

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)

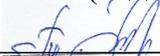
КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

магістра

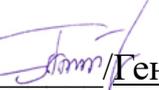
на тему

«Професійна підготовка фахівців експертної організації до проведення
діагностики основного обладнання нафтоперекачувальної станції з метою
продовження міжремонтного періоду»
(тема кваліфікаційної роботи)

Виконав: студент 2 курсу, групи ЗЕА-ПОНС24мг
спеціальності: 015 Професійна освіта (Видобуток, переробка та
транспортування корисних копалин)
(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)

 / Олексій ШАЛАМОВ
(підпис) (ім'я та прізвище)
Керівник  / Наталія АНТОНЕНКО
(підпис) (ім'я та прізвище)
Рецензент  / Тетяна БОНДАРЕНКО
(підпис) (ім'я та прізвище)

«До захисту допущено»

В.о. завідувача 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

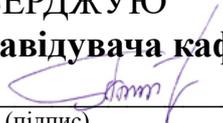
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМ. В.Н.
КАРАЗІНА

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

В.о. завідувача кафедри



(підпис)

д.т.н., проф. Геннадій КАНЮК

«___» _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу (дипломну роботу/дипломний проєкт)

другого (магістерського) рівня вищої освіти

здобувачу (ці) вищої освіти Олексій ШАЛАМОВ
(ім'я, прізвище)

1. Тема «Професійна підготовка фахівців експертної організації до проведення діагностики основного обладнання нафтоперекачувальної станції з метою продовження міжремонтного періоду» затверджена наказом по університету № 4801-5/3665 від 06.10.2025 р.

2. Термін здачі закінченої роботи «10» 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 фахівців експертної організації до проведення діагностики основного обладнання нафтоперекачувальної станції з метою продовження міжремонтного періоду. Аналіз та діагностики основного обладнання нафтоперекачувальної станції з метою продовження міжремонтного періоду. Вимоги до кадрового забезпечення об'єкту галузі. Розробка дидактичного проєкту викладання теми «Проведення діагностики основного обладнання нафтоперекачувальної станції з метою продовження міжремонтного періоду», що вивчається у процесі підвищення кваліфікації фахівців експертної організації.

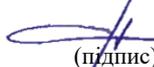
5. Перелік графічного матеріалу (презентаційний матеріал): Презентація, виконана в програмі Microsoft PowerPoint

6. Консультант:

Розділ	Консультант	Підпис, дата		Оцінка (бали)
		Завдання видав	Завдання прийняв	
1	д.пед.н., проф. Брюханова Н.О.			

7. Дата видачі завдання «01» вересня 2025 р.

Керівник роботи


(підпис)

Наталія АНТОНЕНКО

(ім'я, прізвище)

Завдання прийняв до виконання


(підпис)

Олексій ШАЛАМОВ

(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	Актуальність професійної підготовки фахівців експертної організації до проведення діагностики основного обладнання нафтоперекачувальної станції з метою продовження міжремонтного періоду.	01.09.2025 – 15.09.2025	
2	Аналіз та діагностика основного обладнання нафтоперекачувальної станції з метою продовження міжремонтного періоду.	16.09.2025 – 05.11.2025	
3	Вимоги до кадрового забезпечення об'єкту галузі.	06.11.2025 – 15.11.2025	
4	Розробка дидактичного проєкту викладання теми «Проведення діагностики основного обладнання нафтоперекачувальної станції з метою продовження міжремонтного періоду», що вивчається у процесі підвищення кваліфікації фахівців експертної організації.	16.11.2025 – 29.11.2025	
5	Оформлення пояснювальної записки та презентації	До 10.12.2025	

Здобувач (ка) вищої освіти


(підпис)

Олексій ШАЛАМОВ

(ім'я, прізвище)

Нормоконтроль


(підпис)

Євген КЛЮЧКА

(ім'я, прізвище)

РЕФЕРАТ

до магістерської роботи на тему
«Професійна підготовка фахівців експертної організації до проведення
діагностики основного обладнання нафтоперекачувальної станції з метою
продовження міжремонтного періоду»

Олексій ШАЛАМОВ

Магістерська робота складається з 132 сторінка, 16 рисунків, 19 таблиць, список літератури містить 25 джерел.

ДИДАКТИЧНИЙ ПРОЄКТ, ПІДВИЩЕННЯ КВАЛІФІКАЦІЇ,
ПРОФЕСІЙНА ПІДГОТОВКА, ВІБРАЦІЯ, ДІАГНОСТИКА,
ЦЕНТРОБІЖНИЙ НАСОС, ТЕХНІЧНИЙ СТАН

Об'єкт дослідження – процес професійної підготовки фахівців експертних організацій, які виконують технічну діагностику та оцінювання технічного стану основного обладнання нафтоперекачувальних станцій.

Предмет дослідження – методичні, організаційні та технологічні засади професійної підготовки інженерно-технічного персоналу експертної організації до якісного проведення діагностики насосних агрегатів, систем керування, трубопровідної арматури та допоміжного обладнання нафтоперекачувальної станції з метою обґрунтування можливості продовження міжремонтного періоду.

У роботі обґрунтовано значущість якісної професійної підготовки фахівців експертних організацій, які виконують технічну діагностику та оцінювання технічного стану основного обладнання нафтоперекачувальних станцій. Проведено ґрунтовний аналіз діагностики основного обладнання нафтоперекачувальної станції з метою продовження міжремонтного періоду. Крім того, сформовано та науково аргументовано комплекс вимог до кадрового забезпечення персоналу експертної організації до проведення діагностики основного обладнання нафтоперекачувальної станції.

Розроблено дидактичний проєкт викладання теми «Проведення діагностики основного обладнання нафтоперекачувальної станції з метою продовження міжремонтного періоду», що вивчається у процесі підвищення кваліфікації фахівців експертної організації.

ABSTRACT

of the master's thesis on the topic
«Professional training of specialists from an expert organisation to diagnose the
main equipment of an oil pumping station with the aim of extending the period
between repairs»

Oleksiy SHALAMOV

The master's thesis consists of 132 pages, 16 figures, 19 tables, and a list of references containing 25 sources.

EDUCATIONAL PROJECT, ADVANCED TRAINING,
PROFESSIONAL TRAINING, VIBRATION, DIAGNOSTICS, CENTRIFUGAL
PUMP, TECHNICAL CONDITION

The object of research is the process of professional training of specialists from expert organisations who perform technical diagnostics and assessment of the technical condition of the main equipment of oil pumping stations.

The subject of the study is the methodological, organisational and technological foundations of professional training of engineering and technical personnel of expert organisations for high-quality diagnostics of pumping units, control systems, pipeline fittings and auxiliary equipment of oil pumping stations in order to justify the possibility of extending the inter-repair period.

The work substantiates the importance of high-quality professional training of specialists from expert organisations who perform technical diagnostics and assessment of the technical condition of the main equipment of oil pumping stations. A thorough analysis of the diagnostics of the main equipment of an oil pumping station was carried out with the aim of extending the inter-repair period. In addition, a set of requirements for staffing the expert organisation with personnel to perform diagnostics of the main equipment of the oil pumping station has been formed and scientifically substantiated.

A didactic project was developed for teaching the topic 'Diagnostics of the main equipment of oil pumping stations with the aim of extending the inter-repair period', which is studied in the process of advanced training of specialists of the expert organisation.

ПОЗНАЧЕННЯ ТА СКОРОЧЕННЯ

У цій роботі застосовані такі позначення та скорочення:

НПС - нафтоперекачувальна станція.

ГНПС – головна нафтоперекачувальна станція.

ПНПС – проміжна нафтоперекачувальна станція.

НА – насосний агрегат.

ЦПЗ – центральний пункт збору.

ВПН - встановлення підготовки нафти.

ККД – коефіцієнт корисної дії.

НМ – нафтовий магістральний.

КВА - контрольно-вимірювальна апаратура.

ПР – поточний ремонт.

СР – середній ремонт.

КР – капітальний ремонт.

ТО – технічне обслуговування.

ОФС-обслуговування за фактичним станом

ЗМІСТ

ПОЗНАЧЕННЯ ТА СКОРОЧЕННЯ	6
ВСТУП	11
РОЗДІЛ 1	16
АКТУАЛЬНІСТЬ ПРОФЕСІЙНОЇ ПІДГОТОВКИ ФАХІВЦІВ ЕКСПЕРТНОЇ ОРГАНІЗАЦІЇ ДО ПРОВЕДЕННЯ ДІАГНОСТИКИ ОСНОВНОГО ОБЛАДНАННЯ НАФТОПЕРЕКАЧУВАЛЬНОЇ СТАНЦІЇ З МЕТОЮ ПРОДОВЖЕННЯ МІЖРЕМОНТНОГО ПЕРІОДУ	16
1.1. Вимоги до професійної діяльності фахівців експертних організацій	16
1.2. Проблеми та суперечності в існуючій системі професійної підготовки діагностів.....	22
1.3. Необхідність удосконалення професійної підготовки фахівців експертних організацій.....	27
1.4. Зарубіжний та вітчизняний досвід підготовки фахівців у сфері діагностики технологічного обладнання	31
Висновки до розділу 1	36
РОЗДІЛ 2	38
АНАЛІЗ ТА ДІАГНОСТИКА ОСНОВНОГО ОБЛАДНАННЯ	38
НАФТОПЕРЕКАЧУВАЛЬНОЇ СТАНЦІЇ З МЕТОЮ ПРОДОВЖЕННЯ МІЖРЕМОНТНОГО ПЕРІОДУ	38
2.1 Нафтоперекачувальні станції магістральних трубопроводів.....	39
2.1.1 Основні відомості про магістральні трубопроводи.....	39
2.1.2 Класифікація нафтоперекачувальних станцій та характеристика основних об'єктів.....	40
2.1.3 Технологічна схема нафтоперекачувальних станцій	42
2.1.4 Конструкція та компонування насосного цеху.....	47
2.2. Насосні агрегати, що застосовуються на нафтоперекачувальних станціях магістральних трубопроводів.....	50
2.2.1 Основні відомості про насоси.....	50
2.2.2 Принцип роботи відцентрових насосів.....	54

2.2.3 Основні та підпірні відцентрові насоси для магістральних трубопроводів	54
2.2.4 Характеристики магістральних насосів.....	59
2.3. Загальні поняття про дефекти основних конструктивних елементів відцентрового насоса	61
2.3.1 Дефекти основних конструктивних елементів відцентрового насосу....	62
2.3.2 Дефекти валу відцентрового насоса.....	65
2.3.3 Дисбаланс мас ротора	65
2.3.4 Розцентрування.....	68
2.3.5 Ослаблення кріплення	69
2.3.6 Динаміка розвитку дефекту.....	70
2.4. Формування системи технічного обслуговування та ремонту з фактичний стан нафтового обладнання.....	70
2.4.1 Форми технічного обслуговування обладнання.....	71
2.4.2 Система технічного обслуговування та ремонту за фактичним технічного стану.....	73
2.4.3 Організація та планування робіт з технічного обслуговування та ремонту обладнання за фактичним технічним станом	75
2.4.4 Класифікація видів технічного обслуговування	76
2.5. Технічний огляд механіко-технологічного обладнання НПС	77
2.5.1 Методика огляду магістральних, підпірних та допоміжних насосів	78
2.5.2 Контроль працездатності обладнання за вібраційними параметрами	78
2.5.3 Визначення залишкового ресурсу магістральних та підпірних насосів за вібраційним станом.....	85
Висновки до розділу 2	91
РОЗДІЛ 3 ВИМОГИ ДО КАДРОВОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ОБ'ЄКТУ ГАЛУЗІ	93
3.1 Вимоги до кадрового забезпечення фахівців експертної організації до проведення діагностики основного обладнання нафтоперекачувальної станції	93

3.2 Організація служби технічного діагностування та надійності обладнання (ТДіНО).....	95
3.3 Переведення обладнання на планово-діагностичне обслуговування	96
Висновки до розділу 3	98
РОЗДІЛ 4	101
РОЗРОБКА ДИДАКТИЧНОГО ПРОЄКТУ ВИКЛАДАННЯ ТЕМИ «ПРОВЕДЕННЯ ДІАГНОСТИКИ ОСНОВНОГО ОБЛАДНАННЯ НАФТОПЕРЕКАЧУВАЛЬНОЇ СТАНЦІЇ З МЕТОЮ ПРОДОВЖЕННЯ МІЖРЕМОНТНОГО ПЕРІОДУ», ЩО ВИВЧАЄТЬСЯ У ПРОЦЕСІ ПІДВИЩЕННЯ КВАЛІФІКАЦІЇ ФАХІВЦІВ ЕКСПЕРТНОЇ ОРГАНІЗАЦІЇ	101
4.1. Вихідні дані.....	101
4.2. Види та зміст професійної діяльності фахівця	104
4.3. Кваліфікаційні вимоги до фахівців експертної організації.....	107
4.4. Постановка цілей вивчення навчальної теми «Проведення діагностики основного обладнання нафтоперекачувальної станції з метою продовження міжремонтного періоду».....	109
4.5. Перелік літературних джерел з теми.....	111
4.6. Конструювання дидактичних матеріалів з теми «Проведення діагностики основного обладнання нафтоперекачувальної станції з метою продовження міжремонтного періоду».....	111
4.7. Аналіз базових умов навчання з теми «Проведення діагностики основного обладнання нафтоперекачувальної станції з метою продовження міжремонтного періоду».....	113
4.8. Проектування мотиваційних технологій навчання з теми «Проведення діагностики основного обладнання нафтоперекачувальної станції з метою продовження міжремонтного періоду», характеристика і текст мотивації, використання якої доцільно при викладанні навчального матеріалу (табл. 4.5).	116

4.9. Проєктування технології формування орієнтовної основи діяльності при вивчені теми «Проведення діагностики основного обладнання нафтоперекачувальної станції з метою продовження міжремонтного періоду» (табл. 4.6).....	117
4.10. Проєктування технології формування виконавчих дій при вивченні теми «Проведення діагностики основного обладнання нафтоперекачувальної станції з метою продовження міжремонтного періоду» (табл. 4.7).	119
4.11. Проєктування контрольних дій з теми «Проведення діагностики основного обладнання нафтоперекачувальної станції з метою продовження міжремонтного періоду» (таблиця 4.8).	121
4.12. Розробка програми курсів підвищення кваліфікації викладання теми «Проведення діагностики основного обладнання нафтоперекачувальної станції з метою продовження міжремонтного періоду» представлено в таблиці 4.9.....	122
4.13. Розробка сценарію заняття «Складання експертного висновку та документація».....	126
Висновки до розділу 4	127
ВИСНОВКИ.....	129
Практична значущість роботи.....	129
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ ... Помилка! Закладку не визначено.	

ВСТУП

Сучасний стан нафтотранспортної галузі характеризується зростанням вимог до безпеки, надійності та ефективності експлуатації технологічного обладнання. Нафтоперекачувальні станції є ключовими елементами магістральних трубопровідних систем, оскільки забезпечують підтримання необхідного тиску та безперервність транспортування нафти й нафтопродуктів на значні відстані. Від справності їх основного обладнання – насосних агрегатів, систем керування, трубопровідної арматури, теплообмінних та електротехнічних установок — залежить не лише стабільність виробничих процесів, а й екологічна безпека, техногенна стійкість та економічні результати роботи підприємств нафтотранспортної інфраструктури.

В умовах інтенсивної експлуатації, старіння фонду обладнання та зростання навантажень особливої ваги набуває своєчасна та якісна технічна діагностика, що дозволяє оцінити фактичний стан агрегатів і прогнозувати їхній залишковий ресурс. Саме результати діагностики є основою для ухвалення експертних рішень щодо можливості продовження міжремонтного періоду, оптимізації планових ремонтних робіт і запобігання аварійним ситуаціям. Відповідно, професійна діяльність фахівців експертних організацій, які виконують такі роботи, потребує високої кваліфікації, системного інженерного мислення та володіння сучасними методами дослідження технічних об'єктів.

Актуальність теми зумовлена тим, що наявні програми підготовки інженерів-діагностів часто не відповідають сучасним викликам галузі: широкому впровадженню цифрових технологій моніторингу, застосуванню новітніх методів неруйнівного контролю, переходу до ризик-орієнтованих систем управління технічним станом, необхідності комплексного аналізу деградаційних процесів у складних технічних системах. Унаслідок цього виникає потреба в оновленні методичних, організаційних та технологічних

підходів до професійної підготовки фахівців експертних організацій, які здійснюють діагностику обладнання нафтоперекачувальних станцій.

Особливістю цього виду діяльності є висока відповідальність за точність висновків, оскільки помилки в діагностиці можуть призвести до відмов обладнання, зупинки технологічного процесу, матеріальних збитків та екологічних наслідків. Саме тому формування професійних компетентностей спеціалістів має ґрунтуватися на міждисциплінарному підході, що поєднує знання у сфері технічної механіки, матеріалознавства, гідравліки, промислової безпеки, електротехніки, інформаційних технологій та нормативно-технічного регулювання. Не менш важливою є здатність застосовувати на практиці сучасні діагностичні інструменти, аналізувати великі масиви технічних даних, моделювати розвиток дефектів та робити обґрунтовані прогнози щодо ресурсу обладнання.

Потреба у науковому осмисленні та системному удосконаленні підготовки фахівців експертних організацій зумовила вибір теми даної магістерської роботи. Вона спрямована на розроблення нової, науково обґрунтованої системи професійної підготовки, що відповідатиме сучасним технологічним, нормативним та безпековим вимогам нафтотранспортної галузі й забезпечить підвищення достовірності технічної діагностики та ефективності експлуатації обладнання.

Таким чином, актуальність дослідження визначається:

- зростанням значення технічної діагностики в забезпеченні безпечної експлуатації нафтоперекачувальних станцій;
- необхідністю підвищення кваліфікації персоналу експертних організацій в умовах технологічної модернізації галузі;
- потребою в оновленні підходів до професійної підготовки інженерно-технічних працівників з урахуванням сучасних методів контролю та прогнозування стану обладнання;
- важливістю адаптації навчального процесу до вимог ризик-орієнтованого управління безпекою та нормативно-технічного середовища.

Усе це підтверджує, що розроблення науково-методичної системи професійної підготовки фахівців, які здійснюють технічну діагностику основного обладнання нафтоперекачувальних станцій, є своєчасним та необхідним завданням для нафтотранспортної галузі та освітньо-професійної сфери.

Об'єкт дослідження – процес професійної підготовки фахівців експертних організацій, які виконують технічну діагностику та оцінювання технічного стану основного обладнання нафтоперекачувальних станцій.

Предмет дослідження – методичні, організаційні та технологічні засади професійної підготовки інженерно-технічного персоналу експертної організації до якісного проведення діагностики насосних агрегатів, систем керування, трубопровідної арматури та допоміжного обладнання нафтоперекачувальної станції з метою обґрунтування можливості продовження міжремонтного періоду.

Мета дослідження – теоретично обґрунтувати та розробити ефективну систему професійної підготовки фахівців експертної організації, спрямовану на формування компетентностей, необхідних для достовірного технічного діагностування основного обладнання нафтоперекачувальних станцій та прийняття експертних рішень щодо продовження строку безпечної експлуатації.

Гіпотеза дослідження. Професійна підготовка фахівців експертної організації забезпечуватиме високу якість технічної діагностики та обґрунтованість рішень щодо продовження міжремонтного періоду обладнання, якщо:

– у навчальний зміст включити вивчення конструктивних особливостей та механізмів деградації насосних агрегатів, арматури, електромеханічних систем, а також сучасних методів неруйнівного контролю, вібро- та термодіагностики;

- забезпечити інтеграцію знань з матеріалознавства, гідравліки, технічної діагностики, промислової безпеки, ризик-орієнтованого підходу та нормативно-технічного регулювання;
- застосовувати практикоорієнтовані технології навчання, включаючи моделювання дефектів, роботу з діагностичними приладами, аналіз реальних кейсів та тренінги з прийняття експертних рішень;
- використовувати цифрові інструменти аналізу технічного стану обладнання і прогнозування залишкового ресурсу.

Завдання дослідження.

1. Проаналізувати особливості професійної діяльності фахівців експертної організації, пов'язаної з технічною діагностикою обладнання нафтоперекачувальних станцій.
2. Визначити компетентнісні вимоги до персоналу, який здійснює оцінку технічного стану та приймає рішення про продовження міжремонтного періоду.
3. Обґрунтувати зміст, структуру та методи професійної підготовки фахівців у сфері технічної діагностики насосно-технологічного обладнання.
4. Розробити програму професійної підготовки з урахуванням інженерно-технічних, нормативних і ризик-орієнтованих аспектів експертної діяльності.

Методи дослідження. Аналіз нормативно-технічної документації, стандартів з промислової безпеки, літератури з технічної діагностики та інженерної експлуатації обладнання; порівняльний аналіз навчальних програм підготовки експертів у суміжних галузях; експертне опитування фахівців; аналіз кейсів реальних несправностей та відмов обладнання; педагогічне моделювання з розробленням дидактичної системи підготовки; узагальнення результатів практичної діяльності діагностичних підрозділів.

Наукова новизна дослідження полягає в тому, що:

– вперше комплексно обґрунтовано систему професійної підготовки фахівців експертної організації, орієнтовану на проведення високоточної діагностики обладнання нафтоперекачувальних станцій;

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

Практична значущість дослідження. Розроблена система професійної підготовки може бути впроваджена у програми підвищення кваліфікації та атестації фахівців експертних організацій, що дозволить підвищити достовірність технічної діагностики обладнання нафтоперекачувальних станцій, знизити аварійність та оптимізувати планування ремонтів.

Структура магістерської роботи. Магістерська кваліфікаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків і списку використаних джерел.

РОЗДІЛ 1

АКТУАЛЬНІСТЬ ПРОФЕСІЙНОЇ ПІДГОТОВКИ ФАХІВЦІВ ЕКСПЕРТНОЇ ОРГАНІЗАЦІЇ ДО ПРОВЕДЕННЯ ДІАГНОСТИКИ ОСНОВНОГО ОБЛАДНАННЯ НАФТОПЕРЕКАЧУВАЛЬНОЇ СТАНЦІЇ З МЕТОЮ ПРОДОВЖЕННЯ МІЖРЕМОНТНОГО ПЕРІОДУ

1.1. Вимоги до професійної діяльності фахівців експертних організацій

Професійна діяльність фахівців експертних організацій, які здійснюють технічну діагностику обладнання нафтоперекачувальних станцій (НПС), є високовідповідальною інженерно-технічною сферою, що поєднує глибокі технічні знання, володіння спеціальними методами контролю та здатність ухвалювати експертні рішення на основі комплексного аналізу технічного стану обладнання. Специфіка експертних робіт визначається складністю об'єктів діагностування, різноманітністю експлуатаційних умов, наявністю прихованих дефектів, які неможливо виявити візуально, а також необхідністю прогнозування залишкового ресурсу обладнання.

По-перше, технічна діагностика основного обладнання НПС охоплює широкий спектр агрегатів: магістральні насосні установки, резервні та бустерні насоси, системи автоматизованого керування і захисту, трубопровідну арматуру високого тиску, запірно-регулюючі пристрої, теплообмінне обладнання, фільтри, електродвигуни й допоміжні механічні вузли. Кожен із цих технічних об'єктів має власні конструктивні особливості, типові дефекти та експлуатаційні обмеження, що потребує відповідних професійних знань і навичок експерта.

По-друге, діяльність експертів пов'язана з обслуговуванням об'єктів підвищеної небезпеки. Нафтоперекачувальні станції працюють із легкозаймистими та вибухонебезпечними продуктами, які транспортуються під тиском на великі відстані. Помилки в діагностиці, недооцінювання

небезпечних параметрів або неправильне трактування показників можуть призвести до важких наслідків: аварій, розгерметизації трубопроводів, виходу обладнання з ладу, пожеж чи техногенних катастроф. Тому експерти повинні працювати за жорсткими регламентами, дотримуватися правил промислової безпеки та володіти знаннями щодо ризиків, пов'язаних з експлуатацією нафтотранспортних систем.

По-третє, специфіка експертної діяльності полягає у необхідності застосовувати широкий арсенал методів діагностики. Серед них: віброаналіз, термографія, спектральний аналіз стану мастила, методи неруйнівного контролю (ультразвуковий, магнітопорошковий, капілярний, акустико-емісійний, рентгенографічний), гідравлічні випробування, аналіз параметрів роботи насосів під навантаженням, оцінка енергоспоживання та режимів роботи. Кожен метод висуває специфічні вимоги до кваліфікації персоналу, а правильна інтерпретація результатів потребує глибокого розуміння процесів деградації металу, зношування елементів машин та дії навантажувальних факторів.

По-четверте, експертна діагностика вимагає об'єктивності та незалежності. Фахівець не просто виконує контрольні вимірювання, а оцінює, чи може обладнання працювати далі без проведення капітального ремонту або заміни. Експерт має нести відповідальність за прийняте рішення й обґрунтовувати його на основі документальних даних, стандартів і результатів діагностичних процедур. У цьому контексті надзвичайно важливими є компетентність, добросовісність та професійна етика експерта.

По-п'яте, організації, що здійснюють технічну діагностику, зазвичай працюють у складних виробничих умовах. Об'єкти діагностуються без тривалих зупинок технологічних процесів, а це висуває додаткові вимоги до швидкості, точності та технологічності виконання робіт. Часто діагностика проводиться в умовах підвищеної температури, шуму, вібрацій, обмежених доступів, що потребує високої дисципліни та чіткого розуміння правил безпечної роботи.

Таким чином, специфіка експертних робіт у сфері технічної діагностики обладнання НПС вимагає від фахівців високого рівня професійної підготовки, здатності працювати з комплексними технічними системами та застосовувати сучасні інженерно-діагностичні методи.

Компетентнісний профіль фахівця експертної організації включає сукупність знань, навичок, умінь, професійних якостей і поведінкових характеристик, необхідних для виконання завдань діагностики та прийняття експертних рішень. Сучасні виклики, що стоять перед нафтотранспортною галуззю, зумовлюють посилення вимог до компетентності експертів.

1. Технічна компетентність. Інженер-експерт повинен володіти глибокими знаннями у таких галузях:

- конструктивні особливості насосного та трубопровідного обладнання;
- матеріалознавство, зокрема механізми корозії, втоми, зношування та деградації металів;
- гідравліка та механіка рідин, включаючи закономірності зміни тиску, витрати, кавітаційні процеси;
- електротехнічні системи, принципи роботи електродвигунів, систем керування та захисту;
- механіка та динаміка машин, що визначають вібраційні та динамічні фактори навантаження;
- інженерна експлуатація обладнання, режими роботи, типові несправності та їх наслідки.

Ці знання формують основу для розуміння процесів, що відбуваються в технологічному обладнанні під час експлуатації.

2. Діагностична компетентність. Це здатність використовувати методи контролю та аналізувати отримані дані:

- застосування методів неруйнівного контролю;
- проведення вібро- та термодіагностики;
- оцінювання параметрів роботи насосів під навантаженням;

- аналіз індикаторів технічного стану на основі цифрових технологій;
- визначення критичних дефектів, їх розвитку та можливих наслідків.

Особлива увага приділяється вмінню оцінювати комплекс параметрів, адже нерідко дефекти проявляються в сукупності ознак, а не в одному послідовному вимірюванні.

3. Аналітична та прогностична компетентність. Експерт має не лише виявляти дефекти, а й:

- визначати їхні причини;
- прогнозувати розвиток пошкоджень;
- оцінювати залишковий ресурс обладнання;
- визначати можливість продовження міжремонтного періоду;
- аналізувати ризики подальшої експлуатації.

Для цього необхідні навички роботи з математичними моделями, статистичними методами та цифровими системами моніторингу.

4. Нормативно-правова компетентність. Фахівець повинен знати:

- державні стандарти, що регламентують діагностику, випробування, експлуатацію та ремонт обладнання;
- вимоги з промислової безпеки;
- процедури експертного оцінювання;
- порядок оформлення технічної документації;
- правила відповідності вимогам нагляду та сертифікації.

Ця компетентність забезпечує юридичну коректність рішень експерта і дозволяє уникнути помилок при оформленні результатів.

5. Професійно-етична та комунікативна компетентність. Експерт має дотримуватися принципів об'єктивності, незалежності та відповідальності.

Професійна етика передбачає:

- неупередженість у прийнятті рішень;
- відповідальність за достовірність висновків;
- належне оформлення документів;

– уміння пояснювати результати діагностики керівництву підприємства.

Такі навички важливі, оскільки експерт часто взаємодіє з представниками виробництва, службою технічного контролю та органами нагляду.

6. Цифрова компетентність. У сучасних умовах експерт повинен володіти:

- навичками обробки великих масивів даних;
- умінням працювати з цифровими платформами моніторингу;
- знанням алгоритмів прогнозування технічного стану;
- здатністю застосовувати програмні засоби для моделювання та аналізу.

Цифрова трансформація нафтотранспортної галузі потребує високого рівня ІТ-грамотності.

Експертна діяльність у сфері технічної діагностики регламентується широким комплексом нормативно-технічних документів. Їхнє дотримання є обов'язковою умовою як для фахівців, так і для організацій, що виконують діагностичні роботи.

До нормативних документів, що найбільшою мірою визначають діяльність експертних організацій, належать:

- стандарти ДСТУ, які регламентують методи неруйнівного контролю;
- норми щодо проведення гідравлічних випробувань;
- стандарти експлуатації насосного обладнання та трубопровідної арматури;
- вимоги щодо оцінки технічного стану машин і механізмів;
- настанови з промислової безпеки об'єктів нафтогазової галузі.

Дотримання цих норм забезпечує відповідність діагностичних процедур загальногалузевим вимогам.

Нафтотранспортні підприємства використовують також галузеві стандарти та інструкції, зокрема:

- регламенти обслуговування магістральних насосних агрегатів;
- вимоги до контролю стану підшипникових вузлів, роторів, електродвигунів;
- процедури оцінки стану внутрішніх поверхонь трубопроводів;
- правила ведення технічної документації.

Ці документи конкретизують порядок робіт на практиці та визначають цільові параметри технічного стану обладнання.

У роботі експертів дедалі частіше використовуються рекомендації міжнародних організацій:

- ISO (International Organization for Standardization);
- API (American Petroleum Institute);
- ASME (American Society of Mechanical Engineers);
- EN (Європейські норми).

Міжнародні стандарти застосовуються під час оцінки ризиків, визначення дефектів, калібрування приладів, виконання спеціалізованих випробувань і технічної експертизи.

Нормативно-технічні документи встановлюють вимоги до:

- кваліфікації інженерів, які виконують неруйнівний контроль;
- періодичного підвищення кваліфікації;
- проходження атестації у відповідних центрах;
- підтвердження права виконувати діагностичні процедури.

Це гарантує, що експерт має достатню підготовку для роботи з обладнанням підвищеної небезпеки.

Експертні процедури супроводжуються змістовним документообігом:

- технічними паспортами обладнання;
- журналами експлуатації;
- протоколами контролю та вимірювань;
- висновками технічного стану;

- актами діагностичного обстеження;
- рекомендаціями щодо продовження міжремонтного періоду.
- Якість документації визначає юридичну силу висновків експерта.

Професійна діяльність фахівців експертних організацій у галузі технічної діагностики обладнання нафтоперекачувальних станцій має складну та відповідальну специфіку. Для ефективного виконання діагностичних процедур інженер повинен володіти широким спектром технічних, аналітичних, нормативних і цифрових компетентностей. Не менш важливими є етичні якості та здатність об'єктивно оцінювати технічний стан обладнання. Нормативно-технічне забезпечення регламентує порядок робіт, вимоги до методів контролю та кваліфікації експертів, що гарантує надійність і безпечність експлуатації нафтотранспортних систем.

1.2. Проблеми та суперечності в існуючій системі професійної підготовки діагностів

Ефективність технічної діагностики основного обладнання нафтоперекачувальних станцій безпосередньо залежить від професійної готовності фахівців, які здійснюють оцінювання його технічного стану та приймають рішення щодо можливості продовження міжремонтного періоду. Проте сучасна система підготовки таких фахівців характеризується низкою суттєвих проблем і суперечностей, що ускладнюють формування необхідних компетентностей та знижують якість експертної діяльності. Ці проблеми проявляються на різних рівнях – від змістових аспектів навчальних програм до питань організації практичної підготовки, доступу до сучасних методик і цифрових технологій діагностики.

1. Невідповідність освітніх програм сучасним технологічним викликам. Однією з ключових проблем є застарілість змісту підготовки інженерів-діагностів у більшості освітніх програм, що використовуються закладами вищої та післядипломної освіти. Значна частина навчальних курсів була

сформована за принципами, що домінували у промисловій галузі 15–20 років тому, коли основні діагностичні процедури базувалися переважно на традиційних методах огляду, вимірювання геометричних параметрів, простих видах неруйнівного контролю та аналізі експлуатаційної документації. У сучасних умовах така підготовка вже не відповідає технологічному рівню обладнання нафтоперекачувальних станцій.

Сучасні НПС оснащуються складними електромеханічними системами, автоматизованими модулями контролю параметрів технологічного процесу, цифровими системами керування насосними агрегатами, датчиками вібрації та температури, обладнанням для дистанційного моніторингу стану механізмів. Діагностика такого обладнання потребує володіння методами віброаналізу, термографії, аналізу мастильних матеріалів, спектрального аналізу коливань, акустичної емісії та іншими високоточними інструментами, що вимагають сучасного інженерного мислення та навичок роботи з цифровими програмними комплексами.

Однак більшість діючих освітніх стандартів не охоплює ці напрями в достатньому обсязі, що призводить до формування лише часткової готовності спеціалістів. Навіть у програмах підвищення кваліфікації, які проводяться на базі експертних організацій, часто відсутні модулі з цифрової діагностики та прогнозування залишкового ресурсу обладнання, а їх зміст не відображає актуальні вимоги ринку та законодавства.

Суперечність полягає в тому, що підприємства нафтотранспортної галузі активно впроваджують нові технології моніторингу, а освітні установи значною мірою продовжують готувати фахівців за застарілими підходами. Це створює розрив між реальними виробничими потребами та наявними компетентностями працівників експертних організацій.

2. Потреба в інтеграції міждисциплінарних знань. Особливість професійної діяльності інженерів-діагностів полягає в необхідності поєднання знань із різних галузей техніки й науки. Для якісного виконання діагностичних процедур недостатньо мати навички роботи лише з приладами — потрібне

комплексне розуміння фізичних процесів, які відбуваються в обладнанні під час експлуатації. Саме тому інтеграція міждисциплінарних знань є критично важливою для підготовки фахівців.

Проте аналіз існуючої системи навчання свідчить, що міждисциплінарність переважно декларується, але не реалізується. Навчальні програми містять окремі елементи з матеріалознавства, гідравліки, механіки, електротехніки, промислової безпеки, проте вони подаються розрізнено, без належного логічного зв'язку та без прив'язки до реальних діагностичних задач. У результаті здобувачі освіти отримують фрагментарні знання, які важко застосувати у складних виробничих ситуаціях.

2.1. Недостатня інтеграція матеріалознавства та механіки руйнування. Визначення залишкового ресурсу обладнання неможливе без розуміння механізмів деградації металів, процесів корозії, втомного руйнування, утворення мікротріщин, зміни структури матеріалу під впливом температури, тиску та циклічних навантажень. Проте ці теми часто вивчаються поверхово, а практичні приклади з реальних відмов обладнання майже не аналізуються.

2.2. Відсутність зв'язку між гідравлікою та діагностикою насосних систем. Гідравлічні процеси визначають режими роботи насосних агрегатів, умови виникнення вібрацій, кавітації, гідравлічних ударів, що є основними причинами відмов обладнання. Однак у програмах підготовки діагностів гідравліка вивчається як загальний курс, без прив'язки до насосно-технологічного обладнання НПС.

2.3. Недостатнє вивчення неруйнівного контролю та цифрових технологій. Методи неруйнівного контролю потребують глибоких технічних знань і практичного досвіду. Проте в більшості навчальних програм цьому приділяється недостатньо часу, а практика обмежується демонстрацією методів без реальної роботи з дефектами. Ще більшою проблемою є слабке використання цифрових інструментів: спеціалісти часто не володіють програмами для спектрального аналізу, моделювання напружено-

деформованого стану, прогнозування ресурсу та аналізу експлуатаційних даних.

Таким чином, існує суперечність між складністю сучасної діагностики і недостатнім рівнем міждисциплінарної інтеграції в освітньому процесі.

3. Недостатній рівень практичної підготовки та відсутність системної роботи з реальними дефектами. Практична підготовка є ключовим компонентом формування професійної компетентності діагноста. Проте сьогодні саме цей елемент навчання характеризується найбільшою кількістю проблем.

3.1. Обмежений доступ до сучасного обладнання. Багато навчальних закладів та навіть деякі експертні підрозділи не мають достатнього набору сучасних діагностичних приладів: вібродатчиків, лазерних тахометрів, тепловізорів з високою роздільною здатністю, приладів акустичної емісії, цифрових дефектоскопів. Унаслідок цього підготовка відбувається на базі застарілих інструментів, які не відповідають реальним потребам виробництва. Випускник, не маючи практичних навичок роботи з новими пристроями, не може забезпечити очікувану точність діагностичних висновків.

3.2. Недостатня кількість лабораторних тренувань із реальними зразками дефектів. Ключовим елементом професійного розвитку діагноста є досвід аналізу реальних дефектів, зразків зруйнованих вузлів, фрагментів трубопроводів, зношених підшипників, валів, крильчаток тощо. Проте в більшості програм практична частина обмежується переглядом фото- та відеоматеріалів або виконанням лабораторних робіт на ідеалізованих стендах, де дефекти моделюються лише умовно. Фахівці не мають можливості вивчити повний життєвий цикл відмови, побачити структуру тріщин, характер зношування, наслідки кавітації чи гідроударів.

Це призводить до того, що спеціаліст слабо орієнтується в складних діагностичних ситуаціях та не здатен своєчасно ідентифікувати критичні дефекти.

3.3. Відсутність системної взаємодії з виробничими підприємствами. У багатьох випадках навчальні заклади або тренінгові центри експертних організацій не мають сталих партнерських відносин з нафтотранспортними підприємствами, ДП «Укртранснафта» чи подібними структурами. Через це доступ слухачів до реальних виробничих об'єктів є вкрай обмеженим. Практика на діючих НПС, де можна побачити роботу насосних агрегатів, стан арматури, вплив експлуатаційних навантажень, є рідкістю.

Наявна суперечність: від фахівця вимагають здатності приймати відповідальні експертні рішення, але навчальна система не дає можливості отримати достатній практичний досвід.

3.4. Нерозвинена культура аналізу експлуатаційних кейсів. У міжнародній практиці важливою частиною професійної підготовки діагностів є розбір реальних випадків аварій, відмов, неправильно прийнятих рішень, а також аналіз причинно-наслідкових зв'язків. В Україні така практика не є системною: інформація про аварії часто є закритою, а доступ до технічних звітів обмежений. Унаслідок цього у навчальних програмах майже відсутні кейс-стаді, які дають змогу формувати критичне мислення та навички експертного аналізу.

4. Інші суперечності та системні обмеження. Окрім основних проблем, існує ряд додаткових чинників, які також впливають на якість професійної підготовки діагностів:

- суперечність між високою відповідальністю експерта та відсутністю уніфікованих стандартів його підготовки. У різних навчальних закладах підготовка здійснюється нерівномірно, програми побудовані за різними структурними принципами;

- недостатня кількість викладачів та тренерів, які володіють практичним досвідом технічної діагностики. Часто викладачі мають теоретичну підготовку, але не працювали безпосередньо на виробництві;

– швидкий розвиток цифрових технологій, який не встигає за темпами оновлення навчальних курсів. Навіть добре структурована програма швидко застаріває без системної модернізації;

Сучасна система професійної підготовки фахівців експертних організацій, які здійснюють діагностику обладнання нафтоперекачувальних станцій, містить низку глибоких суперечностей. Застарілість навчальних програм, недостатня інтеграція міждисциплінарних знань, слабка практична підготовка та обмежений доступ до сучасних методів діагностики створюють значні ризики для якості експертних рішень. Ці проблеми актуалізують потребу у системній модернізації освітнього процесу, впровадженні сучасних технологій, розробленні дидактичних моделей підготовки та активній взаємодії з виробничими підприємствами.

1.3. Необхідність удосконалення професійної підготовки фахівців експертних організацій

Сучасна діяльність експертних організацій, що здійснюють технічну діагностику основного обладнання нафтоперекачувальних станцій, характеризується підвищеною відповідальністю, високою складністю та необхідністю швидкого реагування на технологічні виклики. Умови функціонування нафтотранспортної галузі змінюються настільки динамічно, що традиційні підходи до професійної підготовки фахівців уже не забезпечують того рівня компетентності, який є необхідним для обґрунтованого продовження міжремонтного періоду роботи насосних агрегатів, систем керування, трубопровідної арматури та допоміжного обладнання. Сучасні технологічні процеси, впровадження нових матеріалів, поява складних цифрових систем моніторингу та автоматизації істотно змінюють вимоги до професії діагноста. Саме тому актуалізується потреба в глибокому переформатуванні системи підготовки фахівців експертних організацій, яка має бути адаптована до сучасного рівня розвитку

промислового обладнання і до змінених параметрів ризиків, властивих нафтотранспортним системам.

Необхідність оновлення методик навчання обумовлена тим, що більшість чинних програм зосереджена на відтворенні традиційних методів контролю та на передачі базових теоретичних знань, які хоч і залишаються важливими, однак не відображають повною мірою складності сучасних діагностичних процесів. Технічні засоби моніторингу експлуатаційних параметрів насосних агрегатів, датчики вібрації, термографічні модулі, системи аналізу мастильних матеріалів, алгоритми розпізнавання дефектів та інші інструменти, що використовуються на підприємствах, постійно вдосконалюються. Проте освітні програми часто не встигають за темпами цього розвитку. Відрив змісту навчання від реальних виробничих умов призводить до виникнення ситуації, коли інженер-експерт володіє формальними знаннями, але не має достатнього практичного досвіду для інтерпретації складних технічних сигналів, розуміння причинно-наслідкових зв'язків між експлуатаційними режимами та характером руйнування обладнання. У цьому контексті оновлення методик навчання є необхідною умовою забезпечення достовірності діагностичних висновків, особливо коли йдеться про питання продовження міжремонтного періоду, що безпосередньо пов'язано з безпекою технологічного процесу.

Сучасна методика підготовки діагностів не може ґрунтуватися виключно на лекційному викладі та ознайомленні з нормативними документами. Вона має базуватися на комплексному підході, який передбачає використання інтерактивних технологій, моделювання складних виробничих ситуацій, роботу з реальними дефектами та практичними кейсами. Удосконалення підготовки передбачає застосування тренінгових модулів, що відтворюють діагностичні процеси в умовах максимально наближених до виробничих; проведення лабораторних робіт із використанням сучасних приладів; створення навчальних полігонів, на яких фахівці можуть тренуватися на зразках зношеного або дефектного обладнання, імітуючи

реальні технічні відмови. Тільки така практикоорієнтована підготовка забезпечує формування здатності не лише виконувати діагностичні вимірювання, але й робити комплексні висновки, що враховують особливості матеріалів, умови навантажень, нестандартні режими роботи та впливи зовнішніх факторів.

Практикоорієнтована підготовка має особливе значення в контексті оцінювання залишкового ресурсу обладнання, оскільки ця процедура неможлива без глибокого розуміння механізмів деградації вузлів насосних агрегатів, явищ втомного руйнування, корозійних процесів, кавітаційних пошкоджень та інших форм дефектності, які виникають упродовж експлуатації. У звичайних навчальних програмах ці питання висвітлюються теоретично, але не супроводжуються аналізом реальних зразків пошкоджень. Відсутність такого досвіду унеможливорює формування у майбутнього експерта інженерної інтуїції — тієї сукупності практичних навичок, що дозволяє швидко ідентифікувати початкові ознаки дефектів та адекватно оцінювати ризики, пов'язані з подальшою експлуатацією обладнання. Саме тому необхідність удосконалення практичної складової підготовки не лише актуальна, а й критично важлива для підвищення ефективності експертної діяльності.

Окремої уваги потребує формування цифрової, аналітичної та ризикорієнтованої компетентності. Сучасні системи діагностики дедалі частіше працюють у режимі онлайн, збираючи великі масиви експлуатаційних даних, які потребують відповідної обробки, структурування та інтерпретації. Інженер-діагност повинен уміти працювати з цифровими платформами, аналізувати тренди зміни параметрів, виявляти закономірності, використовувати програмні комплекси для спектрального аналізу, прогнозування залишкового ресурсу та моделювання напружено-деформованого стану елементів обладнання. Ці навички вимагають володіння базовими принципами аналізу даних, методами цифрової фільтрації, статистичного моделювання та оцінювання ризиків. Проте в більшості

традиційних освітніх програм такі компоненти майже не розглядаються, що призводить до того, що фахівці не можуть ефективно використовувати цифрові інструменти, які є основою сучасних діагностичних систем.

Ризик-орієнтована компетентність також стає одним із ключових елементів діяльності сучасного експерта. В умовах підвищених вимог до безпеки нафтотранспортних систем інженер повинен уміти не лише фіксувати технічні дефекти, але й оцінювати наслідки їх можливого розвитку, визначати критичність стану обладнання та пропонувати комплексні заходи щодо забезпечення безпечної експлуатації. Це вимагає інтеграції технічних знань зі знаннями у сфері промислової безпеки, ризик-менеджменту, нормативно-технічного регулювання та операційного аналізу. Сучасна система підготовки поки що не враховує необхідності формування таких компетентностей у повному обсязі, що знижує здатність експертів приймати обґрунтовані стратегічні рішення.

З урахуванням зазначених тенденцій очевидним є те, що потреба в удосконаленні професійної підготовки фахівців експертних організацій має системний характер і охоплює як зміст навчальних програм, так і методи їх реалізації. Оновлена система підготовки повинна забезпечувати безперервний розвиток компетентностей, постійну адаптацію до змін технологічних вимог, активне впровадження цифрових інструментів та використання сучасних ризик-орієнтованих методів оцінювання технічного стану обладнання. Вона повинна опиратися на принципи безперервного навчання, оскільки технічна діагностика є сферою, де знання швидко застарівають і вимагають постійного оновлення.

Удосконалення професійної підготовки має передбачати також створення умов для тісної співпраці між освітніми установами, експертними організаціями та підприємствами нафтотранспортної галузі. Така взаємодія дасть змогу забезпечити доступ до реального обладнання, отримувати актуальні дані про відмови, аналізувати типові дефекти, проводити стажування на виробничих майданчиках та залучати практиків до викладання

спеціальних дисциплін. У результаті зросте не лише якість підготовки, але й рівень відповідальності майбутніх експертів, які повинні приймати рішення щодо безпечності та довговічності технологічного обладнання.

Таким чином, необхідність удосконалення професійної підготовки фахівців експертних організацій є об'єктивною умовою розвитку системи технічної діагностики нафтоперекачувальних станцій. Ефективна підготовка має базуватися на оновлених методиках навчання, активному використанні практикоорієнтованих форм роботи, формуванні цифрових, аналітичних та ризик-орієнтованих компетентностей. Лише за таких умов інженерно-технічний персонал буде здатний забезпечувати високий рівень достовірності діагностичних процедур, приймати обґрунтовані експертні рішення та сприяти безпечній і надійній експлуатації обладнання, що є стратегічно важливим для нафтотранспортної галузі.

1.4. Зарубіжний та вітчизняний досвід підготовки фахівців у сфері діагностики технологічного обладнання

Підготовка спеціалістів, що здійснюють діагностику технологічного обладнання на промислових об'єктах, зокрема на нафтоперекачувальних станціях, є складною та багатовимірною сферою професійної освіти, у якій поєднуються інженерно-технічні, аналітичні, організаційні та регуляторні компетентності. У світовій практиці поступово сформувалися різні моделі підготовки таких фахівців, що відображають особливості національних систем освіти, ступінь розвитку промислових технологій, характер регуляторного контролю, а також рівень цифровізації виробничих процесів. Порівняльний аналіз зарубіжного та вітчизняного досвіду дозволяє визначити сильні й слабкі сторони кожної моделі та сформулювати підґрунтя для удосконалення системи професійної підготовки українських фахівців експертних організацій, що проводять технічну діагностику обладнання нафтотранспортної інфраструктури.

У країнах Європейського Союзу, зокрема Німеччині, Норвегії, Нідерландах чи Польщі, підготовка діагностів промислового обладнання спирається на чітко регламентовані національні стандарти, які визначають вимоги до кваліфікації персоналу, рівні сертифікації, допуск до виконання експертних робіт та критерії періодичної переатестації. Значна увага приділяється не лише теоретичним знанням, але й безперервному професійному розвитку та практичній роботі з обладнанням, яке моделює реальні робочі умови. Важливим елементом підготовки є система навчання за міжнародними стандартами ISO 9712, EN 473, API та ASNT, що встановлюють чіткі вимоги до методів неруйнівного контролю, компетентності операторів та процедур оцінювання технічного стану технологічного обладнання. Такі стандартизовані підходи забезпечують високий рівень уніфікації знань та навичок, дають змогу ефективно працювати на об'єктах із підвищеною небезпекою та приймати обґрунтовані рішення щодо продовження строків експлуатації обладнання критичної інфраструктури.

У США та Канаді система підготовки спеціалістів з діагностики характеризується потужною інтеграцією інженерної освіти з виробничим досвідом. Провідні компанії нафтогазового сектору, такі як Chevron, ExxonMobil, Suncor, активно взаємодіють із навчальними інститутами та сертифікаційними центрами, спільно формуючи навчальні програми, адаптовані до сучасних технологічних викликів. Практика використання симуляторів, систем віртуальної та доповненої реальності, цифрових тренажерів із моделювання вібрацій, дефектів насосного й трубопровідного обладнання є одним із ключових напрямів розвитку інженерної освіти. Завдяки цьому майбутні експерти мають можливість опрацювати широкий спектр сценаріїв відмов ще до виходу на реальний об'єкт, що значно підвищує їхню професійну готовність.

Окремої уваги заслуговує японська модель підготовки діагностів технологічного обладнання. У цій країні діє комплексний підхід, заснований на філософії постійного вдосконалення Kaizen та жорстких стандартах

інженерної безпеки. Значний акцент робиться на вивченні механізмів деградації матеріалів, корозійних процесів, поведінки обладнання під впливом циклічних навантажень та зміни середовища транспортування. Японські навчальні центри широко застосовують комбіновані методи технічної діагностики, поєднуючи ультразвуковий, акустичний, тепловізійний контроль із цифровими платформами аналізу даних та прогнозування залишкового ресурсу. Такий підхід забезпечує глибоку міждисциплінарну підготовку та формує у фахівців здатність системно мислити, аналізувати ризики та пропонувати оптимальні заходи для підвищення надійності технологічного обладнання.

Водночас країни Скандинавії, зокрема Норвегія та Швеція, роблять акцент на ризик-орієнтованому підході. Тут стандарти технічної діагностики тісно пов'язані із системами управління ризиками, що інтегрують дані з неруйнівного контролю, моніторингу стану обладнання в реальному часі, прогнозування аварійності та моделювання сценаріїв відмов. Підготовка фахівців включає вивчення цифрових систем підтримки рішень, аналітичних платформ, що працюють на основі алгоритмів машинного навчання, а також освоєння методів оцінювання технічного стану, які застосовуються в умовах північного клімату та підвищених експлуатаційних навантажень. Ці практики демонструють, що сучасна система підготовки діагностів повинна поєднувати технічні знання з аналітикою, цифровими компетентностями та здатністю працювати з великими масивами технічних даних.

У країнах Центральної та Східної Європи спостерігається поступове наближення національних стандартів підготовки фахівців у сфері діагностики до вимог ЄС. Польські, Чехські та Угорські технічні університети активно впроваджують курси з цифрової діагностики, дефектології, прогнозування ресурсу обладнання, використання інтелектуальних систем моніторингу. Важливим аспектом є співпраця з виробниками діагностичних приладів, такими як Bosch, Prüftechnik, SKF, які надають доступ до сучасного обладнання й розробляють спеціалізовані тренінгові програми. Таким чином,

підготовка експертів у цих країнах характеризується поєднанням теоретичних знань, практичної роботи з сучасними інструментами та вивченням нормативно-технічної документації, гармонізованої із європейськими стандартами.

Вітчизняний досвід підготовки фахівців діагностичного профілю має свої сильні сторони, серед яких глибока інженерна база, високий рівень підготовки спеціалістів у галузях машинобудування, матеріалознавства, технічної механіки та енергетики. Українські навчальні заклади традиційно забезпечують ґрунтовну теоретичну підготовку, що охоплює фундаментальні дисципліни, необхідні для розуміння фізичних процесів, які відбуваються в технологічному обладнанні. Разом із тим система підвищення кваліфікації фахівців експертних організацій ще перебуває у процесі трансформації, оскільки значна частина чинних програм орієнтована переважно на засвоєння нормативно-технічної документації, а практичні модулі часто обмежені через недостатній доступ до сучасних діагностичних систем та тренажерів.

Аналізуючи українську практику, слід зазначити, що вітчизняні експертні організації та навчальні центри активно прагнуть інтегрувати сучасні технології в освітній процес. Зростає попит на курси з вібраційної діагностики, тепловізійного аналізу, неруйнівного контролю, цифрового моделювання Defect Simulation та технічної експертизи обладнання підвищеної небезпеки. Однак темп оновлення програм суттєво відстає від динаміки технологічних змін у промисловості. Це створює певний розрив між рівнем компетентності фахівців, яких готує система освіти, та вимогами сучасних нафтотранспортних підприємств.

У контексті порівняння зарубіжного та вітчизняного досвіду можна визначити декілька важливих тенденцій. По-перше, у провідних країнах світу підготовка діагностів має чітку орієнтацію на практичні навички та систематичне оновлення знань під впливом технологічних інновацій. У той час як в Україні значна частина підготовки базується на традиційних підходах, що не повною мірою враховують сучасні методи моніторингу та цифрової

діагностики. По-друге, закордонні навчальні програми формуються у тісній співпраці з виробництвом, що забезпечує їхню актуальність та відповідність реальним потребам галузі. Українські програми також розвиваються у цьому напрямі, але такі механізми взаємодії ще не є сталою практикою. По-третє, за кордоном широко використовуються симуляційні технології, віртуальні лабораторії та цифрові платформи, що дозволяють моделювати дефекти, аварійні сценарії, роботу насосних агрегатів і трубопровідної арматури в різних режимах. В Україні ці інструменти лише починають впроваджуватися.

Важливою складовою аналізу є можливість адаптації найкращих закордонних практик для українських реалій. Пріоритетними напрямками можуть стати: впровадження стандартизованих рівнів сертифікації за міжнародними нормами; модернізація навчальних лабораторій із використанням сучасних діагностичних систем; широке застосування цифрових тренажерів, платформ моделювання дефектів та інтелектуальних систем аналізу технічного стану обладнання; розроблення спільних програм між підприємствами нафтотранспортної інфраструктури та навчальними центрами. Така інтеграція дозволить створити сучасну, гнучку та ефективну модель професійної підготовки, здатну відповідати викликам, які стоять перед експертними організаціями у сфері продовження міжремонтних періодів технологічного обладнання.

Загалом, аналіз зарубіжного та українського досвіду переконує, що ефективна підготовка фахівців у сфері технічної діагностики повинна базуватися на поєднанні сучасних технологій, міждисциплінарних знань, практикоорієнтованих методів навчання та чіткої регуляторної бази. Адаптація зарубіжних практик є перспективним шляхом модернізації національної системи професійної підготовки експертів, що працюють із обладнанням підвищеної небезпеки, і може суттєво підвищити якість технічної діагностики та безпечність експлуатації нафтоперекачувальних станцій.

Висновки до розділу 1

Аналіз актуальності професійної підготовки фахівців експертних організацій засвідчує, що якісна технічна діагностика обладнання нафтоперекачувальних станцій сьогодні є ключовою умовою забезпечення надійності, безпеки та ефективності роботи нафтотранспортної інфраструктури. Зростання навантаження на технологічні системи, старіння основних фондів, поява нових матеріалів і конструкцій, а також посилення вимог промислової безпеки значно підвищують роль компетентного інженерно-технічного персоналу, здатного своєчасно виявляти дефекти й приймати обґрунтовані рішення щодо можливості продовження міжремонтного періоду.

Установлено, що сучасні технологічні, нормативні та організаційні виклики формують новий формат професійної діяльності експертів. Вони потребують розширення спектра компетентностей — від глибоких знань конструктивних особливостей насосних агрегатів та трубопровідної арматури до володіння цифровими інструментами моніторингу, аналізу даних та прогнозування технічного стану. У зв'язку з цим традиційні форми підготовки виявляються недостатніми та потребують системного оновлення.

У ході дослідження встановлено низку суперечностей: невідповідність навчальних програм сучасним технологічним викликам, недостатній рівень практичної підготовки та фрагментарність міждисциплінарних знань. Ці фактори ускладнюють формування в експертів здатності працювати з комплексними інженерними системами та оперативно оцінювати ризики їх подальшої експлуатації.

Порівняння вітчизняного і зарубіжного досвіду показало, що країни з високим рівнем промислової безпеки надають пріоритет практикоорієнтованим формам навчання, стандартизованим системам сертифікації та широкому використанню цифрових платформ і симуляторів.

Для українських експертних організацій адаптація цих підходів може стати стратегічним напрямом оновлення професійної підготовки.

Таким чином, дослідження підтверджує об'єктивну та зростаючу актуальність розроблення сучасної, інтегрованої та технологічно орієнтованої системи підготовки фахівців експертних організацій. Саме така система здатна забезпечити високу якість діагностики основного обладнання нафтоперекачувальних станцій, підвищити рівень промислової безпеки та обґрунтувати прийняття рішень щодо продовження міжремонтного періоду в умовах сучасних експлуатаційних викликів.

РОЗДІЛ 2

АНАЛІЗ ТА ДІАГНОСТИКА ОСНОВНОГО ОБЛАДНАННЯ НАФТОПЕРЕКАЧУВАЛЬНОЇ СТАНЦІЇ З МЕТОЮ ПРОДОВЖЕННЯ МІЖРЕМОНТНОГО ПЕРІОДУ

Паливно-енергетичний комплекс є основою для формування всіх галузей економіки, вагомим складовим елементом є система магістрального трубопроводу для транспортування газу та нафти для подальшої переробки. Даний вид транспортування нафтопродуктів виходить на перше місце через географічне розташування родовищ. Саме цей вид транспорту дозволяє здійснювати транспортування нафтопродукту з гарантією безперервного та рівномірного постачання значної кількості нафти та газу з найменшими економічними витратами, на постачання не впливають ні погодні умови, ні свята, ні людський фактор.

Головними елементами магістральних нафтопроводів є насосні станції та компресорні станції, найважливішою функцією яких є доставка нафти та газу шляхом підтримки тиску транспортованого середовища в перерізі магістрального трубопроводу. Особливу увагу потрібно приділити відцентровим насосам, адже завдяки їх роботі здійснюється передача енергії середовищу, що транспортується.

Для оцінки технічного стану відцентрових насосів необхідно виконувати періодичний віброконтроль параметрів роботи насоса, оскільки поява підвищеної вібрації в процесі експлуатації може спричинити відмову обладнання. Безпечна експлуатація обладнання дозволяє гарантувати своєчасне виявлення дефектів при оцінці технічного стану. Таким чином, контроль (оцінка) технічного стану обладнання для успішного та тривалого його експлуатування є дуже актуальним питанням.

2.1 Нафтоперекачувальні станції магістральних трубопроводів

2.1.1 Основні відомості про магістральні трубопроводи

До магістральних трубопроводів відносять трубопроводи діаметром понад 200 мм та довжиною понад 50 км. Магістральні трубопроводи мають у своєму складі: лінійну частину, нафтоперекачувальні станції (НПС), кінцеві пункти.

Магістральний трубопровід входить до складу одного або кількох лінійних виробничих управлінь (ЛВУ) або районних управлінь магістральних трубопроводів (РУМНП, РУМНВП). Кордоном експлуатаційних ділянок між лінійними та районними управліннями служать засувки. ЛВУ (РУМНП, РУМНВП) як госпрозрахунковий виробничий підрозділ входить до складу підприємства - управління магістральних трубопроводів (РУМНП, УМНВП).

ЛВУ (РУМНП, РУМНПП) здійснюють безпосереднє управління експлуатацією одного або декількох трубопроводів (або їх ділянок) з комплексом усіх станційних споруд. Проект магістрального трубопроводу виконують відповідно до вимог, передбачених нормативними документами.

При проектуванні магістрального трубопроводу необхідно забезпечити більшу його економічність порівняно з іншими видами транспорту, а також забезпечити надійність роботи трубопроводу та безперебійність подачі нафтою або нафтопродуктами. Основні робочі параметри, що визначають техніко-економічну характеристику проектованого трубопроводу, - робочий тиск p , відстань між станціями $L_{ст}$, що перекачують, пропускна здатність Q , діаметр трубопроводу D . Ці параметри задаються в завданні на проектування. Крім цих параметрів, в завданні вказують повні характеристики рідин, що перекачуються, і умови експлуатації трубопроводів (інформація з клімату, геології, гідрогеології і т.д.).

Розробляючи на стадії проектування основні робочі параметри трубопроводу, необхідно забезпечити несучу здатність матеріалу труб та максимальне завантаження трубопроводу та всіх НПС. Задаючи річний обсяг

перекачування, за розрахунковий час роботи трубопроводу приймають у середньому 350 діб на рік (8400 год), 15 діб залишають на профілактичний ремонт чи непередбачені зупинки трубопроводу.

За нормами технологічного проектування всі розрахунки під час проектування проводяться за мінімальної температури ґрунту на глибині закладення осі трубопроводу.

2.1.2 Класифікація нафтоперекачувальних станцій та характеристика основних об'єктів

НПС – це складний комплекс інженерних споруд, призначених задля забезпечення перекачування заданої кількості нафти чи нафтопродуктів. НПС магістральних трубопроводів поділяють на головні та проміжні.

Головна НПС розташовується поблизу нафтових збірних промислів (МНП) чи нафтопереробних заводів (МНПП) і призначається прийому нафти чи нафтопродуктів й у забезпечення їх подальшої перекачування трубопроводом. Всі об'єкти, що входять до складу станцій, що перекачують, можна розділити на дві групи:

- 1) об'єкти основного (технологічного) призначення;
- 2) об'єкти допоміжного та підсобно-господарського призначення.

До першої групи відносять: основну та підпірну насосні станції (насосні цехи); резервуарний парк; мережу технологічних трубопроводів з майданчиками фільтрів та камерами засувки або вузлами перемикання; вузли обліку; камеру пуску-приймання очисних пристроїв, суміщену з вузлами підключення до трубопроводу; вузли запобіжних та регулюючих пристроїв.

До другої групи відносять: знижувальну електростанцію з відкритим та закритим розподільчими пристроями – комплекс споруд з водопостачання станції та житлового селища при ній; комплекс споруд з водовідведення побутових та промислово-злизових стоків; котельню з тепловими мережами; інженерно-лабораторний корпус; пожежне депо; вузол зв'язку; механічні майстерні; майстерні контрольно-вимірювальних приладів (КВП) та

автоматики; гараж; адміністративно-господарський блок із прохідною; складські приміщення для обладнання та ПММ і т.д.

Головні НПС є найбільш відповідальною частиною всього комплексу магістрального трубопроводу та багато в чому визначають його роботу загалом. Там виконують такі основні технологічні операції: прийом та облік нафти чи нафтопродуктів, закачування їх у резервуарний парк для короткострокового зберігання, відкачування нафти чи нафтопродуктів у трубопровід; прийом, запуск очисних, розділових та діагностичних пристроїв. Крім того, виробляють внутрішньостанційні перекачування (перекачування з резервуару в резервуар, перекачування при зачистці резервуарів тощо). На головних станціях можна проводити підкачування нафти або нафтопродуктів з інших джерел надходження, наприклад, з інших трубопроводів.

Проміжні НПС призначені для підвищення тиску рідини, що перекачується в трубопроводі, і їх розміщують по трасі згідно гідравлічного розрахунку. Вони мають у своєму складі в основному ті ж об'єкти, що головні станції, що перекачують, але місткість їх резервуарів значно нижче, або вони відсутні (залежно від прийнятої схеми перекачування). Відсутні на проміжних НПС вузли обліку, підпірна насосна (за відсутності резервуарного парку).

Будівництво НПС магістральних трубопроводів відрізняється великою трудомісткістю, необхідністю виконувати різні за обсягом та характером будівельні, монтажні та спеціальні роботи у різних природнокліматичних зонах. Значний обсяг робіт вимагає залучення великих матеріальних витрат та трудових ресурсів. Залучення трудових ресурсів під час будівництва НПС в окремих районах утруднено через відсутність соціальної інфраструктури. У зв'язку з цим велике значення мають зниження капітальних, експлуатаційних витрат під час будівництва та експлуатації НПС, скорочення термінів їх будівництва.

Це досягається шляхом використання блочно-комплектних, блочно-модульних НПС та станцій відкритого типу. Основна відмінність цих НПС від НПС традиційного (стаціонарного) типу полягає у відсутності на території

капітальних будівель, споруджених із цегли, бетону, залізобетону. Все обладнання, технологічні комунікації, КВП та автоматика входять до складу функціональних блоків, скомпонованих у вигляді транспортабельних монтажних блоків, блок-боксів та блок-контейнерів.

Монтажні блоки – технологічне обладнання, зібране разом із трубопроводами, КВП та автоматикою на загальній рамі.

Блок-бокси – транспортабельні будинки, всередині яких розміщуються технологічні установки та інвентарне обладнання.

Блок-контейнери – технологічні установки з індивідуальними укриттями, усередині яких створюється мікроклімат, необхідний нормальній роботи устаткування.

2.1.3 Технологічна схема нафтоперекачувальних станцій

Принципова схема комунікацій, у якій передбачено проведення всіх необхідних виробничих операцій із перекачування, називається технологічною. Технологічна схема є безмасштабною схемою трубопровідних комунікацій (з обладнанням), за допомогою яких забезпечується весь комплекс операцій з прийому, відкачування та внутрішньостанційним перекачуванням нафти або нафтопродуктів.

Для складання технологічної схеми НПС необхідно мати дані щодо обсягу перекачування; одночасності проведення технологічних операцій, а також про перспективи розвитку станції. Для нафтопродуктопроводів необхідно додатково розбивати річний вантажообіг по окремих групах нафтопродуктів.

Головна вимога при розробці технологічних схем – їх простота, можливість виконання всіх технологічних операцій, що передбачаються проектом, при мінімальній кількості монтованої запірної та регулюючої арматури та сполучних деталей, а також забезпечення мінімальної протяжності технологічних трубопроводів. Довжина трубопроводів обумовлюється допустимими мінімальними розривами між об'єктами, що з'єднуються.

Найчастіше використовують принципові (повні) схеми та схеми з'єднань (монтажні).

На принципових схемах зображують усі гідравлічні елементи або пристрої, необхідні для здійснення технологічних процесів та контролю за ними, а також усі гідравлічні зв'язки між ними (рис.2.1).

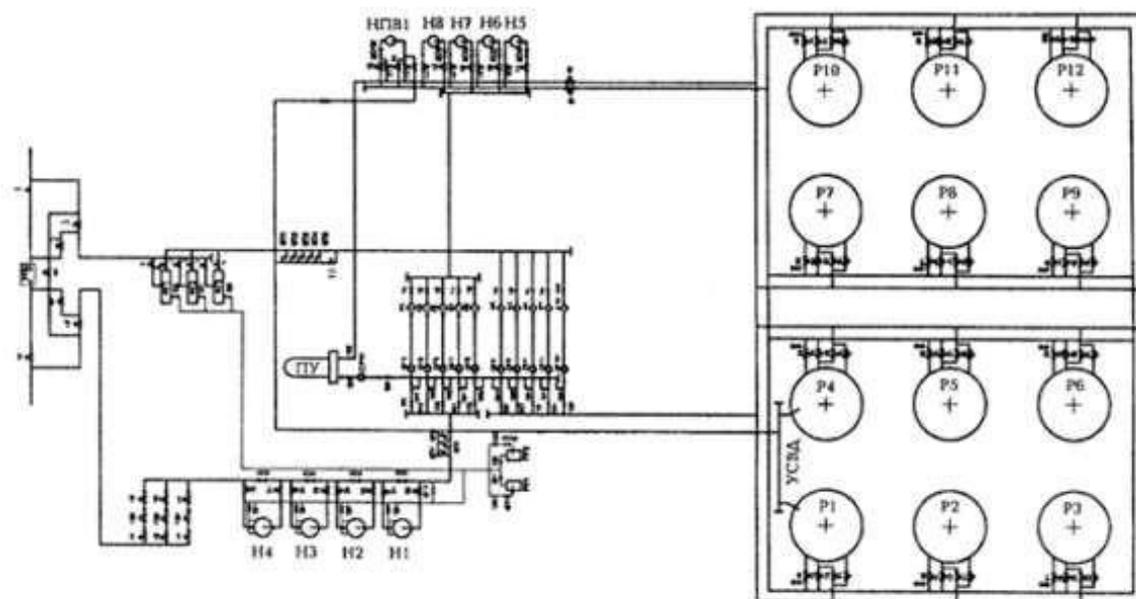


Рис. 2.1- Технологічна схема головної станції, що перекачує:

P1-P12 - резервуари РВС 20000; Н1–Н4 – відцентровий насос НМ 3600230 із електродвигуном СТДП 2500-2УХЛ4; Н5-Н8 - підпірний насос НПВ 1250-60 з електродвигуном ВАОВ 500М-4У1; НВП1 – відцентровий насос для внутрішньостанційних перекачування; КП1 – КП8 – клапан запобіжний; ЛР1 - ЛР11 - лічильник ротаційний; ФБ1-ФБ3 - фільтр-брудоловлювач; РВ1-РВ2 - резервуар для збору витоків; К31 – К310 – клапан зворотний; РТ1-РТ3 - регулятор тиску; Ф1-Ф10 - фільтр; 1-90 - засувки з електроприводом; 91-132 - засувки з ручним приводом; ПСХТ - пристрій скидання хвилі тиску; ВПС – влаштування пуску (прийому) скребка.

Залежно від схеми з'єднання насосів та резервуарів можна виділити такі системи перекачування нафти та нафтопродуктів: постанційну, з підключеним резервуаром, з насоса в насос через резервуар (рис. 2.2).

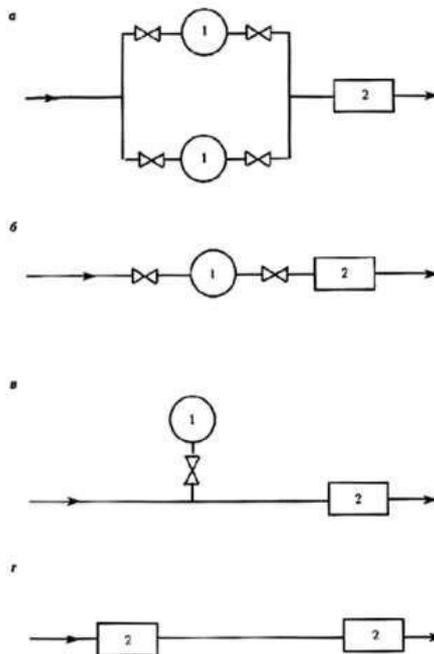


Рис. 2.2- Системи перекачування нафти та нафтопродуктів:

- 1 – резервуар; 2 – насосний цех; а - Постанційна; б – через резервуар;
в - з підключеним резервуаром; г - "з насоса в насос"

При постанційній системі перекачування нафту приймають по черзі до одного з резервуарів станції, для закачування ж у трубопровід у цей час використовують нафту з іншого резервуара. За цієї системи перекачування можливий порезервуарний облік кількості перекачаної нафти, але супроводжується значними втратами нафти від «великих дихань» резервуарів. Постанційна система перекачування й у головних НПС магістрального нафтопроводу та її експлуатаційних ділянок.

У системі перекачування з «підключеним резервуаром» передбачається, що основна кількість нафти проходить трубопроводом, минаючи резервуар. Оскільки коливання рівня нафти у ньому відбуваються у зв'язку з різницею витрат на попередньому і наступному перегонах між станціями, за цієї системи перекачування втрати нафти від «великих дихань»

нижче. При синхронній роботі ділянок рівень нафти у «підключеному резервуарі» залишається незмінним.

При системі перекачування з насоса в насос резервуари проміжних НПС відключають від трубопроводу і використовують тільки для прийому нафти з трубопроводу під час аварій або ремонту. Нафта проходить лише через магістральні насоси НПС. За рахунок цього зменшуються втрати нафти від випаровування та повністю використовується підпор попередньої станції. Дана система передбачає повну синхронізацію роботи перегонів нафтопроводу в межах експлуатаційної ділянки або навіть усього магістрального нафтопроводу. Перекачування системою «з насоса в насос» є найпоширенішою на існуючих нафтопроводах.

При перекачуванні «через резервуар» забезпечується «м'яке» перекачування (у резервуарах відбувається гасіння хвиль надлишкового тиску, що виникають при пусках та зупинках насосних агрегатів), але через постійний приплив та відбір нафти з резервуара відбувається більш інтенсивне випаровування легких фракцій.

Ця схема на даний час практично не використовується.

Обв'язка резервуарів може бути виконана у двох варіантах (рис. 2.3) – двопровідним та однопровідним. У першому варіанті (2.3 а) заповнення йде через один загальний для всіх резервуарів колектор, а спорожнення - через інший; у другому (2.3, б) – для кожного резервуара передбачається самостійний трубопровід, з'єднаний із загальним колектором (вузол перемикання засувки).

З'єднання відцентрових насосів на НПС у більшості випадків послідовне, що визначається основними характеристиками насосів. Обв'язування насосів призначене для забезпечення роботи НПС при виході в резерв будь-якого агрегату. Одна з основних умов розробки схеми обв'язування насосів – максимальне зменшення коефіцієнта резерву основного устаткування. На головних НПС передбачають встановлення підпірних насосів, що забезпечують безкавітаційну роботу основних насосів.

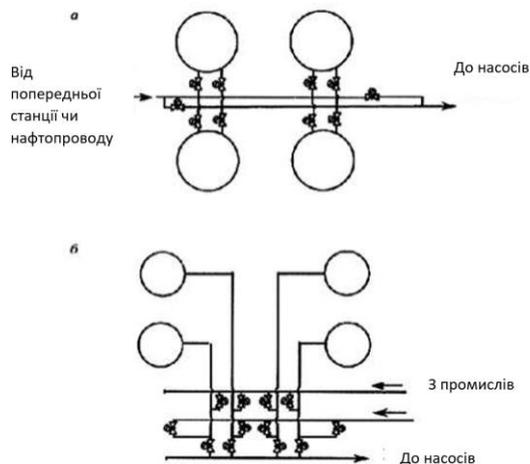


Рис. 2.3 - Обв'язування резервуарів: а – для головних та проміжних НПС; б – для головних НПС

Підпірні насоси, залежно від їх характеристик, можуть бути з'єднані як послідовно, так і паралельно. Обв'язка для послідовної роботи основних насосів показана рис. 2.4.

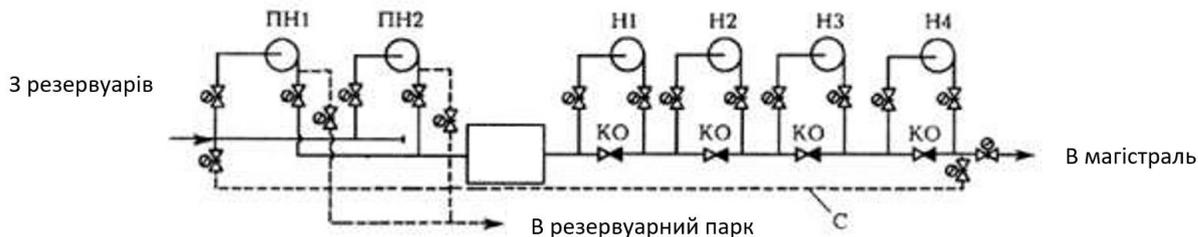


Рис. 2.4 - Обв'язування основних та підпірних насосів:

ПН1, ПН2 - підпірні насоси, з'єднані паралельно; Н1–Н4 – основні насоси; КЗ – клапан зворотний.

Зворотний клапан КЗ, що розділяє патрубки насоса, що всмоктує і напірний, пропускає рідину в одному напрямку, вказаному на рис. 2. З стрілкою. При працюючому насосі тиск, що діє на заслінку зворотного клапана праворуч, більший, ніж тиск, що діє зліва (тиск на вході в насос). Внаслідок цього заслінка клапана закривається і рідина, що перекачується, йде через насос. При непрацюючому насосі заслінка відповідного клапана відкривається

під тиском потоку рідини і пропускає рідину до наступного (працюючого) насоса. Наведена схема обв'язки дозволяє здійснювати зворотне перекачування нафти з магістралі в резервуарний парк за допомогою колектора С і підпірних насосних агрегатів.

2.1.4 Конструкція та компонування насосного цеху

Одна з основних вимог при компонуванні насосного цеху – забезпечення нормальної роботи основного та допоміжного обладнання при найменших розмірах цеху. Крім того, має бути забезпечене виконання ремонтних робіт без зупинки перекачування. Має бути створено нормальні санітарно-гігієнічні умови для обслуговуючого персоналу. Для спорудження цеху використовують вогнестійкі матеріали (цегла, бетон, залізобетон). Останнім часом споруджують насосні цехи каркасного типу із заповненням поля стін легкими панелями (панелі ВНІСТ). Розміри будівлі залежать від габаритних розмірів обладнання, а також від конструктивних особливостей основного та допоміжного обладнання, протипожежних та санітарно-гігієнічних норм.

При спорудженні насосних цехів застосовують залізобетонні фундаменти, що виконуються у вигляді одиночних стрічкових (суцільних) або пальових фундаментів. Палеві фундаменти використовують при спорудженні насосних на слабких або просадних ґрунтах. Глибина закладення підшви фундаменту повинна бути нижчою за глибину промерзання ґрунту, оскільки в іншому випадку можливе витріщення фундаменту. За конструкцією фундаменти під основні агрегати поділяють на масивні, тунельні, рамні, тунельно-масивні та стовпчасті. Фундамент під насос і електродвигун може бути загальним або їх можна встановлювати на окремих фундаментних рамах і не з'єднувати з фундаментом будівлі.

Основні приміщення насосного цеху: насосна зала, зала електродвигунів. Їх обладнають вантажопідйомними механізмами – мостовими кранами. Вантажопідйомність крана визначається максимальною

вагою встановленого обладнання. Для укладання шляхів мостових кранів використовують підкранові балки, які можуть бути виготовлені з металу, але найчастіше їх виготовляють із залізобетону. Залізобетонні балки, маючи велику масу, м'якше передають вплив крана іншим елементам каркасу. Конструкцію будівлі насосного цеху вибирають залежно від кліматичних умов та наявності будівельних матеріалів. На рис. 2.5 наведено компонування насосного цеху.

На загальному фундаменті змонтовано насоси та електродвигуни. Для зменшення габаритів насосного цеху та забезпечення безпечної роботи частину обладнання розміщують за межами насосного цеху (засувки, зворотні клапани, колектори).

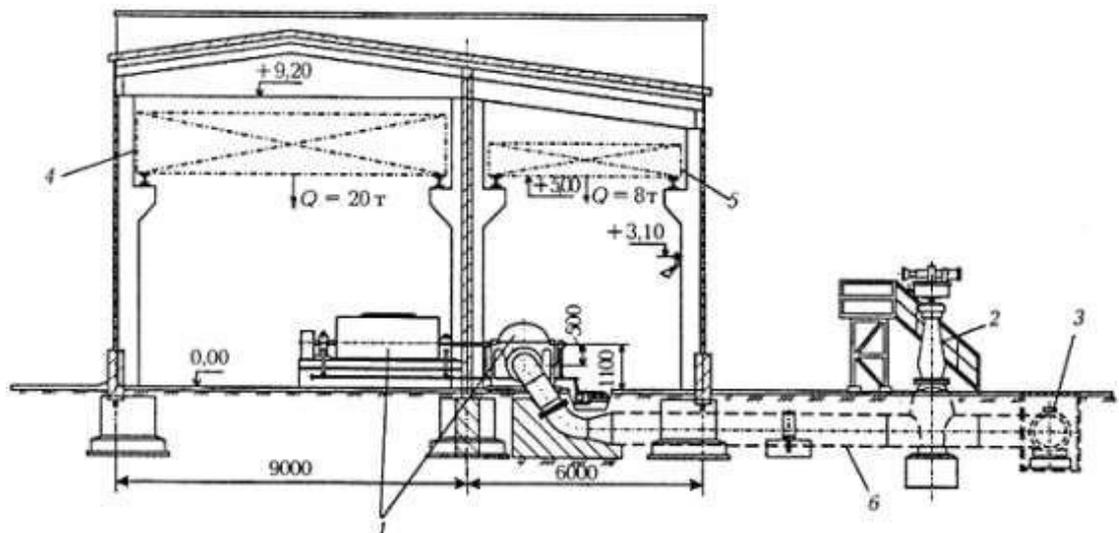


Рис. 2.5 - Насосний цех, обладнаний насосними агрегатами НМ3600-230:

1 – насос із електродвигуном; 2 – засувка з електроприводом; 3 – клапан зворотний; 4 – кран мостовий ручний двобалковий; 5 – кран ручний бруківка однобалочний; 6 – всмоктуючий трубопровід.

Несучу основу стіни складають залізобетонні колони заввишки 8÷12 м. Вони є вертикальною основою каркасу всієї будівлі. Поздовжній крок колон складає 6 м, поперечний - кратний 3. На спеціальних консольних виступах

колон розміщують залізобетонні балки підкранові, що зв'язують колони в плоску систему. На верхньому обрізі колон встановлюють двосхилі залізобетонні балки або ферми покриття, якими здійснюють просторову зв'язку каркаса. Стіни виконані з панелей, а вогнестійка перегородка – з цегли. При проектуванні каналів для об'язувальних та допоміжних трубопроводів застосовують каналну та безканалну системи укладання трубопроводів. Канальну систему застосовують для трубопроводів діаметром до 0,5 м, безканалну для трубопроводів великих діаметрів.

Магістральні насосні агрегати та електродвигуни з'єднують між собою без проміжного валу та встановлюють на загальних фундаментах із металевими опорними рамами. З'єднання здійснюють через спеціальний отвір в камері герметизує фрамуги розділової стінки. До цього отвору в камері, відповідно до вимог техніки безпеки, за спеціальною системою вентиляції подають чисте повітря для створення пружного пневмозахисту між залами насосів та електродвигунів, що перешкоджає проникненню нафтової пари з насосного залу в електрозал [1].

Тиск повітря в камері перед отвором має становити 25-30 мм водяного стовпа, витрата повітря на одну камеру - 20 м³/год.

Зазначені параметри в системі вентиляції безпромвальных з'єднань всіх насосних агрегатів необхідно підтримувати постійно, незалежно від того, чи ведеться перекачування цим насосом, чи він знаходиться в резерві. Якщо як привод насосів використовують вибухозахищені електродвигуни, то насосні агрегати встановлюють у загальному залі. Електропривод обирають за результатами техніко-економічного обґрунтування.

Центрівка насосних агрегатів при їх монтажі здійснюється звичайним шляхом, підцентрування в процесі експлуатації – переміщенням електродвигунів за допомогою спеціальних пристроїв та вантажопідійомних пристроїв.

Блок відкачування витоків, блок очищення та охолодження олії розміщують на спеціальних металевих рамах на відповідних відмітках. Таке

розміщення пов'язане насамперед із необхідністю технологічних процесів (самотечний злив олій від підшипників двигунів та насосів до баків маслосистеми, самопливний збір витоків) [2].

2.2. Насосні агрегати, що застосовуються на нафтоперекачувальних станціях магістральних трубопроводів

2.2.1 Основні відомості про насоси

Насосом називається гідравлічна машина, в якій енергія, що підводиться ззовні (механічна, електрична) перетворюється в енергію потоку рідини.

Насосним агрегатом називають насос, двигун і пристрій передачі потужності від двигуна до насоса, зібрані в єдиний вузол.

В основу класифікації за принципом дії покладено різницю між насосами в механізмі передачі енергії, що підводиться ззовні потоку рідини, що протікає через них. За принципом дії насоси можна умовно поділити на дві групи: динамічні та об'ємні.

У динамічних насосах рідина набуває енергії в результаті силового впливу на неї робочого органу в робочій камері. До цієї групи відносять такі насоси:

- лопатеві (відцентрові, діагональні і осьові), в яких постійний силовий вплив на рідину, що протікає через насос, надають обтічні нею лопаті обертового робочого колеса;
- вихрові, в яких постійна силова дія на рідину, що протікає через насос, надають вихори, що зриваються з канавок обертового робочого колеса;
- струменеві, в яких постійний силовий вплив на рідину, що протікає через насос рідина надає підводна ззовні струмись рідини, пари або газу, що володіє високою кінетичною енергією;

- вібраційні, в яких силовий вплив на рідину, що протікає через насос, надає клапан-поршень, що здійснює високочастотний зворотно-поступальний рух.

В об'ємних насосах рідина набуває енергію внаслідок впливу на неї робочого органу, який періодично змінює об'єм робочої камери.

До цієї групи відносять:

- поршневі та плунжерні, в яких періодична силова дія на рідину, що протікає через насос, надають поршень або плунжер (довжина його циліндричної частини набагато більша за його діаметр), що здійснюють зворотно-поступальний рух у робочій камері;

- роторні, в яких періодичний силовий вплив на рідину, що протікає через насос, надають поверхні шестерень або гвинтових канавок, розташованих на периферії ротора, що обертається.

До основних енергетичних параметрів будь-якого насоса відносять такі величини:

- подачу Q – об'єм рідини, що проходить через насос за одиницю часу

(л/с; м³/с; м³/год);

- напір H – збільшення питомої механічної енергії рідини, що протікає через насос (м);

$$H = \frac{p_2 - p_1}{\rho g} + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} + Z_1, \quad (2.1)$$

p_1, p_2 – тиск рідини у перерізах до та після насоса;

v_1, v_2 – швидкість рідини у тих самих перерізах;

ρ – щільність рідини;

Z – відстань по вертикалі між точками виміру p_1 та p_2 ;

g – прискорення вільного падіння;

• потужність N – споживана насосом потужність. Корисна потужність насоса – це потужність, що повідомляється насосом рідини, що перекачується:

$$N_{\Pi} = Q\rho gH, \quad (2.2)$$

де p — тиск, що розвивається насосом.

Корисна потужність насосного агрегату — це потужність, що передається робочому середовищу насосним агрегатом:

$$N_{\Pi} = N_a \eta_{\text{дв}} \eta_{\text{пер}}, \quad (2.3)$$

де

N_a - споживана потужність насосного агрегату (визначається шляхом вимірювання енергії, що підводиться від двигуна);

$\eta_{\text{дв}}, \eta_{\text{пер}}$ — коефіцієнти корисної дії двигуна приводу та передачі від двигуна до насоса.

Коефіцієнт корисної дії η є відношенням корисної потужності N_{Π} до споживаної потужності насоса і враховує втрати енергії в насосі:

$$\eta = \frac{N_{\Pi}}{N} = \frac{QH\rho g}{N}. \quad (2.4)$$

ККД насосного агрегату - це відношення корисної потужності насоса до потужності насосного агрегату:

$$\eta_a = \frac{N}{N_a}. \quad (2.5)$$

Кавітаційний запас насоса Δh характеризує кавітаційні властивості насоса і виражає перевищення питомої енергії на вході в насос над питомою енергією, що відповідає тиску насичених парів рідини при температурі перекачування:

$$\Delta h = \frac{p_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} - \frac{p_s}{\rho g}, \quad (2.6)$$

де

p_s - тиск насичених парів рідини.

Відстань по вертикалі від рівня рідини в ємності до осі горизонтальних насосів, повороту лопатей вертикальних осьових насосів, осі напірного патрубку вертикальних відцентрових насосів, верхнього положення поршня вертикальних поршневих насосів називають геометричною висотою всмоктування h_B .

Коефіцієнт швидкохідності насоса (або питома швидкохідність) – це частота обертання моделі ротора, геометрично подібної до насоса, яка створює напір, рівний 1 м при подачі 0,075 м³/с.

Завдяки високій економічності, надійності, зручності експлуатації, малим габаритним розмірам лопатеві насоси знайшли широке застосування в різних галузях промисловості, в т.ч. та у нафтовій. Класифікують їх за різними ознаками: характер руху рідини в проточній частині насоса, конструкції, призначенню і т.д.

Лопатеві насоси поділяють:

- за формою робочого колеса – на відцентрові, діагональні та осьові;
- за розташуванням валу насоса – на горизонтальні та похилі;
- за кількістю робочих коліс – на одноступінчасті та багатоступінчасті;
 - по натиску – на низьконапірні ($H < 20$ м), середньонапірні ($H = 20 \div 60$ м) та високонапірні ($H > 60$ м);

- за родом рідини, що перекачується, і призначенням.

У нафтовій промисловості, зокрема, та у транспорті нафти та нафтопродуктів, найбільш поширені насоси відцентрові, одноступінчасті з двостороннім входом рідини до робочого колеса.

2.2.2 Принцип роботи відцентрових насосів

У відцентрових насосах (рис. 2.6) рідина рухається в осьовому напрямку від патрубку, що всмоктує, до центральної частини робочого колеса. У робочому колесі потік рідини повертається на 90° і симетрично щодо осі обертання розтікається по каналах колеса, що обертається 1, утвореним стінками переднього і заднього дисків 5 і робочими лопатями 2. Робочі лопаті передають рідині енергію приводу насоса. Статичний тиск у ній та її швидкість зростають. З робочого колеса потік 1 рідини виходить під деяким кутом до дотичної його зовнішнього діаметра. Далі по спіральному відводу 3 рідина надходить у конічний дифузор 4, де її кінетична енергія перетворюється на потенційну.

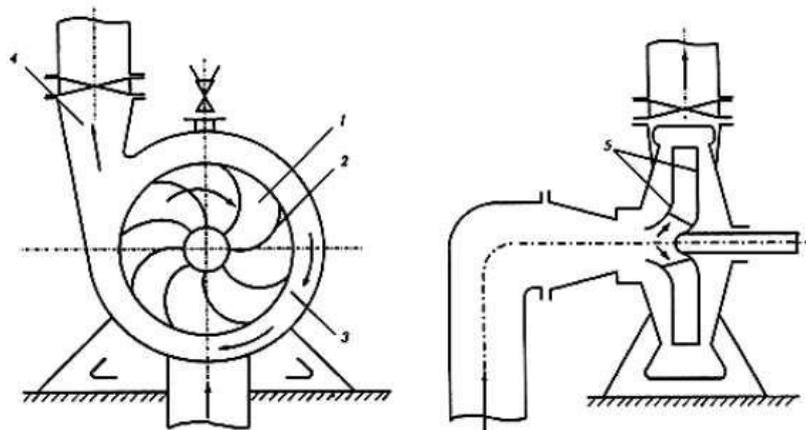


Рис. 2.6 - Принцип роботи відцентрового насоса (схема відцентрового насоса)

2.2.3 Основні та підпірні відцентрові насоси для магістральних трубопроводів

Загальні технічні умови насоси для трубопроводів регламентуються низкою державних стандартів (ДСТУ) та правил, зокрема ДСТУ EN 809

(безпека насосів), ДСТУ EN 12845 (насосні станції пожежогасіння) та галузевими нормами. Насоси нафтові відцентрові для магістральних трубопроводів. У ньому визначено параметри, розміри та технічні вимоги до основних та підірних насосів. До основних насосів відносять 13 типів насосів, з урахуванням змінних роторів – 27.

Проектування насосів на максимально можливу частоту обертання (3000 об/хв) для електродвигунів, що працюють на струмі частотою 50 Гц, обумовлено тим, що при подальшому збільшенні частоти обертання валу зростає швидкість входу рідини в насос, що призводить до виникнення кавітації.

Технічні вимоги до насосів магістральних трубопроводів регламентовані Державними стандартами, відповідно до яких насоси можна використовувати для перекачування нафти та нафтопродуктів з температурою $-5 \div 80$ °С, кінематичною в'язкістю не вище $3 \cdot 10^{-4}$ м²/с, із вмістом механічних домішок не більше 0,0 мм. Загальний вигляд насосних агрегатів різної продуктивності показаний на рис. 2.7 та 2.8.

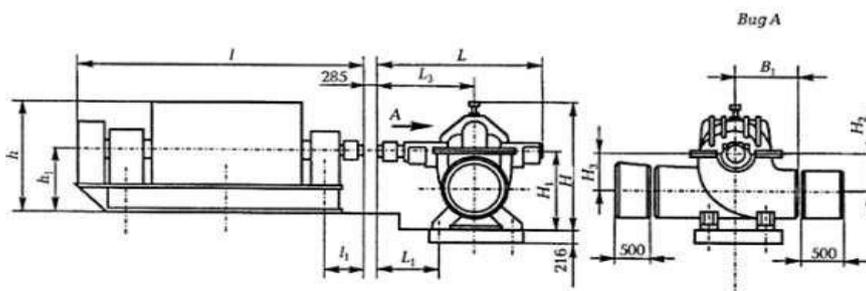


Рис. 2.7- Насосний агрегат серії НМ (продуктивність > 1250 м³/год)

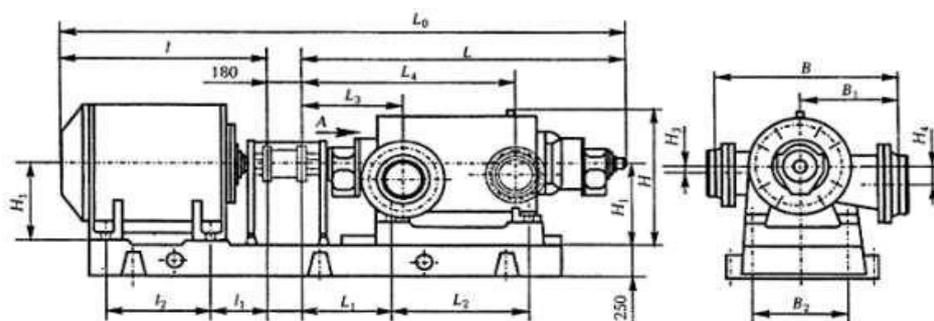


Рис. 2.8 - Насосний агрегат серії НМ (продуктивність < 1250 м³/год)

Схематично конструкцію основного відцентрового насоса для магістральних трубопроводів представлено на рис. 2.9.

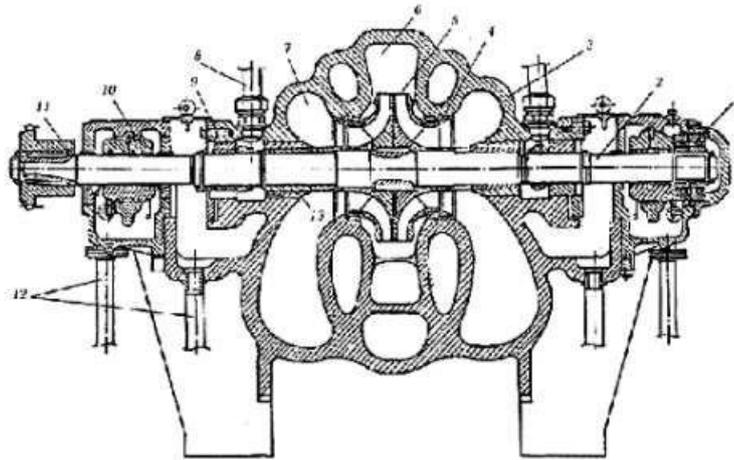


Рис. 2.9 - Схема основного магістрального насоса

Основним елементом насоса є робоче колесо 5, насаджене на шпонці на вал 2. Вал з робочим колесом розміщений в корпусі 3, де здійснюється підведення 7 і відведення 6 рідини, що перекачується. Для поділу області всмоктування від області нагнітання використовують щілинні ущільнення 4. Для запобігання витоків у місці виходу валу з корпусу насоса застосовують торцеві ущільнення 9. Основним підшипником є підшипник ковзання 10. Розвантаження ротора від осьових зусиль забезпечує робоче колесо. Залишкові осьові навантаження сприймаються радіально-упорним підшипником 1. Розвантаження торцевих ущільнень здійснюється за допомогою труб 8, з'єднаних з камерами ущільнень, відокремленими від вхідної порожнини насоса роздільними втулками 13. За допомогою труб 12 здійснюють відведення витоків з камер збирання витоків. Насос з'єднують з двигуном за допомогою зубчастої муфти 11. Приймальний і напірний патрубкі розташовані в нижній частині корпусу і горизонтально спрямовані в протилежні сторони. Конструкція насосів забезпечує надійну роботу при їхньому послідовному з'єднанні. Система змащування насосів централізована із примусовою подачею

олії. Системи збирання витоків та розвантаження торцевих ущільнень герметизовані, закритого типу.

Для забезпечення необхідного натиску на вході основних насосів використовують підпірні насоси. Підпірні насоси переважно з'єднують паралельно. В даний час на насосних станціях як підпірні застосовують насоси типу НД, НМП і НПВ.

Насоси ряду НД експлуатують на трубопроводах будівництва минулих років. Насос НД – одноступінчастий з робочим колесом та двостороннім входом для рідини. Корпус насоса має горизонтальний роз'єм вздовж осі сталевого валу. Найчастіше використовуваний насос 14НДсН має підшипники ковзання з роз'ємом у горизонтальній площині. Маркування цього насоса означає: перша цифра – діаметр напірного патрубку мм, зменшений у 25 разів; Н – насос; Д – робоче колесо двостороннього входу; індекси «в» або «с» – відповідно високонапірний та середньонапірний; Н – нафтовий.

Найбільшого поширення мають насоси НМП – відцентрові, горизонтальні, спіральні, одноступінчасті. Основні елементи насоса – корпус, ротор, торцеві ущільнення та підшипникові опори. Як і в основних насосів, приймальний та напірний патрубки розташовані в нижній частині корпусу, що має горизонтальний роз'єм. Робоче колесо – литий, вхід для рідини – двосторонній. Безкавітаційна робота забезпечується установкою перед входом у робоче колесо литих передвімкнених коліс. Опорами ротора є підшипники кочення. Частота обертання валу насосів ряду НМП – близько 1000 об/хв. Марка насосів розшифровується наступним чином: НМП 3600-78 – насос магістральний підпірний з подачею 3600 м³/год та напором 78 м.

Широко використовуються на магістральних нафтопроводах вертикальні підпірні насоси ряду НПВ. Насоси цього ряду – відцентрові вертикальні – призначені для встановлення на відкритих майданчиках і можуть працювати при температурах від – 50 до +45 °С. Вертикальні насоси опускають у колодязь, заповнений нафтою. Двигун розташований вертикально та працює на відкритому повітрі. Як двигуни використовують вертикальні, асинхронні,

короткозамкнуті електродвигуни у вибухозахищеному виконанні з частотою обертання валу 1500 об/хв і напругою 10 кВт.

Зовнішній вигляд насосних агрегатів із підірними насосами представлений рис. 2.10 і 2.11 Переваги таких насосів полягають у відсутності необхідності будувати заглиблені станції, розташовані на відкритих майданчиках у безпосередній близькості до резервуарного парку.

Як привод, як правило, застосовують асинхронні або синхронні електродвигуни.

Двигун вибирають з урахуванням таких положень:

а) забезпечення електроенергією для живлення електродвигунів має бути розраховано на сумарну потужність до 20 000 кВт;

б) з'єднання валу насоса з валом електродвигуна має бути найпростішим.

Потужність електродвигуна для приводу насоса визначається за формулою

$$N = (1,05 \div 1,15) \frac{QH\rho g}{\eta}, \quad (2.7)$$

Де

η - повний ККД установки;

1,05 ÷ 1,15 - коефіцієнт запасу.



Рис. 2.10- Насосний агрегат із насосом ряду НМП (початок)

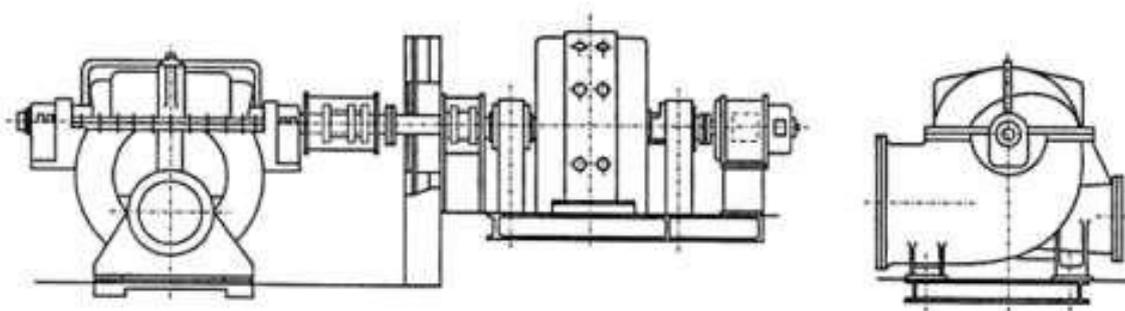


Рис. 2.11- Насосний агрегат із насосом ряду НМП (закінчення)

2.2.4 Характеристики магістральних насосів

У практиці експлуатації відцентрових насосів поширення набули три види характеристик: характеристика насоса; приватна кавітаційна характеристика; кавітаційна характеристика.

Характеристика насоса - це залежність основних технічних показників насоса (напору H , потужності N і ККД) від подачі Q при постійній частоті обертання і фізичних властивостях рідини, що перекачується (щільність і в'язкість) [3]. У каталогах наведено характеристики магістральних насосів за даними випробувань на холодній воді. Запуск у серійне виробництво відцентрових насосів здійснюють після промислових випробувань на нафті в

умовах роботи насосної станції. На рис. 2.12 наведено характеристику насоса НМ 10000-210.

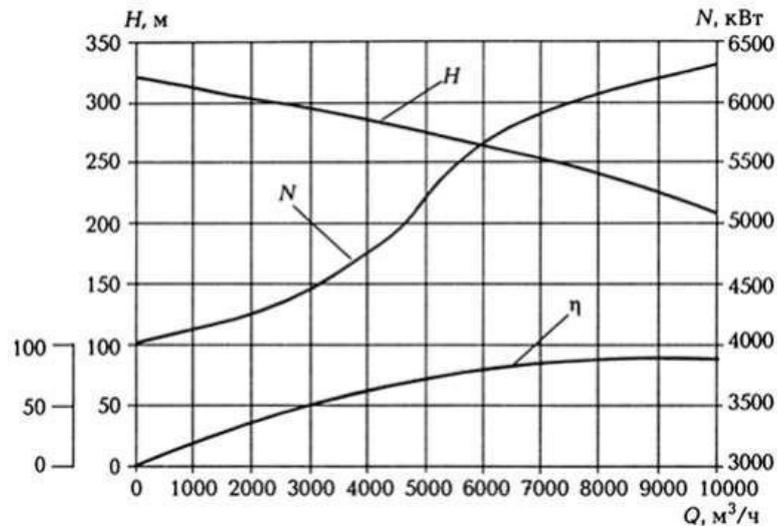


Рис. 2.12 - Характеристика магістрального відцентрового насоса НМ 10000 – 210

Через особливості експлуатації нафтопроводів до характеристик насосів висуваються такі вимоги [4]:

1) напірна характеристика має бути монотонно падаючою, пологою. Монотонність створює стійку роботу на мережу у будь-якому діапазоні подач. При пологій характеристиці зменшуються втрати дроселювання, стабілізується тиск у трубі, у результаті зменшуються динамічні навантаження на трубу;

2) тип насоса слід вибирати таким, щоб ККД був найбільшим. Насоси типу НМ мають ККД до 89%;

3) ККД не повинен суттєво зменшуватися у якомога ширшому діапазоні подач. Зниження ККД не повинне перевищувати 2÷3 % у діапазоні подач 0,8÷1,2.

Приватна кавітаційна характеристика є залежністю напору і ККД насоса від кавітаційного запасу при постійних значеннях подачі, частоти обертання, фізичних властивостей рідини.

Кавітаційна характеристика являє собою залежність кавітаційного запасу, що допускається від подачі насоса при постійній частоті обертання і властивостях рідини. Кавітаційна характеристика є вихідною розрахунку безкавітаційної роботи насоса.

2.3. Загальні поняття про дефекти основних конструктивних елементів відцентрового насоса

Відцентрові насосні агрегати широко використовуються завдяки суттєвим конструктивним та технічним перевагам над іншими типами насосів. Основними перевагами є малі габарити, великі швидкості обертання, з якими працюють частини насосів, що рухаються, і переміщається рідина. Відсутність зворотно-поступальних рухів і сил інерції, що викликаються ними, допускає можливість роботи при мінімальних розмірах фундаментів. Отже, вартість самого насоса, приміщення первісної установки, подальшого догляду та ремонту значно менша, ніж, наприклад, для поршневого [11].

Робота ЦНА супроводжується вібрацією, характеристики якої зазнають змін у процесі експлуатації у міру розвитку та накопичення дефектів та несправностей. Кожен дефект впливає на загальний вібраційний стан механізму, тому вібраційний сигнал при правильній його обробці та інтерпретації має досить ємну інформацію про стан та глибину розвитку дефекту [12].

Основні несправності ЦНА, виникнення та накопичення яких призводить до відхилень у вібраційному стані механізму, поділяють на три різні групи: гідродинамічні, механічні та електромагнітні.

До несправностей гідродинамічного характеру належать:

- кавітація;
- рециркуляція;
- гідравлічний дисбаланс;
- взаємодія з равликом дифузоров.

До несправностей механічного походження належать:

- нерівноваженість ротора
- бій робочого колеса;
- вигин валу;
- вплив трубопровідного обв'язування насоса.

До несправностей електромагнітного походження належать:

- флуктуації обсягуповітряного зазорув магнітопровод;
- змінні складові струму та потоку;
- ефект магнітострикції в магнітопроводі [13].

Всі перелічені вище причини вібрації можуть призвести до виникнення та розвитку дефекту і внаслідок стати причиною відмови.

Відмови та дефекти, пов'язані з вібраційними процесами в устаткуванні, можуть бути викликані вібропроцесами, що викликають вібропроцеси або змінюють їх. Вирізняють такі стадії розвитку дефекту (відмови):

- поява причин, що викликають дефект чи відмову;
- інкубаційний період (накопичення ушкоджуваності, зародження дефекту, що іноді важко виявляється використовуваними методами діагностики, та рання стадія його розвитку);
 - розвинений дефект, тобто дефект, що виявляється методами діагностики, але не викликає вторинних ушкоджень;
 - розвиток дефекту, що спричиняє вторинні пошкодження або зміни в обладнанні, що характеризуються своїми діагностичними параметрами;
 - раптова або миттєва руйнація (має місце не для всіх дефектів), яке може викликати або не викликати вторинних руйнувань.

2.3.1 Дефекти основних конструктивних елементів відцентрового насосу

Основними конструктивними елементами відцентрових насосів є: корпус, вал, робоче колесо, підшипникові опори, торцеві та сальникові

ущільнення [11]. У процесі експлуатації корпусу насоса можуть з'явитися такі дефекти корпусних деталей насоса:

- корозійно-ерозійне зношування;
- тріщини;
- нориці;
- знос посадкових місць підшипників;
- вибоїни, дрібні ризики та вм'ятини на площинах роз'єму.

У робочих колесах можуть виникнути такі дефекти:

- тріщини та сколи;
- наскрізні та кавітаційні раковини;
- корозійне та ерозійне знос дисків та лопаток на внутрішніх

поверхнях.

У ході аналізу даних про технічний стан 200 відцентрових насосів на НПС було виявлено основні несправності насосних агрегатів, що призводять до підвищеної вібрації. Результати аналізу представлені у табл. 2.1.

Таблиця 2.1.

Основні причини підвищеної вібрації ЦНА

Несправність	Кількість	Частка %
Дебаланс ротора електродвигуна	96	55
муфти	28	
ротора насоса	41	
Розцентрування	27	5
Зношування підшипників насоса	18	10
підшипників електродвигуна	5	
робочих коліс насоса	1	
	7	
	1	

робочих лопаток коліс насоса торцевих ущільнень	4	
Зазори підшипників у вертикальній та горизонтальній площинах не відповідають паспортним параметрам	48	27
підшипників електродвигуна підшипників насоса	37	
Робота насоса в крайній точці робочої характеристики	2	1
Робота насоса поза зоною робочої характеристики	3	2
ВСЬОГО:	175	100

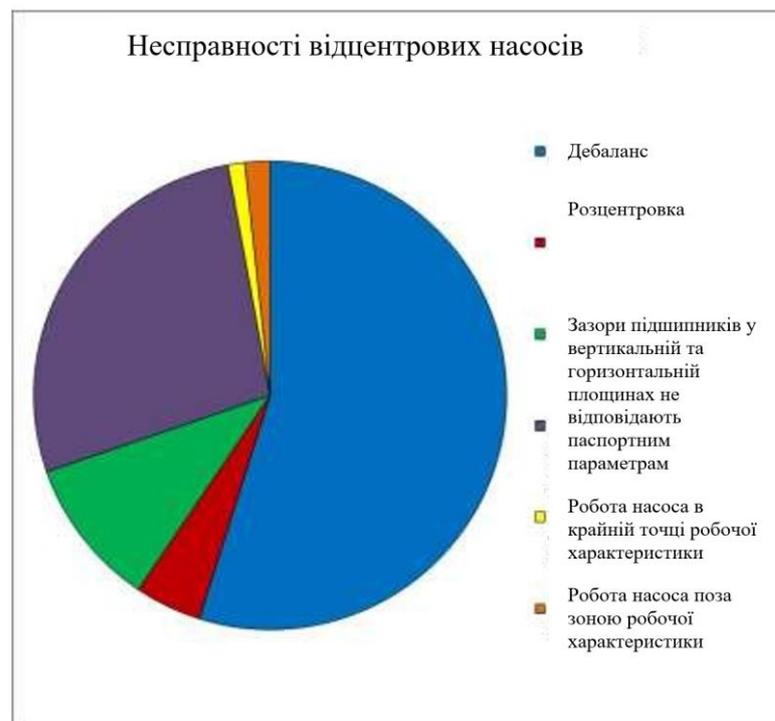


Рис. 2.13 – Несправності відцентрових насосів

З рис. 2.13 видно, що найчастіше причиною підвищеної вібрації є дебаланс муфти та роторів електродвигуна та насоса. Також нерідко

зустрічається відхилення зазорів підшипників електродвигуна та насоса від паспортних параметрів, що теж є вагомою основою порушення встановленого рівня вібрації.

2.3.2 Дефекти валу відцентрового насоса

Основним елементом конструкції насосного агрегату є його ротор, що складається з валу з насадженим на нього робочим колесом, захисними втулками, кріпильними деталями та ін. Вал несе на собі основне навантаження при передачі обертання від приводу до насоса, піддаючись при цьому дії крутного і згинального моментів, що вигинає, вібрації та осьових навантажень. Внаслідок чого в процесі експлуатації відбувається виникнення та накопичення різних дефектів валу, а саме:

- порушення співвісності валів (розцентрування);
- викривлення валу;
- зносу шийок, різьблення, шпонкових пазів;
- корозійного та ерозійного зносу;
- поверхневих мікротріщин, задир;
- втомних тріщин в місцях концентрації напруги.

Відмови насосних агрегатів внаслідок руйнування валу ротора в процесі експлуатації призводять до серйозних наслідків: руйнування підшипникових вузлів, торцевих ущільнень, інших конструктивних елементів, всього насоса. В особливих випадках можливе навіть загоряння середовища, що транспортується, і виникнення пожежі або вибуху в насосній.

Аналіз літературних даних [1-13] показав, що виникнення дефектів, здатних викликати руйнування валу, може відбуватися як на стадії його виготовлення, так і при монтажі насоса, ремонтних роботах.

2.3.3 Дисбаланс мас ротора

Неврівноваженість обертових мас ротора є одним із найпоширеніших дефектів обладнання, що зазвичай призводять до різкого збільшення вібрацій.

Неврівноваженість ротора викликається виникненням (з різних причин) відхилень геометричних розмірів ротора від номінальних конструктивних, тобто. дисбалансу. При обертанні такого ротора з деякою кутовою швидкістю в кожному поперечному перерізі, що має відхилення розмірів від номінальних, виникає відцентрова сила, що обертається разом з ротором і викликає змінні навантаження на опори. При цьому результуюча відцентрова сила, будучи статичною навантаженням для ротора, може викликати значний прогин валу ротора. Відцентрові сили, або дисбаланс, впливають на опори ротора та агрегату, викликаючи значні навантаження та вібрації останнього.

Причини виникнення дисбалансу в устаткуванні можуть мати різну природу, є наслідком багатьох особливостей конструкції та експлуатації. До них відносяться:

- дефекти, пов'язані з порушенням виготовлення, збирання та балансування ротора, що характеризуються підвищеним рівнем вібрації безпосередньо після завершення ремонту або монтажу агрегату;
- наявність на роторі, що обертається, різних зношених, дефектних і т.п. деталей та вузлів;
- дефекти експлуатації, такі як руйнування частин ротора (наприклад, частин лопаток, робочого колеса та ін.) в процесі роботи, які характеризуються раптовими змінами амплітуди та/або фази коливань, а також різні види зносу деталей ротора (наприклад, третювих і робочих шийок валу, лопатей, лопастей, (налипання) в процесі роботи агрегату, зменшення натягу (порушення посадок) деталей ротора, які характеризуються порівняно повільними (протягом експлуатації) змінами амплітуди та/або фази вібрацій, результат нерівномірного зношування конструкції ротора;
- нерівномірна внутрішня структура чи наявність внутрішніх дефектів у конструкційних матеріалах ротора [12].

За своїм типом, специфікою прояву у загальній картині вібрації, за особливостями проведення діагностування дисбаланси можна умовно поділити на:

- статичний дисбаланс;
- динамічний дисбаланс;
- моментний дисбаланс.

У разі дисбалансу сигнал віброприскорення на тлі першої гармоніки частоти обертання валу часто насичений середньо- та високочастотною і випадковою складовими збуджуваними навіть справними підшипниками кочення та іншими джерелами.

Дисбаланс найчіткіше проявляється при вимірі віброшвидкості. При цьому амплітуда першої гармоніки f_0 віброшвидкості переважає над іншими (якщо немає інших дефектів).

Для різних видів дисбалансу характерно таке:

- якщо амплітуди віброшвидкостей на кінцевих опорах ротора на оборотній частоті однакові, синфазні і мають стійкий характер, це статичний дисбаланс;
- якщо амплітуди віброшвидкостей на кінцевих опорах ротора на оборотній частоті однакові та протифазні, це моментний дисбаланс;
- якщо амплітуди віброшвидкостей на кінцевих опорах ротора на оборотній частоті не однакові, не синфазні і не протифазні, то це динамічний дисбаланс.

При механічному дисбалансі параметри вібрації залежить від частоти обертання ротора і майже залежить від режиму роботи агрегату, зовнішніх умов роботи і температури агрегату. Вібрація може виявлятися як у радіальному, так і в осьовому напрямках, однак, в залежності від жорсткості підшипника зазвичай, горизонтально-радіальна вібрація переважає вертикальну. При цьому часто спостерігаються інтенсивніші коливання опор корпусу ротора з дисбалансом, а вплив його коливань на вібрацію сполучених агрегатів, особливо у разі застосування гнучких муфт, зазвичай відносно невеликий. Якщо амплітуда першої гармоніки частоті 50 Гц значно більше амплітуди інших гармонік, можна припустити, що це агрегат має дисбаланс ротора [12,13].

Наявність великого рівня вібрацій з оборотною частотою, можливо, призвела до послаблення кріплень підшипників ротора та агрегату загалом.

Тому необхідно перевірити кріплення не тільки агрегату загалом, а й усіх з'єднань.

2.3.4 Розцентрування

Розцентрування (неспіввісність) – стан, у якому центральні осі з'єднаних валів не збігаються. Неспіввісність є завжди і її розвиток часто спричиняє порушення працездатності агрегатів. Якщо центральні осі неспіввісних валів залишаються паралельними, має місце паралельна неспіввісність. Якщо центральні осі неспіввісних валів перетинаються в точці з'єднання, але не паралельні, тоді неспіввісність називається кутовою.

Розцентрування зазвичай викликається такими причинами:

- неточним складанням складових частин (двигунів, насосів тощо);
- відносним зміщенням складових частин після збирання;
- деформацією податливих опор;
- тепловим розширенням конструкції машини;
- неперпендикулярністю торців муфти осям валів;
- нежорсткістю основи.

Неспіввісність призводить до таких проблем:

- сильне зношування та нагрівання муфти;
- розтріскування валу внаслідок втоми, спричиненої вигином;
- надмірне навантаження підшипників;
- передчасний вихід із ладу підшипників;
- зріз валу двигуна чи машини.

Більшість випадків неспіввісності є комбінацією двох описаних вище типів, а їх діагностування засноване на переважанні $2f_0$ піків над f_0 піками в радіальній вібрації і на існуванні сильних піків f_0 , що переважають над піками $2f_0$ в осьовій вібрації. При цьому слід переконатися, що високі осьові рівні не викликані дисбалансом роторів [14].

2.3.5 Ослаблення кріплення

Ослаблення кріплення (механічні ослаблення) – зазори між деталями, люфти, нещільна затяжка (збірка) складових частин, порушення цілісності несучих елементів фундаментів, нещільна посадка деталей, що обертаються – є нелінійним відгуком агрегату (механічної системи) на вплив неврівноважених вітер.

Податливість опор:

- конструктивне та експлуатаційне ослаблення опор, опорної плити, основи, елементи кріплення (анкерів, болтів), фундаменту;
- ослаблення взаємного кріплення при складанні (нешільна затяжка) складових частин опор ротора, вкладишів, корпусів підшипників, фундаментних рам та ригелів фундаменту;
- неповне прилягання, спотворення форми рами та основи (короблення фундаментної плити).

Люфти в нерухомих з'єднаннях, цілісність деталей:

- нещільне прилягання деталей;
- ослаблення кріплення та порушення зв'язку між корпусом підшипника та ротором;
- ослаблення кріплення та порушення зв'язку між корпусом підшипника та корпусом агрегату;
- ослаблення кріплення та порушення зв'язку між опорами, корпусом агрегату та фундаментною плитою;
- поява тріщин у несучих елементів рами, корпусу та фундаменту;
- порушення цілісності конструкції фундаменту;
- збільшення податливості опор корпусу;
- ослаблення заставних деталей

Ослаблення зв'язків між деталями, що утворюють систему елементів, що обертаються:

- тріщини колеса чи валу;

- ослаблення (нешільна посадка) робочих коліс вентиляторів та насосів, підшипників, вкладишів підшипників, муфт;
- надмірний зазор у втулках чи елементах підшипників.

Характерними ознаками ослаблення кріплення (жорсткості) є нестационарність та імпульсний характер тимчасового сигналу віброприскорення, при цьому в спектрі є досить велика кількість цілих (1-10) і кратних складових f_0 , а також субгармоніки. При цьому спектр нестабільний у часі, стійку оцінку спектра можна одержати за його посередництва протягом декількох десятків секунд. Форма тимчасового сигналу та спектр віброшвидкості, як правило, мають більш стаціонарний характер (порівняно з віброприскоренням) при довжині реалізації в кілька обертів. Однак амплітуда сигналу зазвичай буває нестабільною від обороту до обороту.

Можна спостерігати імпульси, період яких кратний частоті обертання валу. Гармонічні складові виявляються чіткіше, хоча також потрібне опосередкування [12].

2.3.6 Динаміка розвитку дефекту

У випадку послаблення починають виявлятися в радіальних напрямках як появи перших гармонік f_0 , нагадуючи дисбаланс чи расцентровку, наявність яких посилює протягом процесу. Розвиваючись у часі, ослаблення починають виявлятися у появі більш високих гармонік f_0 , причому у процесі зародження та розвитку дефекту вібрація на одній або кількох вищих гармоніках може перевершувати вібрацію на частоті збудження.

У міру розвитку дефекту в спектрі вібрації між вищими гармоніками f_0 і особливо низькочастотної частини з'являються випадкові шумові складові [13].

2.4. Формування системи технічного обслуговування та ремонту з фактичний стан нафтового обладнання

2.4.1 Форми технічного обслуговування обладнання

Технічне обслуговування (ТО) - комплекс операцій із підтримці працездатності устаткування під час його експлуатації, при очікуванні (якщо устаткування резерві), зберіганні і транспортуванні.

У ТО включений наступний комплекс робіт:

- підтримка у справному (або тільки працездатному) стані обладнання;
- очищення, мастило, регулювання та підтяжка роз'ємних з'єднань, заміна окремих складових частин (швидкозношувані деталі) з метою попередження пошкодження та прогресуючого зносу, а також усунення дрібних пошкоджень.

В обсязі ТО можуть виконуватись роботи з оцінки технічного стану обладнання для уточнення термінів та обсягів подальших обслуговувань та ремонтів.

Система ТОР - система технічного обслуговування та ремонту (планова та за фактичним технічним станом обладнання).

Система техобслуговування (ТО) і ремонту за технічним станом включає проведення технічного обслуговування, діагностичних контролів технічного стану, виконання робіт при регламентних зупинках і відновлення працездатного стану у разі відхилення значень параметрів, що діагностуються, від встановлених нормативно-технічною документацією.

Ремонт - комплекс операцій з відновлення справності чи працездатності та повного чи часткового відновлення ресурсу обладнання та його складових частин, що забезпечує експлуатацію із заданою надійністю та економічністю у періоди між ремонтами та діагностичними контролями.

Поточний ремонт (Т) - ремонт, здійснюваний у процесі експлуатації для гарантованого забезпечення працездатності обладнання, що полягає у заміні та відновлення його окремих частин та їх регулюванні.

Поточний ремонт призначається для попередження відмов та відновлення працездатності обладнання підприємства.

Середній ремонт (С) - ремонт, що виконується для відновлення працездатності та часткового відновлення ресурсу обладнання за результатами діагностування та величиною його напрацювання із заміною або відновленням складових частин обмеженої номенклатури та контролем технічного стану складових частин, що виконується у встановленому обсязі.

Капітальний ремонт (К) - ремонт, що виконується для відновлення справності та повного або близького до повного відновлення ресурсу обладнання із заміною або відновленням будь-яких його частин, включаючи базові, та їх регулювання.

Плановий діагностичний контроль - контроль фактичного технічного стану обладнання підприємства за параметрами, що дозволяють оцінити технічний стан обладнання, скласти прогноз його працездатності, напрацювання до ремонту або до наступного діагностичного контролю та визначити обсяг та вид ремонту.

Неплановий діагностичний контроль - контроль технічного стану устаткування підприємства, який у разі різкого зміни значень постійно контрольованих параметрів чи разі, коли за результатами оперативного контролю виноситься рішення про передбачуваному розвитку дефекту.

Працездатний стан (працездатність) – стан обладнання, при якому значення всіх параметрів, що характеризують здатність виконувати задані функції, відповідають вимогам нормативно-технічної та (або) конструкторської (проектної) документації.

Непрацездатний стан (непрацездатність) - стан об'єкта, при якому значення хоча б одного параметра, що характеризує здатність виконувати задані функції, не відповідає вимогам нормативно-технічної та (або) конструкторської (проектної) документації.

2.4.2 Система технічного обслуговування та ремонту за фактичним технічним станом

Система технічного обслуговування та ремонту за фактичним технічним станом (ТОР за технічним станом) ґрунтується на проведенні профілактичних, відновлювальних та діагностичних робіт через інтервали часу (напрацювання), визначені за фактичними показниками надійності, результатами попередніх діагностичних контролів, значеннями параметрів оцінки роботи з одиницями.

Значний досвід застосування ТО за фактичним станом дозволяє дати оцінку одержуваного ефекту:

1. Зниження витрат на обслуговування на 75%,
2. Зниження кількості обслуговування на 50%,
3. Зниження відмов на 70% за перший рік роботи.

Необхідні умови застосування ТО за станом:

- економічна доцільність;
- наявність приладової бази;
- методика визначення ТЗ та його прогнозування;
- навчений персонал;
- контроле-придатність обладнання;

У системі технічного обслуговування та ремонту за фактичним технічним станом виробляються:

- технічне обслуговування;
- діагностичні контролі, у тому числі
- оперативний,
- плановий,
- неплановий;
- ремонт за фактичним станом в обсязі поточного, середнього та капітального ремонту;
- регламентні зупинки.

Тривалість та структура ремонтного циклу, а також періодичність ТО, діагностичних контролів та ремонтів для кожного виду обладнання визначаються у відповідних РД стосовно конкретного виду обладнання.

Для ТОР з технічного стану обов'язковими є:

- проведення діагностичних обстежень з оцінкою працездатності обладнання та прогнозуванням подальшої експлуатації;
- виконання ремонтних робіт за наслідками діагностичних обстежень;
- ведення нормативної, виконавчої, оперативної (експлуатаційної), діагностичної баз даних, формування періодичних зведень з напрацювання обладнання, ведення бази даних відмов, зберігання в електронному вигляді документації щодо організації та виконання ремонтних робіт.

З метою виділення основних об'єктів, що піддаються першочерговому обов'язковому контролю, діагностичному обстеженню та ремонту, все механо-технологічне обладнання поділено на три умовні категорії:

Перша категорія - обладнання, яке з точки зору безпечної експлуатації та за економічними показниками не може бути допущено до експлуатації повністю, а отже, переводиться на систему ТОР за технічним станом, включаючи: основне технологічне обладнання; основне енергообладнання; а також як основне насосне обладнання; трубопроводи та трубопровідна арматура; системи маслопостачання, охолодження; системи припливної вентиляції; системи відкачування витоків; система пожежогасіння; промислова каналізація; за їх наявності та ін.

Друга категорія - обладнання, яке за економічними показниками переводиться на систему ТОР за технічним станом у міру потреби, наприклад: верстатне обладнання; система водопостачання та фекальної каналізації, очисні споруди; котли та котельно-допоміжне обладнання, теплові мережі; компресори; та ін.

Третя категорія - обладнання, яке за економічними показниками недоцільно переводити на систему ТОР за технічним станом: ємності підземні,

будівлі та споруди за обов'язкових обходів; водопостачання у разі наявності резервних ємностей запасу води.

Основним документом в організації технічного обслуговування та ремонту (ТОР) за фактичним станом є річний графік періодичності ТО, планових діагностичних контролів та регламентних зупинок (або планових ремонтів у разі обслуговування обладнання за системою ПВР). Ремонт за фактичним технічним станом проводиться за результатами планового або позапланового діагностичного контролю. Вигляд системи ТОР кожного типу устаткування затверджується головним інженером підприємства виходячи з ТЕО.

2.4.3 Організація та планування робіт з технічного обслуговування та ремонту обладнання за фактичним технічним станом

Система технічного обслуговування і ремонту за фактичним технічним станом включає проведення технічного обслуговування, діагностичних контролів технічного стану, виконання робіт при регламентних зупинках і відновлення працездатного стану у разі відхилення значень параметрів, що діагностуються, від встановлених у нормативно-технічній документації.

Виконавцем планових діагностичних контролів є бригада діагностики (з відповідною діагностичною апаратурою), рекомендовано службу ТДіНО або експлуатаційно-ремонтний персонал підприємства, який має допуск до роботи з діагностичною апаратурою.

Результатом роботи бригади діагностики служби ТДіНО має бути рішення про працездатність або непрацездатність обладнання, що діагностується.

Виконавцем оперативного контролю є черговий персонал, а також ІТП.

Аналіз зміни контрольованих параметрів здійснюється головними спеціалістами з використанням бази даних за номенклатурою та початковими параметрами роботи обладнання.

У разі різкої зміни постійно контрольованих (оператором або приладами телеметрії) параметрів проводиться неплановий діагностичний контроль з наступним рішенням щодо виведення в ремонт даного обладнання. Рішення приймається головним інженером за погодженням із головним механіком.

Неплановий діагностичний контроль здійснюється у разі, коли за результатами оперативного контролю виносяться рішення про передбачуваний розвиток дефекту. Аналіз зміни контрольованих параметрів проводиться з урахуванням можливих змін технологічних режимів. Необхідність проведення непланового контролю визначає головний інженер.

Ремонт за фактичним технічним станом проводиться за результатами планового чи непланового діагностичного контролю.

Діагностування технічного стану ґрунтується на порівнянні базових та фактичних характеристик обладнання, отриманих за певний період часу.

Базовими характеристиками є характеристики, отримані після монтажу нового (або після капітального ремонту) та доведення обладнання, що експлуатується. Ці характеристики можуть відрізнятися від паспортних через невідповідність виробничих розмірів деталей конструктивним, знос частини елементів і робочих органів обладнання, похибки перерахунку виробничо-технологічних характеристик обладнання та ін.

Фактичними (поточними) характеристиками є характеристики, одержувані у період (під час експлуатації).

При переході до технічного обслуговування та ремонту за фактичним технічним станом обладнання насамперед уточнюються (а в окремих випадках і знімаються нові) базові характеристики обладнання.

2.4.4 Класифікація видів технічного обслуговування

Сукупність операцій ТОР та трудомісткість їх виконання називаються обсягом технічного обслуговування та ремонту. В основу класифікації видів

ТОР можуть бути покладені ознаки, що характеризують самі роботи, обсяг та періодичність їх виконання.

Роботи з ТОР призначені для підтримки (відновлення) справності та/або працездатності об'єктів. Вони можуть мати профілактичний характер, попереджаючи появу відмов або виконуються після настання відмови для усунення її наслідків.

2.5. Технічний огляд механіко-технологічного обладнання НПС

Механіко-технологічне обладнання нафтоперекачувальних станцій в залежності від встановленого терміну експлуатації та технічного стану підлягає огляду з метою визначення можливості та умов його подальшої експлуатації або списання відповідно до чинних нормативних вимог.

Технічному огляду підлягають магістральні та підпірні нафтові насоси, запірні арматура, регулятори тиску (регулюючі заслінки), запобіжні клапани, фільтри, брудоловлювачі, вентиляційні системи, системи згладжування хвиль тиску, маслосистеми та допоміжні насоси після строку служби, зазначеного в табл. 2.2.

Таблиця 2.2

Термін служби обладнання, після якого воно підлягає огляду.

Найменування	Термін служби обладнання, після якого воно підлягає огляду, років
Магістральні та підпірні нафтові насоси	30
Регулятори тиску	30
Запобіжні клапани	25
Фільтри-грязевловлювачі	25

Роздільні ємності (баки) та акумулятори системи згладжування хвиль тиску	25
Склянки вертикальних підпірних насосів	25
Насоси шестеренні типу РЗ, НШ, Ш	8
Насоси занурювальні відкачування витоків типу НОУ, АХП 45/31 12НА-9*4, 12НА-22*6	20 5 10
Насоси відцентрові секційні типу ЦНС	9

За результатами огляду обладнання складається висновок експертизи промислової безпеки, який є основним документом для ухвалення рішення щодо терміну подальшої експлуатації обладнання.

2.5.1 Методика огляду магістральних, підпірних та допоміжних насосів

Обсяг робіт під час технічного огляду магістральних та підпірних нафтових насосів виконується з урахуванням аналізу технічної та експлуатаційної документації, а також результатів візуального контролю обладнання.

Технічному огляду підлягають корпуси, вали, торцеві ущільнення, підшипники, муфти, кільця ущільнювача робочого колеса, посадкові місця деталей.

2.5.2 Контроль працездатності обладнання за вібраційними параметрами

Для отримання додаткової інформації при вібродіагностиці магістральних та підпірних насосних агрегатів, а також на період тимчасової відсутності стаціонарно встановлених засобів вимірювання та контролю вібрації (перевірка, калібрування, модернізація) необхідно використовувати переносну (портативну) вібро-апаратуру.

Цілями вібродіагностики є:

- попередження розвитку дефектів агрегату та скорочення витрат на його відновлення,
- визначення оптимальної технології відновлення працездатності агрегату, якщо дефект, що виник, виключає можливість його нормальної експлуатації.

Переваги вібродіагностики:

- метод дозволяє знаходити приховані дефекти;
- метод, як правило, не вимагає збирання-розбирання обладнання;
- малий час діагностування;
- можливість виявлення несправностей на етапі зародження.

Кожне вимірювання вібрації портативною апаратурою необхідно проводити в строго фіксованих одних і тих самих місцях, очищених від бруду і корпусної фарби, позначених фарбою (маркером) або будь-якою іншою відміткою.

При використанні портативної віброапаратури, вертикальна складова вібрації вимірюється на верхній частині кришки підшипника над серединою довжини його вкладиша.

Типові критерії технічного стану підшипників, методи контролю та способи усунення дефектів наведено у табл. 2.3.

Таблиця 2.3

Критерії технічного стану підшипників

Критерії технічного стану	Метод контролю	Спосіб усунення дефектів	Час виявлення
1 Підшипники кочення			
1 Тріщини кілець	Вібраційний (при роботі), візуальний,	Заміна підшипника	При експлуатації та ремонті

	кольорова дефектоскопія, магнітопорошковий		
2 Підвищена вібрація на корпусах підшипників насоса	Вібраційний із спектральним аналізом	За результатом перевірки технічного стану	У процесі експлуатації
2 Підшипники ковзання			
3 Вироблення вкладиша, відшарування бабіту, раковини на поверхні тертя	Вібраційний (при роботі), візуальний, кольорова дефектоскопія	Перезаливання вкладиша з розточуванням та перевіркою фарбу	При експлуатації та ремонті
4 Підвищена вібрація	Вібраційний із спектральним аналізом	За результатом перевірки технічного стану	У процесі експлуатації

Для оцінки жорсткості кріплення рами до фундаменту вібрація вимірюється усім елементах кріплення насоса до фундаменту. Вимірювання проводиться у вертикальному напрямку на анкерних болтах (головках) або поруч із ними на фундаменті на відстані не більше 100 мм від них. Вимірювання проводиться при плановому та неплановому вібродіагностичному контролі.

Для проведення вібродіагностичних контролів використовується апаратура як для вимірювання середнього квадратичного значення вібрації, так і універсальна віброаналізуюча апаратура з можливістю вимірювання спектральних складових вібрації та амплітудно-фазових характеристик.

Вібродіагностичний контроль та оцінка загального технічного стану насосного агрегату проводиться за такими критеріями:

- за допустимим рівнем вібрації;

- за швидкістю зміни вібрації щодо базової характеристики;
- за спектральними характеристиками.

Діагностування за першим критерієм здійснюється порівнянням максимального поточного значення вібрації з допустимим рівнем вібрації.

Діагностування за другим критерієм здійснюється порівнянням зміни швидкості поточних середньоквадратичних значень віброшвидкості з попередніми значеннями, а також базовими характеристиками, отриманими після 72-годинної обкатки нового насосного агрегату або після ремонту.

Норми вібрації магістральних насосів згідно з [16] представлені у табл.2.4.

Таблиця 2.4

Норми вібрації магістральних насосів

Розмір СКЗ віброшвидкості, мм/с	Оцінка вібростану агрегату	Оцінка тривалості експлуатації
До 2,8	Відмінно	Тривала
Понад 2,8 до 4,5	Добре	Тривала
Понад 4,5 до 7,1 (для номінальних режимів)	Задовільно, необхідне покращення	Обмежена
Понад 4,5 до 7,1 (для режимів, відмінних від номінальних)	Задовільно	Тривала
Понад 7,1 До 11,2 (для режимів, відмінних від номінальних)	Задовільно, необхідне покращення	Обмежена
Понад 11,2	Незадовільно	Неприпустима

Діагностування за спектральними характеристиками здійснюється на основі аналізу амплітуди вібрації на частотах, характерних конкретних дефектів та спеціальних спектральних функцій.

Оцінка вібростану конкретного насоса виконується з урахуванням режиму роботи (подачі). Для цього реєструються значення вібрації на кількох експлуатаційних режимах у початковий період експлуатації нового насоса або після його ремонту та будується залежність вібрації від подачі насоса.

Таблиця 2.5

Види вібродіагностичних робіт для магістральних та підпірних насосів

Вид вібродіагностичних робіт	Контрольований параметр та місце вимірювання	Хто здійснює	Періодичність
Оперативний вібродіагностичний	СКЗ віброшвидкості та швидкість зміни вібрації щодо попередніх	Оперативний (черговий)	Постійний контроль за системою автоматики. Кожні дві години у журналі реєстрованих параметрів насосних агрегатів записується величини вібрації за показаннями контрольно-вимірювальних приладів

			(встановлених в операторній) або виведених на АРМ оператора, а при відсутність - автоматизованого віброконтролю за показаннями переносних приладів
Плановий вібродіагностичний контроль	СКЗ та Факівець з спектральні складові віброшвидкості на підшипникових опорах у трьох взаємно перпендикулярних напрямках	Факівець з вібродіагностики	Перед середнім та капітальним ремонтами та після них
	СКЗ віброшвидкості на лапах корпусу насоса поруч із анкерними болтами, головках анкерних болтів у вертикальному напрямку	Факівець з вібродіагностики	

Неплановий вібродіагностичний контроль	Контрольовані параметри, їх допустимі значення та місце вимірювання відповідають плановому діагностичного контролю	Фахівець з вібродіагностики	Контроль виконується у разі зростання вібрації чи появи ознак дефектів.
--	--	-----------------------------	---

Неплановий вібродіагностичний контроль магістральних та підпірних насосних агрегатів проводиться з метою визначення несправності у таких випадках:

- якщо величина вібрації в будь-якій контрольованій точці перевищила 80 % від аварійного значення вібрації для основних магістральних і підпірних насосів;
- якщо величина вібрації перевищила базове значення, отримане після 72-х годинної обкатки нового насосного агрегату або після ремонту насосного агрегату значення в 2 рази;
- якщо величина вібрації на лапах корпусу насоса або головки анкерних болтів перевищила 1,8 мм/с;
- якщо при режимі перекачування відбувається збільшення зміни вібрації на 2 мм/с від будь-якого попереднього виміряного рівня віброшвидкості на підшипниковій опорі;
- якщо є сторонні шуми або відбувається підвищення температури підшипників.

Неплановий вібродіагностичний контроль допоміжних насосів рекомендується проводити у разі появи сторонніх шумів, що виявляються під час обходу.

Необхідність проведення непланового контролю визначає заступник начальника НПС чи інженер-механік НПС.

За результатами контролю приймається рішення про виведення насосних агрегатів у ремонт (поточний, середній чи капітальний) чи продовження експлуатації.

2.5.3 Визначення залишкового ресурсу магістральних та підпірних насосів за вібраційним станом

Визначення залишкового ресурсу щодо вібраційного стану насосів проводиться тоді, коли в процесі експлуатації не виявлено або не усунуто причин зростання вібрації при дотриманні регламенту з технічного обслуговування та ремонту. Величина відхилення вібраційних параметрів від вихідного стану визначається умовами, часом експлуатації та якістю виготовлення базових вузлів (корпусу, рами, фундаменту).

Для визначення залишкового ресурсу за результатами вимірювання вібрації кожної контрольованої точки будується графік (тренд) зміни середнього квадратичного значення віброшвидкості залежно від напрацювання [16].

Для кожного конкретного агрегату та його робочого колеса рекомендується отримати тренд, на основі якого можна проводити прогнозування залишкового ресурсу.

Процес прогнозування залишкового ресурсу агрегату щодо зміни рівня вібрації зводиться до екстраполяції знайденого тренду та визначення моменту перетину його з лінією граничного стану. Точність прогнозу підвищується зі збільшенням кількості проведених спостережень.

Отриманий тренд використовується лише до виведення у ремонт або до заміни робочого колеса. Після проведення вищезгаданих операцій знову проводяться вимірювання та на їх основі визначають базові характеристики вібрації.

Аналітична залежність, що описує у часі зміну параметрів вібрації насосів, приймається як функції [16]:

$$\tilde{L}_k = \bar{L} + a(t_k - \bar{t}) \quad (2.8)$$

Де

\tilde{L}_k і \bar{L} - поточне та середнє значення рівня вібрації насоса;
 t_k і \bar{t} - поточне та середнє значення інтервалу часу спостереження;
 a - безрозмірний параметр, що визначається для кожного насоса.

При рівноточних вимірюваннях

$$\bar{L} = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N L_k \quad (2.9)$$

де

N - кількість вимірювань;

L_k - фактичне (виміряне) значення рівня вібрації.

$$\bar{t} = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N t_k \quad (2.10)$$

$$\bar{t} = \frac{\bar{L}t - \bar{L}\bar{t}}{\bar{t}^2 - (\bar{t})^2} \quad (2.11)$$

$$\bar{L}t = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N L_k t_k \quad (2.12)$$

$$\bar{t}^2 = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N t_k^2 \quad (2.13)$$

Побудова здійснюється у координатах L, t (рис. 2.14).

Граничний стан насосів визначається допустимим підвищенням рівня вібрації відповідно до встановлених нормативів та технічних регламентів, а саме, до 7,1 мм/с для тривалої експлуатації та до 11,2 мм/с для обмеженого часу експлуатації.

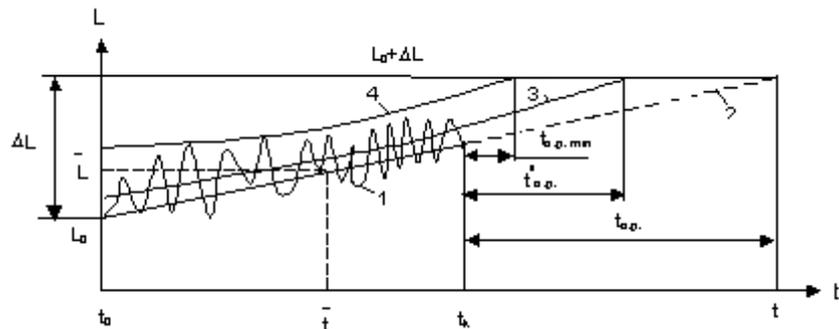


Рис. 2.14- Схема визначення залишкового ресурсу з лінійного тренду

1 – результати вимірювань; 2 – тренд; 3 – довірчі межі тренду (S_L); 4 – довірчі межі прогнозних значень (S_T); $t_{з.р.}$ - час залишкового ресурсу за результатами вимірів; $t'_{з.р.}$ - час залишкового ресурсу з урахуванням похибок виміру; $t_{o.p.min}$ – час гарантованого періоду надійної роботи насоса.

Час залишкового ресурсу насоса (від моменту останнього виміру до досягнення граничного стану) визначається точкою перетину ліній тренду та граничного стану за формулою [16]:

$$t_{o.p.} = (t_k - t_0) \left(\frac{\Delta L}{\bar{L}_k - \bar{L}_0} - 1 \right) \quad (2.14)$$

Де

ΔL - допустиме збільшення рівня вібрації для даного типорозміру насоса;

\bar{L}_0 - паспортні (базові) рівні вібрації;

t_0 - значення часового інтервалу, що відповідає \bar{L}_0 .

Прогнозована величина гарантованого періоду надійної роботи $t_{o.p.min}$ визначається графічно точкою перетину лінії граничного стану з верхньою довірчою межею прогнозного значення.

Для забезпечення необхідної для інженерних розрахунків точності прогнозу кількість вимірів має бути не менше ніж 6.

Розрахунок залишкового ресурсу НМ-10000-210. Результати проведення вібродіагностичного контролю наведено у Таблицях 2.6-2.7.

Схему проведення вібродіагностичного контролю наведено на рис. 2.15.

Таблиця 2.6

Результати проведення вібродіагностичного контролю до розбирання технічного пристрою

Точка виміру	Напрямок виміру	СКЗ, віброшвидкості	Максимальне допустиме значення СКЗ віброшвидкості, мм/с
1	X(осьове)	2,5	4,5
	Y(поперечне)	2,8	
	Z(вертикальне)	2,6	
2	X(осьове)	2,5	4,5
	Y(поперечне)	2,5	
	Z(вертикальне)	2,6	
3	X(осьове)	3,0	4,5
	Y(поперечне)	2,7	
	Z(вертикальне)	2,4	
4	X(осьове)	2,9	4,5
	Y(поперечне)	2,5	
	Z(вертикальне)	2,8	

Результати проведення вібродіагностичного контролю після збирання
технічного пристрою

Точка виміру	Напрямок виміру	СКЗ, віброшвидкості	Максимальне допустиме значення СКЗ віброшвидкості, мм/с
1	X(осьове)	2,5	4,5
	Y(поперечне)	2,6	
	Z(вертикальне)	2,5	
2	X(осьове)	2,6	4,5
	Y(поперечне)	2,5	
	Z(вертикальне)	2,5	
3	X(осьове)	2,6	4,5
	Y(поперечне)	2,4	
	Z(вертикальне)	2,4	
4	X(осьове)	2,6	4,5
	Y(поперечне)	2,5	
	Z(вертикальне)	2,6	

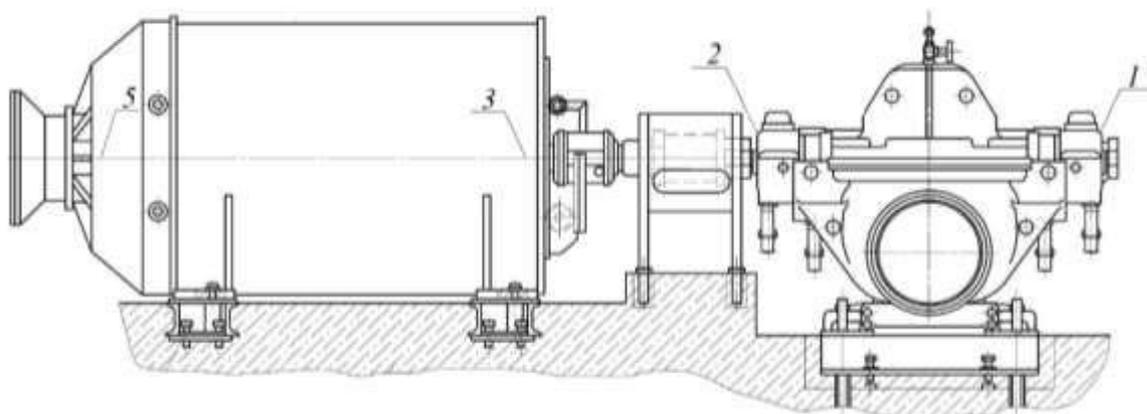


Рис. 2.15 – Схема проведення вібродіагностичного контролю НМ 10000-210

За результатами вібраційного контролю встановлено, що виміряні значення віброшвидкості не перевищують допустимі значення відповідно до встановлених нормативів та технічних регламентів.

Прогнозування залишкового ресурсу ґрунтується на можливості спостереження та вимірювання параметрів технічного стану виробу, що змінюються в процесі експлуатації або випробувань, відповідно до:

$$Q = \frac{V_{\text{перед}} - B_2}{k_1}; \quad (2.15)$$

Де

Q - залишковий ресурс, років;

$V_{\text{перед}}$ - величина середньоквадратичного значення віброшвидкості, що приймається відповідно до встановлених нормативів та технічних регламентів;

B_1 і $B_2 \dots B_n$ - результати вимірювання віброшвидкості у моменти часу t_1 і $t_2 \dots t_n$, мм/с.

$$k_1 = \frac{B_2 - B_1}{t_2 - t_1}; \quad (2.16)$$

де k_1 - градієнт середньоквадратичного значення віброшвидкості за часом, $\frac{\text{мм/с}}{\text{год}}$.

Ресурс технічного пристрою визначається за мінімальним ресурсом складових

Вихідні дані для розрахунку залишкового ресурсу наведені у Табл. 2.8.

Таблиця 2.8

Вихідні дані для розрахунку залишкового ресурсу

Номер виміру	$T_{\text{експ}}$, років	$V_{\text{перед}}$, мм/с	Напрямок виміру	Y_1 , мм/с	Y_2 , мм/с
--------------	---------------------------	---------------------------	-----------------	--------------	--------------

1	10	6,3	X(осьове)	2,5	2,5
			Y(поперечне)	2,8	2,6
			Z(вертикальне)	2,6	2,5
2	10	6,3	X(осьове)	2,5	2,6
			Y(поперечне)	2,5	2,5
			Z(вертикальне)	2,6	2,5
3	10	6,3	X(осьове)	3,0	2,6
			Y(поперечне)	2,7	2,4
			Z(вертикальне)	2,4	2,4
4	10	6,3	X(осьове)	2,9	2,6
			Y(поперечне)	2,5	2,5
			Z(вертикальне)	2,8	2,6

Таблиця 2.9

Результати розрахунку

Найменування вузла технічного пристрою	$T_{\text{експ}}$, років	$k1$, мм___/с година	Q, років
Підшипниковий вузол	10	12,86	більше 4-х років
Підшипниковий вузол	10	6,43	більше 4-х років
Кріплення	10	25,72	більше 4-х років
Кріплення	10	19,29	більше 4-х років

За результатами розрахунку залишковий ресурс технічного устрою становить понад 4 роки.

Висновки до розділу 2

У межах виконання даного розділу було проведено комплексний аналіз технічного стану основного обладнання нафтоперекачувальної станції з

акцентом на забезпечення його ефективної та довготривалої експлуатації. Задля забезпечення внутрішньої логічної узгодженості роботи здійснено характеристику НПС, подано їх класифікацію, визначено склад основного й допоміжного обладнання, а також систематизовано типові дефекти конструктивних елементів насосних агрегатів.

На основі фактичних даних щодо поточних характеристик насоса НМ 10000-210 було виконано його діагностування з метою визначення ступеня зносу деталей на момент отримання експлуатаційних параметрів. Перераховані характеристики відповідають паспортним межам, що засвідчує справний технічний стан агрегату та відсутність потреби у виконанні позапланових ремонтних робіт.

Окрему увагу приділено вібродіагностиці як одному з ключових методів технічного контролю насосного обладнання. Застосування сучасних засобів діагностування забезпечує:

1. безаварійну роботу агрегатів;
2. підвищення їхньої надійності та ресурсу;
3. зростання показників безвідмовності та довговічності;
4. можливість прогнозування залишкового ресурсу;
5. скорочення експлуатаційних витрат;
6. зменшення потреби в обслуговуючому персоналі;
7. зниження витрат часу на ремонтні заходи.

Проведений аналіз дозволив досягти поставленої мети та виконати всі сформульовані завдання. Отримані результати підтверджують практичну значущість застосованих методів діагностики та сприяють формуванню теоретичних і прикладних навичок з питань продовження міжремонтного періоду основного й допоміжного обладнання нафтоперекачувальних станцій.

РОЗДІЛ 3 ВИМОГИ ДО КАДРОВОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ОБ'ЄКТУ ГАЛУЗІ

3.1 Вимоги до кадрового забезпечення фахівців експертної організації до проведення діагностики основного обладнання нафтоперекачувальної станції

Ефективність процесу технічної діагностики основного обладнання нафтоперекачувальних станцій значною мірою визначається рівнем підготовки та компетентністю фахівців, які залучаються до виконання експертних робіт. Тому кадрове забезпечення експертної організації повинно відповідати встановленим вимогам нормативно-правових документів та галузевих стандартів, що регламентують діяльність у сфері технічного діагностування.

Професійна підготовка та кваліфікація персоналу

Фахівці, які виконують діагностику обладнання НПС, мають володіти вищою технічною освітою відповідного напрямку підготовки: нафтогазова інженерія, машинобудування, енергетичне машинобудування, автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології або споріднені технічні спеціальності. Обов'язковою є наявність сертифікатів з неруйнівного контролю (ISO 9712 або ДСТУ EN ISO 9712) та документів, що підтверджують кваліфікацію у сфері технічної діагностики насосного обладнання. Фахівці повинні досконало знати нормативну базу (НПАОП, ДСТУ, ISO, галузеві стандарти та інструкції).

Практичний досвід роботи

До складу експертної організації мають входити спеціалісти з практичним досвідом роботи не менше трьох років у сфері експлуатації, обслуговування та діагностики насосних агрегатів магістральних нафтопроводів. Важливо, щоб персонал володів методами вібродіагностики, тепловізійного контролю, ендоскопічних досліджень, аналізу мастил та інших методів неруйнівного контролю. Наявність навичок роботи з сучасними

діагностичними комплексами та програмними системами є обов'язковою умовою якісного виконання діагностичних процедур.

Компетентності у сфері сучасних методів діагностики

Фахівці повинні володіти знаннями та практичними навичками застосування спектрального аналізу вібрацій, оцінювання фазових характеристик коливань, аналізу температурних полів, визначення параметрів зносу та дефектів конструктивних елементів. Важливим елементом професійної підготовки є вміння прогнозувати залишковий ресурс обладнання на основі діагностичних даних і математичних моделей.

Знання конструктивних особливостей та специфіки роботи обладнання НПС

Кадровий склад експертної організації повинен володіти знаннями щодо конструкції насосів типу НМ, НПС, а також допоміжного обладнання — електродвигунів, муфт, трубопроводів та опорних вузлів. Необхідною є компетентність у визначенні типових дефектів, причин їх виникнення, ознак прояву та можливих наслідків. Розуміння режимів роботи насосних станцій у складі магістрального трубопроводу забезпечує точність оцінки технічного стану обладнання.

Метрологічна підготовка персоналу

Фахівці мають володіти знаннями у сфері метрології та вміти забезпечувати простежуваність вимірювань, здійснювати калібрування або контроль справності вимірювальних приладів та обладнання. Важливо, щоб усі засоби вимірювальної техніки, які застосовуються під час діагностування, мали чинні свідоцтва про перевірку відповідно до вимог законодавства.

Дотримання вимог охорони праці та промислової безпеки

Персонал експертної організації повинен мати підтвержені знання з охорони праці, пожежної та техногенної безпеки, а також допуск до роботи на вибухо- та пожежонебезпечних об'єктах категорії В–1г. Знання правил експлуатації обладнання підвищеної небезпеки є обов'язковою умовою для проведення діагностичних робіт на промислових об'єктах НПС.

Організаційні вимоги до експертної установи

Експертна організація повинна мати у штаті кваліфікований персонал, забезпечувати безперервний професійний розвиток працівників, володіти сучасною матеріально-технічною базою та впровадженою системою менеджменту якості (ISO 9001 або ISO/IEC 17025 — для лабораторій). Наявність таких умов гарантує достовірність отриманих даних та якісне виконання робіт з технічної діагностики.

3.2 Організація служби технічного діагностування та надійності обладнання (ТДіНО)

Основні етапи формування служби технічного діагностування та надійності обладнання (ТДіНО):

- Створення та навчання основної групи діагностування;
- Визначення переліку машин, що діагностуються, та періодичності вимірювань, з подальшою корекцією на підставі досвіду експлуатації;
- Дослідження характерних видів відмов;
- Визначення найбільш доцільних методів та засобів діагностування;
- Підготовка обладнання для проведення вимірювань;
- Рішення питань організації використання діагностичної інформації;
- Оцінка ефективності діяльності служби ТДіНО;
- Розробка діагностичних моделей та методів адаптації до конкретних умов;
- Придбання обладнання, виготовлення пристроїв.

Групою діагностування виконуються роботи: визначення та контроль технічного стану обладнання; діагностування причин відмов; визначення обсягів та строків ремонтних робіт; оцінка якості монтажу, ремонту;

балансування роторів у власних опорах; регулювання механізмів, підшипників; центрування валів.

3.3 Переведення обладнання на планово-діагностичне обслуговування

При переведенні підприємства на планово-діагностичне обслуговування (ПДО) виконуються наступні кроки. Зокрема, за 4... 12 тижнів до запланованого терміну проведення ремонту (технічного обслуговування) агрегату за 52 - тижневим планом-графіком службою ремонту формується та надсилається запит про його стан у групу (службу) Технічної Діагностики (Підтримання Надійності). Якщо результати проведеного службою ТД обстеження показують, що агрегат перебуває у справному працездатному стані та його компоненти нормально функціонують, технічне обслуговування може бути затримане (наприклад, на шість чи дванадцять місяців). Коли підходять терміни чергового обслуговування агрегату, процедура повторюється до того часу, доки виявлено ознаки наближення стану до граничного.

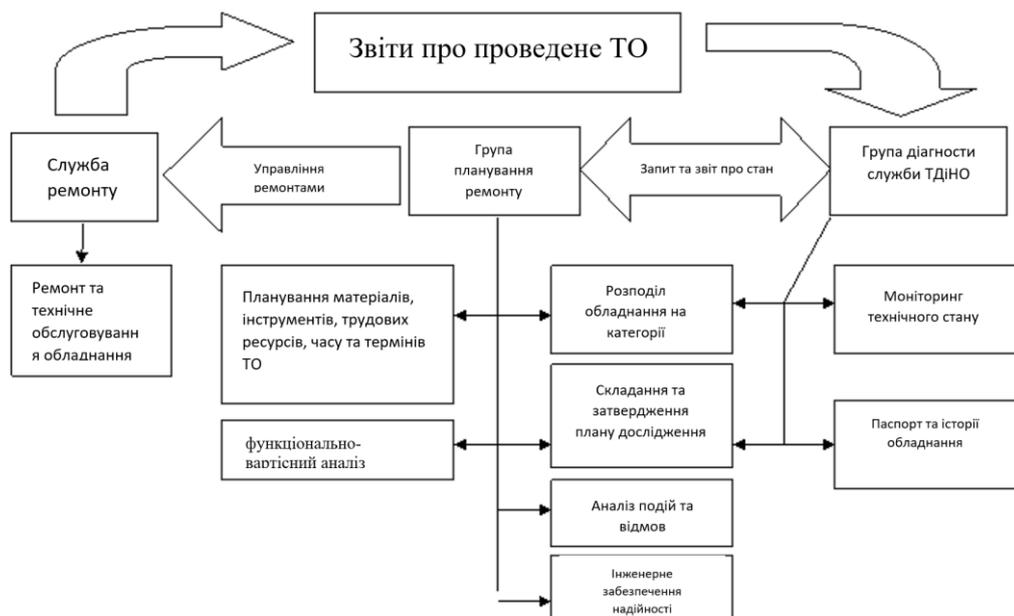


Рис. 3.1- Організація робіт під час переведення обладнання на ПДО

Дана схема (рис. 3.1) може бути реалізована на підприємстві, що практикує планово-профілактичне технічне обслуговування, яке вважається достатнім для задовільної роботи обладнання.

Першим кроком при переведенні частини обладнання на ПДО є створення двох основних структурних підрозділів, призначених для виконання основних функцій: група планування ремонту (технічного обслуговування) та група забезпечення надійності (технічної діагностики та моніторингу).

Група планування ремонту зазвичай вже існує на будь-якому досить великому підприємстві в тому чи іншому вигляді (з різними назвами), наприклад, у вигляді групи профілактичного обслуговування ГМ підприємства, проте її функції дещо розширюються від довгострокового планування (рік і більше) повсякденної роботи ремонтної служби до повномасштабного (короткострокового та довгострокового) планування. Ця група має здійснювати такі основні функції:

- координація повсякденної планово – профілактичної роботи служби ремонту підприємства, необхідного планового періодичного ТО з розпізнаванням стану обладнання, термінів та обставин проведення технічного обслуговування з керівництвом виробництва (з урахуванням мінімізації наслідків зупинки чи зниження продуктивності виробництва);
- планування обсягу робіт з ТО, включаючи процедури, інструмент, запасні частини, трудовитрати, огляди та обстеження тощо;
- контроль за виконанням робіт та відстеження витрат, включаючи функціонально-вартісний аналіз;
- оцінка тенденцій зміни міжремонтних інтервалів та ресурсу обладнання для потреб можливої модернізації або заміни обладнання та ведення та зберігання паспортів (історії) агрегатів.

Група забезпечення надійності (технічної діагностики та моніторингу) всі зусилля спершу спрямовує на правильну організацію моніторингу технічного стану обладнання, і лише через деякий час, у міру розвитку групи, робить кроки у напрямку проактивного обслуговування. Типова група

забезпечення надійності спочатку зазвичай складається з 1 або 2 інженерів - механіків і 1 або 2 техніків. Її кістяк слід складати з ініціативних, сумлінних та висококваліфікованих у ТО інженерів-механіків, здатних навчатися новим, передовим технологіям обслуговування, заснованим на застосуванні мікропроцесорної техніки та ЕОМ. Група забезпечення надійності повинна виконувати такі основні функції:

- проведення моніторингу та діагностики обладнання підприємства, керованого регламентом підприємства та запитамі групи планування ремонту (ТО) та керівника об'єкта;
- забезпечення своєчасних відомостей про стан обладнання для групи планування ремонту (ТО) з метою планування ремонту та виключення будь-яких позапланових зупинок виробництва;
- ведення архіву обладнання, у т. ч. відомостей про простої обладнання, стан обладнання, проведений ремонт та його результати, результати функціонально-вартісного аналізу та ін;
- впровадження технологій проактивного обслуговування та інших технологій моніторингу.

Правильне та точне проведення вібродіагностики дозволяє постійно контролювати технічний стан насосного обладнання та якість його монтажу, своєчасно виявляти дефекти, запобігати раптовому виходу з ладу насосів.

Висновки до розділу 3

У межах даного розділу було проведено комплексний аналіз вимог до кадрового забезпечення, необхідного для ефективної організації діагностування, обслуговування та забезпечення надійності основного обладнання нафтоперекачувальних станцій. Розгляд трьох ключових аспектів - вимог до фахівців експертної організації, організації служби технічного діагностування та переведення обладнання на планово-діагностичне обслуговування - дозволив сформулювати цілісне уявлення про кадрові та

організаційні передумови забезпечення безпечної та безвідмовної експлуатації обладнання НПС.

Перш за все визначено, що ефективність діагностики обладнання безпосередньо залежить від кваліфікації персоналу. Фахівці експертної організації мають відповідати вимогам професійної підготовки, володіти сучасними методами технічного діагностування, мати досвід роботи з насосними агрегатами магістральних нафтопроводів та знання нормативно-правової бази у сфері промислової безпеки. Високий рівень компетентності персоналу забезпечує достовірність діагностичних результатів і підвищує загальний рівень надійності обладнання.

У підрозділі щодо організації служби технічного діагностування та надійності обладнання (ТДіНО) обґрунтовано необхідність створення структурного підрозділу, який забезпечуватиме системну роботу з контролю технічного стану обладнання, аналізу напрацювання, прогнозування відмов та реалізації превентивних заходів. Встановлено, що ефективність такої служби залежить від кваліфікації її персоналу, налагодженої взаємодії між службами експлуатації та діагностування, а також застосування сучасних інструментів моніторингу та аналізу.

Третім важливим напрямом дослідження стало обґрунтування доцільності переведення обладнання на планово-діагностичне обслуговування. Доведено, що така система дозволяє оптимізувати періодичність обслуговування, зменшити кількість аварійних ремонтів, підвищити точність прогнозування технічного стану та подовжити міжремонтний період агрегатів. Реалізація цієї концепції неможлива без достатнього кадрового забезпечення, компетентності персоналу та наявності служби, що здійснює постійний моніторинг стану обладнання.

Узагальнюючи результати проведеного аналізу, можна зробити висновок, що кадрове забезпечення є ключовим фактором у процесі забезпечення технічної надійності НПС. Від рівня підготовки персоналу, чіткості організації служби ТДіНО та впровадження планово-діагностичного

обслуговування залежить ефективність експлуатації основного обладнання, зниження ризиків аварійності та збільшення ресурсу насосних агрегатів. Отримані результати підтверджують необхідність комплексного підходу до формування кадрів, удосконалення організаційної структури та впровадження сучасних діагностичних практик у галузі нафто транспортування.

РОЗДІЛ 4

РОЗРОБКА ДИДАКТИЧНОГО ПРОЄКТУ ВИКЛАДАННЯ ТЕМИ «ПРОВЕДЕННЯ ДІАГНОСТИКИ ОСНОВНОГО ОБЛАДНАННЯ НАФТОПЕРЕКАЧУВАЛЬНОЇ СТАНЦІЇ З МЕТОЮ ПРОДОВЖЕННЯ МІЖРЕМОНТНОГО ПЕРІОДУ», ЩО ВИВЧАЄТЬСЯ У ПРОЦЕСІ ПІДВИЩЕННЯ КВАЛІФІКАЦІЇ ФАХІВЦІВ ЕКСПЕРТНОЇ ОРГАНІЗАЦІЇ

4.1. Вихідні дані

Розроблення ефективного дидактичного проєкту з підвищення кваліфікації фахівців експертної організації повинно спиратися на аналіз виробничих реалій, професійного досвіду слухачів, їхніх компетентностей, а також технічних можливостей навчальної установи або корпоративного освітнього центру. Наведені нижче вихідні параметри визначають логіку формування змісту, методів і форм навчання, які забезпечать підготовку персоналу до проведення високоточної технічної діагностики обладнання нафтоперекачувальних станцій та прийняття рішень щодо продовження міжремонтного періоду.

Навчання орієнтоване на інженерно-технічний персонал експертних та діагностичних організацій, який виконує:

- технічну діагностику насосних агрегатів, силових приводів, вузлів гідравлічних систем і трубопровідної арматури;
- оцінювання технічного стану електротехнічного обладнання та систем автоматизованого керування НПС;
- проведення неруйнівного контролю (візуального, ультразвукового, вібраційного, термографічного та комбінованого);
- експертний аналіз дефектів, визначення їх критичності та прогнозування залишкового ресурсу;

– підготовку технічних висновків щодо можливості продовження міжремонтного періоду та рекомендацій з оптимізації режимів роботи обладнання.

Категорії слухачів. **До навчання залучаються:**

– фахівці середньої та вищої інженерної кваліфікації (інженери-діагности, експерти з технічного контролю, механіки, енергетики, спеціалісти КВПіА);

– працівники експертних центрів і підприємств трубопровідного транспорту, які несуть відповідальність за безпечну експлуатацію та надійність обладнання НПС;

– спеціалісти, що здійснюють збір, аналіз і верифікацію технічних даних, готують експертні висновки або беруть участь у плануванні ремонтних кампаній;

– молоді інженери, які мають базовий досвід діагностики, але потребують поглибленого навчання для виконання експертних функцій.

Рівень попередньої підготовки слухачів. Учасники програм підвищення кваліфікації, як правило, мають:

– базові знання у сферах експлуатації механічного, електротехнічного та насосно-технологічного обладнання;

– розуміння принципів роботи магістральних насосних установок, запірно-регулюючої арматури, систем автоматики та захисту;

– досвід роботи з технічними картами, регламентами ППР, актами діагностики та експлуатаційною документацією;

– навички ідентифікації дефектів та порушень режимів роботи обладнання;

– знання основ промислової безпеки, охорони праці, технічних регламентів і нормативів щодо діагностування та експлуатації небезпечних технічних об'єктів.

Місце роботи слухачів (типи підприємств). Учасниками програм можуть бути працівники таких підприємств:

- магістральні нафтотранспортні компанії та їх підрозділи;
- нафтоперекачувальні станції та нафтобази;
- сервісні та експертні організації, що надають послуги з технічної діагностики, контролю та оцінювання технічного стану;
- підприємства, що виконують модернізацію, капітальний ремонт та технічне обслуговування насосно-технологічного обладнання;
- центри неруйнівного контролю та лабораторії вібраційної і термографічної діагностики.

Місце підвищення кваліфікації. Підготовка фахівців може здійснюватися в таких закладах:

1. Корпоративні навчальні центри нафтотранспортних підприємств, які мають тренувальні стенди, діючі макети насосних агрегатів, лабораторії неруйнівного контролю, цифрові симулятори та сучасне діагностичне обладнання.

2. Профільні технічні університети та інститути післядипломної освіти, що проводять програми спеціалізованої підготовки з діагностики, експлуатації та технічної безпеки обладнання підвищеної небезпеки.

3. Освітні центри промислової безпеки, які здійснюють навчання з урахуванням вимог чинних стандартів, нормативно-технічних документів та міжнародних процедур сертифікації діагностів (ISO, API, EN).

4. Лабораторії та випробувальні центри сервісних компаній, що пропонують практичні модулі з роботи на реальному діагностичному обладнанні.

Тривалість програм залежить від їх змісту та рівня підготовки слухачів і може становити від 1 до 4 місяців. У разі поглиблених курсів, спрямованих на отримання статусу експерта з технічного оцінювання, тривалість може бути збільшена.

Форми організації навчального процесу. Освітній процес організовується у змішаному форматі, що включає:

- лекційні заняття, під час яких розглядаються конструктивні особливості обладнання НПС, методи діагностики, нормативні вимоги, алгоритми експертного оцінювання;
- практичні роботи з аналізу даних вібраційного, термографічного та ультразвукового контролю, розбору дефектних ситуацій;
- лабораторні модулі, що передбачають роботу з діючими стендами, демонстрацію різних типів дефектів, налаштування діагностичних систем;
- тренажерні заняття, що моделюють аварійні ситуації, нестандартні режими роботи насосних агрегатів і реакції систем автоматики;
- кейс-методи та групові дискусії, де слухачі формують власні експертні висновки на основі реальних технічних ситуацій.

4.2. Види та зміст професійної діяльності фахівця

Аналіз професійної діяльності фахівців експертної організації наведений в таблиці 4.1.

Професійна діяльність фахівців експертної організації, які здійснюють технічну діагностику основного обладнання нафтоперекачувальних станцій, є комплексним, багатофункціональним та ризик-орієнтованим процесом, що поєднує інженерні, аналітичні, організаційні та контрольні види робіт. Для якісного планування професійної підготовки та визначення ключових компетентностей необхідно проаналізувати зміст їхньої діяльності за трьома блоками: вид діяльності, функції, процеси.

Таблиця 4.1

Аналіз професійної діяльності фахівця

Вид діяльності	Функції діяльності	Процес діяльності
1	2	3
– Діагностично-аналітичну діяльність, спрямовану на оцінювання	– Функція технічного контролю: здійснення зовнішніх	Процеси діяльності експертів характеризують покрокову, технологічну сторону їх роботи та включають:

технічного стану насосних агрегатів,	і внутрішніх оглядів обладнання,	– Підготовчий процес, що охоплює збір вихідних даних, ознайомлення зі схемою
--------------------------------------	----------------------------------	--

Продовження табл.4.1

1	2	3
<p>– арматури, трубопроводів, резервуарів, систем автоматизації та інших елементів нафтотранспортної інфраструктури.</p> <p>– Експертно-оцінювальну діяльність, що передбачає визначення можливості подальшої безпечної експлуатації обладнання та прийняття рішень щодо продовження міжремонтного періоду.</p> <p>– Контрольно-наглядову діяльність, яка охоплює перевірку відповідності технічного стану обладнання чинним нормам, регламентам та правилам промислової безпеки.</p> <p>-Проектно-консультаційну діяльність, пов'язану зі складанням рекомендацій щодо модернізації, оптимізації режимів роботи, підвищення енергоефективності та зниження експлуатаційних ризиків</p>	<p>проведення вимірювання параметрів, – неруйнівного контролю, визначення пошкоджень, дефектів та відхилень.</p> <p>– Функція технічної діагностики: інтерпретація результатів вимірювань, встановлення причин дефектів, прогнозування залишкового ресурсу, моделювання поведінки обладнання в різних режимах.</p> <p>– Експертно-регуляторна функція: визначення відповідності обладнання вимогам нормативно-технічної документації, стандартів безпеки та правил нагляду.</p> <p>– Аналітична функція: опрацювання результатів діагностики,</p>	<p>– об'єкта, аналіз технічної документації, планування методів контролю та вибір діагностичних засобів.</p> <p>– Процес первинного огляду обладнання: візуальне обстеження, оцінка загального технічного стану, перевірка комплектності, ідентифікація місць потенційних пошкоджень.</p> <p>– Процес проведення вимірювань і контролю, який включає неруйнівний контроль (ультразвук, магнітопорошкові методи, віброаналіз, капілярний контроль тощо), визначення товщин, геометричних відхилень, рівня зносу, наявності корозійних та втомних дефектів.</p> <p>– Процес оброблення діагностичних даних: введення, систематизація, порівняння з нормативними значеннями, побудова трендів змін параметрів, застосування цифрових моделей та методів прогнозування.</p>

	статистичний аналіз відмов, формування висновків і	– Процес оцінювання технічного стану: визначення категорії стану обладнання,
--	--	--

Продовження табл.4.1

1	2	3
<p>– Організаційно-координаційну діяльність, що включає взаємодію з персоналом підприємства, підготовку документів, планування діагностичних процедур, узгодження технічних заходів.</p> <p>– Інформаційно-аналітичну діяльність, орієнтовану на опрацювання даних вимірювань, використання цифрових платформ, аналіз динаміки зміни параметрів та формування звітної документації.</p>	<p>рекомендацій, участь у розробці стратегій управління ризиками.</p> <p>Комунікативна функція: взаємодія з представниками замовника, обговорення – технічних рішень, аргументування висновків, консультування технологічного та ремонтного персоналу.</p> <p>– Організаційна функція: планування послідовності діагностичних заходів, координація роботи бригад, підготовка необхідного обладнання, складання графіків та процедур.</p> <p>– Оціночна функція: визначення можливості продовження терміну експлуатації обладнання, розробка висновків експертизи та рекомендацій щодо усунення дефектів.</p> <p>Документаційна функція: оформлення технічної документації, протоколів випробувань, актів обстеження, експертних</p>	<p>ідентифікація дефектів, встановлення ступеня небезпеки та залишкового ресурсу.</p> <p>– Процес прийняття рішень: розробка рекомендацій щодо подальшої експлуатації, визначення можливості продовження міжремонтного періоду, підготовка варіантів технічних заходів. Процес оформлення результатів експертизи: складання актів, протоколів, висновків, заповнення технічних паспортів, узгодження документів із замовником.</p> <p>– Процес інформаційно-комунікативної взаємодії: консультації з інженерно-технічним персоналом підприємства, обговорення дефектів, участь у комплексних нарадах щодо стану обладнання.</p> <p>– Процес контролю якості виконаних робіт: внутрішня експертна перевірка, валідація результатів, усунення невідповідностей, оновлення методик на основі отриманих даних.</p>

	висновків та технічних паспортів.	
--	-----------------------------------	--

4.3. Кваліфікаційні вимоги до фахівців експертної організації

Для забезпечення високої якості технічної діагностики обладнання нафтоперекачувальних станцій, фахівці експертної організації повинні відповідати вимогам щодо знань і практичних умінь, що дозволяють здійснювати оцінку технічного стану, прогнозування залишкового ресурсу та обґрунтоване прийняття рішень про продовження міжремонтного періоду.

Кваліфікаційні вимоги до фахівців експертної організації представлені в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2

Кваліфікаційні вимоги до фахівця

Фахівець повинен уміти	Фахівець повинен знати
1	2
<ul style="list-style-type: none"> – Планувати та організовувати діагностичні роботи, враховуючи специфіку обладнання та виробничі умови. – Виконувати візуальний та інструментальний контроль стану насосних агрегатів, трубопровідної арматури, систем автоматики та допоміжного обладнання. – Проводити неруйнівний контроль (ультразвуковий, магнітопорошковий, вібраційний, тепловізійний) та інтерпретувати отримані результати. – Аналізувати параметри роботи обладнання, виявляти дефекти, оцінювати їх критичність та вплив на безпеку експлуатації. – Використовувати цифрові системи моніторингу та програмне забезпечення для прогнозування 	<ul style="list-style-type: none"> – Конструктивні особливості основного і допоміжного обладнання нафтоперекачувальних станцій: насосні агрегати, арматуру, системи керування та автоматики. – Основи матеріалознавства, механіки руйнування та фізико-механічних властивостей матеріалів обладнання. – Методи технічної діагностики та неруйнівного контролю: ультразвуковий, вібраційний, магнітопорошковий, капілярний, тепловізійний та комбіновані методи. – Основи цифрового моніторингу та програмного забезпечення для оцінки технічного стану, аналізу даних та прогнозування залишкового ресурсу.

<p>залишкового ресурсу та оптимізації міжремонтних періодів.</p> <ul style="list-style-type: none"> – Формувати технічні висновки, розробляти рекомендації щодо продовження терміну служби 	<ul style="list-style-type: none"> – Принципи роботи автоматизованих систем керування насосними агрегатами та системами трубопроводів.
---	---

Продовження табл. 4.2

1	2
<ul style="list-style-type: none"> – обладнання або необхідності проведення ремонту. – Координувати роботу бригад діагностів та взаємодіяти з персоналом підприємства у процесі обстеження обладнання. – Оцінювати ризики аварій та небезпечних відмов, застосовувати методи управління ризиками в діагностичних процесах. – Вести технічну документацію: складати акти обстеження, протоколи випробувань, експертні висновки та звіти. – Проводити аналіз історії експлуатації обладнання та робити висновки щодо ефективності режимів роботи та стану ремонтної системи. 	<ul style="list-style-type: none"> – Нормативно-технічні документи та стандарти, що регламентують безпеку експлуатації, методи діагностики та технічні вимоги (національні та міжнародні стандарти, ISO, API, EN). – Методи оцінки залишкового ресурсу, аналізу ризиків та прийняття рішень щодо продовження міжремонтного періоду. – Основи промислової безпеки та охорони праці при проведенні діагностичних та ремонтних робіт на обладнанні під тиском та високим навантаженням. – Аналітичні та статистичні методи обробки результатів вимірювань, розрахунку параметрів дефектів та оцінки технічного стану. – Організаційні принципи планування та координації робіт, взаємодії з іншими службами підприємства, методика підготовки звітної та експертної документації.

--	--

4.4. Постановка цілей вивчення навчальної теми «Проведення діагностики основного обладнання нафтоперекачувальної станції з метою продовження міжремонтного періоду»

Головною метою вивчення навчальної теми є формування у слухачів компетентностей, необхідних для проведення високоточних технічних діагностичних робіт на основному обладнанні нафтоперекачувальних станцій та прийняття обґрунтованих рішень щодо продовження міжремонтного періоду, з урахуванням безпеки, технічної надійності та ефективності експлуатації.

Таблиця 4.3

Цілі-задачі на окремих етапах досягнення оперативних цілей

Рівні засвоєння навчального матеріалу теми	Цілі-задачі на окремих етапах досягнення оперативних цілей.
1	2
I, II, III, IV	<ul style="list-style-type: none"> – Вивчити принципи роботи насосних агрегатів, арматури та систем автоматики. – Ознайомитися з технічною документацією та схемами обладнання. – Розглянути основні фактори зносу та деградації матеріалів. – Сформувати уявлення про нормативні вимоги та стандарти безпеки. – Засвоїти принципи проведення неруйнівного контролю (ультразвук, вібрації, тепловізійні методи, магнітопорошковий контроль). – Навчитися оцінювати технічний стан обладнання на підставі параметрів вимірювань. – Опанувати прийоми моделювання дефектів та прогнозування залишкового ресурсу.

	<ul style="list-style-type: none"> – Освоїти роботу з цифровими платформами для обробки та аналізу діагностичних даних. – Провести практичний огляд насосних агрегатів та систем трубопровідної арматури. – Виконати заміри ключових параметрів роботи обладнання та зафіксувати їх у документації. – Провести аналіз результатів вимірювань для визначення дефектів та ступеня їхньої критичності. – Скласти експертний висновок про стан обладнання та можливість продовження міжремонтного періоду.
--	---

Продовження табл. 4.3

1	2
	<ul style="list-style-type: none"> – Використати результати діагностики для визначення технічного стану та залишкового ресурсу. – Оцінити ризики можливих відмов і наслідки експлуатації обладнання. – Розробити рекомендації щодо планування міжремонтного періоду та режимів роботи агрегатів. – Підготувати технічну документацію та звітність відповідно до нормативних вимог. – Провести аналіз реальних кейсів аварій та дефектів на насосному обладнанні. – Використати цифрові моделі для прогнозування ресурсів та оптимізації міжремонтних періодів. – Вдосконалити навички підготовки експертних висновків та обґрунтування прийнятих рішень. – Розвивати здатність до самостійного прийняття технічних рішень у складних умовах експлуатації.

4.5. Перелік літературних джерел з теми

1. Іваненко, О.І. Основи технічної діагностики насосного обладнання нафтоперекачувальних станцій. – Київ: Наукова думка, 2019. – 256 с.
2. Петренко, В.П., Сидоренко, М.М. Неруйнівний контроль та оцінка залишкового ресурсу технологічного обладнання. – Харків: Техніка, 2020. – 312 с.
3. Гнатюк, С.С. Підготовка фахівців експертних організацій: методичні та організаційні аспекти. – Львів: Інститут післядипломної освіти, 2018. – 198 с.

4.6. Конструювання дидактичних матеріалів з теми «Проведення діагностики основного обладнання нафтоперекачувальної станції з метою продовження міжремонтного періоду»

Створення ефективних дидактичних матеріалів для навчання фахівців експертних організацій передбачає комплексний підхід, який включає підготовку різних елементів, таких як метаплани занять, логіко-семантичні структури навчального тексту, контурні конспекти для викладача та навчальні матеріали для слухачів. Кожен із цих елементів спрямований на оптимізацію процесу навчання, послідовне розкриття змісту теми та формування практичних навичок діагностування обладнання.

Метаплан забезпечує структуру та логіку викладання матеріалу. Він дозволяє викладачу чітко визначати:

- ключові поняття та терміни, необхідні для розуміння технічного стану обладнання;
- основні технологічні процеси на насосних агрегатах та трубопровідній арматурі;

- методи технічної діагностики, включно з неруйнівним контролем, аналізом вібраційних, ультразвукових та термографічних даних;
- критичні точки, які потребують практичної демонстрації та відпрацювання навичок.

Метаплан дозволяє організувати навчальний процес у логічній послідовності: від теоретичних основ до практичного застосування методів діагностики, а також інтегрує міждисциплінарні знання — матеріалознавство, гідравліку, електротехніку та промислову безпеку.

Логіко-семантична структура є ключовим елементом дидактичних матеріалів. Вона дозволяє систематизувати навчальний контент так, щоб кожен блок матеріалу логічно впливав із попереднього та забезпечував комплексне розкриття теми.

Для теми «Проведення діагностики основного обладнання нафтоперекачувальної станції» логіко-семантична структура передбачає такі рівні:

1. Вступний блок – визначення цілей і завдань діагностики, значення міжремонтного періоду, нормативні та технічні вимоги.
2. Теоретичний блок – характеристика основного обладнання, принципи роботи насосних агрегатів, трубопровідної арматури, систем автоматизації та допоміжних елементів.
3. Методологічний блок – методи технічної діагностики, неруйнівні та інструментальні способи контролю, аналіз параметрів роботи обладнання, оцінка дефектів і прогнозування залишкового ресурсу.
4. Практичний блок – відпрацювання навичок на стендах і тренажерах, моделювання дефектів, виконання вимірювань, обробка даних і складання експертних висновків.
5. Аналітичний блок – аналіз результатів практичних робіт, оцінка ризиків та прийняття рішень щодо продовження міжремонтного періоду.
6. Заключний блок – узагальнення знань, формування висновків, контрольні завдання, рекомендації щодо вдосконалення практичних навичок.

Логіко-семантична структура дозволяє забезпечити цілісність навчального процесу, поєднувати теорію та практику і створює підґрунтя для ефективного освоєння компетентностей фахівця.

Контурні конспекти розробляються окремо для викладача та слухача. Вони включають:

- ключові поняття та терміни;
- схеми основного обладнання та алгоритми діагностичних процедур;
- таблиці методів контролю та типових дефектів;
- покрокові інструкції для проведення діагностики, обробки даних і складання висновків;
- орієнтовні питання для самоконтролю та практичних завдань.

Для викладача конспект слугує опорним матеріалом, який допомагає систематично подавати інформацію, моделювати навчальні ситуації і організовувати практичні заняття. Для слухача конспект виконує функцію навчальної опори, що дозволяє закріплювати знання та формувати навички самостійної діагностичної роботи.

Таким чином, конструювання дидактичних матеріалів з теми «Проведення діагностики основного обладнання нафтоперекачувальної станції» передбачає системне поєднання метапланів, логіко-семантичної структури, контурних конспектів та цифрових інтерактивних елементів. Такий підхід забезпечує комплексне формування компетентностей, необхідних для проведення високоточної діагностики та прийняття обґрунтованих експертних рішень щодо продовження міжремонтного періоду.

4.7. Аналіз базових умов навчання з теми «Проведення діагностики основного обладнання нафтоперекачувальної станції з метою продовження міжремонтного періоду»

Аналіз базового навчального матеріалу з теми представлені в таблиці табл. 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
Технічна механіка та опір матеріалів	<p>Методи: усне опитування. Форми: фронтальна. Засоби: контрольні питання.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Що включає поняття «розрахунок на міцність» для насосних агрегатів і трубопровідної арматури? 2. Як визначаються допустимі напруження та коефіцієнти запасу міцності? 3. Які методи оцінки залишкового ресурсу елементів обладнання використовуються в інженерній практиці?

Продовження табл. 4.4

1	2
	<ol style="list-style-type: none"> 1. Як враховуються циклічні та втомні навантаження при розрахунку ресурсу насосних агрегатів? 2. Які підходи застосовуються для прогнозування тривалості міжремонтного періоду? 3. Як оцінюється вплив дефектів та зносу на довговічність елементів обладнання? <p>Які стандарти та нормативи визначають методи розрахунку міцності та ресурсу обладнання?</p>
Матеріалознавство та технологія металів	<ol style="list-style-type: none"> 1. Які фізико-механічні властивості сталей і сплавів визначають їх здатність витримувати навантаження у насосних агрегатах та трубопровідній арматурі? 2. Яким чином корозія, втома та абразивний знос впливають на технічний стан і залишковий ресурс матеріалів обладнання? 3. Як тип матеріалу (сталь, легований сплав, чавун) впливає на вибір методів технічної діагностики та контролю? 4. Які фактори експлуатаційного середовища (тиск, температура, хімічна агресивність робочого середовища) необхідно враховувати при виборі методів контролю та оцінки стану матеріалів?

	5. Які переваги та обмеження мають різні методи неруйнівного контролю (ультразвуковий, магнітопорошковий, вібраційний, капілярний) залежно від властивостей матеріалу та виду дефекту?
Гідравліка та технологія перекачування нафти та нафтопродуктів	<p>1. Як аналіз режимів роботи насосних агрегатів допомагає визначити критичні точки навантаження та потенційні ризики для обладнання?</p> <p>2. Які параметри робочого середовища (тиск, об'ємний потік, температура, в'язкість рідини) найбільш суттєво впливають на знос насосних агрегатів та арматури?</p> <p>3. Як зміни робочих режимів, таких як коливання тиску та частоти обертання насоса, впливають на деградацію матеріалів і залишковий ресурс обладнання?</p> <p>4. Які методи контролю та діагностики застосовуються для виявлення наслідків гідравлічних перевантажень та оцінки зносу насосних агрегатів і трубопроводів?</p>

Продовження табл. 4.4

1	2
Промислова безпека та охорона праці	<p>1. Які основні норми та вимоги безпеки необхідно дотримуватися при експлуатації насосних агрегатів та трубопровідної арматури під тиском?</p> <p>2. Які заходи профілактики дозволяють мінімізувати ризик аварійних ситуацій на нафтоперекачувальних станціях?</p> <p>3. Які методи оцінки ризиків застосовуються для визначення ймовірності відмов та наслідків аварій у роботі обладнання під тиском?</p> <p>4. Як організовується система аварійної готовності, включаючи планування дій персоналу та технічних заходів, для забезпечення безпечної експлуатації насосних агрегатів та трубопроводів?</p>
Нормативно-технічна база та стандартизація	<p>1. Які основні вимоги державних стандартів та міжнародних нормативів (ISO, API, EN) необхідно враховувати при експлуатації насосного обладнання та трубопроводів?</p> <p>2. Як нормативно-технічна документація впливає на планування міжремонтних періодів і прийняття експертних рішень щодо продовження ресурсу обладнання?</p>

	<p>3. Які методи документування результатів технічної діагностики застосовуються для фіксації стану насосних агрегатів та арматури?</p> <p>4. Які правила та стандарти слід дотримуватися при проведенні технічної експертизи обладнання на предмет безпечної експлуатації?</p> <p>5. Як оформляються експертні висновки щодо продовження міжремонтного періоду і які ключові дані мають бути включені до такого звіту?</p>
--	---

4.8. Проектування мотиваційних технологій навчання з теми «Проведення діагностики основного обладнання нафтоперекачувальної станції з метою продовження міжремонтного періоду», 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! Ефективна експлуатація нафтоперекачувальних станцій є однією з ключових складових надійної роботи трубопровідного транспорту. Основне обладнання цих об'єктів, включаючи насосні агрегати, трубопровідну арматуру та системи автоматизації, експлуатується в умовах постійного навантаження, високого тиску та агресивного середовища. Будь-які несправності можуть призвести до зупинки технологічного процесу, збільшення витрат на ремонт або навіть до аварійних ситуацій з негативними економічними та екологічними наслідками.</p> <p>В сучасних умовах розвитку нафтогазової галузі особливо актуальним є завдання продовження міжремонтного періоду обладнання без шкоди для безпеки та надійності. Це потребує високої кваліфікації фахівців, здатних проводити комплексну технічну діагностику та приймати</p>

	<p>обґрунтовані експертні рішення. Правильне оцінювання технічного стану дозволяє не лише попереджувати відмови, але й оптимізувати графіки ремонту, що сприяє зниженню експлуатаційних витрат та підвищенню ефективності роботи підприємства.</p> <p>Вибір теми пов'язаний із необхідністю розвитку компетентностей інженерно-технічного персоналу експертних організацій у сфері діагностики основного обладнання. Вивчення сучасних методів неруйнівного контролю, оцінки залишкового ресурсу та аналізу дефектів дозволяє фахівцям приймати точні рішення щодо подовження міжремонтних періодів, що має безпосередній вплив на безпеку, економічність та стабільність роботи нафтоперекачувальних станцій.</p>
--	--

Продовження табл. 4.5

1	2
	<p>Отже, тема «Проведення діагностики основного обладнання нафтоперекачувальної станції з метою продовження міжремонтного періоду» є не лише актуальною з точки зору забезпечення надійності технологічних процесів, а й науково значущою, оскільки потребує комплексного підходу до підготовки фахівців та впровадження сучасних методів діагностики в практику експлуатаційних підприємств.</p>

4.9. Проектування технології формування орієнтовної основи діяльності при вивченні теми «Проведення діагностики основного обладнання нафтоперекачувальної станції з метою продовження міжремонтного періоду» (табл. 4.6).

Способи формування ООД з теми

Рівні засвоєння навчального матеріалу теми	Форми навчання	Методи та засоби навчання
1	2	3
<p>Рівень знань (теоретичний)</p> <p>-Засвоєння основних понять та термінів, пов'язаних з технічною діагностикою насосних агрегатів, трубопровідної арматури та допоміжного обладнання.</p> <p>-Розуміння принципів роботи обладнання та факторів, що впливають на його знос і деградацію.</p>	<p>Лекції – теоретичне ознайомлення з принципами роботи обладнання, методами діагностики та нормативними вимогами.</p> <p>Практичні заняття – виконання лабораторних робіт на макетах, стендах і тренажерах, відпрацювання методик контролю та вимірювань.</p>	<p>Методи навчання:</p> <p>1. Пояснювально-ілюстративний метод (лекції, демонстрації схем і відео).</p> <p>2. Практико-орієнтований метод (робота на тренажерах, лабораторні вимірювання, моделювання дефектів).</p> <p>3. Проблемно-пошуковий метод (розв'язання кейсів, аналіз аварійних ситуацій).</p> <p>4. Інтерактивний метод (групові обговорення, дискусії, онлайн-тести).</p>

Продовження табл. 4.6

1	2	3
<p>- Ознайомлення з нормативною базою, стандартами та методами оцінки технічного стану.</p>	<p>Семінари та дискусії – обговорення кейсів реальних аварійних та дефектних ситуацій, аналіз помилок та пошук оптимальних рішень.</p> <p>Онлайн-модулі та цифрові симулятори – моделювання роботи насосних агрегатів,</p>	<p>Засоби навчання:</p> <p>1. Технічні: макети насосних агрегатів, стенди 3 трубопровідною арматурою, вимірювальні прилади.</p> <p>2. Цифрові: програмні симулятори, платформи для обробки діагностичних даних, віртуальні лабораторії.</p> <p>3. Навчально-методичні: опорні конспекти, схеми, таблиці типових дефектів, методичні</p>
<p>Рівень умінь (практичний)</p> <p>-Виконання базових розрахунків напружено-деформованого стану елементів обладнання.</p> <p>-Застосування методів неруйнівного контролю та діагностики (вібро-, ультразвукова, термографічна діагностика).</p> <p>-Оцінка залишкового ресурсу агрегатів та прийняття експертних рішень щодо</p>		

продовження міжремонтного періоду.	трубопроводів та систем автоматизації; інтерактивна перевірка знань. Самостійна робота – опрацювання нормативної документації, підготовка звітів, виконання розрахункових та аналітичних завдань.	посібники та нормативні документи. 4. Інформаційні презентації, відеоматеріали, електронні ресурси для самостійної роботи.
Рівень компетентностей (аналітико-проектний) -Системний аналіз роботи насосних систем і трубопровідної арматури у різних режимах експлуатації. -Прогнозування ресурсозбереження та планування міжремонтних заходів. -Застосування цифрових інструментів та програмних платформ для моделювання стану обладнання та підготовки експертних висновків.		

4.10. Проектування технології формування виконавчих дій при вивченні теми «Проведення діагностики основного обладнання нафтоперекачувальної станції з метою продовження міжремонтного періоду» (табл. 4.7).

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	Завдання 1. – Розібрати макет або навчальний стенд насосного агрегату; визначити основні вузли та елементи. – Проаналізувати схеми підключення трубопровідної арматури та систем автоматизації. – Підготувати короткий звіт із зазначенням вузлів, що підлягають обов’язковій діагностиці під час міжремонтного періоду.

		<p>Завдання 2.</p> <ul style="list-style-type: none"> – Виконати візуальний огляд насосного агрегату та трубопровідної арматури. – Зафіксувати корозійні пошкодження, тріщини, сліди втомного зносу, витоки робочого середовища. – Скласти таблицю з описом дефектів, їх локалізацією та рекомендаціями щодо подальшої діагностики. <p>Завдання 3.</p> <ul style="list-style-type: none"> – Виконати вимірювання тиску та температури робочого середовища в насосній системі. – Визначити об'ємний потік та витрату рідини за допомогою витратомірів та датчиків. – Оцінити відхилення параметрів від нормативних значень і скласти висновки про стан обладнання. <p>Завдання 4.</p> <ul style="list-style-type: none"> – Провести ультразвуковий контроль основних елементів корпусу насоса та трубопровідної арматури. – Виконати магнітопорошковий або капілярний контроль з'єднань і корпусів. –
--	--	---

Продовження табл.4.7

1	2	3
		<ul style="list-style-type: none"> – Використати вібродіагностику для визначення аномалій у роботі агрегату (нестабільність обертання, дисбаланс). <p>Занести результати у форму контролю та порівняти з нормативними показниками.</p> <p>Завдання 5.</p> <ul style="list-style-type: none"> – Проаналізувати історію роботи насосного агрегату: тиск, частота обертання, кількість пусків/зупинок. – Визначити втомні навантаження та потенційні зони підвищеного зносу. – Побудувати графік деградації елементів та зробити прогноз залишкового ресурсу до наступного планового ремонту. <p>Завдання 6.</p>

		<ul style="list-style-type: none"> – На основі результатів діагностики скласти звіт про технічний стан обладнання. – Визначити доцільність продовження міжремонтного періоду та запропонувати план контролю до наступного обслуговування. – Обґрунтувати вибір методів діагностики та прийнятих рішень у звіті. <p>Завдання 7.</p> <ul style="list-style-type: none"> – Виконати моделювання роботи насосного агрегату у різних режимах на цифровому симуляторі. – Виявити критичні умови роботи та потенційні дефекти, використовуючи аналітичні модулі. – Порівняти отримані результати з даними реальних вимірювань і скласти звіт про відповідність показників.
--	--	---

4.11. Проектування контрольних дій з теми «Проведення діагностики основного обладнання нафтоперекачувальної станції з метою продовження міжремонтного періоду» (таблиця 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"> 1. Які механізми деградації матеріалів (корозія, втома, абразивний знос) характерні для обладнання НПС, і як вони визначають вибір методів діагностики? 2. Які нормативні документи та стандарти (ISO, API, EN, ДСТУ) регламентують проведення технічної діагностики та продовження міжремонтного періоду? 3. Яким чином робочі параметри (тиск, температура, частота обертання, об'ємний потік) впливають на знос насосного обладнання та трубопроводів?

	<p>4. Як проводиться оцінка залишкового ресурсу агрегатів і прийняття рішення щодо продовження міжремонтного періоду?</p> <p>5. Які цифрові інструменти та програмні комплекси можуть використовуватися для моніторингу стану обладнання та прогнозування його ресурсу?</p> <p>6. Які форми та методи навчання дозволяють ефективно підготувати фахівців до проведення технічної діагностики та прийняття експертних рішень?</p> <p>7. Яким чином оформлюється технічний звіт та експертний висновок щодо продовження міжремонтного періоду, і які дані обов'язково мають бути включені до документа?</p>
--	---

4.12. Розробка програми курсів підвищення кваліфікації викладання теми «Проведення діагностики основного обладнання нафтоперекачувальної станції з метою продовження міжремонтного періоду» представлено в таблиці 4.9..

Таблиця 4.9

Програма курсів підвищення кваліфікації

№ з/п	Назва заняття	Термін заняття (год.)	Цілі заняття	Тип заняття	Методи навчання
1	Вступ до діагностики обладнання НПС	2	Ознайомлення з основами роботи нафтоперекачувальних станцій, видами основного обладнання та міжремонтними періодами	Лекція	Пояснювально-ілюстративний метод, презентація, демонстрація схем
2	Конструктивні особливості насосних агрегатів та арматури	3	Розуміння будови насосів, трубопровідної арматури та допоміжних систем; визначення критичних вузлів для діагностики	Лекція + практичне заняття	Демонстрація макетів, розбір схем, опорні конспекти
3	Основи матеріалознавства та механіки елементів обладнання	4	Засвоєння фізико-механічних властивостей сталей і сплавів, механізмів деградації та зносу елементів	Лекція	Пояснення з ілюстраціями, аналіз таблиць властивостей матеріалів, інтерактивні запитання
4	Методи технічної діагностики обладнання	6	Навчитися застосовувати ультразвуковий, магнітопорошковий, капілярний, термографічний контроль та вібродіагностику	Практичне заняття	Робота на стендах та макетах, демонстрація приладів, моделювання дефектів
5	Аналіз режимів роботи та оцінка залишкового ресурсу	4	Розвиток умінь оцінювати вплив робочих параметрів на ресурс	Практичне заняття	Розрахункові завдання, графіки деградації, кейс-аналіз

			обладнання та приймати рішення щодо міжремонтного періоду		
--	--	--	---	--	--

Продовження табл. 4.9

1	2	3	4	5	6
6	Нормативне забезпечення та стандарти	2	Ознайомлення з ISO, API, EN та національними стандартами щодо діагностики та експлуатації	Лекція	Презентація, аналіз прикладів документів, дискусія
7	Програмне забезпечення та цифрові інструменти для діагностики	3	Навчання використанню симуляторів та програм для прогнозування стану обладнання	Практичне заняття	Робота з цифровими платформами, моделювання режимів роботи
8	Складання експертного висновку та документація	3	Засвоєння правил оформлення технічних звітів та висновків щодо продовження міжремонтного періоду	Практичне заняття	Аналіз прикладів, складання звітів, групова робота
9	Аварійна готовність та промислова безпека	2	Формування компетентностей щодо оцінки ризиків та дій персоналу у випадку відмов	Лекція + семінар	Обговорення кейсів, моделювання аварійних ситуацій, групові дискусії

10	Підсумкове заняття: комплексна діагностика та прийняття рішень	4	Закріплення знань та умінь, комплексне проведення діагностики та формування експертного висновку	Практичне заняття	Моделювання реального процесу діагностики, робота у групах, підготовка звіту
----	---	---	--	-------------------	--

4.13. Розробка сценарію заняття «Складання експертного висновку та документація»

Таблиця 4.10

Сценарій заняття

№ з/п	Структурні елементи заняття	Зміст структурних елементів
1	2	3
1	Організаційна частина (5 хвилин)	<ul style="list-style-type: none"> - Привітання учасників, перевірка присутніх. - Ознайомлення з метою та завданнями заняття. - Коротке пояснення порядку проведення практичної та теоретичної частини.
2	Вступна частина (10 хвилин)	<ul style="list-style-type: none"> - Актуальність теми: важливість правильного складання експертного висновку для продовження міжремонтного періоду обладнання. - Основні нормативні вимоги та стандарти щодо оформлення технічної документації (ISO, API, EN, ДСТУ). - Ознайомлення з типовою структурою експертного висновку: опис обладнання, результати діагностики, аналіз стану, рекомендації щодо продовження міжремонтного періоду.
3	Теоретична частина (30 хвилин)	<ul style="list-style-type: none"> - Порядок проведення діагностики і фіксації результатів. - Основні принципи документування: чіткість, послідовність, достовірність інформації. - Методи узагальнення даних: таблиці дефектів, графіки залишкового ресурсу, аналітичні висновки. - Приклади типових помилок при складанні висновків та способи їх уникнення. - Вимоги до стилю та оформлення: технічний стиль мови, структуровані абзаци, використання схем та ілюстрацій.
4	Практична частина (45 хвилин)	<ul style="list-style-type: none"> - Робота у групах: аналіз результатів діагностики насосного агрегату та трубопровідної арматури. - Складання експертного висновку на основі заданих даних (виявлені дефекти, вимірювання параметрів, прогноз залишкового ресурсу). - Включення в документ таблиць, графіків та рекомендацій щодо продовження міжремонтного

		періоду.
--	--	----------

Продовження табл. 4.10

1	2	3
		- Обговорення результатів з викладачем, корекція помилок, уточнення формулювань.
5	Заклучна частина (10 хвилин)	- Підведення підсумків заняття: ключові навички, отримані в процесі складання експертного висновку. - Обговорення труднощів, з якими зіткнулися учасники, та способів їх подолання. - Відповіді на запитання, рекомендації для самостійної роботи та вдосконалення навичок документування. - Інформація про наступне заняття та домашнє завдання (наприклад, складання повного звіту з діагностики іншого обладнання).

Висновки до розділу 4

Розроблений дидактичний проєкт включає чітко визначені цілі та завдання на кожному етапі навчання, що дозволяє поетапно формувати компетентності слухачів, починаючи від засвоєння фундаментальних теоретичних знань і завершуючи аналітичними навичками оцінки технічного стану обладнання та прийняття обґрунтованих експертних рішень щодо продовження міжремонтного періоду. Особлива увага у проєкті приділена практикоорієнтованим формам навчання, таким як робота на макетах та тренажерах, моделювання дефектів, проведення вимірювань робочих параметрів обладнання, застосування цифрових платформ для моніторингу та прогнозування залишкового ресурсу. Це дозволяє слухачам не лише засвоїти теоретичні основи, а й отримати практичні навички, необхідні для виконання функцій експерта у реальних умовах нафтоперекачувальної станції.

Важливим елементом проєкту є логіко-семантична структура викладання теми, яка забезпечує послідовну подачу матеріалу,

систематизацію знань та інтеграцію практичних завдань із теоретичними блоками. Сценарії занять передбачають поєднання лекційних, практичних і семінарських форм, що дозволяє активно залучати слухачів до процесу навчання та забезпечує розвиток аналітичного мислення, навичок оцінки ризиків і прийняття рішень. Крім того, розроблені дидактичні матеріали — опорні конспекти, контурні схеми, методичні рекомендації — створюють умови для систематичного та ефективного навчання.

На основі проведеного аналізу зарубіжного та вітчизняного досвіду визначено оптимальні підходи до організації підвищення кваліфікації, які включають комплексне поєднання технічної підготовки, використання цифрових та симуляційних інструментів, а також інтерактивних методів навчання для розвитку компетентностей у сфері діагностики обладнання та оцінки залишкового ресурсу. Впровадження дидактичного проєкту дозволяє підвищити рівень професійної підготовки експертів, забезпечити достовірність технічної діагностики, знизити ризики аварійних ситуацій, а також сприяти оптимізації планування ремонтних робіт і продовженню безпечної експлуатації основного обладнання нафтоперекачувальної станції.

Таким чином, розроблений дидактичний проєкт є комплексним інструментом підвищення кваліфікації фахівців експертної організації, що забезпечує ефективне поєднання теоретичної підготовки, практичних навичок та аналітичних компетентностей, необхідних для професійного виконання завдань з діагностики обладнання та прийняття обґрунтованих рішень щодо продовження міжремонтного періоду.

ВИСНОВКИ

У магістерській роботі комплексно досліджено питання професійної підготовки фахівців експертних організацій, які здійснюють технічну діагностику та оцінювання технічного стану основного обладнання нафтоперекачувальних станцій. Отримані результати дозволили сформулювати науково обґрунтовані висновки щодо ролі кадрового забезпечення, методів діагностування та освітніх підходів у забезпеченні надійності обладнання НПС та продовженні його міжремонтного періоду.

У першому розділі розкрито актуальність створення сучасної, інтегрованої та технологічно орієнтованої системи професійної підготовки фахівців експертних організацій. Доведено, що високий рівень кадрової компетентності є ключовою умовою якісного діагностування обладнання та реалізації стратегій продовження міжремонтного періоду насосних агрегатів.

У другому розділі здійснено аналіз технічного стану та методів діагностики основного обладнання НПС. Показано, що застосування сучасних методів контролю забезпечує підвищення точності визначення технічного стану агрегатів, оптимізацію ремонтно-експлуатаційних процесів та підвищення ефективності використання ресурсів підприємства.

У третьому розділі узагальнено вимоги до кадрового забезпечення системи технічного діагностування НПС та визначено необхідність чіткої організації служби ТДіНО. Доведено, що якісна підготовка персоналу та впровадження планово-діагностичного обслуговування є основою зниження аварійності, подовження ресурсу обладнання та підвищення технічної безпеки нафтотранспортної інфраструктури.

У четвертому розділі розроблено дидактичний проєкт підвищення кваліфікації фахівців експертної організації, який поєднує теоретичну підготовку, практичні навички та аналітичні компетентності, необхідні для виконання діагностичних робіт і прийняття обґрунтованих технічних рішень.

Практична значущість роботи

Результати дослідження мають вагоме практичне значення для підприємств нафтотранспортної галузі та експертних організацій, а саме:

- дозволяють удосконалити систему професійної підготовки фахівців, підвищивши їхню професійну спроможність до виконання складних діагностичних операцій;
- сприяють впровадженню сучасних методів технічної діагностики насосного обладнання, що підвищує точність оцінювання технічного стану;
- забезпечують можливість оптимізації ремонтних циклів і подовження міжремонтного періоду агрегатів, що знижує експлуатаційні витрати підприємства;
- пропонують організаційні підходи до формування служби технічної діагностики та надійності, здатної забезпечувати безперебійну роботу насосних станцій;
- можуть бути використані як методичне підґрунтя для навчальних програм, курсів підвищення кваліфікації та підготовки експертного персоналу;
- дають змогу підвищити рівень промислової безпеки та мінімізувати ризики аварійних ситуацій на об'єктах нафто транспортування.

Підсумовуючи, результати магістерської роботи підтверджують важливість інтегрованого підходу до підготовки кадрів, оптимізації організаційних структур та впровадження сучасних діагностичних практик у сфері нафто транспортування. Запропоновані рекомендації можуть бути впроваджені в діяльність експертних організацій та підприємств галузі, сприяючи підвищенню ефективності технічної експлуатації обладнання нафтоперекачувальних станцій і забезпеченню його довготривалої та безаварійної роботи.

