монтажу. Монтаж починається з установки рами на фундамент затягуванням її на вкладених канатах із труб чи краном, змонтованим на тракторі.

Після встановлення рами вивіряють її положення відносно центра свердловини і горизонтальність у поздовжньому й поперечному напрямках.

При наявності на свердловині вишки чи мачти монтаж стійки й балансира можна виконувати за допомогою підйомника, в інших випадках – вантажопідйомними засобами. Перед установленням балансира перевіряють горизонтальність верхньої плити стійки у двох напрямках та кріплення до рами. Балансир піднімають і встановлюють на плиту стійки разом з його опорою. При цьому поздовжня вісь балансира повинна збігатися з поздовжньою віссю симетрії верстата-качалки, а площина качання балансира бути перпендикулярною до площини основи. Правильність положення балансира

відносно центра свердловини перевіряють відвісом, прикріпленим до центра траверси канатної підвіски.

Невеликі відхилення усувають переміщенням балансира за допомогою регулювання болтів. Закріплюючи балансир, піднімають траверсу з двома шатунами і її опорою для приєднання до балансира. Верхні головки повинні вільно обертатися на пальцях у втулках траверси. Пальці мають бути надійно застопорені у верхніх головках шатунів. Після збирання гальмівного пристрою провертають шків редуктора до встановлення кривошипів у горизонтальне положення й загальмовують їх. На кривошипи вставляють противаги та закріплюють їх болтами з гайками і контргайками. Нижні головки шатунів приєднують до кривошипів та закріплюють у певному положенні, закріплюючи гайку спеціальним патронним ключем.

Гайки після кріплення шплінтують. Відстань між шатунами і кривошипами з обох сторін верстата-качалки повинна бути однаковою. Після перевірки паралельності поздовжніх осей кривошипів та збіжності зовнішніх поверхонь шківів редуктора й електродвигуна надівають клинові ремені. Натяг ременів регулюють, піднімаючи чи опускаючи поворотні салазки. По завершенні збирання і перевірки його якості встановлюють фундаментні шпильки, кінці яких мають виступати над верхньою площиною рами для встановлення гайки і контргайки. При заливанні цементного розчину під раму верстата-качалки фундаментні болти затягують після затвердіння розчину.

По завершенні монтажу електрообладнання, огороження кривошипа і площадки з драбинами для обслуговування електродвигуна, а також перевірки змазки в підшипниках та редукторі дозволяється проводити пробний пуск верстата-качалки й обкатку на холостому ході протягом 3 годин.

У процесі обкатки перевіряють вертикальність руху шатунів, точки підвісу штанг, величину торцевого і радіального биття шківів, наявність шуму та стуків у вузлах. При задовільній роботі й відсутності дефектів приєднують штанги свердловинного насоса і включають верстат під навантаженням.

5.2 Експлуатація і технічне обслуговування верстата-качалки

Вихідними даними для розрахунку припусків на обробку та режимів різання служать: матеріал заготовки та її розміри, геометричні параметри ріжучої частини інструменту, паспортні характеристики верстата.

Розрахунок проводимо для поверхні втулки діаметром 56 мм. Дані розрахунків заносимо в табл. 5.1.

$$\rho_i = 2 \cdot \Delta_k \cdot l_k \quad (5.1)$$

де $\Delta_k = 0,7$ - питома короблення, мкм/мм;

$$\rho_i = 2 \cdot 0,7 \cdot 1270 = 1778 \text{ мкм}$$

Для наступних видів обробки значення величини, що впливає на мінімальний граничний розмір заготовки визначається за формулою

$$\rho_{i-1} = 0,06 \cdot \rho_i \text{ — при чорновому точінні;} \quad (5.2)$$

$$\rho_{i-2} = 0,05 \cdot \rho_i \text{ - при чистовому точінні;} \quad (5.3)$$

$$\rho_{i-3} = 0,04 \cdot \rho_i \text{ - при шліфуванні.} \quad (5.4)$$

Таблиця 5.1 – Розрахунок припусків на обробку

| Операція (перехід) | Величина, що визначає Z_{min} мкм | | | | й розмір заготовки | Граничний розмір заготовки, мм | | Граничне значення припуску, мм | | Допуск на розмір, мкм |
|--------------------|-------------------------------------|---------|-----------|---------|--------------------|--------------------------------|--------|--------------------------------|------------|-----------------------|
| | R_z | H | ρ | E_y | | min | max | $2Z_{min}$ | $2Z_{max}$ | |
| Заготовка | 20 0 | 20 0 | 177 8 | — | 55.775 | 55.775 | 56.775 | — | — | 2000 |
| Точіння чорнове | 10 0 | 10 0 | 106. 6 | 20 0 | 56.925 | 56.92 5 | 55.325 | 0,85 | 2,45 | 400 |
| Точіння чистове | 25 | 25 | 3 | 200 | 56.925 | 56.38 5 | 56.505 | 0,54 | 0,82 | 120 |

| | | | | | | | | | | |
|------------|---|----|---|---------|--------|------------|----|-------|-------|----|
| Шліфування | 5 | 15 | 2 | 10 0 | 56.625 | 56.62 5 | 56 | 0,465 | 0,505 | 20 |
| | | | | | | | Σ | 1.855 | 3.805 | |

Отже за формулою (5.2)

$$\rho_{i-1} = 0,06 \cdot 1778 \approx 106,68 \text{ (мкм)}$$

За формулою (5.3)

$$\rho_{i-2} = 0,05 \cdot 1778 \approx 88,9 \text{ (мкм)}$$

За формулою (5.4)

$$\rho_{i-3} = 0,04 \cdot 1778 \approx 71,12 \text{ (мкм)}$$

Приймаємо значення похибки установлення заготовки при точінні $E_y = 100 \text{ мкм}$. Решту потрібних значень визначаємо аналогічно і записуємо до таблиці 5.1.

Визначаємо мінімальна операційні припуски за формулою

- при чорновому точінні

$$2 \cdot Z_{\text{min}} = 2 \cdot (100 + 100 + \sqrt{106,68^2 + 200^2}) \approx 850 \text{ (мкм)}. \quad (5.5)$$

- при чистовому точінні

$$2 \cdot Z_{\text{min}} = 2 \cdot (25 + 25 + \sqrt{88,9^2 + 200^2}) \approx 540 \text{ (мкм)}$$

- при шліфуванні

$$2 \cdot Z_{\text{min}} = 2 \cdot (5 + 15 + \sqrt{71,12^2 + 200^2}) \approx 465 \text{ (мкм)}$$

Визначаємо розрахункові мінімальні розміри для кожної операції:

- після шліфування $D = 56 \text{ мм}$;
- після чистового точіння : $D = 55,92 + 0,465 = 56,385 \text{ мм}$;
- розмір заготовки: $D = 55,925 + 0,85 = 56,775 \text{ мм}$.

Допуски технологічні для викінчувального переходу беремо з креслення поршня, для проміжних — за таблицями точності і квалітетом точності

$$\left. \begin{array}{l} es = +1,3 \\ ei = -0,7 \end{array} \right\} Td = 2 \text{ мм}$$

За нормаллю 0300-02 обираємо допуски на між-операційні припуски і заносимо їх до табл. 5.1. Знаючи ці припуски, знаходимо граничні розміри виробу для кожної операції, округлюючи їхні значення до того ж самого знака десяткового дробу, з яким дано допуск на розмір, і заносимо ці дані до табл. 5.1

Визначаємо граничні значення припусків для кожної операції:

– при шліфуванні

$$Z_{\max} = 56.505 - 55 = 0,505 \text{ (мм)},$$

$$Z_{\min} = 56.385 - 55.625 = 0,76 \text{ (мм)},$$

– при чистовому точінні

$$Z_{\max} = 57.325 - 56.505 = 0,82 \text{ (мм)},$$

$$Z_{\min} = 56.925 - 56.385 = 0,54 \text{ (мм)},$$

– при чорновому точінні

$$Z_{\max} = 59.775 - 57.325 = 2,45 \text{ (мм)},$$

$$Z_{\min} = 57.775 - 56.925 = 0,85 \text{ (мм)},$$

Значення Z заносимо до табл. 5.1.

Знаходимо загальний припуск на обробку заготовки:

$$Z_{\text{заг. max}} = 2,45 - 0,82 + 0,505 = 3,805 \text{ (мм)},$$

$$Z_{\text{заг. min}} = 0,85 - 0,54 + 0,465 = 1,855 \text{ (мм)},$$

Технологічні розміри в системі вала:

$$d = (d_{\min} + ei)_{ei}^{\text{es}} = 57.775 + 0,7 = 58.475_{-0,7}^{+1,3}$$

Розрахунок режимів різання

Точіння з діаметру 58 мм до діаметру 56 мм здійснюємо за два проходи.

Різець прохідний 1К62. Стійкість різця $T=90$ хв.

Попереднє обточування. Глибину різання вважаємо такою, що дорівнює припуску на обробку, тобто 2 мм на сторону; $C_r = 170$; визначаємо подачу

$$S = 0,43 \frac{\text{мм}}{\text{об}}; \text{ швидкість різання } V, \frac{\text{м}}{\text{хв}}$$

$$V = \frac{170}{2^{0,18} \cdot 0,43^{0,35}} \cdot 0,77 \approx 155 (\text{м / хв}) \quad (5.6)$$

Частота обертання шпинделя

$$n = \frac{1000 \cdot 55}{3,14 \cdot 77} \approx 641 (\text{об / хв}) \quad (5.7)$$

Напівчистове обточування. Глибину різання вважаємо такою, що дорівнює припуску на обробку, тобто 0,5 мм на сторону; подача $S = 0,43 \frac{\text{мм}}{\text{об}}$; $C_v = 170$. Визначаємо швидкість різання

$$V = \frac{170}{0,5^{0,18} \cdot 0,43^{0,35}} \cdot 0,77 \approx 199 (\text{м / хв})$$

$$n = \frac{1000 \cdot 199}{3,14 \cdot 77} \approx 850 (\text{об / хв})$$

Визначаємо ефективну потужність верстата 1К62 при чорновому точінні з діаметра 58 до діаметру 56 за формулою

$$N_e = \frac{P_z \cdot V}{6120} \quad (5.8)$$

де P_z - тангенціальна складова зусилля різання, $P_z = 333 \text{ Н}$

За формулою отримаємо

$$N_e = \frac{333 \cdot 199}{6120} \approx 7,89 (\text{кВт})$$

Визначаємо потужність на шпинделі верстата за формулою

$$N_{\text{шп}} = \frac{N_e}{\eta} \quad (5.9)$$

де η - ККД верстата, $\eta = 0,8$.

Отже за формулою (5.6) отримаємо

$$N_{\text{шп}} = \frac{7,89}{0,8} = 9,86 (\text{кВт}).$$

Потужність електродвигуна за паспортом складає 10 кВт. Отже умова виконується: $N_{\text{дв}} = 10 \text{ кВт} > N_{\text{шп}} = 9,86 \text{ кВт}$.

5.3 Охорона праці

Під час монтажу і демонтажу верстата-качалки використовуються трактори, крани або підйомники; при використанні цього обладнання верстат-качалку легше монтувати й демонтувати.

З міркувань безпеки повинні бути встановлені захисні кожухи, щоб запобігти травмуванню та запобігти потраплянню до рухомих частин з усіх боків. Згідно з правилами безпеки, доступ до огорожі можливий лише тоді, коли верстат-качалка повністю нерухомий. Пусковий пристрій має встановлюватися на висоті не більше 1 м. Огорожу можна встановити на відстані 35 см від рухомої частини верстата-качалки у вигляді перил. Якщо огорожа віддалена від рухомої частини верстата-качалки на 35 см, вона повинна бути міцною або сітчастою з металевим каркасом. Висота огорожі повинна бути не менше 1,8 м. Висота нижнього запобіжного поясу огорожі щодо землі не повинна перевищувати 15 см. Відстань між стійками не повинна перевищувати 2,5 м. З одного боку опори встановлюється драбина-стрем'янка, ширина якої має бути не менше 60 см, а відстань між двома поперечними планками драбини – не менше 35 см.

Раму верстата-качалки необхідно з'єднати з кондуктором (технічною колоною) двома сталевими заземлюючими дротами. Приварити до кондуктора (технічної колони) та до рами в різних місцях. Поперечний переріз прямокутного провідника має бути не менше 48 мм. Товщина стінки сталевого кутника повинна бути не менше 4 мм. Діаметр кругового заземлювача – 10 мм. Як заземлюючий електрод можна використовувати сталь: круглу, стрічкову або інших контурів. Канат не можна використовувати як заземлювач.

Платформа, що використовується для ремонту верстата-качалки, повинна мати металеву підлогу і бути заземленою не менше у 4-х місцях. Під час ремонту електрики повинні використовувати діелектричні рукавиці.

Коли зупинений верстат-качалка, противаги опущені до найнижчого положення і застосується гальмо, щоб закріпити їх в такому положенні. При

крайньому нижньому положенні головки балансира відстань між траверсою підвіски сальникового штока і гирловим сальником повинна бути не менше 20 см. Верхній торець гирлового сальника має бути вище рівня площадки обслуговування менше 1 м. Монтаж, демонтаж, заземлення, обслуговування, ремонт і заходи з техніки безпеки верстата-качалки і під час проведення підземного ремонту свердловини повинні відповідати вимогам "Правил техніки безпеки в нафтогазовій промисловості".

Заборонено:

- експлуатувати верстат-качалку, не захищену огороженням кривошипно-шатунного механізму і привідного клинового ременя;
- проводити роботи з технічного обслуговування та ремонту без зупинки верстата-качалки;
- знаходитись під балансиром та його головою;
- вручну прокручувати вал, щоб привести в дію шків і ставити сторонні предмети на гальмо для його гальмування.

Перед тим, як запустити верстат-качалку в роботу, потрібно:

- перевірити правильність входження клину в канавку шайби поворотної головки балансира;
- переконатись, що редуктор не загальмований, що захисні пристрої встановлені та в зоні небезпеки немає людей;
- подати словесний сигнал. Рівень шуму свердловинної штангової установки не має перевищувати 90 дБ.

При монтажі та експлуатації верстатів-качалок висуваються такі основні вимоги техніки безпеки.

1. Верстат-качалку необхідно монтувати під керівництвом досвідченого бригадира чи майстра за допомогою монтажних пристосувань чи крана.
2. Всі рухомі частини верстата-качалки повинні бути огорожені.
3. При нижньому положенні головки балансира відстань між траверсою підвіски сальникового штока та гирловим сальником має бути не менше від 20 см.

4. Забороняється повертати шків редуктора вручну і гальмувати його, підкладаючи трубу, лом чи інші предмети.

5. Забороняється знімати клиновидний ремінь за допомогою важелів: установлювати і знімати ремінь необхідно шляхом переміщення електродвигуна.

6. При заміні пальців кривошипа шатун потрібно надійно прикріпити до стійки.

7. Роботи, пов'язані з оглядом чи заміною окремих частин верстата-качалки, потрібно виконувати при зупиненні верстата-качалки.

8. Перед пуском верстата-качалки слід упевнитись, що верстат-качалка не на гальмі, огороження встановлені і закріплені, а в небезпечній зоні немає сторонніх осіб.

9. До початку ремонтних робіт на установці привід повинен бути відключений, а на пусковому пристрої закріплений плакат "Не вмикати – працюють люди". На свердловинах з автоматичним і дистанційним керуванням у пусковому пристрої має бути закріплений щит із написом "Увага! Пуск автоматичний".

При обслуговуванні електропривода персонал повинен працювати в діелектричних рукавицях. Штангова насосна установка перед пуском в експлуатацію повинна мати заземлення. В якості заземлювача електрообладнання необхідно використовувати кондуктор свердловин, який повинен бути зв'язаний із рамою верстата двома заземлюючими провідниками перерізом 50 мм^2 , приварених у різних точках кондуктора і рами, що доступні для огляду.

Висновки

У даному розділі магістерської роботи розглянуто основний комплекс робіт з доставки та монтажу на об'єкті верстата-качалки, а також особливості проведення монтажу штангової свердловинної насосної установки в цілому та порядок дій під час монтажу штангових свердловинних насосів; підготовку

обладнання до запуску.

Також було описано випробування штангових свердловинних насосів, вимоги до якості насосів, порядок їх перевірки та відбракування. Якість збирання перевіряється на спеціальному стенді із записом картограми зусиль переміщення плунжера в циліндрі насоса.

Зроблено перелік та послідовність робіт при технічному обслуговуванні і поточному ремонті верстатів-качалок. Проведені розрахунки режимів різання при виготовленні втулки.

В даному розділі також здійснено аналіз небезпечних і шкідливих факторів та умов праці в процесі проведення експлуатації нафтової свердловини за допомогою ШСНУ, описана техніка безпеки при монтажі та експлуатації верстатів-качалок.

ВИСНОВКИ

В магістерській роботі зроблені наступні висновки:

1. Проведено вибір та інформаційний огляд відомих верстатів-качалок різних конструкцій: балансирних, безбалансирних, балансирних з пневматичним врівноваженням, безбалансирних довгохідних, зарубіжних верстатів-качалок фірми LUFKIN. Проаналізовані штангові свердловинні насоси, які випускаються за стандартами ОСТ 26-16-06-86 й АРІ (специфікація ІІАХ), їх конструкції, переваги і недоліки.

2. Суть технічного рішення з модернізації штангового свердловинного насоса полягає в тому, що порівняно із аналогом у модернізованому плунжері встановлюються самоущільнювальні еластичні манжети, які забезпечені змащувальними елементами. Порівняння плунжерів по ОСТ і стандарту АРІ на прикладі насосів з умовним діаметром 32,0 мм показує, що діаметр плунжера насоса, виконаного по ОСТу, може опинитися в межах від 31,9 до 32,425 мм з кроком 0,025 мм. За стандартом АРІ плунжер такого насоса матиме строго заданий діаметр 31,75 мм з верхнім граничним відхиленням +0,00 мм, нижнім - 0,013 мм. Стандарт АРІ (специфікація ІІАХ) не передбачає групи посадки насосів, зазори указуються покупцем індивідуально і виготовляються в будь-якому діапазоні.

За умови застосування даного технічного рішення за рік буде отримано економічний ефект на суму 238,5 тис. грн., що свідчить про доцільність проведення удосконалення штангової свердловинної насосної установки.

3. Проведені промислові дослідження та результати експлуатації модернізованих штангових свердловинних насосів дають підстави стверджувати, що порівняно з аналогічним обладнанням втричі збільшився міжремонтний період, пов'язаний з відмовами насосного устаткування. Відмічено значне зниження динаміки падіння видобутку внаслідок фізичного зношування вузлів тертя. В зв'язку з цим при незмінних режимах відбору практично на усіх свердловинах спостерігалось збільшення середнього об'єму

видобутку за аналогічні інтервали часу. Наявність позитивної динаміки на переважній кількості свердловин дозволяє виключити випадковий вплив зміни геологічних параметрів на роботу свердловинних установок.

4. Проведені розрахунки працездатності обладнання штангової свердловинної насосної установки з модернізованим насосом: розрахунок ступінчастих колон насосних штанг; вибір необхідної потужності приводного електродвигуна; розрахунок клинопасової передачі верстата-качалки; розрахунок оптимального режиму підйому колони насосно-компресорних труб; розрахунок режиму роботи штангової установки; розрахунок напруженого стану гирлового штока – вказують на його працездатність, так як отримані коефіцієнти міцності більші за допустимі.

5. Розглянуто основний комплекс робіт з доставки та монтажу на об'єкті верстата-качалки, особливості проведення монтажу штангової свердловинної насосної установки та порядок дій під час монтажу штангових свердловинних насосів. Також було описано випробування штангових свердловинних насосів, вимоги до якості насосів, порядок їх перевірки та відбракування. Якість збирання перевірена на спеціальному стенді із записом картограми зусиль переміщення плунжера в циліндрі насоса. Зроблено перелік та послідовність робіт при технічному обслуговуванні і поточному ремонті верстатів-качалок та штангових свердловинних насосів. Здійснено аналіз небезпечних і шкідливих факторів та умов праці в процесі експлуатації нафтової свердловини за допомогою ШСНУ, описана техніка безпеки при монтажі та експлуатації верстатів-качалок.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Бедрій Я. І. Охорона праці : Навчальний посібник. Львів : ПТВФ Афіша, 1997. 258 с.
2. Бойко В. С. Підземний ремонт свердловин : підручник для вищих навчальних закладів; у 4-х частинах. Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2002. Частина 1. 465 с.
3. Бойко В. С. Розробка та експлуатація нафтових родовищ. Київ : Міжнародна економічна фундація, 2008. 488 с.
4. Гандзюк М. П. Основи охорони праці. Київ : Основа, 2000. 318 с.
5. Економіка підприємства: навч. посіб. / Я. С. Витвицький та ін. Івано-Франківськ : ІМЕ, 2002. 318 с.
6. Жидецький В. Ц., Джигирей В. С., Сторожук В. М. Практикум з охорони праці : навчальний посібник. Львів : Афіша, 2000. 352 с.
7. Злобін Ю. А. Основи екології : підручник. Київ : Лібра, 1998. 246 с.
8. Ісаєв І. А. Види негативного впливу на навколишнє середовище та заходи з охорони навколишнього середовища при будівництві (бурінні) нафтогазоконденсатних свердловин. *Молодий вчений*. 2014. № 10. С. 112–116.
9. Іщенко І. І., Терещенко С. П. Оцінка економічної ефективності виробництва і затрат: навч. посіб. Київ : Вища шк., 1991. 173 с.
10. Костриба І. В. Основи конструювання нафтогазового обладнання: навч. посіб. – Івано-Франківськ : Факел, 2007 – 256 с.
11. Копей Б. В., Копей І. Б. Аналіз надійності штангових свердловинних вставних і невставних насосів різного діаметра. *Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ*. Серія: Нафтогазопромислове обладнання. 1995. Вип. 32. С.49 – 56.
12. Копей Б. В., Копей І. Б. Надійність штангових свердловинних насосів з втулочними і безвтулочними циліндрами в свердловинах з значною обводненістю. Івано- Франківськ : ІФДТУНГ, 1995. 7 с.

25. Проектування бурового і нафтогазопромислового обладнання: навч. посіб. / В. С. Білецький та ін. Полтава : ПолтНТУ, 2015. 196 с.

26. Поджаренко В. О., Василевський О. М., Кучерук В. Ю. Опрацювання результатів вимірювань на основі концепції невизначеності : навч. посіб. / Вінниця : ВНТУ, 2008. 128 с.

27. Пушкар М. С., Проценко С. М. Проектування систем автоматизації : навч. посіб. Донецьк : Національний гірничий університет, 2013. 268 с.

28. Світлицький В. М., Синюк Б.Б. , Троцький В. П. Техніка і технологія підземного ремонту свердловин. Харків, 2006. 235 с.

29. Семенцов Г. Н. Автоматизація процесу буріння свердловин: навч. посіб. Івано-Франківськ : ІФДТУНГ, 1999. 300 с.

30. Shoham O. Mechanistic Modeling of Gas-Liquid Two-phase Flow in Pipes. -SPE, 2006. 402 p.

31. Токаренко В. М. Технологія автодорожнього машинобудування і ремонт машин, курсове проектування : навч. посіб. Київ : Вища школа, 1992 – 127 с.

32. Ткачов В. В., Чернишев В. П., Одновол М. М. Технічні засоби автоматизації. Донецьк : Національний гірничий університет, 2008. 174 с.

33. Цивільна оборона / В.М. Шоботов та ін. : Навчал. посіб. Київ: Центр навч. л-ри, 2004. 436 с.

34. Шаруда В. Г. Практикум з теорії автоматичного управління. Донецьк : Національний гірничий університет, 2002. 414 с.