

Міністерство освіти і науки України  
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна  
Навчально-науковий інститут «Українська інженерно-педагогічна академія»  
Кафедра (автоматизації, метрології та енергоефективних технологій)

## КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

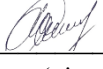
магістра


на тему

«Професійна підготовка кадрового складу нафтовидобувного підприємства до забезпечення надійної експлуатації гвинтових штангових насосних установок»  
(тема кваліфікаційної роботи)

Виконала: студентка 2 курсу, групи ЗПОНС24мг  
спеціальності: 015 Професійна освіта (Видобуток, переробка та транспортування корисних копалин)

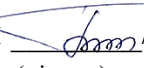
(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

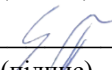
 / Олеся МАКСИМЕНКО  
(підпис) (ім'я та прізвище)


Керівник  / Олена ПРОКОПЕНКО  
(підпис) (ім'я та прізвище)

Рецензент  / Тетяна ГОНТАР  
(підпис) (ім'я та прізвище)

*«До захисту допущено»*

Завідувач кафедри  / Геннадій КАНЮК  
(підпис) (ім'я та прізвище)

Нормоконтроль  / Євген КЛЮЧКА  
(підпис) (ім'я та прізвище)

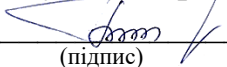
Секретар ЕК  / Євген КЛЮЧКА  
(підпис) (ім'я та прізвище)

Харків – 2025 рік

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМ. В.Н. КАРАЗІНА**

Навчально-науковий інститут «Українська інженерно-педагогічна академія»  
Кафедра автоматизації, метрології та енергоефективних технологій  
Спеціальність 015.35 Професійна освіта (Видобуток, переробка та транспортування корисних копалин)  
Освітньо-професійна програма «Професійна освіта (Нафтогазова справа)»

**ЗАТВЕРДЖУЮ**  
**Завідувач кафедри**

  
(підпис)

д.т.н., проф. Геннадій КАНЮК  
«\_\_» грудня 2025 р.

**ЗАВДАННЯ**

**на кваліфікаційну роботу (дипломну роботу/дипломний проєкт)  
другого (магістерського) рівня вищої освіти**

здобувачці вищої освіти Олесі МАКСИМЕНКО  
(ім'я, прізвище)

1. Тема «Професійна підготовка кадрового складу нафтовидобувного підприємства до забезпечення надійної експлуатації гвинтових штангових насосних установок»

затверджена наказом по університету № 4801-5/3665 від 06.10.2025 р.

2. Термін здачі закінченої роботи «15» грудня 2025 р.

3. Вихідні дані до роботи/проєкту: Закони України, Постанови Верховної Ради, Постанови Кабінету Міністрів, теоретичні та практичні розробки вітчизняних та зарубіжних авторів за темою роботи, періодичні видання, статистичні дані, галузева нормативна документація, технологічна документація.

4. Зміст роботи/проєкту (перелік питань, що їх належить розробити): Актуальність професійної підготовки кадрового складу нафтовидобувного підприємства до забезпечення надійної експлуатації гвинтових штангових насосних установок. Обґрунтування методів і засобів забезпечення надійної експлуатації гвинтових штангових насосних установок. Вимоги до кадрового забезпечення нафтовидобувного підприємства. Розробка дидактичного проєкту.

5. Перелік графічного матеріалу (презентаційний матеріал): Презентація, виконана в програмі Microsoft PowerPoint

6. Консультант:

Розділ	Консультант	Підпис, дата		Оцінка (бали)
		Завдання видав	Завдання прийняв	
1, 4	Д.пед.н., проф. Коваленко О.Е.			

7. Дата видачі завдання «06» жовтня 2025 р.

Керівник роботи

 Олена ПРОКОПЕНКО  
(підпис) (ім'я, прізвище)

Завдання прийняла до виконання

 Олеся МАКСИМЕНКО  
(підпис) (ім'я, прізвище)

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН-ГРАФІК  
виконання кваліфікаційної роботи  
(дипломної роботи/дипломного проєкту)**

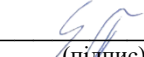
№ з/п	Назва етапів роботи та питань, які мають бути розроблені відповідно до завдання	Термін виконання	Позначки керівника про виконання завдань
1	Аналітичний огляд літератури	06.10.2025 – 15.10.2025	вик.
2	Актуальність професійної підготовки кадрового складу нафтовидобувного підприємства до забезпечення надійної експлуатації гвинтових штангових насосних установок.	16.10.2025 – 25.10.2025	вик.
3	Обґрунтування методів і засобів забезпечення надійної експлуатації гвинтових штангових насосних установок.	26.10.2025 – 10.11.2025	вик.
4	Вимоги до кадрового забезпечення нафтовидобувного підприємства	11.11.2025 – 14.11.2025	вик.
5	Розробка дидактичного проєкту	15.11.2025 – 10.12.2025	вик.
6	Оформлення пояснювальної записки та презентації	До 15.12.2025	вик.

Здобувачка вищої освіти

 (підпис)

Олеся МАКСИМЕНКО  
(ім'я, прізвище)

Нормоконтроль

 (підпис)

Євген КЛЮЧКА  
(ім'я, прізвище)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка дипломної роботи складає: 117 сторінок, 23 рисунки, 11 таблиць, 36 переліків посилань.

Ключові слова: ПРОФЕСІЙНА ПІДГОТОВКА ФАХІВЦІВ, НАФТОВИДОБУВНЕ ПІДПРИЄМСТВО, ГВИНТОВИЙ НАСОС, НАДІЙНІСТЬ ОБЛАДНАННЯ, ЕКСПЛУАТАЦІЯ

Об'єкт дослідження – процес професійної підготовки інженерно-технічного та обслуговуючого персоналу нафтовидобувного підприємства, який експлуатує гвинтові штангові насосні установки (ГШНУ).

Предмет дослідження – професійна підготовка персоналу нафтовидобувного підприємства до забезпечення надійної, безпечної та ефективної експлуатації ГШНУ, включаючи знання конструкційних особливостей, механізмів зношування, технологій діагностики та профілактичного обслуговування.

Теоретично обґрунтовано та розроблено ефективну систему професійної підготовки персоналу нафтовидобувного підприємства, спрямовану на формування компетентностей, необхідних для стабільної та безаварійної роботи гвинтових штангових насосних установок.

## ABSTRACT

An explaining message consists of: 117 pages, 23 pictures, 11 tables, 36 lists of references.

Keywords: PROFESSIONAL TRAINING OF SPECIALISTS, OIL PRODUCTION ENTERPRISE, SCREW PUMP, EQUIPMENT RELIABILITY, OPERATION

The object of the study is the process of professional training of engineering, technical and maintenance personnel of an oil production enterprise that operates screw rod pumping units (SRUs).

The subject of the study is professional training of personnel of an oil production enterprise to ensure reliable, safe and effective operation of SRUs, including knowledge of design features, wear mechanisms, diagnostics and preventive maintenance technologies.

An effective system of professional training of personnel of an oil production enterprise has been theoretically substantiated and developed, aimed at forming the competencies necessary for stable and trouble-free operation of screw rod pumping units.

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	7
РОЗДІЛ 1 .....	10
<p style="text-align: center;">АКТУАЛЬНІСТЬ ПРОФЕСІЙНОЇ ПІДГОТОВКИ КАДРОВОГО СКЛАДУ НАФТОВИДОБУВНОГО ПІДПРИЄМСТВА ДО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІЙНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ГВИНТОВИХ ШТАНГОВИХ НАСОСНИХ УСТАНОВОК .....</p>	
1.1 Сучасні вимоги до професійної підготовки персоналу.....	10
1.2 Актуальність проблеми на сучасному етапі.....	13
1.3 Обґрунтування необхідності розробки системи підготовки персоналу..	14
Висновки до розділу 1 .....	16
РОЗДІЛ 2 .....	18
<p style="text-align: center;">ОБґРУНТУВАННЯ МЕТОДІВ І ЗАСОБІВ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІЙНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ГВИНТОВИХ ШТАНГОВИХ НАСОСНИХ УСТАНОВОК .....</p>	
2.1 Аналіз інформаційних джерел по гвинтовим штанговим насосним установкам .....	18
2.2 Огляд і аналіз гвинтових штангових насосних установок.....	19
2.3 Монтаж свердловинних штангових гвинтових насосних установок .....	38
2.4 Особливості монтажу ГШНУ із вставним насосом.....	48
2.5 Аналіз досвіду експлуатації ГШНУ .....	51
2.5 Аналіз механізмів виникнення динамічних навантажень на елементи ГШНУ .....	58
2.6 Методи дослідження і зниження динамічних навантажень на елементи ГШНУ .....	65
2.6.1 Методи дослідження динамічних навантажень на елементи ГШНУ .....	65
2.6.2 Методи зниження динамічних навантажень на елементи ГШНУ .....	69
2.7 Розрахунок елементів ГШНУ .....	73
2.7.1 Розрахунок міцності колони штанг .....	74

2.7.2 Розрахунок ролико-конічного підшипника .....	76
Висновки до розділу 2 .....	78
РОЗДІЛ 3 .....	81
ВИМОГИ ДО КАДРОВОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАФТОВИДОБУВНОГО ПІДПРИЄМСТВА .....	81
Висновки до розділу 3 .....	85
РОЗДІЛ 4 .....	86
4.1 Вихідні дані.....	86
4.2 Види та зміст професійної діяльності фахівця.....	89
4.3 Кваліфікаційні вимоги до кадрового складу нафтовидобувного підприємства.....	91
4.4 Постановка цілей вивчення навчальної теми «Забезпечення надійної експлуатації гвинтових штангових насосних установок» .....	92
4.6 Конструювання дидактичних матеріалів з теми «Забезпечення надійної експлуатації гвинтових штангових насосних установок» .....	94
4.7 Аналіз базових умов навчання з теми «Забезпечення надійної експлуатації гвинтових штангових насосних установок» .....	95
4.8 Проєктування мотиваційних технологій навчання .....	99
4.9 Проєктування технології формування орієнтовної основи діяльності .	100
4.10 Проєктування технології формування виконавчих дій.....	101
4.11 Проєктування контрольних дій .....	105
4.12 Розробка програми курсів підвищення кваліфікації .....	106
4.13 Розробка сценарію заняття «Інтегровані вправи: моделювання експлуатаційних ситуацій» .....	109
Висновки до розділу 4 .....	110
ВИСНОВКИ.....	113
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	114

## ВСТУП

Ефективна та безпечна експлуатація гвинтових штангових насосних установок (ГШНУ) є одним із ключових чинників стабільної роботи нафтовидобувних підприємств. Сучасні умови видобутку нафти характеризуються підвищеними вимогами до надійності обладнання, зростанням інтенсивності експлуатаційних навантажень та необхідністю забезпечення мінімізації простоїв і аварій. Водночас рівень професійної підготовки персоналу, який обслуговує та експлуатує ГШНУ, значною мірою визначає ефективність технічного обслуговування, точність діагностики та своєчасність прийняття рішень щодо профілактичних і ремонтних заходів.

Актуальність теми зумовлена декількома факторами. По-перше, зростає складність конструкцій гвинтових штангових насосів і систем їх приводу, що потребує від інженерно-технічного персоналу глибоких знань про принципи роботи, механізми зношування і деградації матеріалів. По-друге, у сучасних умовах промислової експлуатації стає критично важливим впровадження сучасних методів технічної діагностики, прогнозування залишкового ресурсу та управління ризиками, що можливо лише за наявності висококваліфікованого персоналу. По-третє, недостатній рівень підготовки працівників може призводити до аварій, зриву виробничих планів, зростання витрат на ремонт та негативного впливу на екологічну безпеку.

Таким чином, підвищення ефективності професійної підготовки інженерно-технічного та обслуговуючого персоналу нафтовидобувних підприємств є актуальною науково-практичною проблемою, вирішення якої сприятиме забезпеченню надійної експлуатації гвинтових штангових насосних установок, зниженню аварійності та оптимізації витрат на технічне обслуговування.

**Об'єкт дослідження** – процес професійної підготовки інженерно-технічного та обслуговуючого персоналу нафтовидобувного підприємства, який експлуатує гвинтові штангові насосні установки (ГШНУ).

**Предмет дослідження** – професійна підготовка персоналу нафтовидобувного підприємства до забезпечення надійної, безпечної та ефективної експлуатації ГШНУ, включаючи знання конструкційних особливостей, механізмів зношування, технологій діагностики та профілактичного обслуговування.

**Мета дослідження** – теоретично обґрунтувати та розробити ефективну систему професійної підготовки персоналу нафтовидобувного підприємства, спрямовану на формування компетентностей, необхідних для стабільної та безаварійної роботи гвинтових штангових насосних установок.

**Гіпотеза дослідження.** Професійна підготовка персоналу нафтовидобувного підприємства забезпечуватиме високу надійність експлуатації ГШНУ, якщо:

- у навчальний процес включити вивчення конструктивних особливостей гвинтових штангових насосів, механізмів їх деградації, правил монтажу та регулювання, а також сучасних методів діагностики і моніторингу технічного стану;

- забезпечити інтеграцію знань з механіки, гідравліки, матеріалознавства, технічної діагностики, промислової безпеки та нормативного регулювання;

- застосовувати практикоорієнтовані технології навчання, включаючи роботу з реальними та тренажерними моделями насосів, аналіз кейсів несправностей і аварій, а також тренінги з прийняття технічних рішень;

- впроваджувати цифрові технології контролю та прогнозування залишкового ресурсу обладнання.

**Завдання дослідження.**

1. Проаналізувати особливості професійної діяльності персоналу нафтовидобувного підприємства щодо експлуатації та обслуговування ГШНУ.

2. Визначити компетентнісні вимоги до інженерно-технічного та обслуговуючого персоналу, що забезпечує надійну роботу гвинтових штангових насосів.

3. Обґрунтувати зміст, структуру та методи професійної підготовки персоналу у сфері експлуатації, технічного обслуговування та діагностики ГШНУ.

4. Розробити програму професійної підготовки, враховуючи інженерно-технічні, нормативні та ризик-орієнтовані аспекти діяльності.

**Методи дослідження.** Аналіз нормативно-технічної документації і стандартів нафтогазового обладнання; огляд наукової та методичної літератури з технічної діагностики та експлуатації насосних установок; порівняльний аналіз навчальних програм у суміжних галузях; аналіз кейсів реальних відмов та аварій ГШНУ; педагогічне моделювання та розроблення дидактичної системи підготовки персоналу.

**Наукова новизна дослідження** полягає в тому, що:

– вперше комплексно обґрунтовано систему професійної підготовки персоналу нафтовидобувного підприємства, орієнтовану на забезпечення надійної експлуатації ГШНУ;

– запропоновано дидактичну модель підготовки, що інтегрує технічні, аналітичні, ризик-орієнтовані та нормативні компетентності.

**Практична значущість дослідження.** Розроблена система професійної підготовки може бути впроваджена у програми навчання, підвищення кваліфікації та атестації персоналу нафтовидобувних підприємств, що дозволить підвищити надійність роботи ГШНУ, знизити аварійність і оптимізувати планування технічного обслуговування та ремонтів.

**Структура магістерської роботи.** Робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків і списку використаних джерел.

## РОЗДІЛ 1

# АКТУАЛЬНІСТЬ ПРОФЕСІЙНОЇ ПІДГОТОВКИ КАДРОВОГО СКЛАДУ НАФТОВИДОБУВНОГО ПІДПРИЄМСТВА ДО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІЙНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ГВИНТОВИХ ШТАНГОВИХ НАСОСНИХ УСТАНОВОК

### 1.1 Сучасні вимоги до професійної підготовки персоналу

Ефективна та безпечна експлуатація гвинтових штангових насосних установок (ГШНУ) є ключовим чинником стабільності виробничого процесу на нафтовидобувних підприємствах. ГШНУ займають особливе місце серед обладнання видобувної галузі, оскільки їх надійна робота визначає продуктивність свердловин і безперервність технологічних циклів. Незважаючи на високу технічну надійність, такі установки потребують постійного контролю, своєчасного обслуговування та високого рівня кваліфікації персоналу, що їх експлуатує. Сучасні умови нафтовидобутку характеризуються збільшенням технічної складності обладнання, посиленням експлуатаційних навантажень і високими вимогами до безпеки та екологічності виробництва. Це зумовлює необхідність системного підходу до професійної підготовки інженерно-технічного і обслуговуючого персоналу.

Професійна підготовка персоналу в контексті експлуатації ГШНУ повинна бути спрямована на формування широкого спектру компетентностей, що дозволяють забезпечити не лише технічне обслуговування, а й прогнозування поведінки обладнання в різних умовах експлуатації. До ключових компетентностей відносять глибокі знання конструкції та принципів роботи гвинтових штангових насосів, уміння здійснювати діагностику несправностей, оцінювати технічний стан обладнання та планувати профілактичні заходи. Працівники повинні вміти визначати причини появи дефектів, правильно підбирати методи ремонту та

обслуговування, своєчасно реагувати на зміни режимів роботи та брати участь у розробці технічних рішень для оптимізації експлуатації. Компетентності такого рівня формуються лише за умови комплексного підходу до навчання, що включає теоретичну підготовку, практичні тренінги та освоєння сучасних цифрових інструментів.

Однією з особливостей сучасної професійної підготовки є інтеграція знань з різних інженерних дисциплін. Механіка дозволяє зрозуміти основи роботи насосних агрегатів, передбачити наслідки змін робочих параметрів і оцінити вплив навантажень на конструктивні елементи. Гідравліка забезпечує розуміння руху рідини в насосних системах, оптимізацію режимів роботи і запобігання виникненню гідравлічних ударів та інших небажаних ефектів. Матеріалознавство є основою для оцінки зношування деталей, вибору методів відновлення та визначення строку служби окремих елементів установки. Технічна діагностика, у свою чергу, дозволяє здійснювати своєчасний контроль стану обладнання, аналізувати результати вимірювань та визначати пріоритети для ремонту або заміни вузлів. Комплексна інтеграція цих знань формує висококваліфікованого фахівця, здатного приймати обґрунтовані рішення щодо експлуатації та обслуговування ГШНУ.

У сучасних умовах важливим аспектом професійної підготовки є освоєння цифрових і діагностичних технологій, що забезпечують підвищення точності та швидкості контролю технічного стану обладнання. Це включає використання систем збору даних про вібрації, температурні датчики, аналіз показників тиску та продуктивності, а також програмне забезпечення для оцінки залишкового ресурсу та прогнозування можливих відмов. Цифрові технології дозволяють персоналу не лише визначати стан окремих елементів насосів, а й прогнозувати ймовірність появи несправностей у майбутньому, що значно знижує ризик аварій і дозволяє планувати ремонтні роботи з урахуванням виробничих потреб. Впровадження таких технологій у навчальні програми є необхідною умовою підготовки сучасного персоналу, здатного ефективно працювати в умовах інтенсивної експлуатації.

Крім технічних знань, сучасна підготовка персоналу повинна враховувати і організаційно-менеджерські аспекти роботи. Працівники повинні вміти працювати в команді, ефективно взаємодіяти з іншими службами підприємства, приймати оперативні рішення в умовах нестандартних ситуацій та брати участь у розробці планів профілактичного обслуговування. Розвиток аналітичних та управлінських навичок дозволяє підвищити ефективність експлуатаційної діяльності і сприяє більш раціональному використанню ресурсів підприємства.

Сучасні вимоги до підготовки персоналу також включають постійне оновлення знань і підвищення кваліфікації протягом усього періоду трудової діяльності. Зростання складності обладнання та впровадження новітніх технологій вимагають від фахівців постійного вдосконалення навичок, освоєння нових методів діагностики, обслуговування та ремонту. Навчальні програми повинні поєднувати теоретичні знання з практичними заняттями на тренажерах і безпосередньо на виробничих об'єктах, що дозволяє формувати стійкі навички для роботи з реальними виробничими ситуаціями.

Таким чином, сучасна професійна підготовка персоналу нафтовидобувного підприємства повинна поєднувати комплекс технічних, аналітичних та цифрових компетентностей, інтеграцію міждисциплінарних знань і практичні навички застосування сучасних діагностичних технологій. Такий підхід дозволяє забезпечити не лише надійну і безаварійну експлуатацію гвинтових штангових насосних установок, а й підвищує загальну ефективність виробничих процесів, знижує витрати на ремонт та обслуговування і створює передумови для впровадження інноваційних технологій у сфері нафтовидобутку.

Формування сучасного кваліфікованого персоналу є основою стійкого розвитку підприємства, що працює з ГШНУ, і забезпечує конкурентоспроможність нафтовидобувної галузі на глобальному ринку. Інвестиції у навчання та підвищення компетентності персоналу прямо впливають на надійність і безпечність виробництва, а також на ефективне

використання ресурсів та зменшення аварійних ситуацій, що має критичне значення для економіки підприємства і збереження екологічної безпеки регіону.

## **1.2 Актуальність проблеми на сучасному етапі**

Сучасний етап розвитку нафтовидобувної галузі характеризується постійним ускладненням конструкцій і технологічних процесів, що безпосередньо впливає на вимоги до професійної підготовки персоналу. Гвинтові штангові насосні установки, які залишаються основним обладнанням для видобутку нафти в багатьох регіонах, стають технічно складнішими через впровадження нових матеріалів, модернізацію приводних систем, автоматизацію процесів та використання цифрових технологій моніторингу. Зростання складності обладнання означає, що працівники повинні не лише розуміти конструктивні особливості насосів, але й володіти навичками роботи з сучасними системами контролю, діагностики та аналізу технічного стану.

Важливим аспектом є підвищення вимог до безпеки та екологічності виробничих процесів. Нафта та продукти її переробки є потенційно небезпечними речовинами, тому навіть незначні порушення правил експлуатації ГШНУ можуть призвести до аварій, витоків продукції або техногенних забруднень. Це накладає додаткові вимоги на персонал: він повинен знати і дотримуватися нормативно-правових актів, правил промислової безпеки та охорони навколишнього середовища, розуміти принципи управління ризиками та оцінювати наслідки своїх дій для безпеки людей і екології. Крім того, сучасні підприємства орієнтуються на економічну ефективність, що передбачає оптимізацію витрат на ремонт та обслуговування, мінімізацію простоїв і максимальне використання ресурсів. Досягти цих цілей можливо лише при високому рівні професійної підготовки кадрів, які здатні аналізувати стан обладнання, прогнозувати відмови і приймати своєчасні управлінські рішення.

Особливу актуальність набуває проблема мінімізації аварійних ситуацій і простоїв виробничих систем. Кожна зупинка гвинтового штангового насоса може спричинити значні втрати продукції та фінансові збитки, а у випадку масових відмов – і серйозні порушення технологічного процесу. Високий рівень професійної підготовки персоналу дозволяє знижувати ймовірність таких ситуацій через своєчасне виявлення дефектів, проведення профілактичних робіт та оптимальне планування технічного обслуговування. Працівники, які володіють комплексом технічних знань, практичних навичок і аналітичних здібностей, здатні забезпечувати безперервну і безпечну експлуатацію обладнання, що підвищує загальну ефективність підприємства і знижує економічні та екологічні ризики.

Таким чином, на сучасному етапі професійна підготовка персоналу нафтовидобувних підприємств є критичною умовою забезпечення надійної експлуатації гвинтових штангових насосних установок. Зростання складності обладнання, підвищені вимоги до безпеки, екологічності та економічної ефективності виробництва, а також необхідність мінімізації аварій і простоїв роблять системну та сучасну підготовку кадрів однією з найважливіших складових розвитку галузі. Вирішення цієї проблеми сприяє стабільності технологічних процесів, підвищенню продуктивності підприємства та зменшенню ризиків для людей і навколишнього середовища.

### **1.3 Обґрунтування необхідності розробки системи підготовки персоналу**

Сучасні умови експлуатації гвинтових штангових насосних установок (ГШНУ) висувають до персоналу нафтовидобувних підприємств високі вимоги щодо технічної підготовки, професійних компетентностей і здатності приймати оперативні рішення в складних виробничих умовах. Науково-практичне значення підвищення кваліфікації та системного навчання інженерно-технічного персоналу полягає в тому, що воно забезпечує

формування знань, умінь і навичок, необхідних для безпечної, ефективної та надійної роботи насосного обладнання. Системна підготовка дозволяє працівникам не лише відтворювати алгоритми обслуговування, але й застосовувати аналітичний підхід до оцінки технічного стану ГШНУ, прогнозувати розвиток дефектів, оцінювати ризики та приймати обґрунтовані рішення щодо технічного обслуговування та ремонту.

Науково-практичний аспект полягає також у тому, що впровадження системи підготовки персоналу сприяє розвитку професійної компетентності на основі сучасних методів навчання, інтеграції міждисциплінарних знань і використання цифрових технологій. Підвищення кваліфікації включає освоєння методів технічної діагностики, роботи з сучасними приладами контролю, аналізу режимів роботи обладнання та оцінки залишкового ресурсу насосів. Це дозволяє інженерам і технікам своєчасно виявляти потенційні проблеми, знижувати ризик аварій та забезпечувати стабільну роботу виробничих систем. Впровадження навчальних програм, що охоплюють всі ці аспекти, має не лише теоретичну, а й практичну цінність, оскільки дозволяє формувати висококваліфікованих фахівців, здатних адаптуватися до сучасних вимог виробництва.

Вплив системної підготовки на зниження ризику відмов обладнання та підвищення продуктивності підприємства є безпосереднім і вимірюваним. Працівники, які пройшли комплексну підготовку, здатні своєчасно виявляти дефекти, попереджати аварії та планувати профілактичні заходи, що зменшує простої обладнання і підвищує загальну продуктивність виробничих процесів. Системний підхід до навчання дозволяє створити єдині стандарти знань і навичок серед персоналу, забезпечити уніфіковане розуміння технологічних процесів і підвищити якість обслуговування обладнання. Як результат, підприємство отримує можливість оптимізувати ресурси, скоротити витрати на ремонт і зменшити негативний вплив на навколишнє середовище, підвищуючи при цьому безпеку виробництва.

Таким чином, розробка системи професійної підготовки персоналу є необхідною умовою ефективного функціонування нафтовидобувних підприємств, що експлуатують гвинтові штангові насосні установки. Вона забезпечує формування високого рівня професійних компетентностей, інтеграцію сучасних технологій навчання та діагностики, а також сприяє підвищенню надійності обладнання, зниженню аварійності та підвищенню продуктивності підприємства. Інвестування у підготовку персоналу не лише підвищує безпеку виробничих процесів, але й створює передумови для сталого розвитку підприємства і впровадження інноваційних технологій у сфері нафтовидобутку.

### **Висновки до розділу 1**

1. Сучасний рівень розвитку нафтовидобувної галузі та ускладнення конструкцій гвинтових штангових насосних установок вимагають від персоналу високого рівня професійної підготовки. Надійна експлуатація ГШНУ залежить не лише від технічної надійності обладнання, а й від компетентності інженерно-технічного та обслуговуючого персоналу, який його обслуговує.

2. Високі вимоги до безпеки, екологічності та економічної ефективності виробництва зумовлюють необхідність інтегрованого підходу до навчання персоналу, що передбачає поєднання знань з механіки, гідравліки, матеріалознавства та технічної діагностики, а також освоєння цифрових інструментів контролю та прогнозування стану обладнання.

3. Системна професійна підготовка персоналу має науково-практичне значення, оскільки дозволяє формувати у працівників здатність прогнозувати технічний стан ГШНУ, своєчасно виявляти дефекти, приймати обґрунтовані рішення щодо ремонту та обслуговування і тим самим підвищувати загальну надійність виробничих процесів.

4. Впровадження комплексної системи підготовки кадрів безпосередньо впливає на зниження ризику відмов обладнання, скорочення аварійності та простоїв, що сприяє підвищенню продуктивності нафтовидобувного підприємства і більш раціональному використанню ресурсів.

5. Отже, розвиток професійної підготовки персоналу є ключовою умовою стабільного та безпечного функціонування нафтовидобувних підприємств, що експлуатують гвинтові штангові насосні установки, і виступає важливим фактором забезпечення ефективності виробництва, безпеки праці та екологічної відповідальності.

## РОЗДІЛ 2

# ОБГРУНТУВАННЯ МЕТОДІВ І ЗАСОБІВ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІЙНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ГВИНТОВИХ ШТАНГОВИХ НАСОСНИХ УСТАНОВОК

### 2.1 Аналіз інформаційних джерел по гвинтовим штанговим насосним установкам

Останнім часом опубліковано фундаментальні роботи, присвячені принципу дії, влаштуванню та проектуванню гвинтових насосів.

У роботі [5], наприклад, наводяться докладні відомості про теорію гвинтових гідравлічних машин, робочий процес гвинтових насосів, їх характеристики, принципи оптимізації геометричних параметрів робочих органів насоса, а також розглядаються питання проектування та розрахунку одногвинтових насосів. Однак у зазначених джерелах мало уваги приділяється питанням технології виготовлення вузлів гвинтових насосів та властивостям матеріалів, що застосовуються, зокрема, основному елементу статора гвинтового насоса – обіймі з еластомеру. У той час як властивості еластомеру і технологія виготовлення визначають експлуатаційні характеристики гвинтових насосів для видобутку нафти.

Також у роботі [6] розглядаються технологічні процеси монтажу, технічного обслуговування та ремонту свердловинних штангових гвинтових насосних установок, але мало уваги приділено експлуатаційним характеристикам та властивостям обладнання. У той же час проблемні питання застосування гвинтових насосів, зокрема, надійність колони насосних штанг в похило спрямованих свердловинах, гідравлічні опори при підйомі продукції по кільцевому зазору між насосно-компресорними трубами і штангами, гідродинамічні опори при утворенні обводненої продукції, схильної дисертаційних роботах різних авторів та малодоступні для широкого кола фахівців, у тому числі технологів нафтовидобувних промислів та

студентів нафтових вишів. Разом з тим ці особливості експлуатації та застосування актуальні й значною мірою сприяють впровадженню гвинтових насосів. За останні роки з'явилися нові сфери застосування гвинтових насосів, зокрема, одночасно-роздільна експлуатація та розробка родовищ високов'язкої нафти із застосуванням теплових методів впливу на продуктивний пласт, що висуває відповідні нові вимоги до обладнання.

## **2.2 Огляд і аналіз гвинтових штангових насосних установок**

2.2.1. Принцип дії і особливості функціонування гвинтових штангових насосних установок

Історія гвинтових штангових насосних установок (ГШНУ) відраховується з початку другої половини минулого століття, коли з'явилися гвинтові артезіанські насоси типу ВАН для відкачування води із свердловин завглибшки до 100 метрів [5].

Конкретні системи ГШНУ в нафтовидобутку з'явилися наприкінці минулого століття у Франції та США, і до сьогодні техніка перекриває діапазон видобутку від 0.5 до 1000 м<sup>3</sup> на добу при створюваному тиску до 30 МПа.

Привід насоса здійснювався за допомогою валу зі штанг, який обертався в радіальних опорах з гуми та металу, та розташовувався всередині напірного трубопроводу [6].

Компонування сучасної системи ГШНУ показано на рис. 2.1.



- простота конструкції та мала маса приводу;
- відсутність потреби у зведенні фундаментів під привод установки;
- простота транспортування, монтажу та обслуговування;
- широкий діапазон фізико-хімічних властивостей пластових рідин, що відкачуються (можливість відкачування рідин високої в'язкості та підвищеного газовмісту);
  - врівноваженість приводу, сталість навантажень, що діють на штанги, рівномірність потоку рідини, зниження енерговитрат і потужності приводного двигуна, мінімальний емульгувальний вплив на рідину, що відкачується;
  - відсутність клапанів у свердловинному насосі;
  - в порівнянні з УЕВН:
    - простота конструкції насоса (відсутні шарнірні з'єднання, пускові муфти, радіальні та осьові підшипники);
    - наземне розташування приводного електродвигуна, що призводить до зниження його вартості та до відсутності дорогих гідрозахисту та довгого броньованого кабелю.

Раціональною сферою застосування ГШНУ є вертикальні свердловини або свердловини з малими темпами набору кривизни з пластовими рідинами високої в'язкості, з підвищеним вмістом газу та механічних домішок. Найчастіше ГШНУ застосовуються для дебітів від 3 до 50—100 м<sup>3</sup>/добу з напором до 1000—1500 м, проте, як зазначалося, деякі типорозміри ГШНУ можуть мати набагато більші видобуткові можливості.

У зарубіжній та вітчизняній практиці відома велика кількість схем та типорозмірів ГШНУ, які можна класифікувати наступним чином [4]:

- за типом приводу розрізняють установки з електроприводом, об'ємним гідроприводом, приводом від ДВЗ та газового двигуна.

Найбільш широке застосування отримали ГШНУ з асинхронним електроприводом змінного струму з номінальною частотою обертання 1000

об/хв. Потужність електродвигуна в залежності від подачі та тиску насоса змінюється від 3 до 100 кВт та вище;

- за кінематичною схемою приводу розрізняють ГШНУ з однією та двоступінчастою трансмісією.

Найпростіша схема ГШНУ, що виключає силову трансмісію, в якій двигун безпосередньо з'єднується з валом приводної голівки, практично не використовується, оскільки вимагає застосування тихохідних двигунів, що неефективно.

Одноступінчаста схема трансмісії може бути реалізована на базі ремінної, ланцюгової або зубчастої (циліндричної або конічної, вбудованої в опорний корпус приводної головки, яка в цьому випадку виконує функцію редуктора) передачі.

Двоступінчаста схема (перший ступінь - ремінна, другий ступінь - зубчаста передача) забезпечує можливість використання швидкохідних приводних двигунів зі зниженими масогабаритними показниками, а також зниження передавального відношення першого ступеня, що дозволяє здійснювати широке регулювання частоти обертання штанг шляхом зміни шківів ремінної передачі.

В окремих випадках для спрощення трансмісії як приводний електродвигун доцільно використовувати мотор-редуктор.

Найбільшого поширення набули схеми приводів з одноступінчастою ремінною трансмісією;

- за типом ремінної передачі розрізняють приводи з клинопасовими та зубчастими ременями.

Найчастіше у ГШНУ застосовуються звичайні багаторядні клинопасові передачі. У деяких конструкціях використовуються поліклінові та зубчасті ремені. Останні забезпечують передачу високих моментів, що крутять, без ковзання, не вимагають попереднього натягу і періодичної підтяжки, відрізняються компактністю і високим ККД.

Передатне відношення клинопасової передачі зазвичай не перевищує 5, тому при використанні одноступінчастої трансмісії з номінальною частотою обертання електродвигуна 1000 об/хв мінімально можлива частота обертання штанг становить 200 об/хв, що не відповідає вимогам експлуатації;

- по конструкції валу приводної головки існують компоунання з цілісним та порожнім валом.

Компоунання з цілісним валом, що не вимагає використання полірованого штока, складне при регулюванні осьового положення ротора насоса щодо статора під час монтажу колони штанг. У зв'язку з цим приводний вал, як правило, виконується порожнистим, що дозволяє пропускати всередині нього полірований шток і регулювати положення останнього в осьовому напрямку;

- за розташуванням приводного двигуна зустрічаються компоунання з вертикальним і горизонтальним розташуванням осі двигуна.

Вертикальне компоунання двигуна характерне для одноступінчастих ремінних трансмісій, горизонтальна (коли вісь приводного двигуна розташовується перпендикулярно осі свердловини) — для приводів із зубчастою кінчною передачею;

- за способом регулювання швидкості приводного валу ГШНУ розрізняють приводи з регульованим приводним двигуном (електричним або гідравлічним) і з регульованим передавальним відношенням трансмісії, що здійснюється зміною шківів ремінної або введенням в кінематичну схему механічного варіатора передачі.

Найбільш перспективне використання установок з частотно-регульованим електроприводом змінного струму, що забезпечує повний діапазон регулювання швидкості (від 0 до 100%) та можливість підтримання оптимального в заданих умовах режиму роботи системи пласт-насос-привод. Інша функція регульованого електроприводу - плавний пуск та зупинка установки, що підвищує надійність її експлуатації. Станція управління регульованим електроприводом включає систему контролю та реєстрації, що

дозволяє відстежувати режим роботи приводу та вносити необхідні керуючі дії;

- по кінематичному відношенню робочих органів гвинтового насоса розрізняють насоси з однозахідним ротором (з кінематичним відношенням 1:2) та багатозахідними робочими органами (з кінематичним відношенням 2:3; 3:4; 4:5 тощо).

Вибір кінематичного відношення робочих органів насоса обумовлюється необхідними експлуатаційними параметрами (діаметр, витрата, тиск, частота обертання) та технологічними можливостями виробників гвинтових пар;

- за схемою закріплення статора розрізняють трубний (статор закріплюється на різьбленні на кінці колони насосно компресорних труб (НКТ) та вставний (статор спускається на штангах у зборі з ротором і кріпиться в НКТ за допомогою спеціального замка) гвинтові насоси.

- за схемою закріплення низу НКТ щодо обсадної колони розрізняють компонування з вільним та заякореним низом;

- за кінематичною схемою насоса можлива реалізація двох варіантів: з обертовим внутрішнім елементом (гвинтом) і з зовнішнім елементом, що обертається (обоймою).

ГШНУ ділять на системи з однозахідним ротором, і багатозахідним, у будь-якому випадку число заходів різьблення у статорі має бути на одиницю більше, ніж у роторі, за формулами 1:2, 2:3, 3:4, 4:5 тощо.

Однозахідні ротори найбільш прості, забезпечують мінімальну швидкість руху робочої рідини вгору, зменшуючи знос, мають мінімальну внутрішню напругу в еластомері статора.

Однак однозахідні насоси мають збільшену висоту в порівнянні з багатозахідними, що відносять до недоліків першого.

Зрозуміло, що багатозахідні насоси мають збільшену подачу за рахунок паралельності каналів ротора, але при цьому ускладнюється конструкція

виробу і зростають необхідні моменти, що крутять, на осі, а відповідно і навантаження на колону провідних штанг.

Якість роботи ГШНУ визначається багатьма причинами, серед яких важливе місце займає осьове підганяння статора і ротора, яке виконується і визначається за допомогою коротких штанг зі знятим навантаженням ваги колони штанг.

Наземний привід може здійснюватися як від електродвигуна, показаного на рис. 2.2., і від газового, чи двигуна внутрішнього згоряння (ДВС).



Рис. 2.2 Електродвигун наземного приводу

Потужність приводного двигуна знаходиться в діапазоні (3 ÷ 150) кВт залежно від глибини свердловини, та властивостей гвинтового насоса – створюваного тиску та подачі (витрати).

Трансмісія від двигуна до колони штанг може бути ланцюговою, ремінною, або зубчастою, з коефіцієнтами редукції, що змінюються, забезпечую частоту обертання колони штанг в межах до 200 об/хв, тобто до 3 Гц.

Найбільш ефективне застосування ГШНУ має місце на вертикальних свердловинах з малою кривизною, оскільки саме на таких профілях існує мінімальна ймовірність контакту колони штанг із зовнішньою колоною труб,

на відміну від похилих свердловин, де застосовують спеціальні заходи для виключення такого контакту.

Сам гвинтовий насос – Progressive Cavity Pump (PCP) – класифікують як об'ємну роторну гвинтову гідромашину, і застосовується не лише для видобутку нафти, а й для застосування в інших сферах для переміщення різних фізико-хімічних середовищ.

Гвинтовий героторний механізм робочих органів гвинтового насоса є зубчастою косозубою парою, що володіє внутрішнім циклоїдальним зачепленням, і складається з Z1-західного статора, і Z2-західного ротора.

Робочі замкнуті камери - області, що переносять робочу рідину, утворюються якраз між гвинтовими поверхнями ротора та статора, і ці камери з робочою речовиною переміщуються вгору по осі насоса в міру обертання ротора щодо статора.

Числа заходів різьблення у статорі має бути на одиницю більше ніж кількість заходів різьблення у роторі, тому у статорі конкретного ГШНУ заходів більше, ніж у роторі.

Відношення кроків має бути пропорційним відношенню числа зубів. Довжина насоса не менше одного кроку різьблення у статорі.

Має бути організованою безперервний та надійний контакт профілів статора та ротора, що досягається застосуванням спеціального еластомеру, що покриває внутрішню поверхню статора, тоді як ротор повністю металевий.

Тут проявляється проблема, що розглядається в даному дослідженні - при обертанні довгої колони штанг, що передає крутний момент від верхнього приводу до нижнього ротора ГШНУ - втрачається стійкість колони, виникають динамічні обурення обертання, в результаті чого знижується напрацювання колони на відмову, підвищується знос, і в кінцевому підсумку.

Еластомер у статорі забезпечує герметичність системи, але одночасно є джерелом проблем – виникає перекис ротора щодо статора, утворюються зазори, витік рідини.

Довжина ГШНУ найчастіше знаходиться в межах (0,5 ÷ 15) метрів.

ГШНУ включає до свого складу дві категорії обладнання - наземне та свердловинне.

Робочу частину ГШНУ опускають у готову свердловину нижче динамічного рівня робочої рідини, що змінюється. Так як ГШНУ може працювати з вмістом газу в рідині, що перекачується, до 50% за обсягом, то немає необхідності значного заглиблення насоса по динамічний рівень нафти.

Істотним є порядок монтажу свердловинного обладнання ГШНУ, який провадиться в наступній послідовності:

1. Вихідний трійник встановлюється на фланці голови колони;
2. Низ колони НКТ разом із статором ГШНУ збирається на гирлі свердловини;
3. Колона НКТ разом із підготовленим низом опускається в свердловину на необхідну глибину, причому особлива увага приділяється надійній затяжці всіх різьбових з'єднань по дорозі;
4. Спускають ротор насоса на колоні штанг також з особливою увагою до затягування всіх попутних різьбових з'єднань;
5. Зважують спущену на всю довжину колону штанг до встановлення ротора на місце у статорі;
6. Виконують плавну посадку ротора в статор до упору його в палець, та обнулення ваги колони на верхньому індикаторі;
7. Плавний підйом колони верхнім краном до розвантаження нижнього пальця – вибирають прогини колони;
8. Компонують верх колони штанг - верхню штангу замінює на полірований шток, що проходить через сальник, що герметизує.
9. Система готова до роботи зі змащення штока, з'єднання його з приводом та першого пробного запуску всього обладнання.

Перший вид обладнання ГШНУ складається з наступних елементів, частина з яких показана на рис. 1:

- верхній колектор – трійник, призначений для виведення пластової рідини з НКТ каналу в збірний наземний резервуар;

- головка наземного приводу;
- масивна рама, призначена для встановлення, монтажу та кріплення приводного двигуна;
- трансмісія – редуктор і передача між двигуном і колоною штанг, що приводиться в обертання;
- приводний двигун, обладнаний засобами та пристроями управління та захисту;
- обов'язковий силовий пристрій призначений для підвіски полірованого штока.

Свердловинне обладнання ГВНУ, у свою чергу, включає наступні компоненти:

- колона НКТ, із встановленим у нижній частині нерухомим статором насоса;
- ротора, що обертається на нижньому кінці колони штанг;
- колона, яка ізолювана від зіткнень із НКТ спеціальними центраторами.

Незважаючи на явні переваги перед насосами, що коливаються, як відсутність клапанів і робота з вільним газом в потоці, систему УШВН досі не отримали в нашій країні широкого застосування при видобутку нафти, хоча в багатьох країнах є найбільш затребуваним в даній галузі [5]. Проте, останнім часом роль ГШНУ суттєво зросла через необхідність розробки складних запасів нафти. У багатьох ускладнених умовах ГШНУ виявляється єдиною технологічною можливістю для видобутку такої нафти.

До додаткових переваг ГШНУ відносять відсутність турбулізації потоку рідини, що знижує швидкість руху рухомих частин - піску в потоці, і підвищує тим самим довговічність і надійність даного виду обладнання.

Регулювання частоти обертання ротора ГШНУ дозволяє просто і широкому діапазоні змінювати подачу насоса при малій зміні напору.

При цьому збільшення в'язкості робочої рідини не знижує витратних характеристик насоса.

Головним недоліком гвинтових насосів, як показала практика, є нестабільність напірних характеристик через зміну та плинність властивостей еластомеру на внутрішній поверхні статора.

Ця особливість веде до того, що підбір гвинтового насоса під конкретну свердловину починається багато в чому з наступних операцій:

- підбір типу еластомеру, сумісного з конкретною робочою рідиною у цій свердловині;
- визначення величини натягу та зазору між статором та ротором насоса.

Даний вибір роблять на підставі відомостей про дебіт свердловини, обводнення продукції, газовий фактор, тиск насичення, а також даних про склад нафти і газу.

На практиці, через відсутність таких докладних даних вибір та замовлення ГШНУ найчастіше проводиться за усередненими даними, отриманими за однією – двома дослідженими свердловинами.

Сказане говорить про актуальність підвищення обсягу інформації про конкретні свердловини на етапі замовлення гвинтових свердловинних насосів.

Системи ГШНУ дозволяють знизити капітальні витрати при спорудженні нових свердловин за рахунок відсутності фундаментів та застосування компактних приводів на поверхні землі, що додатково полегшує налагодження обладнання системи ГШНУ [6].

Гвинтовий насос має досить великий ККД на рівні 70%, що дозволяє знизити експлуатаційні витрати на видобуток нафти, що є дуже актуальним при сучасних обсягах дебітів свердловин.

Порівняльна простота конструкції ГШНУ, що досягається за рахунок відсутності клапанів як у штокових насосах, забезпечує, відповідно, більш високу надійність виробу.

У найбільш поширеній конфігурації ГШНУ однозахідний гвинт «ротор» ексцентрично обертається всередині двозахідного «статора», внутрішня поверхня якого виконана з еластомеру.

Поверхневий привід ГШНУ працює практично безшумно, що забезпечує додаткову екологічну привабливість такого рішення, з урахуванням сучасних конструкцій сальникових сполук, що практично усувають можливість витоків робочих рідин в екологічне середовище.

Порівняно з традиційними установками для видобутку нафти гвинтові насоси справді відрізняються меншими екологічними ризиками порівняно зі штоковою гойдалкою, де зворотно-поступальний рух штока призводить до зношування гирлового сальника, що часто призводить до розливу нафти [7].

Ротори ГШНУ виготовляють із легованої сталі марки 4140 із зміцненим хромистим покриттям, що забезпечує високу стійкість до зношування (рис. 3).

Для досягнення проектної продуктивності насоса ротор завжди повинен мати чистову обробку поверхні, що досягається спеціальними покриттями та технологіями зміцнення - лазерною, плазмовою та іншими.

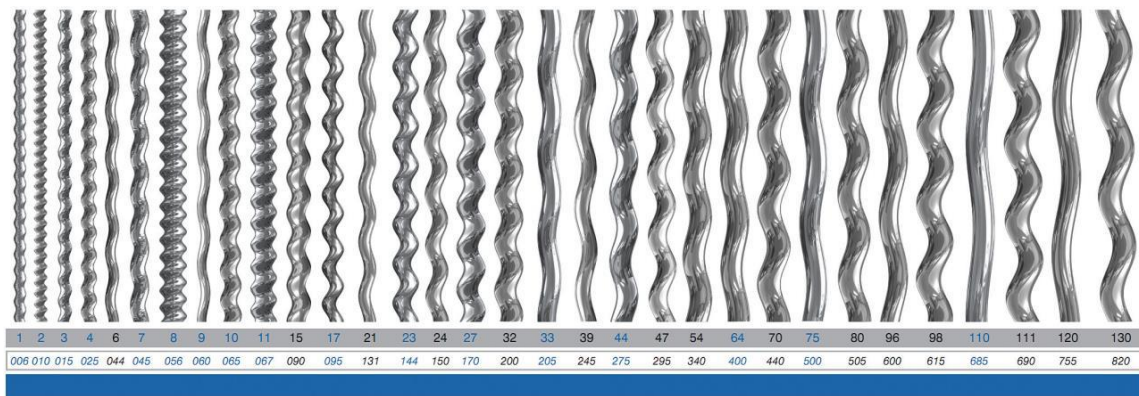


Рис. 2.3 Лінійка роторів ГШНУ різного кроку

У класичному варіанті конструктивного рішення гвинтовий профіль виконується із спеціального еластомеру, який приклеюється до внутрішньої металевої труби статора поверхні. При цьому ротор входить до статора негативним зазором, тобто з вихідною напругою.

Як еластомери застосовують нітрил (стійкий до нагрівання каучук, непроникний для газу) різного ступеня насиченості – м'який, гідрований, насичений (рис. 2.4.).

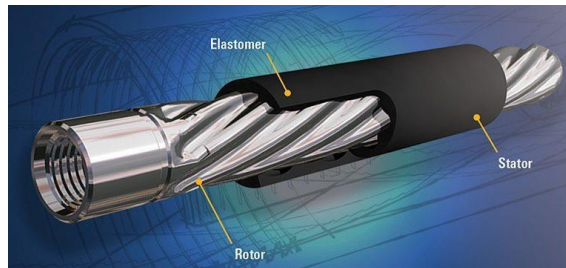


Рис 2.4 - Еластомер статора

Типи еластомерів:

- нітрил (ОА) – даний матеріал є середньонасиченим акрилонітриловий каучук з гарною стійкістю до нафти та розчинників. Нітрил ОА має хороші механічні властивості, його міцність на розтяг і розрив - вище середнього. Також матеріал має хорошу стійкість до нагрівання, агресивної дії озону і дуже високої газонепроникності. Зазвичай застосовується за наявності абразивів у дуже обводнених свердловинах з низьким вмістом ароматичних сполук. Температурна межа – 95°C (200°F);

- насичений нітрил (ВВ) – даний матеріал є високонасиченим акрилонітриловим каучуком. Підвищений вміст акрилонітрилу покращує стійкість матеріалу до нафти та розчинників, забезпечуючи можливість застосування у нафтових свердловинах із середнім та високим вмістом ароматичних сполук. Нітрил ВВ має високу міцність на розтяг і розрив. Також матеріал має хорошу стійкість до нагрівання, агресивного впливу озону та раптової миттєвої розгерметизації. Температурна межа – 100°C (212°F);

- м'який нітрил (ОD) – даний матеріал є середньонасиченим акрилонітриловим каучуком з гарною стійкістю до нафти та розчинників. Нітрил ОD характеризується відмінними механічними властивостями і має найкращу стійкість до стирання. Нітрил ОD менш твердий, ніж нітрил ОА, і

зазвичай застосовується при дуже високому вмісті абразивів при низькому вмісті ароматичних сполук. Температурна межа – 90°C (195°F);

- гідрований нітрин (ОН) – даний матеріал є високонасиченим акрилонітриловим каучуком. Властивості цього матеріалу дуже близькі до властивостей нітрилу ОВ, але відрізняються підвищеною стійкістю до сірководню (H<sub>2</sub>S) та можливістю застосування в умовах високих температур. Застосування статора насоса, оснащеного механічним високотемпературним замком, ще більше підвищує максимальну робочу температуру. Температурна межа – 135°C (275°F), температурна межа за наявності високотемпературного замку – 150°C (300°F);

Існують металеві гвинтові насоси без еластомеру, в яких статор виконаний повністю з металу і тому здатний витримувати набагато вищі температури, ніж у варіанті з еластомером. У цьому випадку статор і ротор оброблені спеціальним покриттям для роботи при високих температурах.

Частота обертання колони штанг ГШНУ визначає подачу насоса, і за малої величини збільшує ресурс системи, а за велику частоту зростає деформація колони штанг, та її знос відповідно.

Нормальний діапазон частот обертання приводу ГШНУ знаходиться в межах (80-350) об/хв [8].

Частота обертання приводу ГШНУ може контролюватись за допомогою частотно-регульованого приводу (рис. 2.5).



Рис 2.5 Перетворювач ЧРП

Шафа управління з перетворювачем частоти має кілька основних функцій [9]:

- підтримує заданий налаштуванням тиск у системі подачі води;
- контролює роботу системи насосів. у разі припинення роботи основного насоса система може переключити роботу на резервний;
- контроль над попереми́нним включенням та вимкненням насосів у системі, що дозволяє розподілити навантаження на електродвигуни та дасть час на проведення технічного обслуговування;
- дозволяє переходити на ручне керування насосною станцією.
- забезпечує можливість дистанційного керування насосами та підключення до пульта диспетчера.

До основних переваг застосування шаф керування електродвигунами на базі частотного перетворювача можна віднести:

- значне зниження витрати електричної енергії;
- збільшення терміну служби електричних двигунів, насосних вузлів та систем трубопроводу;

- максимально знижений ризик виникнення гідроударів у системі трубопроводів;

- полегшення роботи персоналу з обслуговування насосів;
- зменшення витрат на чисельність обслуговуючого персоналу.

Додатково шафа керування може забезпечувати:

- комплексний захист роботи та стану електричних двигунів (за рахунок контролю споживаного струму, визначення температури обмоток), часу безперервної роботи;

- негайний перехід із автоматичного режиму до ручного з наданням повного контролю процесу роботи оператору;

- управління мікропроцесором, згідно з даними сигналів датчиків навантаження, тиску, визначення відсутності води у системі;

- автоматичне зупинення насоса, якщо зникла вода в системі (з виведенням відповідного сигналу на панель керування та/або передачу сигналу тривоги диспетчеру);

- зупинка насосів під час отримання сигналу про перегрівання або заклинювання крильчатки насоса;

- також може бути зупинено за умови відсутності сигналу (вихід з ладу датчика);

- зупинка насосів, коли коротке замикання знаходиться в обмотці або в системі живлення станції;

- вимкнення живлення двигунів, при виявленні помилкового підключення фаз. система зможе автоматично увімкнути живлення, як тільки помилка буде усунена;

- забезпечення автоматичного взаємного підстрахування електродвигунів;

- відображення стану кожного двигуна у системі. сигнал може бути виведений як на панель управління, так і надісланий диспетчер через мережевий інтерфейс;

- виведення на панель керування сигналу про аварію самого частотника;
- поперемінне програмоване керування двигунами, автоматичне призначення кожного з двигунів основним, при необхідності;
- встановлення заборони на пуск певного двигуна, в роботі якого виявлено критичну помилку (заклинювання ротора, перегрів, сильно завищене споживання струму);
- захист корпусу за європейськими стандартами безпеки (волога, температура, вогонь).

Гвинтові насоси не створюють пульсацій потоку та забезпечують постійну витрату при даній частоті обертання ротора [9].

Розрізняють ГШНУ з поверхневим та занурювальним приводом, що відрізняються місцем розміщення приводу [10].

У першому випадку ротор насоса приводиться у обертання двигуном, який розташований на поверхні, у верхній частині колони свердловин.

До самого насоса обертання передається за допомогою колони штанг, що обертаються, довжина якої дуже значна, і дорівнює глибині свердловини.

Саме значна довжина колони викликає появу проблеми з поведінкою такої довжиною колони, що обертається, штанг, що розглядається частково в даному дослідженні.

У другому випадку - занурювальний електродвигун знаходиться в нижній частині свердловини поблизу гвинтового насоса і входить до складу занурювальної частини насосної установки. У цьому варіанті гвинтовий насос з'єднаний з наземною станцією управління лише за допомогою електричного кабелю, виключаючи тим самим колону штанг, що обертається.

У першому варіанті основні ризики викликані наявністю довгої колони керуючих штанг, що обертаються. Така конфігурація створює ненульову можливість обриву штанг під навантаженням. Саме тут потрібна стабілізація

динамічних процесів у штангах, які відбуваються при зміні режиму роботи насоса або приводу.

У викривлених свердловинах виникає додатковий ризик дотику штанг, що обертаються, до стінок НКТ, що збільшується зі зростанням кривизни свердловини.

При нижньому розташуванні приводу ГШНУ виникають інші проблеми, пов'язані як із захистом двигуна від навколишнього агресивного середовища та з необхідністю його охолодження у вибухонебезпечному середовищі, так і організацією довгого кабелю живлення.

Проблеми з перегріванням еластомеру на статорі ГШНУ притаманні обом варіантам.

Зрозуміло, що при відносно неглибоких свердловинах (до 2000 метрів) використовуються наземні приводи зі штанговою передачею обертання вниз.

Бажано також мати мінімум викривлення свердловини для застосування штангового приводу і обмеженим дебітом свердловини до 150 м<sup>3</sup> на добу, що не вимагає великої швидкості обертання ротора насоса.

При глибших свердловинах, до 3000 метрів і більше, викривлених і в межі – у горизонтальних свердловинах, доцільніше та економічно вигідніше використовувати занурювальний електропривод.

При цьому дебіт може збільшуватись до 500 м<sup>3</sup> на добу за рахунок можливості збільшувати частоту обертання ротора.

Аналіз сучасного стану та перспектив нафтовидобувного фонду на видобуток важкої нафти з високих глибин показує актуальність пошуку шляхів розвитку ситуації в даному питанні, чому частково присвячено і справжнє дослідження.

За розміщенням гвинтового насоса в свердловині виділяють вставні і не вставні - трубні.

У трубному варіанті статор заздалегідь закріплений на НКТ, а ротор опускається в свердловину готову на колоні провідних штанг.

Вставний варіант опускається в готову свердловину на колоні штанг і фіксується в зоні вибою спеціальним замком, що дозволяє при необхідності замінити насос, піднявши його на поверхню без демонтажу НКТ.

Штангові центратори використовуються у всіх типах свердловин і дозволяють мінімізувати контакт штанг з НКТ, який веде до зносу тих та інших.

Використання центраторів збільшує момент на валу приводу величину тертя з НКТ.

Нижні штанги колони не обладнуються центраторами через ексцентричний характер їхнього руху.

Вибір матеріалів центраторів є предметом окремого дослідження й у роботі не розглядається.

У закінченій конфігурації ГШНУ робоча рідина з пласта рухається вгору НКТ під дією насоса в зазорі між колоною штанг, і вгорі через вихідний трійник подається в накопичувальний колектор.

Найбільш поширений внутрішній діаметр НКТ - 73 мм, а зовнішній діаметр штанг - 22 мм, тоді як верхні, що герметизують поліровані штоки мають діаметр 31, або 36 мм.

Пружна колона провідних штанг ГШНУ знаходиться під впливом осьового навантаження власної ваги, але крім того, тут виникають специфічні деформації кручення, а також вигину, як поперечного, так і поздовжнього.

При цьому виникає закручування верхнього кінця колони штанг щодо ротора насоса на кут  $\varphi$ , величина якого залежить від моменту приводу і насоса  $M$ , довжини штанг  $L$ , матеріалу колони штанг через модуль зсуву  $G \approx 105$  МПа, та її моменту інерції  $I = \pi d^4/32$  при діаметрі штанги

$$\varphi = k_{\varphi} \cdot M \cdot L / (G \cdot I_p) \quad (2.1)$$

де  $k_{\varphi}$  - коефіцієнт для обліку не вертикальності штанги та наявності тертя у центраторах.

Практика показує, що попереднє закручування колони штанг при пуску провідного двигуна може становити до 30 обертів на довжину колони провідних штанг, що дійсно призводить до накопичення пружної деформації колони, яка і є джерелом характерних динамічних навантажень, що виникають при експлуатації ГШНУ.

### **2.3 Монтаж свердловинних штангових гвинтових насосних установок**

При прийнятті рішення про експлуатацію свердловини ГВНУ необхідно зібрати якомога повніші відомості про цю свердловину. Слід перевірити за паспортом свердловини діаметр та товщину стінок обсадних труб, кривизну експлуатаційної колони (інклінограму стовбура свердловини), глибину свердловини та глибину інтервалу перфорації.

Необхідно провести і оформити в установленому порядку контрольні виміри статичного рівня рідини в свердловині, температури на вибої та гирлі, газотримання, обводненості, щільності, в'язкості і теплоємності нафти, тиску насичення, а також вмісту сірководню, вуглекислого газу, ароматичних сполук і механічних домішок. При вмісті механічних домішок понад 1% уточнюється розмір та твердість зерна. Додатково надається інформація про передбачувані методи обробки свердловини та на привибійну зону пласта (теплові, хімічні, комплексні).

На підставі отриманих даних визначається коефіцієнт продуктивності свердловини, глибина підвіски насоса, що забезпечує необхідне занурення насоса під рівень рідини, запланований дебіт і передбачуваний динамічний рівень рідини у свердловині.

Наявність всіх цих даних дозволяє здійснити підбір оптимальної конструкції (типорозміру) ШГНУ (рис. 2.6): верхнього приводу, колони штанг

та гвинтового насоса, включаючи тип еластомеру для обкладення статора та натяг у парі ротор-статор, а також вибрати оптимальний режим роботи установки.

На виконання робіт з монтажу ШГНУ видається наряд, в якому зазначаються всі види робіт з підземного ремонту свердловини та підготовка її до експлуатації, включаючи заходи щодо очищення експлуатаційної колони від піску, бруду, парафіну та сторонніх предметів. Очищення експлуатаційної колони здійснюється скребками та багаторазовим промиванням до вибою. За наявності парафіну на стінках експлуатаційної колони промивання проводять гарячою нафтою (гаряче промивання) або розчинами, що містять поверхнево-активні речовини

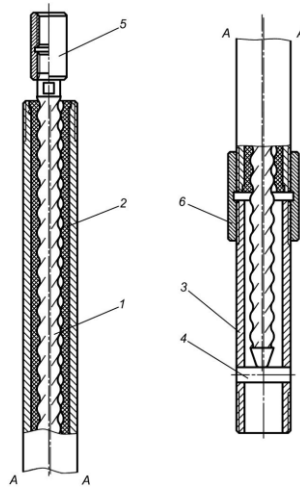


Рис. 2.6 Свердловинний штанговий гвинтовий насос:

1 – ротор (гвинт); 2 – статор (обойма); 3 – нижній перекидач; 4 – завзятий палець; 5 - штангова муфта; 6 – сполучна муфта.

Монтаж (демонтаж) штангової гвинтової насосної установки ШГНУ провадиться за допомогою підйомного агрегату, який має бути укомплектований:

- індикатором ваги, щоб забезпечити точне припасування ротора;

- пристроєм, що дозволяє контролювати момент, що крутить, при звинчуванні насосно-компресорних труб (при використанні гідравлічних ключів момент звинчування контролюється по манометру).

Перед доставкою гвинтового насоса на свердловину перевіряють у майстернях, що мають необхідне обладнання та інструмент. Насос повинен бути забезпечений паспортом, який містить свідоцтво про приймання та консервацію робочих органів, де вказуються заводські номери статора та ротора, їх дати випуску, основні розміри (діаметр статора по виступах зубів, розмір «виступ – западина» зубів ротора, натяг у зачепленні), а також матеріал ротора та вид поверхневого упору. Особливу увагу слід привернути до себе величину дійсного натягу (зазору) у парі гвинт-обойма, через те, що навіть у нових обойм внаслідок зберігання її геометричні розміри можуть змінитися.

Для ШГНУ зі стандартними штангами з правим різьбленням і обертанням колони за годинниковою стрілкою для підйому пластової рідини робочі органи насоса повинні мати правий напрямок гвинтових поверхонь.

Перед початком монтажу ШГНУ слід переконатися, що всі необхідні елементи установки є на майданчику перед свердловиною. Гирлову обв'язку частково демонтують і на колонній головці закріплюють трубну головку, якщо її наявність передбачена в конструкції ШГНУ.

Монтаж ШГНУ розглянемо з прикладу найпоширенішого типу цих установок – з невставними (трубними) насосами і приводом, виконаним за схемою з одноступінчастою ременною трансмісією (див. рис. 2.1).

Невставні (трубні) гвинтові насоси доставляють на свердловину в розібраному вигляді, статор (обойма) та ротор (гвинт) кожен в окремій упаковці, що виключає їх пошкодження під час транспортування та зберігання. Не допускається скидання статора та ротора при розвантаженні та переміщенні їх волоком.

Монтаж ШГНУ виконують у кілька етапів [11].

На першому етапі здійснюють спуск статора насоса у свердловину на насосно-компресорних трубах. Цю операцію виконують у наступній послідовності:

1. Складання низу колони насосно-компресорних труб.

Послідовно встановлюють на гирлі свердловини, підвісивши на хомуті-елеваторі, і з'єднують один з одним приймальний фільтр, протиповоротний якір (рис. 2.7) та газовий сепаратор (якщо при підборі обладнання було обґрунтовано їх використання). Витягають із упаковки статор і піддають зовнішньому огляду. Особливу увагу слід звернути на цілісність гумової обкладки, відсутність тріщин та вм'ятин на корпусі статора, а також стан приєднувальних різьблень. Статор, що має перелічені дефекти, не допускається до роботи.

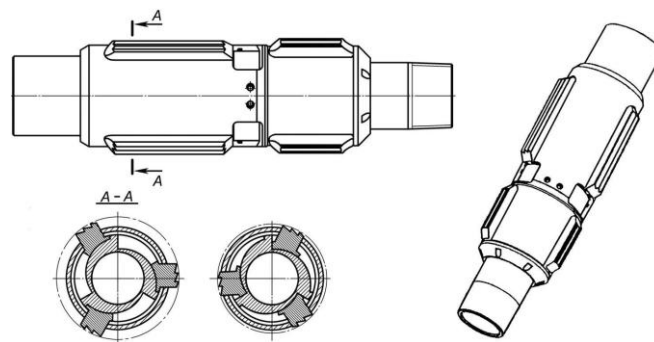


Рис. 2. 7 - Динамічний протиповоротний якір (анкер):

а – якір у робочому положенні; б – якір у транспортному положенні

Потім закріплюють на складання нижній переключач статора з наполегливим пальцем. З'єднують із нижнім переключачем статор насоса, а зі статором насоса – муфту насосно-компресорних труб (або верхній переключач, якщо діаметр статора насоса не відповідає діаметру насосно-компресорних труб). Підготовлений статор у зборі підвішують на гирлі свердловини на хомуті-елеваторі.

2. Спуск колони насосно-компресорних труб із статором гвинтового насоса.

Першу насосно-компресорну трубу з'єднують із верхнім кінцем складання статора і починають спуск статора в свердловину на розрахункову глибину на колоні насосно-компресорних труб із затягуванням всіх різьбових з'єднань необхідним моментом, зазначеним у нормативно-технічній документації. При цьому слід пам'ятати, що, якщо в установці не передбачено використання якоря противідворотного, насосно-компресорні труби слід звинчувати з максимальним допустимим моментом.

Після спуску колони в свердловину роблять закріплення низу колони насосно-компресорних труб щодо експлуатаційної колони для чого протиповоротний якір переводиться з транспортного положення в робоче. Переведення противідворотного якоря з транспортного положення в робоче здійснюють за допомогою спеціальних процедур залежно від конструкції противідворотного якоря, наприклад, підйом колони насосно-компресорних труб на певну висоту або проворотом колони з подальшим додатком осьового навантаження від ваги колони. Деякі типи протиповоротних якорів (динамічні) переводяться з транспортного положення в робоче автоматично при виникненні правого моменту, що крутить, під час роботи насоса.

Спущену колону насосно-компресорних труб підвішують на трубну головку за допомогою трубоутримувача.

### 3. Монтаж гирлового устаткування.

Після того, як усі операції з підвішування колони насосно-компресорних труб завершено, проводять монтаж гирлового обладнання. До складу цього обладнання входить трійник 2 (див. рис. 2.1), який встановлюється на трубну головку 4. На викидній лінії (бічний відвід трійника 2) встановлюють корковий кран. Якщо це передбачено монтажною документацією, між трубною головкою 4 і трійником 2 встановлюють превентор 3. Всі фланці гирлового обладнання очищають від бруду і перевіряють цілісність прокладок. Потім фланці стягують болтами.

На другому етапі здійснюється спуск ротора насоса в свердловину та його припасування. Цю операцію виконують у наступній послідовності:

#### 1. Підготовка ротора гвинтового насоса.

З'єднують ротор насоса з повнорозмірною штангою 7 (див. рис. 2.1). При згвинчуванні необхідно звернути увагу на якість поверхні ротора. Наявність сколів хрому на гвинті не допускається. Згвинчування ротора гвинтового насоса з першою штангою здійснюється, як правило, вручну за допомогою передбаченого для цього інструменту. Захоплення ротора інструментом має бути здійснене лише у передбачених для цієї мети місцях. Захоплення ротора інструментом робочу (хромовану гвинтову) поверхню категорично забороняється, т.к. це може призвести до її пошкодження.

Перед спуском у свердловину ротор рекомендується змастити консистентним мастилом. Це полегшить його встановлення у статор.

#### 2. Спуск колони штанг.

За спеціальними розрахунковими програмами з використанням відомостей по інклінограмі свердловини, а також даних про діаметр насосно-компресорних труб і штанг, глибину підвіски насоса, частоти його обертання та інших даних визначають необхідну кількість штангових центраторів 8 (див. рис. 2.1) і схему їхньої розстановки по довжині. Слід пам'ятати, що центратор між ротором насоса та штангою не встановлюється.

У вертикальних свердловинах рекомендується використання не менше п'яти центраторів для вирішення наступних завдань:

- запобігання передачі планетарного руху ротора 9 на колону насосних штанг 7 (встановлюються на верхніх кінцях кожної із трьох нижніх штанг);
- запобігання передачі будь-яких коливань на полірований шток 5 для створення умов гарного ущільнення в сальниковому вузлі (встановлюють центратори на нижніх кінцях гирлового штока та наступної за ним штанги).

Найбільш поширені типи центраторів рис. 2.8, рис. 2.9.

За допомогою штангового елеватора спускають ротор насоса з першою штангою колону насосно-компресорних труб і підвішують на трубній головці.

Потім роблять спуск штангової колони з ротором гвинтового насоса та центраторами, затягуючи всі різьбові з'єднання необхідним моментом, вказаним у нормативно-технічній документації.

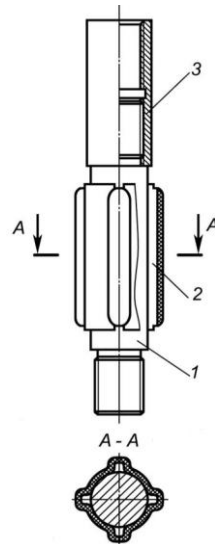


Рисунок 2.8 Штанговий центратор необертальний:

1 – тело центратора; 2 – рубашка; 3 – штанговая муфта

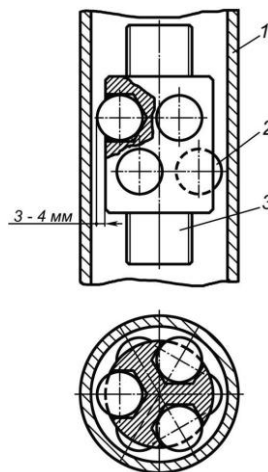


Рис. 2.9 Штанговий центратор обертальний:

1 – НКТ; 2 – куля; 3 – різьблення штанги

Спуск колони штанг слід проводити з невеликою швидкістю (не більше 0,25 м/с) для виключення можливості пошкодження хромованої поверхні

ротора в результаті ударів про стики насосно-компресорних труб та їх внутрішню поверхню. При проходженні ротором ділянок з великою кривизною швидкість спуску має бути знижена до 0,1 м/с.

Спуск останніх 3-4 штанг необхідно уповільнити, щоб плавну посадку ротора в статор. Коли ротор входить у статор, штангова колона починає прокручуватися, що дозволяє визначити положення верхньої площини статора та встановити ротор над статором.

### 3. Зважування колони штанг

Коли ротор гвинтового насоса встановлений над статором, перед введенням ротора статор записують вагу колони по індикатору ваги  $G$ .

### 4. Посадка ротора на упор.

Після визначення повної ваги колони штанг, плавно опускають колону штанг до того часу, поки вага на індикаторі стане рівним нулю. У цей момент ротор входить всередину статора (при цьому колона може прокручуватися) і проходить до упору палець нижнього переключача статора.

### 5. Зняття навантаження з упору.

Плавно піднімають верхній кінець колони до тих пір, поки не відновиться повна вага колони штанг і показання індикатора не дорівнюють  $G$ . Момент зняття колони з упору, як правило, супроводжується проворотом штанг, що фіксується на гирлі. Роблять відмітку на колоні штанг ("повна вага") навпроти верхнього фланця трійника 2.

Для виключення похибок цю процедуру повторюють 2 – 3 рази.

### 6. Компонування верху колони штанг.

Знімають першу повнорозмірну штангу з нанесеною позначкою "повна вага" (якщо позначка виявиться меншою, ніж за три метри від нижньої муфти, то необхідно витягти і другу повнорозмірну штангу) і розташовують її на містках поруч із полірованим штоком.

На етапі здійснюється монтаж верхнього приводу (рис. 2.10).

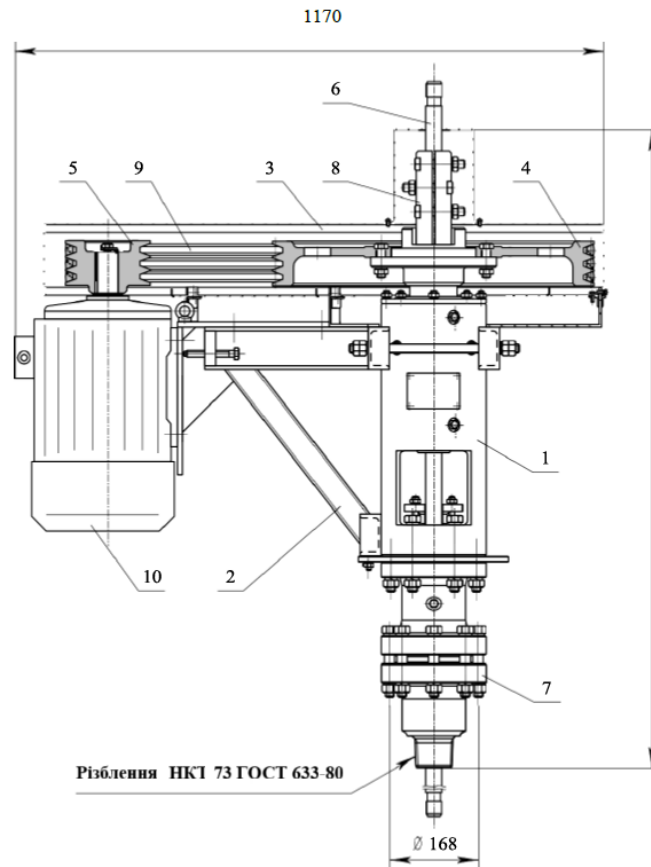


Рис. 2.10 Привід штангового гвинтового насоса:

- 1 – обертач (опорний корпус); 2 – рама; 3 – захисний кожух; 4 – шків ведений;  
 5 – шків ведучий; 6 – шток сальниковий гирловий; 7 – перекладач; 8 – хомут приводний (пристрій кріплення валу зі штоком); 9 – клиновий ремінь;  
 10 – електродвигун

Цю операцію виконують у наступній послідовності:

1. Підготовчі операції.

Закріплюють електродвигун на рамі.

Встановлюють обертач (рис. 2.11) у горизонтальному положенні на ложементях.

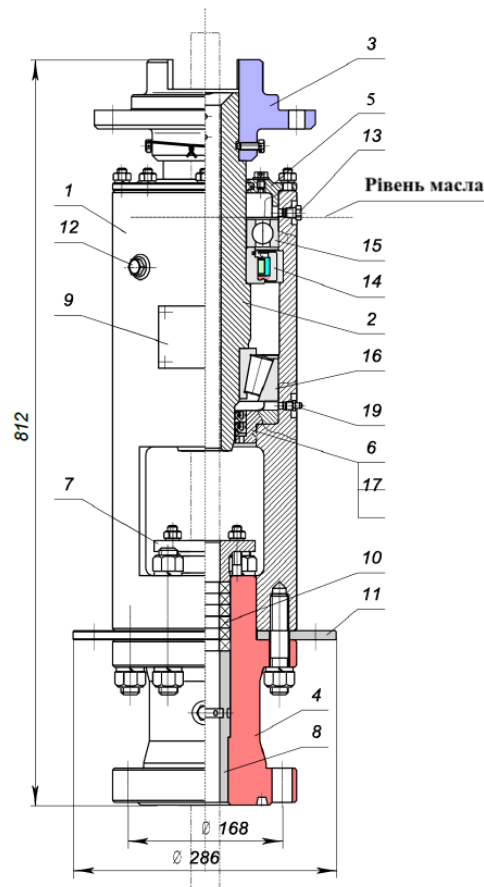


Рис. 2.11 Обертач:

- 1 – корпус; 2 – порожнистий вал; 3 – маточина; 4 – корпус сальника; 5 – кришка; 6 – вкладиш; 7 – кришка сальника; 8 – втулка; 9 – інформаційна табличка;
- 10 - кільце сальникового набивання; 11 - упорний фланець; 12 - болт кріплення стопора; 13 – пробка; 14 - сповільнювач зворотного обертання; 15, 16 – підшипники; 17 - ущільнювальна манжета; 18 - кільце ущільнювача; 19 – маслянка

Встановлюють кришку сальника у корпусі сальникового вузла. Вводять вільний кінець полірованого штока з лисками в отвори порожнистого валу обертача і сальникового вузла. Приєднують до його верхнього кінця укорочену монтажну штангу довжиною 1 м, а до нижньої штангової муфти. У

оглядовому вікні обертача закріплюють на штоку двома болтами монтажний хомут. Встановлюють обертач на допоміжну опору під кутом 30-45 градусів.

#### 2. Встановлення обертача на трубну головку свердловини.

Встановлюють на фланець трійника кільце ущільнювача.

Піднімають полірований шток разом із обертачем і підводять його до гирла свердловини. З'єднують шток з колоною штанг і затягують муфту необхідним моментом, зазначеним у нормативно-технічній документації. Видаляють нижній елеватор, піднявши всю конструкцію. Опускають обертач на трійник та закріплюють його болтами. Знімають монтажний хомут і опускають колону штанг до посадки хомута приводного на порожнистий вал обертача, ввівши його в шліци маточини. Від'єднують укорочену монтажну штангу.

#### 3. Підготовка приводу до запуску.

Відвинчують пробку заливного отвору та заповнюють внутрішні порожнини опорного корпусу обертача рідким мастилом.

Встановлюють на опорний фланець обертача раму з електродвигуном і закріплюють її на корпусі у відповідь швелером-хомутом двома шпильками. Встановлюють ведений шків.

Виготовляють електромонтажні роботи. Перевіряють правильність напрямку обертання валу електродвигуна. Вимірюють холостий струм електродвигуна.

Встановлюють клинові ремені та регулюють їх натяг. Закріплюють захисний кожух.

### **2.4 Особливості монтажу ГШНУ із вставним насосом**

Монтаж ШГНУ із вставним насосом (рис. 2.12) має такі особливості. При компонуванні низу колони насосно-компресорних труб замість статора невставного (трубного) насоса ставиться посадковий вузол (сідло) вставного насоса, що має пояски для встановлення ущільнення для роз'єднання зони

всмоктування від зони нагнітання гвинтового насоса і замкову опору для закріплення статора насоса в колоні. Спуск самої колони насосно-компресорних труб проводиться як і зі статором невставного (трубного) насоса. Потім робиться спуск вставного насоса на штанговій колоні до посадки в сідло. Внаслідок захоплення насоса замковою опорою проводиться фіксація статора насоса від провороту та вертикальних переміщень. Після цього проводиться операція витягування колони штанг для забезпечення потрібного положення ротора насоса щодо статора. Після виконаного припасування при необхідності проводиться підбір довжини верхніх штанг для досягнення необхідного положення полірованого штока щодо обертача верхнього приводу. Потім проводиться монтаж верхнього приводу.

Пуск ШГНУ та виведення на режим. Підконтрольна експлуатація.

Встановлюють обладнання гирла свердловини: викидний трубопровід з манометром, зворотним клапаном та засувкою, яка повинна стояти по ходу рідини перед зворотним клапаном, а також лінію для відбору газу з міжтрубного простору.

Проводять налаштування та регулювання пускової електроапаратури.

Перед запуском установки необхідно відкрити засувку. Експлуатація насоса при закритій засувці є неприпустимою, т.к. це неминуче призведе до аварії.

Відкривають кран, встановлений на лінії нагнітання біля засувки. При правильному напрямку обертання електродвигуна відразу після пуску буде чути шипіння газу, що виходить через відкритий кран, а через певний розрахунковий час (залежно від статичного рівня рідини в свердловині) повинна з'явитися рідина, що відкачується насосом, після чого кран слід закрити.

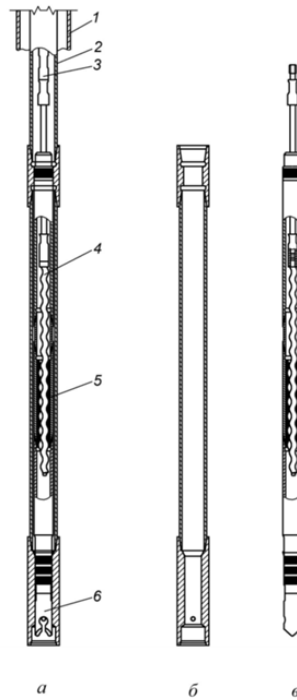


Рис. 2.12 - Вставний штанговий гвинтовий насос:

а – робоче положення насоса у свердловині; б - посадковий вузол; в – насос  
 1 – обсадна колона; 2 – НКТ; 3 – насосна штанга; 4 – ротор; 5 – статор; 6 –  
 замкова опора

Після пуску за роботою ШГНУ повинен бути встановлений спеціальний контроль, під час якого періодично здійснюють перевірку сили струму електродвигуна, заміряють дебіт, динамічний рівень, здійснюють відбір проб пластової рідини. Періодичність перевірок та вимірів визначається за спеціальними програмами, наприклад, у перший день пуску насоса – через кожні дві години, на другу добу через 6 годин, на третю добу – через 12 годин, далі – один раз на добу протягом першого тижня з початку експлуатації, а потім один раз на 5 днів до закінчення терміну експлуатації.

У перші 10 днів роботи приводу перевіряють натяг клинових ременів до їх опрацювання.

Після виходу насоса на режим подачі, що встановився, проводять остаточне налаштування наземної апаратури, при цьому струм електродвигуна

не повинен перевищувати граничних значень, зазначених у нормативно-технічній документації.

Після встановлення на заданий режим роботи необхідно перевірити герметичність сальникового вузла. Допускається невеликий витік через дренажний патрубок сальникової кришки.

## 2.5 Аналіз досвіду експлуатації ГШНУ

Типовий вид гирла нафтовидобувної свердловини, що використовує ГШНУ для видобутку, показано на рис. 2.13.



Рис. 2.13 Гирло свердловини при видобутку рідини за допомогою ГШНУ з наземним приводом

Експлуатаційна практика роботи із системами ГШНУ показала їхні переваги у багатьох відношеннях. Дуже привабливо виглядає проста можливість контролю - управління дебітом шляхом регулювання швидкості обертання ротора, чи то за допомогою приводних штанг, чи занурювального електродвигуна.

Сучасні гвинтові насоси мають із запасом великий діапазон робочих температур, до  $(250 \dots 350)^\circ\text{C}$ , що усуває необхідність оперативних турбот про відповідність робочих температур.

Слабкий вплив в'язкості рідини на подачу насоса також є великою перевагою при видобутку важких нафт, що в рівній мірі відноситься і малої величини тиску на прийомі, при якому гвинтовий насос має достатню працездатність, на відміну, наприклад, від штокових поворотно-поступальних насосів [12].

Можливість роботи ГШНУ з газорідинною сумішшю робить його корисним при видобутку загазованих флюїдів, включаючи рідину підвищеної в'язкості.

Найбільш часті причини відмов установок ГШНУ, визначені в результаті аналізу досвіду експлуатації в період 2014 ÷ 2021 рр., показано на рис. 2.14.

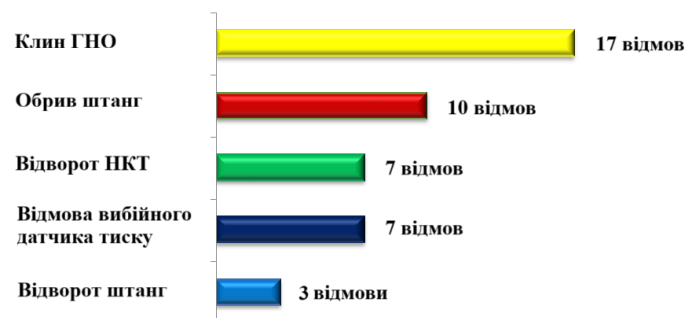


Рис. 2 .14 Розподіл відмов основних вузлів УШВН з основних причин

Великий досвід експлуатації УШГН, наприклад, від АТ «Укрнафта», показує, що найчастішою причиною відмов даних установок є заклинювання глибинно-насосного обладнання, що потребує демонтажу та ремонту системи.

Як вирішення такої проблеми у зазначеній роботі надано рекомендації щодо переважного використання вставних штангових гвинтових насосів, які дозволяють значно економити кошти на вирішення зазначеної проблеми заклинювання ГШНУ.

Якщо підйом ротора насоса можливий на колоні насосних штанг, то для підйому статора дуже суттєвий тип застосованої конструкції - вставний статор, або невставний.

До того ж у зв'язку зі зменшенням дебіту свердловини в міру відкачування корисного шару виникає необхідність заміни насосної установки на менш продуктивну, що також вигідніше і швидше при використанні вставних конфігурацій насосної станції.

Відносний розподіл трудомісткості при заміні УШВН підтверджує – максимальний час витрачається саме на спуск НКТ, який виключається при використанні вставного варіанта компоновки насоса.

Проведено аналіз статистичних даних з експлуатації ГШНУ у промислових умовах. Дані отримані від АТ «Укрнафта». Аналіз показує, що найпоширенішою причиною відмов і наступного виходу з ладу гвинтової насосної установки є злам штанги саме у верхній частині колони.

У разі даного конкретного дослідження у всіх 12 статистично розглянутих свердловинах застосовувався наземний привід, в яких використовувалися насоси типу 40Т-063 і 40Т-025.

Частота обертання наземних приводів знаходилася в межах  $(123 \div 197) \text{ хв}^{-1}$ , що відповідало частоті обертання колони штанг.

Вихідний тиск нафти на виході зі свердловин змінювалося в межах  $(2 \div 16)$ .

Середня глибина підвіски насосів з усіх розглянутих свердловин становила трохи більше 900 м.

Виявлений феномен автори цієї роботи пояснюють тим, що верхній кінець колони штанг максимально жорстко закріплений у затискачах провідного наземного приводу. Даний вид закріплення визначає набагато більшу жорсткість верхніх штанг порівняно з подальшими колонами вниз. Велика жорсткість відповідно визначає їх меншу стійкість до руйнування втоми.

Відомо, що максимальні проблеми становить зношування еластомеру в статорі насоса.

Поступове стирання ротора та статора є основною причиною відмов обладнання, і фрикційна якість матеріалу еластомеру на статорі має у цьому питанні першорядну роль.

У свердловинах з високою температурою середовища, наприклад - при промиванні ствола гарячою нафтою, виявлялися відмови, викликані набуханням еластомеру. Даний тип дефектів відноситься до інших властивостей даного матеріалу, не фрикційним, і пояснюється іншими механізмами.

Пропонується замінити еластомер на металевий сильфон для вирішення цієї проблеми. Тим самим обґрунтовується можливість отримання властивостей насоса і за такого конструктивного рішення, як показано на рис. 2.15.

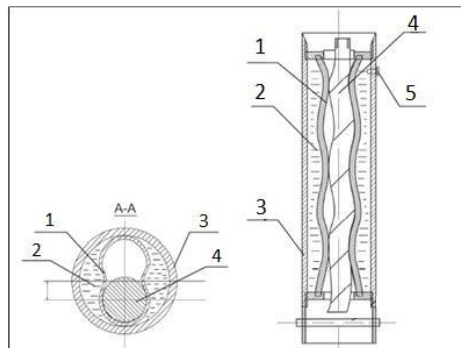


Рис. 2.175 Конструкція ГШНУ із металевим статором:

1 – металевий статор; 2 - антикорозійна рідина у зазорі між НКТ та сильфоном; 3 – корпус статора (НКТ); 4 – ротор; 5 – заливальний отвір.

Дійсно, видно, що між сильфонним металевим статором, не схильним до набухання і стирання, виникають замкнуті об'єми з робочою рідиною (ліворуч), які переміщуються вгору при обертанні ротора, що визначає насосні властивості даної конструкції відповідно до заяви авторів.

Дана пропозиція, безумовно, є результатом, отриманим з досвіду експлуатації ГШНУ.

У ході експлуатації [17] виявлено зниження напрацювання на відмову насосних штанг при збільшенні в'язкості рідини, що відкачується, як показано на рис. 2.16.

При цьому в результаті візуального огляду елементів гвинтового насоса встановлено знос еластомеру, який пропорційний кількості накопичених оборотів ротора.

Крім того, впливає обводненість продукту, що перекачується, вміст у ньому механічних домішок, рівень рідини в свердловині.

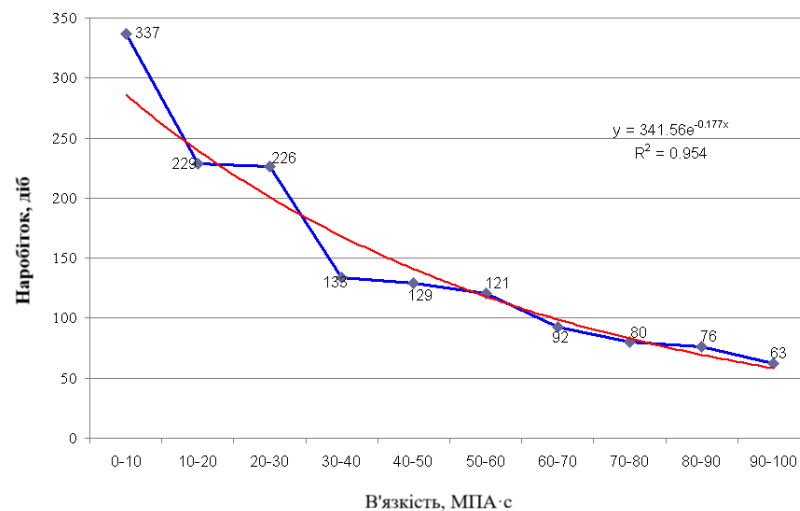


Рис. 2.168 Падаюча залежність напрацювання на відмову штанг від в'язкості нафти, що видобувається

Фізичне пояснення цього результату є очевидним, і полягає в наступному. Чим більша в'язкість нафти, тим важче її перекачувати, і тим раніше насос, що перекачує, виходить з ладу.

Більш детальний розподіл відмов ГШНУ за їхніми категоріями показано на рис. 2.17.

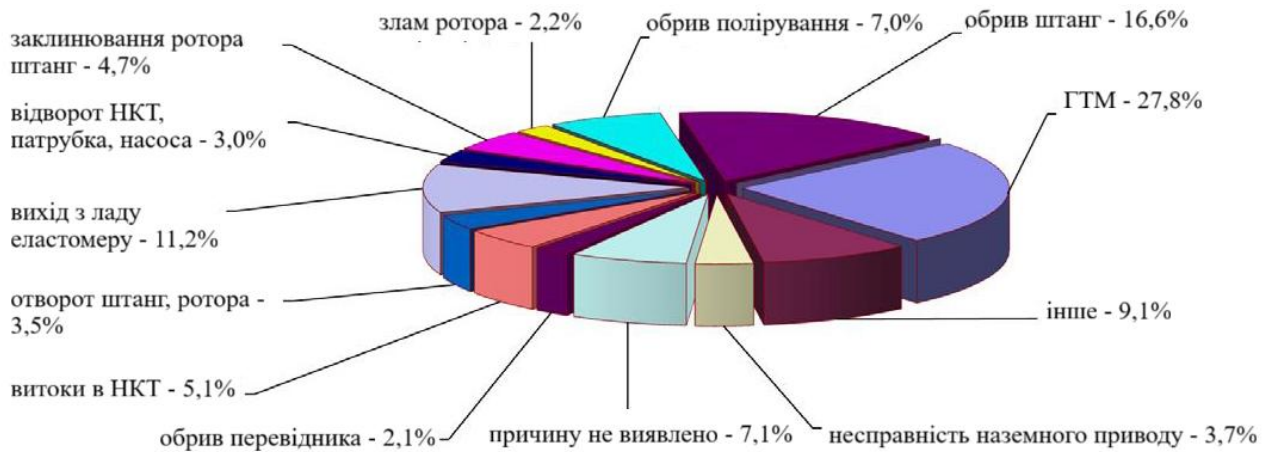


Рис. 2.17 Статистика відмов

Наведені на рис. 2.17 відмови відповідно пов'язані з необхідністю ремонтів свердловин, обладнаних УШГН. Причини такого ремонту стосуються як підземного, і наземного устаткування.

Видно, що на першому місці знаходиться ГТЗ – геолого-технічні заходи щодо збільшення дебітів –злами під час регулювання; далі - обрив штанг як завжди і скрізь; проблеми з еластомером тощо за списком.

Показано, що наявність у свердловинній продукції механічних домішок навіть на рівні 470 мг на літр – удвічі збільшує швидкість зношування еластомеру.

Зі збільшенням накопичених оборотів понад 21 мільйон - ступінь зносу еластомеру починає сильніше залежати від тиску насичення. При перевищенні зазначеного числа оборотів спостерігається практично миттєвий знос еластомеру за наявності механічних домішок у продукції, що перекачується. З іншого боку, автори стверджують, що практично не впливає на знос еластомеру обводнення в діапазоні до 80%.

Наявність механічних домішок різко збільшує знос еластомеру. Причому встановлено зносу залежність від вмісту води в свердловинній продукції. Немає залежності зносу і від вмісту води при високому вмісті газу в нафті, що перекачується.

Проведений аналіз показав - основною причиною обривів штанг є їхня низька якість виготовлення на заводі. Спостерігається відхилення штанг від геометричних розмірів за ГОСТ 13877 та API. Виявлено різну структуру матеріалу, твердості, хімічного складу, все те, що характеризується поняттям – заводський шлюб.

Основні причини обривів полягають у обриві з різьблення штанги, або обрив полірованих штоків. Також суттєво впливає недостатній момент згвинчування різьбових з'єднань та вигин у ділянці головки штанги.

Як можливі причини відворотів штанг автори вказують неефективну роботу гальма приводу. Також впливає недостатнє кріплення різьбових з'єднань штанг; неправильне балансування ротора. Вібрація штанг, їх кривизна сприяють виникненню додаткового моменту, що крутить, який викликає розв'инчування з'єднань.

Обриви полірованих штоків відбуваються біля верхнього сальника. Обриви викликані втомними напруженнями в матеріалі штока, що виникають під дією прикладених зусиль і температур, що змінюються.

В результаті відбувається поступове стирання матеріалу штока через перетяжку і перекося бокси сальникового вузла. Викрутки НКТ відбуваються найчастіше в зоні статора насоса. Причина відворотів полягає у недостатньому кріпленні різьбових сполук НКТ.

На термін служби насоса також негативно впливає підвищена вібрація ротора. Величина вібрації залежить від якості посадки ротора в статорі, від частоти обертів колони, кількості штангових центраторів на довжину колони.

Зі збільшенням щільності посадки ротора та швидкості його обертання вище 200 хв.<sup>-1</sup> – термін служби еластомеру у статорі швидко скорочується.

Встановлено, що основна причина набухання еластомеру полягає в низькому тиску на вході насоса нижче тиску насичення.

У цьому випадку виникає насичення матеріалу еластомеру газами та заклинювання ротора у статорі. Даний механізм у свою чергу веде до обривів

всієї колони штанг, включаючи верхній полірований шток. Відмови такого роду досягають 44% від усіх випадків, при яких потрібний ремонт.

## **2.5 Аналіз механізмів виникнення динамічних навантажень на елементи ГШНУ**

В роботі [18] досліджено деякі причини виникнення механічних коливань у колоні штанг. Дані коливання виявляються у вигляді крутильних, поздовжніх, поперечних та згинальних механічних напруг, які виникають у довгій колоні штанг, у зв'язку з особливостями її механічного навантаження.

В ході обертання колони штанг виникають ударні циклічні імпульсні навантаження, викликані змінами в режимах роботи приводу і гвинтового насоса.

Справа в тому, що колона штанг в процесі передачі моменту, що крутить, від приводу до ротора - знаходиться в напружено - деформованому стані, яке визначає поточні значення статичних і динамічних деформацій як штанг, так і сполучних муфт між ними.

Коливання колони штанг, що з'являються при роторному способі буріння, досліджено авторами багатьох робіт, які застосовували моделі динамічного навантаження системи послідовно з'єднаних штанг.

Механізм виникнення крутильних коливань у колоні штанг ГШНУ наступний:

– при передачі моменту до насоса у колоні штанг спочатку накопичується потенційна енергія за рахунок пружності матеріалу колони. Вище зазначалося, що при довжині колони штанг 1000 метрів наземний привід здійснює до 30 обертів після включення, перш ніж ротор у вибої свердловини почне свій обертальний рух.

– таким чином, за ці 30 обертів у колоні штанг накопичилася певна, досить велика потенційна енергія, яка зберігається у разі рівномірного обертального руху привід – колона – ротор із постійною швидкістю.

– насправді швидкість обертання системи не є постійною – змінюються параметри наземного приводу (живлення), змінюються властивості колони штанг (нагрів через тертя), змінюється момент опору гвинтового насоса (нагрів, зміна властивостей нафти).

– в результаті на систему із запасеною початковою потенційною енергією діють імпульсні збурення – гальмування приводу, колони, насоса.

– після кожного короткочасного динамічного гальмування в системі привод – колона – насос виникають перехідні процеси у вигляді загасаючих коливань елементів системи на власних частотах.

Енергія, запасена в напруженій колоні, зменшується при кожному акті збудження вільних динамічних коливань, потім знову накопичується від приводу при наступному загальмованому обертанні.

Запасена таким чином енергія в колоні штанга викликана пружністю складових елементів системи, яка після певного значення призводить до швидкого розкручування нижнього кінця штанги.

Саме ця енергія штанг є джерелом динамічних навантажень, що виникають і спостерігаються на реальних свердловинах з приводом ГШНУ від наземного пристрою через довгу колону штанг.

При цьому відбуваються періодичні заклинювання - короткочасні зупинки колони штанг по всій її довжині, що викликають - розривні автоколивання, що згасають з певним декрементом, і спостерігаються на частотах складної тривимірної обертальної системи.

Крім того, створювані таким чином крутильні та поздовжні коливання в колоні штанг прикладаються до її елементів, збільшуючи і так великі деформації, що додатково збільшує ймовірність відмов обладнання аж до обриву колони штанг під дією зазначених динамічних ударних навантажень.

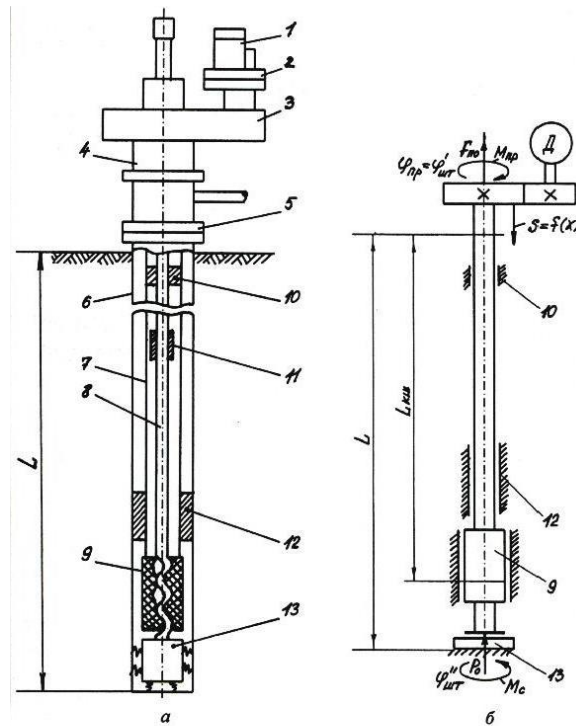


Рис. 2.18 Конструктивна схема (ліворуч) і динамічна модель системи

«привід – колона – насос», що обертається:

- 1 – приводний наземний електродвигун; 2, 3 – елементи редукції;  
 4 – превентор із сальником; 5 – колонна голова; 6 – обсадні труби; 7 – НКТ;  
 8 – колона штанг; 9 – ГШНУ; 10 – центратор; 11 - муфта на колоні штанг;  
 12, 13 - якір.

З наведеної на рис. 2.18 моделі ясно видно, що обертальна напруга колони штанг 8 призводить до накопичення в ній енергії, що потім виділяється у вигляді динамічних навантажень на ГШНУ, центратори, привід, якір, і в кінцевому підсумку спонукають ці елементи до відмов і накопичення дефектів.

Коливання та динамічні навантаження виникають безпосередньо в момент пуску приводу ГШНУ – коли верхня частина штанг починає обертатися, а нижня ще нерухома.

У цьому виникають реактивні моменти, які утворюють загальний момент опору системи штанг.

Потенційна енергія накопичується і після перевищення певного моменту опору - миттєве виділення енергії у вигляді динамічних впливів на елементи колони, приводу, насоса - всі елементи піддаються динамічним впливам з боку закрученої колони штанг.

Зміни амплітуди запасеної енергії набуває стійкого періодичного характеру.

В результаті, нижня частина колони штанг завжди запізнюється по відношенню до верхньої на певний кут повороту, як говорилося - на десятки обертів на довжині 1000 метрів.

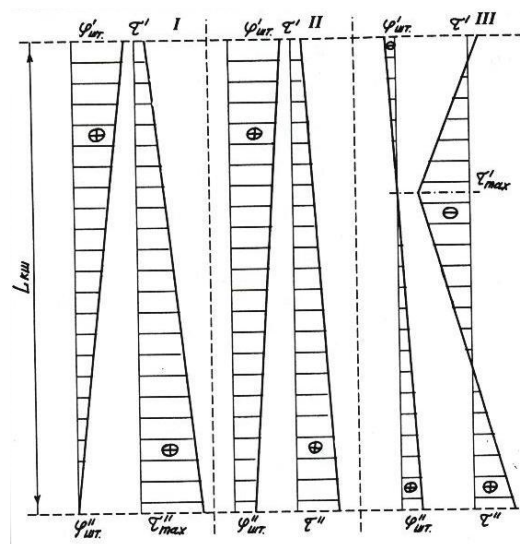


Рис.2.19 Характер зміни кутів крутіння та дотичної напруги в колоні штанг, у кожному з випадків циклу руху ШГНУ

Праворуч на рис. 2.21 показаний випадок зупинки верхнього приводу, коли відбувається перерозподіл динамічних навантажень в колоні штанг.

Описані і такі, що спостерігаються на практиці динамічні навантаження, є небезпечними для системи приводу ротора ГШНУ. Такі навантаження ведуть до відмови або виходу з ладу будь-якого елемента, з наведених вище динамічної схеми.

Наприклад - зупинка двигуна приводу без ефективної системи гальмування колони штанг, або локальне наростання напруги в самому насосі можуть призвести до різкого перерозподілу напруг і до обриву колони штанг.

За рахунок пружної деформації штанг з'являються ударні імпульси, що впливають на колону як від верхнього приводу, так і від самого насоса внизу, в результаті чого в штангах спостерігаються безперервні крутильні і поздовжні коливання амплітуди і частоти, що змінюється, в залежності від режиму роботи системи.

Наявні випадкові динамічні навантаження в такій системі призводять до урвищ штанг.

При відключенні двигуна приводу - верх вже сповільнюється, а низ ще крутиться, причому цей процес також є ударним.

Таким чином, привід ШГНУ разом із колоною штанг, муфтами та іншими елементами – зазнають одиничного одночасного ударного навантаження, яке може призвести до відмов.

Під впливом змінних умов роботи системи виникає нестійкість обертання – вигин, дисбаланс, неврівноваженість – є причиною крутильних і поздовжніх коливань, які створюють і поперечні коливання. В результаті досвід показує, що всі три типи коливань виникають одночасно, одне з іншого.

Істотним у разі виявляється ступінь свободи рухливих елементів та його розподілені параметри, дозволяють моделювати процеси у системі. Вимірювати такі процеси складно.

Відомі спроби дослідити стійкість руху штангової колони за різних ступенів свободи вібраційної системи – лише на рівні математичних моделей.

Потім за результатами такого дослідження можна оцінювати вплив коливань на працездатність елементів ШГНУ. Саме штанги, сполучні муфти, центратори, превентори, якірі найчастіше зазнають поломок. За результатами таких оцінок можна намагатися обґрунтувати та визначити оптимальні конструктивні параметри цих елементів.

Отже, в результаті дослідження встановлено, що при роботі гвинтової насосної установки з поверхневим приводом виникають коливання моменту, що крутить. Дані коливання передаються від редуктора приводу гвинтовому ротору. Наявність падаючої характеристики коефіцієнта тертя залежно від взаємної швидкості поверхонь ротора, що труться, з гумовою обоймою статора [19] – істотно впливає на характер локального нагріву в місці зіткнення.

Крутильні коливання системи, що виникають таким чином, насос-колона штанг, - сприяють передчасному зносу поверхонь робочих органів насоса. Зрештою посилюється втомний знос самих штанг. Зношування призводить до їх обриву, відвороту НКТ і негативно впливає на роботу всієї установки в цілому.

Для вивчення динаміки роботи штанг у такому режимі створюється математична модель. Модель будується у припущенні вертикальної свердловини, де колона штанг сприймається як однорідний стрижень довжиною  $l$  із зосередженою масою нижньому перерізі.

Наземний привід обертає верхню частину колони штанг із постійною кутовою швидкістю, як показано на рис. 2.19.

У модель закладається залежність коефіцієнта тертя від лінійної швидкості взаємного переміщення поверхонь, що труться, показана на рис. 2.20.

У зв'язку з цим поведінка колони штанг може бути описана неоднорідним диференціальним рівнянням у приватних похідних:

$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial t^2} = a^2 \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} - 2v \frac{\partial \varphi}{\partial t}, \quad (2.1)$$

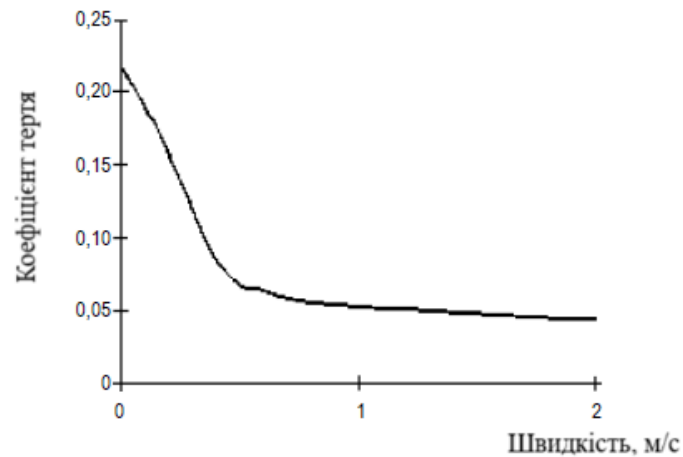


Рис. 2.20 Коефіцієнт тертя має зворотну залежність від лінійної швидкості взаємного руху тертьових поверхонь гвинтового насоса

де  $\varphi$  – кут вимушеного закручування колони штанг;  
 $\nu$  – коефіцієнт в'язкого тертя робочих поверхонь насоса;  
 $a^2 = G \cdot I_p / I$  – швидкість звуку у матеріалі колони;  
 $G$  – модуль зсуву застосованого матеріалу;  
 $I_p$  – полярний момент інерції перерізу штанги;  
 $I$  – осьовий момент інерції штанги.

Початкові умови рішення відображатимуть нульовий стан спокою до включення приводу ГШНУ:

$$\begin{aligned} \varphi(t, x)|_{t=0} &= 0; \\ \frac{\partial \varphi}{\partial t}|_{t=0} &= 0. \end{aligned} \quad (2.2)$$

Граничні умови мають такий вигляд:

$$\frac{\partial \varphi}{\partial t} \Big|_{x=0} = \omega_0 = \text{const},$$

$$GI_p \frac{\partial \varphi}{\partial x} \Big|_{x=l} = -M_{\text{кр}}.$$
(2.3)

Вирішуючи описане вище рівняння за заданих умов, автори роботи отримали дуже корисні залежності, показані рис. 2.23.

З наведених результатів слід, що максимальне впливом геть освіту динамічних навантажень надає довжина колони штанг – на порядок величини.

Видно, що після довжини штанг у 1000 метрів вплив практично зникає.

Інші параметри впливають лише на рівні десятків відсотків – несуттєво.

Таким чином, видно, що запропонована модель дозволяє оцінювати ступінь впливу параметрів системи на величину динамічних навантажень.

Крім того, можна оцінювати кількісні значення впливу різних параметрів, що дає практичне застосування в нафтовидобувній промисловості.

## **2.6 Методи дослідження і зниження динамічних навантажень на елементи ГШНУ**

### **2.6.1 Методи дослідження динамічних навантажень на елементи ГШНУ**

Вище, у даному розділі описано метод дослідження динамічних навантажень на елементи ГШНУ шляхом математичного моделювання.

Якість математичних моделей визначається числом параметрів, що враховуються, і ступенем достовірності математичної апроксимації застосовуваних моделей для різних компонентів системи.

Інформаційний пошук не дав інформації щодо інших математичних моделей, крім описаних у попередньому розділі, як і за іншими методами.

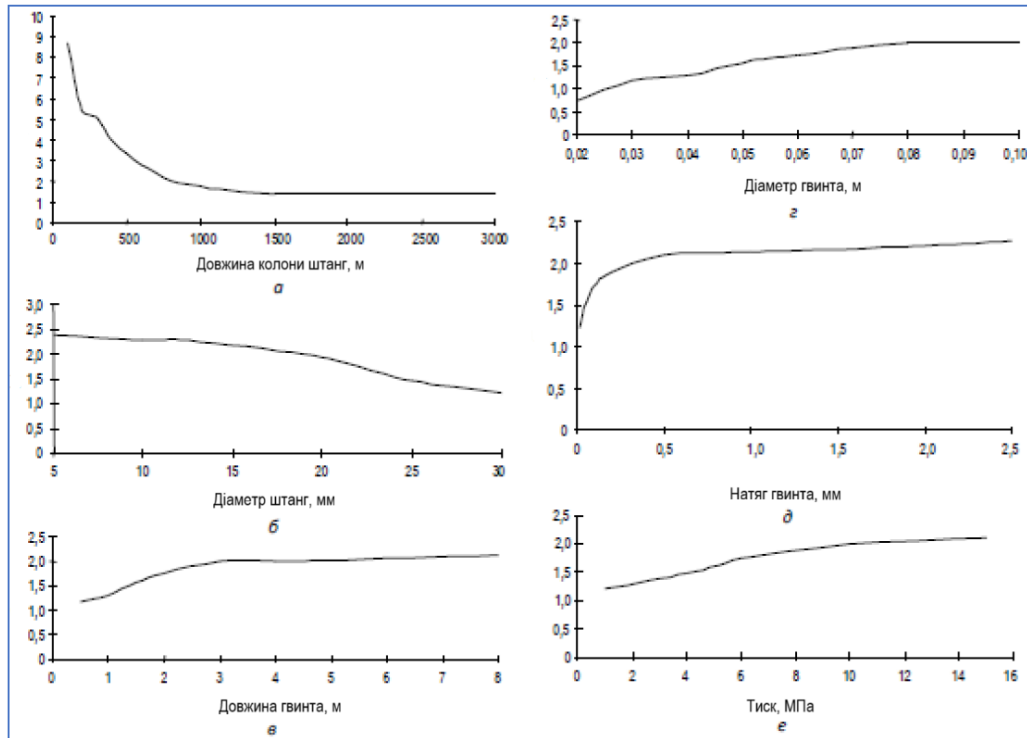


Рис. 2.21 Залежність нерівномірності (обурень) крутного моменту від основних факторів, що впливають:

- а - від довжини колони штанг (глибина свердловини); б – від діаметра штанг;  
 в – від довжини ГШНУ; г – від діаметра ГШНУ; д – від натягу ГШНУ;  
 е – від тиску, що створюється ГШНУ

Інший вид дослідження динамічних навантажень на елементи ГШНУ полягає у фізичному моделюванні, при якому на певній зменшеній, видимій моделі повномасштабної свердловини передбачається проведення вимірювання реальних параметрів, що відображають характеристики динамічних навантажень на елементи ГШНУ.

До таких характеристик можна віднести такі:

- амплітуди коливань елементів колони штанг;
- деформацію елементів колони штанг, як статична, і динамічна;
- величини та напрямки механічних напруг у НКТ;
- перегрів елементів системи у точках зіткнення колони штанг та НКТ;

– гідравлічні характеристики потоку, що перекачується – витрата, тиск, суцільність потоку, наявність домішок.

Слід зазначити суттєву особливість геометрії сучасної свердловини, де за довжини НКТ лише на рівні кілометрів, діаметр штанг становить 22 мм.

Тоді при коефіцієнті моделювання, скажімо 100 – довжина моделі становитиме 10 метрів замість 1000 у реальній свердловині, а діаметр модельної штанги становитиме вже 0,22 мм.

Установка вимірювальних засобів тензо- і термометрії на такому малому розмірі є самостійною проблемою, яка за складністю може перевищити первинну.

Таким чином, у зв'язку з видимою складністю повномасштабного фізичного моделювання динамічних навантажень найбільш перспективним підходом, мабуть, є певна комбінація математичного моделювання з аналізом результатів його застосування.

Можна закладати у конструкцію елементів свердловини і ГШНУ деякі рішення, математично обгрунтовані, і підтверджені якимось локальним фізичним моделюванням.

А потім слід аналізувати статистичні дані, що отримуються з промислових свердловин, і з цих даних методами аналізу намагатися виділити вплив прийнятих рішень на рівень динамічних навантажень на елементи ГШНУ в реальних свердловинах, з реальними розмірами.

Пропозиції щодо зниження рівня динамічних навантажень досить очевидні:

- стабілізація частоти обертання приводного двигуна;
- оптимізація, із попереднім математичним моделюванням, конструкції елементів центрування колони штанг;
- оптимізація частоти встановлення центраторів за довжиною колони штанг;

– а найкраще – удосконалювати занурювальні електроприводи для зняття проблеми динамічних навантажень на колону приводних штанг.

За такими основними напрямками і слід рухатися до вирішення поставленої проблеми стабілізації навантажень на систему привід - штанги - гвинтовий насос.

Як приклад можна провести моделювання одного елемента системи – еластомеру. У роботі [21] описано математичне моделювання елемента, а потім - фізичне, на підтвердження зроблених математичних оцінок. Автори обґрунтовують необхідність підвищення точності розрахунків крутильних навантажень, що виникають на колону штанг ГШНУ для уточнення методів діагностики стану та прогнозування поточного ресурсу ГШНУ як зі штанговим, так і з занурювальним приводом. Досвід експлуатації гвинтових насосів вказує, що надійність насосних установок залежить від стану робочих органів, зокрема від стану еластомеру статора, який відчуває набухання, що призводить до зростання тертя і до подальшого руйнування матеріалу еластомеру, що труться.

На рівні математичного моделювання автори роботи досліджували залежність коефіцієнта тертя кількох робочих органів гвинтового насоса від числа Зоммерфельда для еластомірного матеріалу статора ГШНУ. В результаті моделювання побудована ділянка кривої Штрибека, характерна для роботи гвинтових насосних установок, і визначений характер режимів тертя матеріалу гума-сталь.

Експериментальні дослідження проведені на триботехнічній установці П-5018 для пар «метал-еластомер» за умов сухого тертя з використанням різних мастильних середовищ. Виконано статистичну обробку результатів експериментів, яка підтвердила отриману математичним моделюванням залежність коефіцієнта тертя від числа Зоммерфельда для пари тертя ротор-статор гвинтового насоса.

За експериментально отриманою діаграмою Штрибека для еластомірного матеріалу виділено характерні режими змішаного та гідродинамічного тертя, характерні для роботи ГШНУ.

Отримані дані використовуються при проектуванні, виробництві та діагностиці гвинтових насосних установок.

Так само треба чинити і з усіма іншими компонентами системи ГШНУ.

### **2.6.2 Методи зниження динамічних навантажень на елементи ГШНУ**

Дійсно, крім моделювання та дослідження динамічних навантажень на елементи ГШНУ, що безумовно є актуальним як у цій роботі, так і взагалі у світовій нафтовидобувній промисловості, крім дослідження необхідно хоча б намітити можливі шляхи зниження рівня даних навантажень в існуючих умовах.

Відомі математичні моделі системи «гвинт - колона штанг - привід» [22], дають, як показано вище - залежності нерівномірності моменту, що крутить, від параметрів системи, як - довжини і діаметр колони штанг, розміри гвинтового насоса, натяг робочих органів насоса, і нарешті робочий тиск насоса.

Однак результатів моделювання явно недостатньо для отримання кінцевого результату у вигляді зниження рівня динамічних навантажень, що розглядаються в цьому дослідженні.

Тому, додатковий інтерес викликає у межах даного дослідження новий підхід, який виявляється у пропозиції апаратного комплексу, оснащеного датчиками і системою управління з урахуванням програмованого контролера.

Таким чином, у роботі запропоновано автоматизований комплекс управління роботою ГШНУ із наземним приводом, який оснащений вимірювальними датчиками.

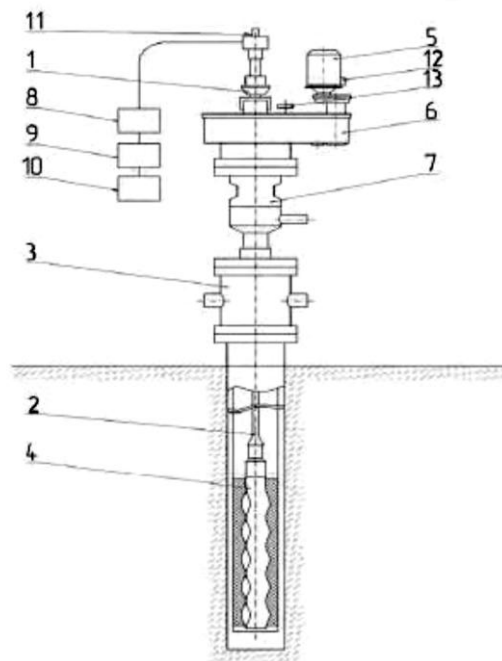


Рис. 2.22 Структура комплексу управління ГШНУ з поверхневим приводом:  
 1 – вимірювач моменту приводу; 2 – колона штанг, що підлягає фізичному моніторингу; 3 – голова колони; 4 – ГШНУ; 5 – приводний електродвигун;  
 6 – редуктор; 7 – сальниковий превентор; 8 – підсилювач; 9 - програмований контролер; 10 – комп'ютер; 11 – датчик тиску; 12 – частотний перетворювач із функцією підрахунку оборотів; 13 – датчик оборотів

З показаного на рис. 2.22 складу установки видно спробу представити сучасну комп'ютеризовану систему моніторингу та управління системою ГШНУ на базі наземного приводу.

Однак видно, що в інтересах поставленої мети цього дослідження доцільно доповнити перерахований склад засобами діагностики стану колони, що обертається, штанг і динамічних навантажень, що виникають в ній.

Зрозуміло, що установка діагностичних засобів безпосередньо на штанги, що обертаються, дуже утруднена, як малими розмірами в перерізі штанги, так і дуже обмеженим доступом до них в ході експлуатації свердловини.

Тому обмежимося безруйнівними безконтактними засобами діагностики – наприклад - спостереження акустичних процесів, що виникають у НКТ.

Зрозуміло, що при динамічній - ударній і локальній взаємодії штанги, що обертається, з трубою НКТ в останній будуть збуджуватися періодичні акустичні сигнали, які поширюватимуться по трубі до поверхні землі [23].

За допомогою мікрофонів, встановлених на надземній частині труби НКТ можна реєструвати сигнали взаємодії труби і колони штанг, що проходять зі свердловини, які будуть використані як критерій виникнення динамічних навантажень на штанги, і для оптимізації «за ефектом» режиму роботи всієї системи ГШНУ.

Не менше корисної інформації можна отримати з вимірювань динамічних процесів, що відбуваються в робочій рідині, що циркулює від гвинтового насоса вгору в зазор між колоною штанг і НКТ.

Реєстрація наземними засобами - коливань витрати нафти, приходу хвиль тиску від місця застосування динамічного навантаження до гирла свердловини дасть корисну інформацію про характер обурення, а спільно з результатами кореляційного аналізу з хвилями по трубі НКТ - дасть інформацію про місце обурення по довжині свердловини.

Програмно-модульну структуру експертної керуючої системи показано на рис. 2.23.

Експертна система є набір критеріїв для прийняття оперативних – автоматичних рішень з управління роботою системою ГШНУ.

Додавання в експертну систему – програмних засобів спектрального та кореляційного аналізу з додаткових датчиків, встановлених, як сказано вище – у потоці нафти, що виходить, і на трубі НКТ – дозволять розширити арсенал керуючих алгоритмів і знизити, в результаті, динамічні навантаження на колону штанг.

Частотний перетворювач (ЧП) змінює частоту мережі зменшення кількості обертів приводного двигуна.

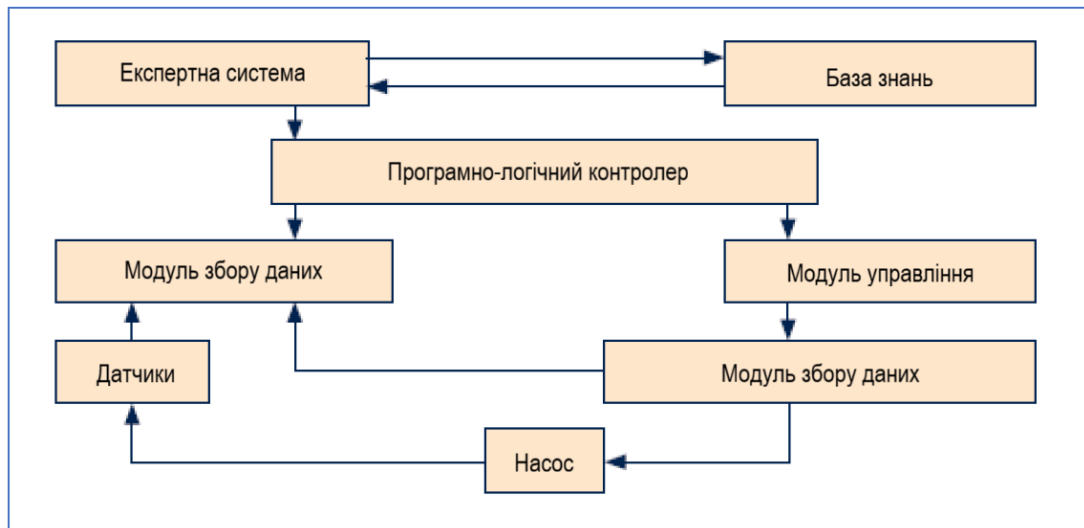


Рис. 2.23 Структура експертної системи управління з позицій програмного комплексу

НП визначає частоту обертання приводного двигуна шляхом виміру напруги однієї з фаз.

Вимірюється струм приводного двигуна як критерій можливого заклинювання редуктора.

Контроль обертів полірованого штока здійснюється за датчиком обертів. Пристрій побудовано на основі магніточутливого елемента, який має точність половину обороту штока.

Вимірник моменту, що крутить, використовується для контролю крутильних коливань.

Датчики тиску і температури разом із витратоміром стоять на викидній лінії контролю потоку робочої рідини.

Управління режимом роботи установки здійснюється шляхом зміни таких параметрів системи, як частота обертання приводного двигуна, значення порогів вимикання системи та перемикання режимів та інше.

Пропонований комплекс дозволяє:

- оперативно та автоматично керувати роботою всієї установки;

– контролювати в реальному часі обороти, момент на валу, витрати нафти; відключати обладнання у необхідних випадках;

На початковому етапі роботи системи потрібна присутність оператора поруч із установкою щодо відповідальних перемикань.

Для управління обладнанням системи ГШНУ дана система здатна використовувати залежності, отримані з апріорного математичного моделювання, а саме:

– залежність поточної величини амплітуди нерівномірності крутного моменту від довжини колони штанг,

– залежність нерівномірності моменту від діаметра штанг, довжини та діаметра насоса, натягу його частин одна на одну, робочого тиску насоса та ін.

Після доопрацювання та розвитку програмного продукту експертна система в апаратному комплексі здійснюватиме моніторинг та управління роботою ГШНУ з поверхневим приводом в автоматичному режимі без оператора. При цьому підвищується надійність та ефективність системи. Відключення провадяться лише в аварійних ситуаціях. Ведеться контроль за параметрами рідини, що видобувається.

## **2.7 Розрахунок елементів ГШНУ**

Під час проектування ГШНУ виконуються такі види розрахунків:

1. Розрахунок колони насосних штанг на міцність
2. Розрахунок ролик-конічного підшипника на довговічність

Вихідними даними для розрахунку є значення, що найчастіше зустрічаються і використовуються при експлуатації ГШНУ вказані в табл. 2.1.

Таблиця 2.1

Вихідні дані для розрахунку

Показник	Значення	Розмірність
Глибина свердловини	1000	м
Потужність наземного приводу	150	кВт
Зовнішній діаметр НКТ	73	мм
Діаметр насосних штанг	22	мм
Частота обертання колони штанг	100	об/хв
Маса 8 м штанги [26]	24,5	кг
Марка сталі штанг [26]	40	

### 2.7.1 Розрахунок міцності колони штанг

Розрахунок колони штанг на міцність виконуємо за методикою, яка випробувана багаторазово під час проектування бурильних свердловин та колон у роторному принципі буріння [2].

Модель колони в такому випадку є стрижнем, що обертається в радіальних опорах. Колонна штанг зазнає осьового розтягування, кручення і вигину від осі, причому всі впливи прикладаються до колони одночасно.

Дані для розрахунків братимемо з табл. 2.1.

Запишемо загальну умову статичної міцності колони штанг:

$$\sigma_{\text{екв}} = \sqrt{\sigma^2 + 4\tau^2} \leq [\sigma] = \frac{\sigma_T}{K_{\text{шт}}}, \quad (2.4)$$

де  $\sigma_{\text{екв}}$  – еквівалентна напруга у поперечному перерізі штанги;

$[\sigma]$  – максимально допустима напруга у поперечному перерізі штанги;

$\sigma_T$  - межа плинності матеріалу штанги [26];

$K_{\text{шт}} = 1,5$  – коефіцієнт, визначальний запас міцності штанг [2].

Виконаємо розрахунок.

$$\sigma = \frac{F}{S},$$

звідси

$$S = \frac{\pi d^2}{4}, F = P - \frac{L \cdot D^2 \cdot \pi}{4} \cdot \rho_p,$$

де  $S$  – площа поперечного перерізу штанги,

$P$  – вага всіх штанг.

$$P = (L/l \cdot m_{\text{шт}}) + (L/l \cdot m_{\text{м}}) = (1000/8 \cdot 24,5) + (1000/8 \cdot 3,15) = 3062,5 + 393,75 = 3456 \text{ кг}.$$

де  $l$  – довжина однієї штанги;

$m_{\text{шт}}$  – маса штанги;

$m_{\text{м}}$  – маса муфти.

$$F = P - (L \cdot D^2 \cdot \pi \cdot \rho_{\Gamma} / 4) = 3456 - (10^3 \cdot 22^2 \cdot 10^{-6} \cdot 3,14 \cdot 1000 / 4) = 3076 \text{ кг}.$$

$$S = \pi \cdot d^2 / 4 = 3,14 \cdot 2224 = 0,017 \text{ м}^2,$$

$$\sigma = F / S = 3076 / 0,017 = 181 \text{ МПа},$$

$$\tau = T / W_p, \text{ звідки } W_p = \pi d^3 / 16, T = N / \omega,$$

де  $W_p$  – полярний момент опору,

$T$  – крутильний момент;

$\omega$  – кутова швидкість.

$$\omega = \pi \cdot n / 30 = 3,14 \cdot 100 / 30 = 10,5 \text{ с}^{-1};$$

$$T = N / \omega = 150 / 10,5 = 14,3 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$W_p = \pi \cdot d^3 / 16 = 3,14 \cdot 22^3 / 16 = 0,0021 \text{ м}^3;$$

$$\tau = T / W_p = 14,3 / 0,0021 = 7 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{\text{екв}} = \sqrt{\sigma^2 + 4\tau^2} = \sqrt{181^2 + 4 \cdot 7^2} = 183 \text{ МПа}.$$

Допустиме значення по міцності має відповідати умові:

$$\sigma_{\text{екв}} \leq [\sigma];$$

$$[\sigma] = \sigma_T / K_{\text{шт}} = 320 / 1,5 = 213 \text{ МПа}.$$

183 МПа  $\leq$  213 МПа, умова міцності виконується.

### 2.7.2 Розрахунок ролико-конічного підшипника

Цілі розрахунку витривалості опори приводу штангового гвинтового насоса, розташованої на його осі, визначаються як такі [2]:

1. Визначення необхідної динамічної вантажопідйомності осьової опори;
2. Знаходження гаданого ресурсу заданого типорозміру опори.

Як вихідні дані для розрахунку приймаємо величину осьового навантаження  $F_{os}$  у верхньому перерізі штангової колони, а також частоту обертання приводного валу "n" і штанги відповідно.

Величина номінального ресурсу  $L_n$  [розмірність – мільйони оборотів] підшипника опори, яка відповідає 90% надійності останньої, пов'язана з динамічною вантажопідйомністю  $C$  [27] підшипника наступним виразом:

$$L_n = a \cdot \left(\frac{C}{G}\right)^m, \quad (2.5)$$

де  $a = 1$  – коефіцієнт якості металу кілець підшипника та умов експлуатації;

$G$  – еквівалентне динамічне навантаження, визначене нижче;

$m = 1.33$  – показник ступеня втомної кривої для роликів підшипників.

Еквівалентне навантаження  $G$  розпишемо так:

$$G = Y \cdot K_B \cdot K_T \cdot F_{oc}, \quad (2.6)$$

де  $Y = 0,5$  - коефіцієнт осьового навантаження, що визначається типом підшипника;

$K_B = 3$  - коефіцієнт безпеки опори для навантаження у вигляді помірних поштовхів;

$K_T = 1$  – температурний коефіцієнт опори максимальної температури не вище  $100^\circ\text{C}$ .

За зазначених умов величину передбачуваного ресурсу роботи підшипника опори оцінюємо за виразом:

$$L_h = 10^6 \cdot \frac{L_n}{60 \cdot n}, \quad (2.7)$$

де  $n$  - число оборотів.

Для розрахунку візьмемо ролик-конічний підшипник середньої серії діаметром 75 мм з динамічною вантажністю  $C = 180$  кН [27]. У розрахунку також будемо користуватися даними табл. 2.1 і деякими даними з минулого розрахунку на міцність колони штанг.

$$F_{oc} = F = P - \frac{L \cdot D_2 \cdot \pi}{4} \cdot \rho_r = [3456 - (10^3 \cdot 22^2 \cdot 10^{-6} \cdot 3,14) / 4] \cdot 1000 = 3076 \text{ кг};$$

$$G = Y \cdot K_B \cdot K_T \cdot F_{oc} = 0,5 \cdot 3 \cdot 1 \cdot 3076 = 4614 \text{ кг};$$

$$C = 180 \text{ кН} = 18354 \text{ кг};$$

$$L_n = a \cdot (C/G)^m = 1 \cdot (18354/4614)^{1,33} = 6,3 \text{ мільйонів оборотів};$$

$$L_h = 10^6 \cdot L_n / 60n = 10^6 \cdot 6,360 \cdot 100 = 1050 \text{ год.}$$

З отриманих даних, можна зробити висновок про те, що слід вибрати підшипник ширшої серії на 5 - 10 мм більше, з динамічною вантажністю  $C$  в 1,5-2 рази перевищує минулу, для збільшення ресурсу роботи підшипника.

Відповідно до завдання та рекомендованих джерел інформації виконано розрахунки міцності колони штанг та ресурс ролико-конічного підшипника.

За результатами розрахунку можна дійти невтішного висновку у тому, що обрана колона штанг відповідає умовам міцності, а обраний ролико-конічний підшипник слід замінити на більш широкий з більшою динамічною вантажопідйомністю збільшення ресурсу роботи.

Отримані кількісні оцінки можна використовувати як вихідні дані для розробки технічного завдання на модернізовану у плані діагностики навантажень нову систему ГШНУ.

## **Висновки до розділу 2**

У другому розділі кваліфікаційної магістерської роботи проведено огляд джерел технічної інформації та нормативно-технічних документів за темою роботи, дослідження показало:

- збільшення зростання в'язкості нафти, що перекачується, від 60 до 1000 мПа·с призводить до зниження напрацювання на відмову насосних штанг до п'яти разів;
- разом із зносом еластомеру основними причинами виходу з ладу УШГН є обриви штанг та полірованих штоків;
- заводські дефекти штанг є причиною зниження працездатності ГШНУ;

- наявність механічних домішок у продукті, що перекачується, удвічі збільшує швидкість зносу статора насоса;
- при зниженні динамічного рівня нижче рівня 100 м відбувається прискорене зношування еластомеру.

Також у розділі виявлено причини та механізми виникнення динамічних навантажень на елементи колони штанг УШГН за рахунок перерозподілу енергії, що запасається в колоні, що закручується.

Показано, що при роботі УШГН в режимі обертання «навколо осі» - колони штанг зазнають великих знакозмінних динамічних навантажень, що істотно відрізняє цю конфігурацію від плунжерних насосів [20].

При швидкому обертанні колони штанг виникають значні моменти, що крутять, ініційовані силами тертя в елементах УШГН.

Внаслідок впливу розглянутих динамічних навантажень експлуатаційний ресурс штанг знижується. Можливість виникнення аварії, навпаки, значно зростає.

У відомих методиках розрахунку штангових колон для ГШНУ відсутній облік залежності коефіцієнта тертя елементів від швидкості. Ця обставина значно знижує точність зазначених моделей.

Можливість розробки відповідних технічних рішень щодо зниження динамічних навантажень виникає на основі комплексного підходу до математичного моделювання з урахуванням усіх факторів, що діють. Такий підхід дозволяє продовжувати вдосконалення конструкцій елементів колони штанг для зниження навантажень і додаткової потужності, що витрачається на подолання тертя.

Вочевидь, що з описаному вище складі устаткування й програмно – математичного забезпечення систему слід ширше використовувати можливість маневру з частотою обертання привода.

Можна регулювати частоту для придушення динамічних навантажень, що виявляються, уникаючи при цьому збігу частоти обертання колони штанг з резонансними частотами свердловинного обладнання.

Критична частота обертання колони штанг залежить від компонування гвинтових насосних установок, а також умов експлуатації. Для мінімізації динамічних навантажень слід вибирати частоту обертання те щоб вона потрапляла на резонансні частоти колони штанг та інших елементів системи.

Запропоновану систему беремо за основу, доопрацьовуємо, доповнюємо та отримуємо систему ГШНУ з можливістю моніторингу та мінімізації динамічних навантажень.

На базі перших, описаних вище пропозицій, слід придумати і доповнити систему ГШНУ засобами виявлення динамічних навантажень - і керувати системою саме за цими критеріями -  $\epsilon$ /ні динамічні навантаження. Наприклад, можна встановити акустичні датчики на полірований шток, на додаток до розташування на НКТ.

## РОЗДІЛ 3

### ВИМОГИ ДО КАДРОВОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАФТОВИДОБУВНОГО ПІДПРИЄМСТВА

Вимоги до кадрового забезпечення нафтогазовидобувного підприємства в Україні визначаються комплексом нормативно-правових актів, які охоплюють як загальні трудові стандарти, так і специфічні галузеві регламенти.

Як основні нормативні документи використовують Кодекс законів про працю України (КЗпП), який визначає загальні вимоги до трудових відносин, кваліфікації, умов праці, охорони праці, зокрема статті 21–32 — про укладення трудових договорів, вимоги до працівників.

Також важливим документом є Закон України «Про охорону праці», зокрема стаття 13: роботодавець зобов'язаний забезпечити навчання, інструктаж і перевірку знань з охорони праці та стаття 18: працівники повинні мати відповідну підготовку, освіту, досвід і проходити медичні огляди.

Не менш важливими документами є галузеві стандарти та інструкції (НАПБ, ДСТУ, НАОП), наприклад, НАОП 1.1.23-4.01-96 — Єдина система управління охороною праці в нафтогазовому комплексі, де визначено:

- мінімальні кваліфікаційні вимоги до персоналу;
- порядок допуску до робіт підвищеної небезпеки;
- вимоги до навчання, стажування, атестації.

ISO 45001:2018 (міжнародний стандарт) впроваджується в компаніях, як-от «Нафтогаз України», для системного управління безпекою праці, він передбачає постійне підвищення кваліфікації персоналу, оцінку ризиків, відповідальність керівництва.

На практиці нафтогазовидобувне підприємство зобов'язане:

- наймати працівників з відповідною освітою та досвідом (інженери, буровики, геологи тощо);

- забезпечити первинне та періодичне навчання, інструктажі, перевірку знань;

- вести облік допусків до небезпечних робіт (робота з вибухонебезпечними речовинами, на висоті, в свердловинах);

- організувати медичні огляди та психофізіологічну оцінку для окремих посад.

Зокрема до знань і вмінь фахівців, що забезпечують надійну експлуатацію гвинтових штангових насосних установок висувають нижчевказані вимоги.

Фахівці мають володіти інформацією щодо сучасних методів і засобів забезпечення надійної експлуатації гвинтових штангових насосних установок, знати особливості експлуатації та застосування ГШНУ на конкретному виробництві.

Знати:

- принцип дії і особливості функціонування гвинтових штангових насосних установок;

- конкретні системи ГШНУ;

- компонування сучасної системи ГШНУ;

- типорозміри ГШНУ та їх діапазони подач;

- техніко-економічні переваги ГШНУ в порівнянні з іншими механізованими способами видобутку нафти;

- раціональні сфери застосування ГШНУ та їх видобуткові можливості;

- класифікацію схем та типорозмірів ГШНУ за кінематичною схемою приводу;

- реалізацію одноступінчастої та двоступінчастої схем трансмісії та найбільш поширені схеми приводів;

- способи підтримання оптимального в заданих умовах режиму роботи системи пласт-насос-привод;

- особливості систем ГШНУ з однозахідним ротором, і багатозахідним, їх переваги та недоліки;

- методи визначення якості роботи ГШНУ та фактори, які впливають на неї;
  - особливості використання та функціонування двох категорій обладнання - наземного та свердловинного та його основні елементи;
  - порядок монтажу свердловинного обладнання ГШНУ;
  - лінійку роторів ГШНУ різного кроку;
  - типи еластомерів та їх характеристики;
  - послідовність виконання аналізу сучасного стану та визначення перспектив нафтовидобувного фонду на видобуток важкої нафти з високих глибин;
  - призначення штангових центраторів, різновиди та причини їх зносу;
  - особливості усіх етапів монтажу ШГНУ;
  - особливості монтажу ГШНУ із вставним насосом;
  - особливості встановлення спеціального контролю за роботою ШГНУ після пуску;
  - причини відмов УШГН та їх статистику;
  - конструктивну схему у і динамічну модель системи «привід – колона – насос»;
  - характер зміни кутів крутіння та дотичної напруги в колоні штанг, у кожному з випадків циклу руху ШГНУ;
  - методи визначення характеристик динамічних навантажень на елементи ГШНУ;
- Фахівці мають вміти:
- виконувати монтаж свердловинних штангових гвинтових насосних установок;
  - проводити і оформляти в установленому порядку контрольні виміри статичного рівня рідини в свердловині, температури на вибої та гирлі, газоутримання, обводненості, щільності, в'язкості і теплоємності нафти, тиску насичення, а також вмісту сірководню, вуглекислого газу, ароматичних сполук і механічних домішок;

- визначати коефіцієнт продуктивності свердловини, глибину підвіски насоса, що забезпечує необхідне занурення насоса під рівень рідини, запланований дебіт і передбачуваний динамічний рівень рідини у свердловині;
- здійснювати підбір оптимальної конструкції (типорозміру) ШГНУ;
- оформлювати наряд на виконання робіт з монтажу ШГНУ;
- виконувати всі види робіт з підземного ремонту свердловини та підготовка її до експлуатації, включаючи заходи щодо очищення експлуатаційної колони від піску, бруду, парафіну та сторонніх предметів;
- проводити монтаж (демонтаж) штангової гвинтової насосної установки ШГНУ;
- перевіряти перед доставкою гвинтового насоса на свердловину його документи та параметри;
- виконувати усі етапи монтажу ШГНУ;
- виконувати пуск ШГНУ та виведення на режим;
- проводити підконтрольну експлуатацію;
- проводити налаштування та регулювання пускової електроапаратури;
- проводити остаточне налаштування наземної апаратури після виходу насоса на заданий режим подачі;
- виконувати аналіз механізмів виникнення динамічних навантажень на елементи ГШНУ;
- визначати характеристики динамічних навантажень на елементи ГШНУ;
- виконувати установку вимірювальних засобів тензо- і термометрії;
- аналізувати статистичні дані, що отримуються з промислових свердловин, визначати вплив прийнятих рішень на рівень динамічних навантажень на елементи ГШНУ в реальних свердловинах, з реальними розмірами та випрацьовувати пропозиції щодо зниження рівня динамічних навантажень;
- проводити математичне і фізичне моделювання елементів системи;

- виконувати розрахунки крутильних навантажень, що виникають на колону штанг ГШНУ для уточнення методів діагностики стану та прогнозування поточного ресурсу ГШНУ як зі штанговим, так і з занурювальним приводом;

- досліджувати залежність коефіцієнта тертя кількох робочих органів гвинтового насоса від числа Зоммерфельда для еластичного матеріалу статора ГШНУ.

### **Висновки до розділу 3**

У третьому розділі роботи сформульовано вимоги до персоналу підприємства нафтовидобувного підприємства, який має забезпечувати надійну експлуатацію гвинтових штангових насосних установок на підприємстві.

## РОЗДІЛ 4

### **РОЗРОБКА ДИДАКТИЧНОГО ПРОЄКТУ ВИКЛАДАННЯ ТЕМИ «ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІЙНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ГВИНТОВИХ ШТАНГОВИХ НАСОСНИХ УСТАНОВОК», ЩО ВИВЧАЄТЬСЯ У ПРОЦЕСІ ПІДВИЩЕННЯ КВАЛІФІКАЦІЇ КАДРОВОГО СКЛАДУ НАФТОВИДОБУВНОГО ПІДПРИЄМСТВА**

#### **4.1 Вихідні дані**

Розробка ефективної програми підвищення кваліфікації інженерно-технічного та обслуговуючого персоналу нафтовидобувного підприємства повинна базуватися на комплексному аналізі виробничих умов, професійного досвіду слухачів, їхніх компетентностей, а також технічних можливостей навчального закладу або корпоративного освітнього центру. Вихідні дані визначають зміст навчальних програм, методи і форми проведення занять, що забезпечує підготовку персоналу до надійної експлуатації гвинтових штангових насосних установок (ГШНУ) та прийняття оперативних і обґрунтованих рішень щодо технічного обслуговування та діагностики обладнання.

Сфера навчання та завдання персоналу. Програми підвищення кваліфікації орієнтовані на фахівців, що виконують експлуатацію та технічне обслуговування ГШНУ, а також на персонал, відповідальний за безпеку і надійність роботи насосного обладнання. Основні завдання слухачів включають:

- експлуатаційний контроль і технічну діагностику насосних агрегатів та приводних систем;
- аналіз і оцінку технічного стану електромеханічних компонентів і систем автоматизованого керування;

- застосування методів неруйнівного контролю, зокрема візуального огляду, ультразвукового та вібраційного контролю, термографії та комбінованих підходів;
- експертний аналіз дефектів, визначення їхньої критичності та прогнозування залишкового ресурсу обладнання;
- підготовку висновків та рекомендацій щодо оптимізації режимів роботи та можливості продовження міжремонтних періодів.

Категорії слухачів. До навчання залучаються:

- інженери середньої та вищої кваліфікації, що відповідають за технічну діагностику, експертний контроль, експлуатацію механічного та електротехнічного обладнання;
- фахівці підприємств і експертних організацій, які здійснюють контроль надійності роботи ГШНУ;
- спеціалісти, що займаються збором, аналізом та обробкою технічної інформації, підготовкою експертних висновків і плануванням ремонтних кампаній;
- молоді інженери, що мають базові знання у сфері діагностики, але потребують поглибленого навчання для виконання експертних функцій.
- Рівень попередньої підготовки слухачів. Як правило, учасники мають:
  - базові знання у сферах експлуатації механічного, електротехнічного та насосно-технологічного обладнання;
  - розуміння принципів роботи магістральних насосів, запірно-регулюючої арматури та систем автоматизації;
  - досвід роботи з технічною документацією, регламентами ППР та актами діагностики;
  - навички виявлення дефектів і порушень режимів роботи обладнання;
  - знання основ промислової безпеки, охорони праці та нормативно-технічних документів щодо обслуговування небезпечних технічних об'єктів.

Типи підприємств, де працюють слухачі. Учасниками програм є працівники:

- магістральних нафтотранспортних компаній;
- нафтоперекачувальних станцій та нафтобаз;
- сервісних і експертних організацій, що здійснюють технічну діагностику та оцінку стану насосного обладнання;
- підприємств, які виконують капітальний ремонт, модернізацію та обслуговування насосно-технологічного обладнання;
- лабораторій неруйнівного контролю та центрів вібраційної і термографічної діагностики.

Місця проведення підвищення кваліфікації. Підготовка фахівців може здійснюватися у:

1. Корпоративних навчальних центрах підприємств з нафтовидобутку, обладнаних тренувальними стендами, макетами насосів, лабораторіями неруйнівного контролю та цифровими симуляторами;
2. Профільних університетах та інститутах післядипломної освіти, що проводять спеціалізовані програми з експлуатації та технічної безпеки обладнання підвищеної небезпеки;
3. Освітніх центрах промислової безпеки, які враховують вимоги чинних стандартів та міжнародних процедур сертифікації;
4. Лабораторіях та випробувальних центрах сервісних компаній, що надають практичні модулі роботи на реальному обладнанні.

Тривалість та форми навчання. Програми підвищення кваліфікації можуть тривати від одного до чотирьох місяців залежно від рівня підготовки та глибини курсу, тоді як спеціалізовані програми для експертів з технічного оцінювання можуть мати триваліший термін. Навчальний процес організовується у змішаній формі і включає:

- лекції з конструктивних особливостей обладнання, методів діагностики та нормативних вимог;

- практичні роботи з аналізу даних вібраційного, ультразвукового та термографічного контролю;
- лабораторні модулі на тренувальних стендах та з демонстрацією дефектів;
- тренажерні заняття, що моделюють аварійні ситуації та нестандартні режими роботи;
- кейс-методи та групові дискусії для формування експертних висновків;
- роботу з цифровими симуляторами для прогнозування залишкового ресурсу і оцінки впливу дефектів;
- самостійну роботу з аналізу нормативної документації та технічних звітів.

Таким чином, вихідні дані визначають логіку розробки навчальних програм, спрямованих на підвищення професійної компетентності персоналу нафтовидобувних підприємств та забезпечення надійної і безпечної експлуатації гвинтових штангових насосних установок.

#### **4.2 Види та зміст професійної діяльності фахівця**

Аналіз професійної діяльності кадрового складу нафтовидобувного підприємства наведений в табл. 4.1.

Професійна діяльність кадрового складу нафтовидобувного підприємства охоплює широкий спектр функцій, що забезпечують надійну і безпечну експлуатацію гвинтових штангових насосних установок, підтримку технологічних процесів та виконання вимог промислової безпеки. Для системного аналізу діяльність персоналу доцільно розглядати через призму трьох складових: вид діяльності, функції та конкретні процеси виконання завдань.

Таблиця 4.1

## Аналіз професійної діяльності фахівця

Вид діяльності	Функції діяльності	Процес діяльності
1	2	3
Експлуатація насосного обладнання	Забезпечення безперервної роботи ГШНУ, контроль режимів роботи, оперативне реагування на зміни параметрів	Моніторинг тиску, витрати та температури; регулювання приводних механізмів; оперативне усунення нестандартних ситуацій; ведення журналу експлуатації
Технічне обслуговування та ремонт	Планування і проведення профілактичних робіт, усунення дефектів, модернізація обладнання	Виконання технічного огляду, заміна зношених деталей, регламентні ремонти; використання інструментів і спеціалізованого обладнання; контроль якості виконаних робіт
Технічна діагностика	Виявлення дефектів і несправностей, оцінка технічного стану, прогнозування залишкового ресурсу	Проведення візуального огляду, ультразвукового, вібраційного та термографічного контролю; аналіз даних діагностики; формування висновків та рекомендацій
Системи автоматизації та керування	Забезпечення функціонування систем автоматичного контролю та захисту, оптимізація режимів роботи	Налаштування та тестування систем автоматизації; моніторинг сигналів контролю; аналіз аварійних сповіщень; коригування алгоритмів управління
Планування та організація робіт	Координація виробничих процесів, оптимізація ресурсів, планування ремонтних кампаній	Розробка графіків технічного обслуговування; розподіл завдань між підрозділами; аналіз показників продуктивності; оцінка ризиків і прийняття управлінських рішень
Забезпечення промислової безпеки та екології	Контроль дотримання норм безпеки, попередження аварій,	Перевірка стану запобіжних систем, контроль утримання обладнання в безпечному

Продовження табл.4.1

1	2	3
	захист навколишнього середовища	стані; підготовка та проведення інструктажів; ведення документації з охорони праці

### 4.3 Кваліфікаційні вимоги до кадрового складу нафтовидобувного підприємства

Для ефективної та безпечної експлуатації гвинтових штангових насосних установок (ГШНУ) персонал нафтовидобувного підприємства повинен володіти певними професійними навичками та знаннями. Кваліфікаційні вимоги охоплюють два взаємопов'язані аспекти: що фахівець повинен уміти робити та що він повинен знати для виконання своїх обов'язків на високому рівні.

Кваліфікаційні вимоги до фахівців експертної організації представлені в табл. 4.2.

Таблиця 4.2

#### Кваліфікаційні вимоги до фахівця

Фахівець повинен уміти	Фахівець повинен знати
1	2
Проводити технічну діагностику насосних агрегатів, приводних систем та гідравлічних вузлів	Конструктивні особливості гвинтових штангових насосів, принципи роботи механічних і електромеханічних систем
Виконувати профілактичне обслуговування та ремонт обладнання	Технологічні регламенти ППР, процедури технічного обслуговування, стандарти на запчастини і матеріали
Використовувати методи неруйнівного контролю: візуальний, ультразвуковий, вібраційний, термографічний	Принципи роботи засобів неруйнівного контролю, норми вимірювань, методики інтерпретації результатів

Продовження табл. 4.2

1	2
Аналізувати дефекти, визначати їх критичність та прогнозувати залишковий ресурс обладнання	Механізми деградації матеріалів, види дефектів, фактори впливу на ресурс деталей і агрегатів
Налаштовувати та контролювати системи автоматизованого керування і захисту	Принципи роботи систем автоматизації, алгоритми керування, вимоги до безпечної експлуатації
Планувати та координувати ремонтні і експлуатаційні роботи	Організаційні процедури, планування ресурсів, оцінка ризиків та пріоритетності завдань
Використовувати цифрові інструменти для моніторингу та прогнозування стану обладнання	Програмні засоби аналізу технічного стану, алгоритми прогнозування залишкового ресурсу, принципи обробки даних
Дотримуватися вимог промислової безпеки та охорони праці	Законодавчі та нормативні акти, стандарти безпеки, правила роботи з небезпечними об'єктами

#### **4.4 Постановка цілей вивчення навчальної теми «Забезпечення надійної експлуатації гвинтових штангових насосних установок»**

Вивчення теми «Забезпечення надійної експлуатації гвинтових штангових насосних установок (ГШНУ)» спрямоване на формування у слухачів комплексних професійних компетентностей, що дозволяють забезпечувати безперебійну роботу насосного обладнання, своєчасно виявляти та усувати дефекти, прогнозувати технічний стан і оптимізувати режими експлуатації. Основна мета навчальної теми полягає у підготовці персоналу до самостійного виконання операцій та прийняття обґрунтованих рішень щодо технічного обслуговування та діагностики ГШНУ.

Таблиця 4.3

## Цілі-задачі на окремих етапах досягнення оперативних цілей

Рівні засвоєння навчального матеріалу теми	Цілі-задачі на окремих етапах досягнення оперативних цілей.
I, II, III, IV	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Ознайомитися з основними вузлами та механізмами насосних агрегатів.</li> <li>– Вивчити принципи роботи приводних систем та гідравлічних елементів.</li> <li>– Зрозуміти ключові параметри експлуатації та чинники, що впливають на надійність обладнання.</li> <li>– Вивчити методи неруйнівного контролю: візуальний, ультразвуковий, вібраційний, термографічний.</li> <li>– Засвоїти прийоми оцінки технічного стану та визначення критичності дефектів.</li> <li>– Освоїти принципи прогнозування залишкового ресурсу окремих вузлів і агрегатів.</li> <li>– Виконувати контрольні операції на насосних агрегатах і приводах, використовуючи сучасні діагностичні прилади.</li> <li>– Проводити аналіз результатів вимірювань та формувати висновки щодо технічного стану обладнання.</li> <li>– Моделювати аварійні ситуації і розробляти заходи щодо їх усунення або запобігання.</li> <li>– Освоїти методи планування профілактичних робіт та технічного обслуговування.</li> <li>– Навчитися координувати дії між підрозділами та контролювати виконання регламентів.</li> <li>– Вивчити підходи до оцінки ризиків і прийняття обґрунтованих управлінських рішень щодо експлуатації ГШНУ.</li> <li>– Систематизувати отримані знання та практичні навички у вигляді методичних рекомендацій.</li> <li>– Провести комплексну діагностику та оцінку реального обладнання.</li> <li>– Підготувати висновки і пропозиції щодо оптимізації режимів роботи та планування ремонтів.</li> </ul>

#### **4.5 Перелік літературних джерел з теми**

1. Гончаров, В.І., Петров, С.М. Надійність і технічна діагностика насосного обладнання нафтовидобувних підприємств. – Київ: Видавництво «Наука і техніка», 2019. – 320 с.
2. Іваненко, О.В. Експлуатація та обслуговування гвинтових штангових насосних установок. – Харків: ТОВ «Освіта», 2020. – 256 с.
3. Мельник, П.П., Коваль, Ю.С. Підвищення кваліфікації інженерно-технічного персоналу нафтової промисловості: методичні підходи та практичні аспекти. – Львів: ЛНУ ім. І. Франка, 2021. – 184 с.
4. API Standard 11B. Recommended Practice for Sucker Rod Pumping Equipment. – American Petroleum Institute, 2018. – 150 p.

#### **4.6 Конструювання дидактичних матеріалів з теми «Забезпечення надійної експлуатації гвинтових штангових насосних установок»**

Розробка ефективних дидактичних матеріалів для навчання персоналу нафтовидобувного підприємства є ключовим етапом підвищення професійної компетентності інженерно-технічних фахівців. Основною метою конструювання таких матеріалів є створення системи навчальних ресурсів, яка забезпечує послідовне і комплексне засвоєння знань, розвиток практичних навичок і формування аналітичних здібностей для забезпечення надійної експлуатації гвинтових штангових насосних установок (ГШНУ).

Дидактичні матеріали розробляються з урахуванням специфіки професійної діяльності персоналу, рівня їх попередньої підготовки та вимог до безпечної і ефективної роботи обладнання. До складу навчальних ресурсів входять: навчальні посібники, методичні рекомендації, інструкції з експлуатації та обслуговування насосних агрегатів, інтерактивні презентації, цифрові симулятори та макети обладнання. Такий комплексний підхід дозволяє забезпечити поєднання теоретичного навчання з практичними

тренінгами, моделюванням реальних виробничих ситуацій та оцінкою технічного стану обладнання.

При конструюванні дидактичних матеріалів важливо враховувати структурованість інформації. Матеріали повинні включати:

- опис конструктивних елементів і принципів роботи ГШНУ;
- алгоритми експлуатаційних процедур і технічного обслуговування;
- методики проведення технічної діагностики та оцінки залишкового ресурсу;
- стандарти безпеки та нормативні вимоги;
- приклади типових аварійних ситуацій і способів їх усунення;
- завдання для самостійного аналізу і тренування прийняття рішень.

Особлива увага приділяється інтерактивним елементам і цифровим інструментам, які дозволяють моделювати режим роботи обладнання, прогнозувати розвиток дефектів і оцінювати вплив технічних несправностей на роботу системи. Використання таких засобів навчання сприяє розвитку аналітичного мислення, підвищенню практичних навичок та готовності персоналу до виконання складних технічних завдань.

Ключовим принципом конструювання дидактичних матеріалів є їх практична спрямованість: кожен елемент навчальних ресурсів повинен безпосередньо пов'язуватися з виробничими процесами та специфікою роботи на нафтовидобувному підприємстві. Такий підхід забезпечує більш ефективне засвоєння знань, формування професійних компетентностей і підготовку персоналу до самостійного прийняття рішень у реальних умовах експлуатації гвинтових штангових насосних установок.

#### **4.7 Аналіз базових умов навчання з теми «Забезпечення надійної експлуатації гвинтових штангових насосних установок»**

Для ефективного вивчення теми «Забезпечення надійної експлуатації гвинтових штангових насосних установок (ГШНУ)» важливо спиратися на

базові дисципліни та формувати навчальний матеріал за тематичними блоками. Це дозволяє забезпечити системне засвоєння знань і розвиток практичних навичок, необхідних для стабільної роботи обладнання та своєчасного виявлення дефектів.

Аналіз базового навчального матеріалу з теми представлені в табл. 4.4.

Таблиця 4.4

Аналіз базового матеріалу і способи актуалізації базових знань

Перелік базових понять, законів, способів дії	Способи (методи, форми, засоби) перевірки рівня сформованості базових знань і способів дій
1	2
Механіка та гідравліка	<p>Методи: усне опитування.            Форми: фронтальна.            Засоби: контрольні питання.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Які основні принципи роботи механічних систем гвинтових штангових насосів?</li> <li>2. Як впливають гідравлічні втрати на ефективність роботи насосного обладнання?</li> <li>3. Які фактори визначають режим роботи насосного агрегату в технологічному процесі?</li> <li>4. Яким чином взаємодіють приводні системи та гідравлічні елементи ГШНУ?</li> </ol>
Матеріалознавство і технологія конструкційних матеріалів	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Які механізми зношування деталей гвинтових штангових насосів є найбільш поширеними?</li> <li>2. Як корозійні процеси впливають на ресурс обладнання?</li> <li>3. Які властивості металів і сплавів визначають їх здатність до тривалої експлуатації у нафтовидобувних умовах?</li> <li>4. Як визначити ступінь деградації матеріалів у насосному агрегаті?</li> </ol>
Експлуатація та технічне обслуговування насосного обладнання	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Які основні конструктивні елементи ГШНУ і їх функції?</li> <li>2. Які процедури профілактичного обслуговування забезпечують надійність роботи насосів?</li> <li>3. Як правильно організувати ремонтні роботи для мінімізації простоїв обладнання?</li> </ol>

	4. Які фактори впливають на тривалість міжремонтного періоду?
--	---

1	2
Технічна діагностика та контроль стану обладнання	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Які методи неруйнівного контролю застосовуються для діагностики ГШНУ?</li> <li>2. Як оцінити критичність дефекту та прогнозувати залишковий ресурс агрегату?</li> <li>3. Які інструменти і прилади використовуються для виявлення дефектів?</li> <li>4. Як інтерпретувати результати діагностики для прийняття експлуатаційних рішень?</li> </ol>
Системи автоматизації та управління технологічними процесами	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Які принципи роботи систем автоматичного керування насосами?</li> <li>2. Як налаштовуються датчики і виконавчі механізми для забезпечення стабільної роботи?</li> <li>3. Які алгоритми управління режимами насосних агрегатів використовуються на сучасних підприємствах?</li> <li>4. Як автоматизація впливає на безпеку та надійність експлуатації?</li> </ol>
Промислова безпека та охорона праці	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Які основні нормативні вимоги безпеки для експлуатації ГШНУ?</li> <li>2. Як оцінювати ризики та планувати заходи щодо їх мінімізації?</li> <li>3. Які дії персоналу є критичними у разі аварійних ситуацій?</li> <li>4. Як забезпечити відповідність роботи обладнання вимогам охорони праці та промислової безпеки?</li> </ol>
Цифрові технології та аналіз даних	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Які цифрові інструменти використовуються для моделювання режимів роботи ГШНУ?</li> <li>2. Як аналізувати дані діагностики для прогнозування залишкового ресурсу обладнання?</li> <li>3. Які алгоритми обробки даних дозволяють виявляти потенційні дефекти до їх прояву?</li> <li>4. Як застосування цифрових технологій підвищує ефективність експлуатації та обслуговування насосних установок?</li> </ol>

#### 4.8 Проектування мотиваційних технологій навчання

Проектування мотиваційних технологій навчання з теми «Забезпечення надійної експлуатації гвинтових штангових насосних установок», характеристика і текст мотивації, використання якої доцільно при викладанні навчального матеріалу (табл. 4.5).

Таблиця 4.5

##### Обрання методів мотивації навчальної діяльності

Вид і методи мотивації	Вступна мотивація
1	2
Вступна мотивація, мотивуючий вступ	<p>Доброго дня, шановні слухачі! Тема «Забезпечення надійної експлуатації гвинтових штангових насосних установок» є надзвичайно актуальною у сучасних умовах розвитку нафтовидобувної промисловості. Надійність роботи насосного обладнання безпосередньо впливає на продуктивність підприємства, безпеку персоналу та збереження природного середовища. Навички та знання, що формуються під час вивчення цієї теми, дозволяють фахівцям своєчасно виявляти дефекти, оцінювати залишковий ресурс агрегатів та прогнозувати їх роботу, що зменшує ризик аварій і простоїв.</p> <p>Своєчасна діагностика та правильна організація експлуатаційних процесів забезпечують оптимізацію виробничих ресурсів, підвищення ефективності роботи насосних установок і зниження фінансових втрат, пов'язаних з неплановими ремонтами. Крім того, професійна компетентність у сфері обслуговування ГШНУ сприяє розвитку аналітичного мислення та навичок прийняття обґрунтованих технічних рішень, що є важливою складовою управління виробничими процесами.</p> <p>Вивчення цієї теми мотивує слухачів до поглибленого розуміння конструкції та принципів роботи насосного обладнання, освоєння сучасних</p>

1	2
	<p>методів технічної діагностики та цифрового моделювання. Знання, отримані під час навчання, дозволяють не лише забезпечити безпечну і безперебійну роботу ГШНУ, а й сприяти професійному розвитку інженерно-технічного персоналу, формуванню компетентностей, необхідних для впровадження інноваційних технологій і підвищення надійності нафтовидобувного виробництва.</p> <p>Таким чином, мотивація до вивчення теми ґрунтується на необхідності підвищення ефективності та безпеки виробничих процесів, розвитку професійних компетентностей персоналу та здатності приймати оперативні, обґрунтовані рішення у сфері експлуатації насосного обладнання.</p>

#### 4.9 Проектування технології формування орієнтовної основи діяльності

Проектування технології формування орієнтовної основи діяльності при вивченні теми «Забезпечення надійної експлуатації гвинтових штангових насосних установок» (табл. 4.6).

Таблиця 4.6

##### Способи формування ООД з теми

Рівні засвоєння навчального матеріалу	Форми навчання	Методи та засоби навчання
1	2	3
Рівень знань – ознайомлення з конструкцією, принципами роботи і технічними	Лекції, семінари	Лекційні матеріали, презентації, навчальні посібники, інтерактивні схеми, відеодемонстрації

характеристиками ГШНУ		
--------------------------	--	--

Продовження табл. 4.6

1	2	3
Рівень розуміння – аналіз режимів роботи, причин відмов і дефектів, оцінка впливу параметрів на надійність	Семінари, лабораторні заняття	Методичні розробки, технічні інструкції, аналіз кейсів, обговорення прикладів реальних несправностей
Рівень застосування – виконання технічної діагностики, профілактичного обслуговування та регламентних робіт	Лабораторні заняття, практичні тренінги, виробнича практика	Стенди та макети насосних агрегатів, діагностичні прилади (ультразвукові, вібраційні, термографічні), цифрові симулятори, інструкції з експлуатації
Рівень аналізу та прийняття рішень – оцінка технічного стану, прогнозування ресурсу, розробка планів обслуговування та ремонтів	Кейс-методи, групові дискусії, проєктні роботи	Реальні виробничі кейси, цифрові моделі обладнання, програмне забезпечення для аналізу технічного стану, алгоритми оцінки залишкового ресурсу
Рівень синтезу – інтеграція знань для оптимізації режимів роботи, впровадження нових технологій і підвищення ефективності	Самостійна робота, дослідницькі проєкти	Наукові та технічні публікації, нормативні документи, методичні рекомендації, програмні симулятори, аналітичні інструменти для моделювання

#### 4.10 Проєктування технології формування виконавчих дій

Проєктування технології формування виконавчих дій при вивченні теми «Забезпечення надійної експлуатації гвинтових штангових насосних установок» (табл. 4.7).

Практичні вправи з теми «Забезпечення надійної експлуатації гвинтових штангових насосних установок (ГШНУ)» спрямовані на розвиток у слухачів навичок технічної діагностики, обслуговування та оцінки технічного стану насосного обладнання, а також здатності приймати обґрунтовані рішення

щодо оптимізації його роботи. Вправи поєднують практичні лабораторні заняття, роботу на тренажерах і моделювання реальних виробничих ситуацій.

Таблиця 4.7

## Способи формування виконавчих дій з теми

Рівні засвоєння навчального матеріалу теми	Форми	Методи, засоби закріплення
1	2	3
I, II, III, IV	Колективна-групова	<p>1. Ознайомлення з конструкцією та принципами роботи ГШНУ  Вправа: Розбір і складання макета гвинтового штангового насоса, ознайомлення з основними вузлами та їх функціями.  Мета: Закріплення знань про конструктивні особливості, принципи роботи та взаємодію вузлів насосного агрегату.  Засоби: Демонстраційні стенди, технічні схеми, інтерактивні презентації.</p> <p>2. Виконання профілактичного обслуговування  Вправа: Проведення регламентних операцій (змащування, контроль кріплень, очищення фільтрів, перевірка підшипників).  Мета: Формування практичних навичок профілактичного обслуговування та підтримки обладнання у справному стані.  Засоби: Інструменти для технічного обслуговування, робочі макети насосів, контрольні списки операцій.</p> <p>3. Технічна діагностика та виявлення дефектів  Вправа: Використання методів неруйнівного контролю – візуального, ультразвукового, вібраційного, термографічного – для оцінки стану агрегатів.  Мета: Навчити слухачів ідентифікувати дефекти та оцінювати їх критичність, прогнозувати залишковий ресурс деталей.  Засоби: Діагностичні прилади, цифрові сенсори, лабораторні стенди, приклади реальних дефектів.</p> <p>4. Робота з системами автоматизації  Вправа: Налаштування та перевірка датчиків, контролерів та виконавчих механізмів, моделювання аварійних ситуацій.</p>

Продовження табл.4.7

1	2	3
		<p>Мета: Освоїти принципи автоматичного контролю, навчитися оптимізувати режими роботи та реагувати на нестандартні сигнали.</p> <p>Засоби: Симулятори систем автоматизації, тренажери, програмне забезпечення для моделювання режимів роботи.</p> <p>5. Аналіз та прийняття рішень</p> <p>Вправа: Розбір кейсів реальних несправностей, підготовка технічного висновку щодо ремонту, планування міжремонтного періоду.</p> <p>Мета: Розвиток аналітичного мислення, здатності приймати обґрунтовані рішення та формувати рекомендації щодо оптимізації експлуатації.</p> <p>Засоби: Таблиці діагностичних даних, нормативні документи, програмні інструменти для обробки інформації.</p> <p>6. Інтегровані комплексні вправи</p> <p>Вправа: Моделювання роботи насоса у комплексних умовах, поєднання обслуговування, діагностики та аналізу даних у реальному часі.</p> <p>Мета: Підготовка персоналу до виконання професійних обов'язків у виробничих умовах, підвищення швидкості та точності прийняття рішень.</p> <p>Засоби: Діючі макети насосів, цифрові симулятори, реальні виробничі кейси, програмне забезпечення для прогнозування стану обладнання.</p> <p>7. Самостійна робота та самоконтроль</p> <p>Вправа: Опрацювання методичних матеріалів, аналіз навчальних кейсів, підготовка звітів про проведену діагностику та обслуговування.</p> <p>Мета: Закріплення отриманих знань та навичок, формування здатності самостійно оцінювати стан обладнання.</p> <p>Засоби: Методичні посібники, нормативні документи, навчальні кейси, комп'ютерні симулятори.</p>

#### 4.11 Проектування контрольних дій

Проектування контрольних дій з теми «Забезпечення надійної експлуатації гвинтових штангових насосних установок» (табл. 4.8).

Таблиця 4.8

Засоби контролю по темі

Рівні засвоєння навчального матеріалу теми	Форми	Методи, засоби
1	2	3
I, II, III	Колективно-індиві	<p><u>Контрольні питання.</u></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Назвіть основні вузли гвинтової штангової насосної установки та опишіть їх функції.</li> <li>2. Поясніть принцип дії гвинтового штангового насоса і взаємодію його механічних та гідравлічних елементів.</li> <li>3. Які параметри роботи насоса визначають його продуктивність і ефективність?</li> <li>4. Які основні операції профілактичного обслуговування необхідно виконувати для забезпечення надійної роботи ГШНУ?</li> <li>5. Як правильно організувати міжремонтний період та планування ремонтних робіт?</li> <li>6. Які фактори впливають на тривалість служби насосного обладнання?</li> <li>7. Які методи неруйнівного контролю використовуються для оцінки стану гвинтових штангових насосів?</li> <li>8. Як визначити критичність дефекту та прогнозувати залишковий ресурс вузлів агрегату?</li> <li>9. Опишіть алгоритм проведення комплексної діагностики насосної установки.</li> <li>10. Які датчики та виконавчі механізми застосовуються в автоматизованих системах керування ГШНУ?</li> <li>11. Як автоматизація впливає на безпеку та надійність експлуатації насосних установок?</li> <li>12. Назвіть алгоритми управління режимами роботи насоса та поясніть їх застосування.</li> </ol>

Продовжити табл. 4.8

1	2	3
		<p>13. Які основні нормативні вимоги безпеки слід дотримуватися при експлуатації ГШНУ?</p> <p>14. Як оцінювати ризики аварійних ситуацій і розробляти заходи їх запобігання?</p> <p>15. Які дії персоналу є критичними у разі аварії або виходу насоса з ладу?</p> <p>16. Які цифрові інструменти використовуються для моделювання режимів роботи ГШНУ?</p> <p>17. Як аналіз даних діагностики допомагає прогнозувати залишковий ресурс обладнання?</p> <p>18. Які переваги застосування цифрових симуляторів для підвищення ефективності експлуатації насосів?</p> <p>19. Як поєднуються знання з механіки, гідравліки, матеріалознавства та технічної діагностики при оцінці стану ГШНУ?</p> <p>20. Які фактори слід враховувати при розробці плану обслуговування та оптимізації режимів роботи насосної установки?</p>

#### 4.12 Розробка програми курсів підвищення кваліфікації

Розробка програми курсів підвищення кваліфікації викладання теми «Забезпечення надійної експлуатації гвинтових штангових насосних установок» представлено в табл. 4.9.

Таблиця 4.9

## Програма курсів підвищення кваліфікації

№ з/п	Назва заняття	Термін заняття (год.)	Цілі заняття	Тип заняття	Методи навчання
1	Вступне заняття. Огляд конструкції та принципів роботи ГШНУ	2	Ознайомлення з конструктивними елементами насосної установки та принципами її роботи	Лекція	Лекція з презентацією, інтерактивні схеми, демонстрація макета
2	Механіка та гідравліка ГШНУ	4	Розуміння взаємодії механічних і гідравлічних елементів, визначення режимів роботи	Лекція/Семинар	Аналіз схем, розбір прикладів, розв'язання практичних задач
3	Матеріалознавство та деградація деталей	3	Формування знань про властивості матеріалів, механізми зношування та корозії	Лекція/Лабораторне заняття	Демонстрація зразків, лабораторні дослідження, обговорення кейсів
4	Профілактичне обслуговування та експлуатаційні процедури	4	Навчити виконанню регламентних операцій для забезпечення надійної роботи насосів	Практичне заняття	Практичні роботи на макетах і стендах, тренінг з використанням інструментів
5	Технічна діагностика та методи контролю стану обладнання	6	Освоєння методів неруйнівного контролю та оцінки залишкового ресурсу деталей	Лабораторне заняття	Робота з ультразвуковими, вібраційними та термографічними приладами, цифрові симулятори

Продовження табл. 4.9

1	2	3	4	5	6
6	Автоматизація та системи управління насосними установками	3	Засвоєння принципів роботи датчиків, контролерів та алгоритмів керування	Лекція/Практика	Демонстрація систем автоматизації, моделювання аварійних ситуацій на тренажерах
7	Аналіз дефектів та прийняття експертних рішень	4	Формування навичок оцінки технічного стану та розробки планів обслуговування	Семінар/Кейс-заняття	Робота з реальними кейсами, групові обговорення, складання технічних висновків
8	Інтегровані вправи: моделювання експлуатаційних ситуацій	6	Закріплення знань та навичок через комплексне моделювання роботи ГШНУ	Практичне заняття	Комплексні симуляції, комбіновані практичні завдання, аналіз результатів
9	Промислова безпека та охорона праці при експлуатації ГШНУ	2	Ознайомлення з нормативними вимогами безпеки та правилами реагування у надзвичайних ситуаціях	Лекція/Семінар	Аналіз нормативних документів, обговорення ав

### 4.13 Розробка сценарію заняття «Інтегровані вправи: моделювання експлуатаційних ситуацій»

Таблиця 4.10

## Сценарій заняття

№ з/п	Структурні елементи заняття	Зміст структурних елементів
1	2	3
1	Організаційна частина (5 хвилин)	Привітання учасників, перевірка присутності та готовності до заняття. Коротке ознайомлення з метою заняття, очікуваними результатами та регламентом проведення інтегрованих вправ. Встановлення правил безпечної роботи на макетах і тренажерах.
2	Вступна частина (10 хвилин)	Ознайомлення з моделлю виробничої ситуації, що буде моделюватися: короткий опис насосної установки, режимів роботи, потенційних дефектів та аварійних ситуацій. Формулювання навчальних завдань: виявлення несправностей, оцінка залишкового ресурсу, прийняття рішень щодо обслуговування та ремонту.
3	Теоретична частина (30 хвилин)	Поглиблене повторення конструкції та принципів роботи гвинтових штангових насосів, методів технічної діагностики, алгоритмів оцінки технічного стану. Обговорення прикладів типових дефектів і аварійних ситуацій. Демонстрація використання діагностичних приладів та цифрових симуляторів для оцінки роботи обладнання.
4	Практична частина (45 хвилин)	Моделювання роботи насосної установки у комплексних умовах. Учасники виконують: <ul style="list-style-type: none"> <li>• діагностику обладнання за допомогою стендів та приладів;</li> <li>• оцінку критичності дефектів та прогноз залишкового ресурсу;</li> <li>• прийняття рішень щодо профілактичного обслуговування і оптимізації режимів роботи;</li> <li>• аналіз наслідків різних режимів роботи та аварійних ситуацій через цифровий симулятор. Практичні завдання виконуються індивідуально та у групах, із подальшим обговоренням результатів.</li> </ul>

Продовження табл. 4.10

1	2	3
	Заклучна частина (10 хвилин)	Підведення підсумків заняття, обговорення труднощів і успіхів учасників. Рефлексія: що вдалося засвоїти, які навички потрібно додатково відпрацювати. Відповіді на запитання, рекомендації - одо самостійної роботи та подальшого удосконалення навичок.

#### Висновки до розділу 4

Розробка дидактичного проєкту дозволяє інтегрувати теоретичні знання, практичні навички та компетентності, необхідні для забезпечення надійної експлуатації гвинтових штангових насосних установок (ГШНУ). Такий підхід забезпечує поетапне засвоєння матеріалу – від ознайомлення з конструкцією та принципами роботи насосів до виконання діагностики, обслуговування та прийняття обґрунтованих експертних рішень.

Дидактичний проєкт визначає логіку проведення навчальних занять, структуру практичних і лабораторних вправ, а також методи контролю знань. Це дозволяє забезпечити послідовність у засвоєнні матеріалу та оптимізувати витрати часу на підвищення кваліфікації персоналу.

Впровадження запропонованого проєкту сприяє розвитку аналітичного мислення, навичок технічної діагностики та цифрового моделювання, а також умінь планувати обслуговування і ремонти. Як наслідок, знижується ризик аварій та простоїв, підвищується ефективність роботи насосного обладнання та безпека виробничих процесів.

Проєкт передбачає використання різних форм навчання: лекційних, семінарських, практичних, лабораторних та інтерактивних тренінгів. Комбінування цих форм дозволяє максимально адаптувати навчальний процес до рівня попередньої підготовки слухачів і їх виробничого досвіду.

Розроблена дидактична модель може бути використана у корпоративних навчальних центрах нафтовидобувних підприємств, в освітніх програмах підвищення кваліфікації та сертифікаційних курсах. Вона сприяє формуванню сучасного, підготовленого до комплексних завдань персоналу, здатного забезпечити надійну та безпечну експлуатацію ГШНУ.



## ВИСНОВКИ

У ході виконання кваліфікаційної роботи досліджено можливості зниження динамічних навантажень з метою розробки рекомендацій для підвищення надійності гвинтових насосних штангових установок.

В рамках досліджень:

- зроблено аналіз ГШНУ;
- розглянуто питання щодо особливості монтажу верхньої частини приводу ВШНУ;
- узагальнено досвід експлуатації ГШНУ на нафтових родовищах;
- Виявлено причини виникнення динамічних навантажень на елементах ГШНУ;
- обґрунтовано методи дослідження та зниження динамічних навантажень;
- виконані основні розрахунки міцності колони штанг та ресурсу ролик-конічного підшипника;
- вирішено питання фінансового менеджменту та соціальної відповідальності.

У результаті дослідження показано, що шляхи зниження динамічних навантажень на елементи ГШНУ лежать через розвиток дистанційних, безконтактних методів моніторингу механічних процесів, що відбуваються у свердловині; а також - через розвиток математичних моделей як всієї свердловини загалом, і її елементів.

Високоефективна свердловина майбутнього, якщо вони взагалі збережуться - буде представляти високонауковий, комп'ютеризований виріб з розвиненими засобами моніторингу стану і з адаптивним автоматичним управлінням за розвинутою системою критеріїв, включаючи сюди і рівень динамічних навантажень на колону провідних штанг.

Отримані знання будуть використані у подальшій професійній діяльності.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Головенкін В. П. Інженерна педагогіка [Електронний ресурс] : підруч. / В. П. Головенкін. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. Режим доступу: [http://psy.kpi.ua/wp-content/uploads/2017/02/Injenerna\\_pedagogika.pdf](http://psy.kpi.ua/wp-content/uploads/2017/02/Injenerna_pedagogika.pdf)
2. Коваленко О. Е., Брюханова Н. О., Корольова Н.В. Методика професійного навчання: дидактичне проектування: Підручник для студентів інженерно-педагогічних спеціальностей. – Харків: УПА, 2019. – 204 с.
3. Коваленко О. Е., Брюханова Н. О., Корольова Н.В. Методика професійного навчання: основні технології навчання: Підручник для студентів інженерно-педагогічних спеціальностей. – Харків: УПА, 2019. – 174 с.
4. Лебедик Л.В., Стрельников В.Ю., Стрельников М.В. Сучасні технології навчання і методики викладання дисциплін: Навчально-методичний посібник для слухачів курсів підвищення кваліфікації педагогічних працівників закладів середньої, професійної (професійно-технічної), фахової передвищої та вищої освіти / Л. В. Лебедик, В. Ю. Стрельников, М. В. Стрельников. – Полтава : АСМІ, 2020. – 303 с.
5. Методика професійної освіти : навч. посібник для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти за спеціальністю 015 «Професійна освіта» галузі знань 01 «Освіта / Педагогіка» / Д. О. Чернишев, К. І. Почка, Г. Л. Корчова, Ю. С. Красильник, М. В. Руденко. – Київ : Компринт, 2024. – 224 с.
6. Методичні вказівки до виконання магістерської кваліфікаційної роботи для здобувачів освіти другого (магістерського) рівня вищої освіти денної та заочної форм навчання за спеціальністю 015 Професійна освіта (за спеціалізацією) / Укр. інж.-пед. акад.; упоряд.: О. Е. Коваленко, Н. О. Брюханова, Н.В. Божко, Н.В. Корольова – Харків: УПА, 2024. – 82 с.
7. Семенова А.В. Професійна педагогіка: Підручник. / Авт. : О.В. Грабовський, Л.В. Коломієць, О.С. Савельєва, А.В. Семенова, В.Ф. Яні; за заг. ред. А.В. Семенової. – Одеса: Бондаренко М.О., 2020. – 575 с.

8. Сайт дистанційної освіти Університету – Режим доступу: <https://moodle.karazin.ua>
9. EdEra – студія онлайн-освіти [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ed-era.com/>
10. Український освітній онлайн-портал для вчителів «На Урок» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://naurok.com.ua/>
11. «Освіторія Медіа» – онлайн медія про освіта та виховання [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://osvitoria.media/>
12. Освіта.UA [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://osvita.ua>
13. Всеосвіта – освітня платформа для професійного зростання педагогічних працівників та підвищення їх педагогічної майстерності [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://vseosvita.ua/>
14. Омельченко О.В., Цвіркун Л.О. Гідравлічні машини : навчальний посібник. — Кривий Ріг : Донецький національний університет економіки і торгівлі ім. М. Туган-Барановського, 2020. — 100 с. Рекомендовано до видання Вченою радою ДонНУЕТ (протокол № 4 від 17 грудня 2020 р.). УДК 338.487(072).
15. Копей Б.В., Мартинець О.Р. Дослідження та аналіз способів ремонту насосних штанг // Проблеми розвитку газо-нафтового комплексу. — 2021. — №1(78). — С. 43–50. — УДК 622.276.53. — DOI: 10.31471/1993-9973-2021-1(78)-43-50.
16. Копей І.Б. Оцінка, прогнозування та підвищення надійності обладнання штангових свердловинних насосних установок : автореф. дис. ... канд. техн. наук : спец. 05.05.12 «Машини нафтової і газової промисловості» / Івано-Франків. нац. техн. ун-т нафти і газу. — Івано-Франківськ, 2020. — 24 с..
17. Копей І.Б., Мартинець О.Р. Передумови використання функціонально-вартісного аналізу для вдосконалення технології ремонту редукторів штангових свердловинних насосних установок // Науковий вісник ІФНТУНГ. — 2019. — №2(56). — С. 58–64..

18. Машини та обладнання для видобутку нафти та інших видів вуглеводневої сировини : навч. посіб. / [уклад. В. І. Коваль, О. В. Коваль, С. В. Коваль та ін.]. — Харків : ХНУРЕ, 2023. — 124 с..

19. Савик В. М., Кошман Є. В. Дослідження ефективності глибинних насосів при експлуатації нафтових свердловин / В. М. Савик, Є. В. Кошман // Збірник наукових праць Полтавської політехніки ім. Юрія Кондратюка. — 2021. — № 2(98). — С. 45–52.

20. Гончаренко О. В. Удосконалення технології експлуатації нафтових свердловин з використанням глибинних насосних установок : дис. ... канд. техн. наук : 05.15.10 / О. В. Гончаренко. — Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2019. — 180 с.

21. Дослідження та модернізація глибинних штангових насосів при експлуатації нафтових свердловин / В. М. Савик, Є. В. Кошман, Е. С. Пшеничний, В. А. Шевченко // Основні тенденції розвитку нафтогазової галузі : зб. матеріалів Круглого столу, 19 груд. 2023 р. – Полтава : Нац. ун-т ім. Юрія Кондратюка, 2024. — С. 124–125..

22. Бойко В. С., Ковальчук І. В. Методика визначення коефіцієнта тертя елементів штангової колони на основі аналізу плунжерної динамограми / В. С. Бойко, І. В. Ковальчук // Методи та прилади контролю якості. — 2003. — № 10. — С. 55–59..

23. Григорчук І. М., Григорчук О. І. Аналіз сил тертя при русі штангової колони в насосній установці / І. М. Григорчук, О. І. Григорчук // Науковий вісник ІФНТУНГ. — 2012. — № 2(30). — С. 112–117.

24. Експлуатаційні характеристики планетарних редукторів ЗМП : стаття / UkrPromMotor. — [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://ukrprommotor.com.ua/blog/ekspluatatsijni-harakteristiki-planetarnih-reduktoriv-3mp---scho-var-to-znati> (дата звернення: 22.10.2025)

25. Що таке редуктор? Загальні відомості / Блог компанії ПРК. — [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://prk.com.ua/shcho-take-reduktor-zagalni-vidomosti/> (дата звернення: 22.10.2025).

27. Савик В. М., Кошман Є. В., Шевченко В. А. Підвищення ефективності роботи штангових насосних установок на пізній стадії розробки родовищ / В. М. Савик, Є. В. Кошман, В. А. Шевченко // Збірник наукових праць Полтавської політехніки ім. Юрія Кондратюка. — 2023. — № 2(102). — С. 112–118.
28. Мала гірнича енциклопедія : у 3 т. / за ред. В. С. Білецького. — Донецьк : Східний видавничий дім, 2013. — Т. 3 : С — Я. — 644 с.
29. Прозур О. В. Підвищення ефективності експлуатації штангових глибинно-насосних установок у вертикальних і викривлених свердловинах : дис. ... канд. техн. наук : 05.05.12 / Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу. — Івано-Франківськ, 2006. — 198 с..
30. Особливості експлуатації штангових свердловинних насосних установок на завершальному етапі розробки родовищ / ІФНТУНГ. — [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://elar.nung.edu.ua/handle/123456789/8524?locale=uk>
31. Дубей О. Я., Лях М. М., Тутко Т. Ф. Дослідження вібраційних напружень, викликаних поширенням пружних коливань у колоні штанг / О. Я. Дубей, М. М. Лях, Т. Ф. Тутко // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. — 2022. — № 3(84). — С. 40–51..
32. Аналіз методик розрахунку колон насосних штанг / Я. Т. Федорович, В. В. Михайлюк, О. В. Михайлюк, О. І. Коваль // Машини, обладнання і матеріали для нарощування вітчизняного видобутку нафти і газу PGE – 2018 : матеріали міжнар. наук.-техн. конф. (Івано-Франківськ, 24–27 квіт. 2018 р.). — Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2018. — С. 211–216.
33. Журавель Д. П., Новік О. Ю., Бондар А. М., Петренко К. Г. Триботехніка : курс лекцій / Д. П. Журавель та ін. — Мелітополь : Видавничо-поліграфічний центр «Люкс», 2019. — 280 с.
34. Коренькова Т. В., Сердюк О. О., Ковальчук В. Г. Режим роботи насосних та вентиляторних установок із автоматизованим електроприводом : навч. посібник / ІЕЕСУ. — Київ : КДУ, 2020. — 124 с.

35. Геологія, розвідка та геофізика нафтових і газових свердловин : навч. посіб. / ІФНТУНГ. — Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2020. — 148 с.

36. Орловський В. М. Буріння нафтових і газових свердловин: підручник / В. М. Орловський, В. С. Білецький, В. І. Сіренко. — Львів : Видавництво ПП «Новий Світ-2000», 2024. — 408 с. — (Серія «Бібліотека Гірничої енциклопедії»).