

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 інжинірингового центру до модернізації
шламових насосів систем очищення свердловин»
(тема кваліфікаційної роботи)

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

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Ю Пивовар / Юлія ПИВОВАР
(підпис) (ім'я та прізвище)

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

Рецензент Олександр Александров / Олександр АЛЕКСАНДРОВ
(підпис) (ім'я та прізвище)

«До захисту допущено»

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

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

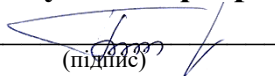
Секретар ЕК Євген Ключка / Євген КЛЮЧКА
(підпис) (ім'я та прізвище)

Харків – 2025 рік

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

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

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри


(підпис)

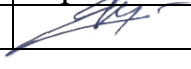
д.т.н., проф. Геннадій КАНІЮК
«__» грудня 2025 р.

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

здобувачці вищої освіти Юлії ПИВОВАР
(ім'я, прізвище)


1. Тема «Професійна підготовка фахівців інжинірингового центру до модернізації шламових насосів систем очищення свердловин»
затверджена наказом по університету № 4801-5/3665 від 06.10.2025 р.
2. Термін здачі закінченої роботи «15» грудня 2025 р.
3. Вихідні дані до роботи/проєкту: Закони України, Постанови Верховної Ради, Постанови Кабінету Міністрів, теоретичні та практичні розробки вітчизняних та зарубіжних авторів за темою роботи, періодичні видання, статистичні дані, галузева нормативна документація, технологічна документація.
4. Зміст роботи/проєкту (перелік питань, що їх належить розробити): Актуальність професійної підготовки фахівців інжинірингового центру до модернізації шламових насосів систем очищення свердловин. Модернізація шламових насосів систем очищення свердловин. Вимоги до кадрового забезпечення інжинірингового центру. Розробка дидактичного проєкту.
5. Перелік графічного матеріалу (презентаційний матеріал): Презентація, виконана в програмі Microsoft PowerPoint

6. Консультант:

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

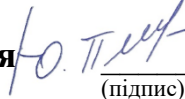
7. Дата видачі завдання «06» жовтня 2025 р.

Керівник роботи



Олена ПРОКОПЕНКО
(ім'я, прізвище)

Завдання прийняла до виконання

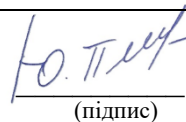


Юлія ПИВОВАР
(ім'я, прізвище)

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

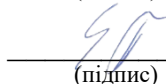
№ з/п	Назва етапів роботи та питань, які мають бути розроблені відповідно до завдання	Термін виконання	Позначки керівника про виконання завдань
1	Аналітичний огляд літератури	06.10.2025 – 15.10.2025	вик.
2	Актуальність професійної підготовки фахівців інжинірингового центру до модернізації шламових насосів систем очищення свердловин	16.10.2025 – 25.10.2025	вик.
3	Модернізація шламових насосів систем очищення свердловин	26.10.2025 – 10.11.2025	вик.
4	Вимоги до кадрового забезпечення інжинірингового центру	11.11.2025 – 14.11.2025	вик.
5	Розробка дидактичного проєкту	15.11.2025 – 10.12.2025	вик.
6	Оформлення пояснювальної записки та презентації	До 15.12.2025	вик.

Здобувачка вищої освіти


(підпис)

Юлія ПИВОВАР
(ім'я, прізвище)

Нормоконтроль


(підпис)

Євген КЛЮЧКА
(ім'я, прізвище)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка дипломної роботи складає: 94 сторінок, 21 рисунок, 16 таблиць, 30 переліків посилань.

Ключові слова: ПРОФЕСІЙНА ПІДГОТОВКА, КОМПЕТЕНТНОСТІ, МОДЕРНІЗАЦІЯ, ШЛАМОВИЙ НАСОС

Об'єкт дослідження – процес професійної підготовки інженерно-технічних фахівців інжинірингового центру, які виконують роботи з модернізації та технічного супроводу шламових насосів у системах очищення свердловин.

Предмет дослідження – професійна підготовка інженерно-технічного персоналу інжинірингового центру до ефективного проведення робіт з модернізації, оптимізації та діагностики шламових насосів, а також оцінки їх технічного стану та залишкового ресурсу.

Проведено аналіз особливостей професійної діяльності фахівців інжинірингового центру, пов'язаної з модернізацією та діагностикою шламових насосів; визначено компетентнісні вимоги до персоналу, який здійснює оцінку технічного стану насосів і приймає рішення щодо підвищення їх ефективності та надійності; обґрунтовано зміст, структуру та методи професійної підготовки фахівців у сфері модернізації та технічного супроводу шламових насосів; розроблено програму професійної підготовки з урахуванням інженерно-технічних, нормативних і ризик-орієнтованих аспектів діяльності інжинірингового центру.

ABSTRACT

An explaining message consists of: 94 pages, 21 pictures, 16 tables, 30 lists of references.

Keywords: PROFESSIONAL TRAINING, COMPETENCES, MODERNIZATION, SLURRY PUMP

The object of the study is the process of professional training of engineering and technical specialists of the engineering center, who perform work on modernization and technical support of slurry pumps in well cleaning systems.

The subject of the study is professional training of engineering and technical personnel of the engineering center for effective implementation of work on modernization, optimization and diagnostics of slurry pumps, as well as assessment of their technical condition and residual resource.

An analysis of the features of the professional activity of engineering center specialists related to modernization and diagnostics of slurry pumps has been conducted; competency requirements for personnel who assess the technical condition of pumps and make decisions on increasing their efficiency and reliability have been determined; the content, structure and methods of professional training of specialists in the field of modernization and technical support of slurry pumps have been substantiated; A professional training program has been developed taking into account the engineering, technical, regulatory and risk-oriented aspects of the engineering center's activities.

ЗМІСТ

ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1	11
АКТУАЛЬНІСТЬ ПРОФЕСІЙНОЇ ПІДГОТОВКИ ФАХІВЦІВ ІНЖИНІРИНГОВОГО ЦЕНТРУ ДО МОДЕРНІЗАЦІЇ ШЛАМОВИХ НАСОСІВ СИСТЕМ ОЧИЩЕННЯ СВЕРДЛОВИН.....	
1.1 Вимоги до професійної діяльності фахівців інжинірингового центру....	11
1.2 Проблеми та суперечності в існуючій системі підготовки фахівців	12
1.3 Необхідність удосконалення професійної підготовки фахівців інжинірингового центру	14
1.4 Зарубіжний та вітчизняний досвід підготовки спеціалістів у сфері модернізації насосного обладнання	15
Висновки до розділу 1	17
РОЗДІЛ 2	19
МОДЕРНІЗАЦІЯ ШЛАМОВИХ НАСОСІВ СИСТЕМ ОЧИЩЕННЯ СВЕРДЛОВИН	
2.1 Аналіз конструкції шламових насосів	20
2.2 Опис базової конструкції насоса	37
2.3 Робоча характеристика насоса 6Ш8.....	39
2.4 Аналіз основних несправностей та причин відмов	40
2.5 Ущільнювальні пристрої	42
2.6 Аналіз відомих рішень.....	45
2.7 Обґрунтування модернізації та опис запропонованої конструкції насоса.	48
2.8 Розрахунок параметрів модернізованого насосу	49
2.8.1 Розрахунок параметрів робочого колеса.....	50
2.8.2 Чисельне моделювання отриманої конструкції у системі ANSYS.....	62
Висновки до розділу 2	63
РОЗДІЛ 3	65

ВИМОГИ ДО КАДРОВОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ІНЖИНІРИНГОВОГО ЦЕНТРУ	65
Висновки до розділу 3	68
РОЗДІЛ 4	69
РОЗРОБКА ДИДАКТИЧНОГО ПРОЄКТУ ВИКЛАДАННЯ ТЕМИ «МОДЕРНІЗАЦІЯ ШЛАМОВИХ НАСОСІВ СИСТЕМ ОЧИЩЕННЯ СВЕРДЛОВИН», ЩО ВИВЧАЄТЬСЯ У ПРОЦЕСІ ПІДВИЩЕННЯ КВАЛІФІКАЦІЇ ІНЖИНІРИНГОВОГО ЦЕНТРУ	69
4.1 Вихідні дані.....	69
4.2 Види та зміст професійної діяльності фахівця.....	71
4.3 Кваліфікаційні вимоги до фахівців інжинірингового центру	72
4.4 Постановка цілей вивчення навчальної теми «Модернізація шламових насосів систем очищення свердловин».....	73
4.6 Конструювання дидактичних матеріалів з теми «Модернізація шламових насосів систем очищення свердловин»	75
4.8 Проєктування мотиваційних технологій	79
4.9 Проєктування технології формування орієнтовної основи діяльності ...	80
4.10 Проєктування технології формування виконавчих дій.....	83
4.11 Проєктування контрольних дій	85
4.12 Розробка програми курсів підвищення кваліфікації	86
4.13 Розробка сценарію заняття «Методи модернізації та оптимізації шламових насосів»	89
Висновки до розділу 4	90
ВИСНОВКИ.....	93
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	94

ВСТУП

Сучасна нафтогазова промисловість характеризується високим рівнем технологічної складності, інтенсивністю експлуатації обладнання та жорсткими вимогами до надійності і безпеки технологічних процесів. Шламові насоси є ключовими елементами систем очищення свердловин, що забезпечують безперебійну циркуляцію бурових розчинів і видалення шламових сумішей. В умовах інтенсивної експлуатації ці насоси піддаються значним механічним, гідравлічним та абразивним навантаженням, що призводить до зносу деталей, зниження продуктивності і, у ряді випадків, до аварійних ситуацій. У зв'язку з цим модернізація шламових насосів та оптимізація їх експлуатації стає критично важливою для забезпечення ефективності виробничих процесів, зниження ризиків аварійності та продовження ресурсу обладнання.

Одним із ключових чинників забезпечення ефективності модернізаційних робіт є високий професійний рівень фахівців інжинірингових центрів, які виконують ці роботи. Сучасні інженери повинні володіти глибокими знаннями в галузі матеріалознавства, гідравліки, механіки, технологій неруйнівного контролю та цифрового моделювання режимів роботи насосів. Окрім теоретичної підготовки, особливе значення має практичне навчання, здатність аналізувати реальні дефекти, проводити діагностику технічного стану і приймати обґрунтовані інженерні рішення щодо модернізації та оптимізації обладнання.

Актуальність дослідження обумовлена тим, що існуюча система професійної підготовки інженерно-технічного персоналу часто не забезпечує інтеграції міждисциплінарних знань, недостатньо орієнтована на практичну роботу з реальними виробничими дефектами та не включає сучасні цифрові інструменти для оцінки технічного стану і прогнозування залишкового ресурсу шламових насосів. Це створює ризики неправильної оцінки

залишкового ресурсу обладнання, невчасного прийняття технічних рішень та підвищеної ймовірності аварійних ситуацій.

Таким чином, наукове та практичне обґрунтування системи професійної підготовки фахівців інжинірингового центру є актуальним завданням, яке дозволяє підвищити ефективність модернізації шламових насосів, забезпечити безпечну та безперебійну експлуатацію систем очищення свердловин і сприяти підвищенню продуктивності промислових процесів. Дослідження спрямоване на розробку інтегрованої системи навчання, яка поєднує теоретичні знання, практичні навички та аналітичні компетентності, необхідні для виконання сучасних інженерних завдань у нафтогазовій галузі.

Об'єкт дослідження – процес професійної підготовки інженерно-технічних фахівців інжинірингового центру, які виконують роботи з модернізації та технічного супроводу шламових насосів у системах очищення свердловин.

Предмет дослідження – професійна підготовка інженерно-технічного персоналу інжинірингового центру до ефективного проведення робіт з модернізації, оптимізації та діагностики шламових насосів, а також оцінки їх технічного стану та залишкового ресурсу.

Мета дослідження – теоретично обґрунтувати та розробити ефективну систему професійної підготовки фахівців інжинірингового центру, спрямовану на формування компетентностей, необхідних для проведення модернізації шламових насосів, оцінки їх технічного стану та прийняття обґрунтованих рішень щодо підвищення надійності та продуктивності обладнання у системах очищення свердловин.

Гіпотеза дослідження. Професійна підготовка інженерно-технічного персоналу інжинірингового центру буде ефективною та сприятиме підвищенню надійності шламових насосів, якщо:

– навчальний зміст включатиме вивчення конструктивних особливостей шламових насосів, механізмів їх деградації, а також сучасних методів діагностики та оцінки залишкового ресурсу;

– у навчальному процесі буде забезпечена інтеграція знань з матеріалознавства, гідравліки, технічної механіки, промислової безпеки та цифрового моделювання режимів роботи обладнання;

– застосовуватимуться практикоорієнтовані методи навчання, включаючи моделювання дефектів, роботу з діагностичними приладами, аналіз реальних кейсів і тренінги з прийняття інженерних рішень.

Завдання дослідження:

1. Проаналізувати особливості професійної діяльності фахівців інжинірингового центру, пов'язаної з модернізацією та діагностикою шламових насосів.

2. Визначити компетентнісні вимоги до персоналу, який здійснює оцінку технічного стану насосів і приймає рішення щодо підвищення їх ефективності та надійності.

3. Обґрунтувати зміст, структуру та методи професійної підготовки фахівців у сфері модернізації та технічного супроводу шламових насосів.

4. Розробити програму професійної підготовки з урахуванням інженерно-технічних, нормативних і ризик-орієнтованих аспектів діяльності інжинірингового центру.

Методи дослідження: аналіз нормативно-технічної документації та стандартів щодо насосного обладнання та систем очищення свердловин; огляд науково-технічної літератури; порівняльний аналіз програм професійної підготовки фахівців у суміжних галузях; експертне опитування інженерів і спеціалістів із модернізації насосів; аналіз кейсів реальних відмов та несправностей обладнання; педагогічне моделювання з розробленням дидактичної системи навчання; узагальнення результатів практичної діяльності інжинірингових підрозділів.

Наукова новизна дослідження полягає в тому, що:

- уперше комплексно обґрунтовано систему професійної підготовки фахівців інжинірингового центру, орієнтовану на модернізацію та діагностику шламових насосів у системах очищення свердловин;
- запропоновано дидактичну модель підготовки, що поєднує технічні, аналітичні, ризик-орієнтовані та нормативні компетентності;
- визначено методику інтеграції практикоорієнтованого навчання, цифрових інструментів та кейс-аналізу для підвищення професійної готовності персоналу.

Практична значущість дослідження полягає в тому, що розроблена система професійної підготовки може бути впроваджена у програми підвищення кваліфікації та атестації фахівців інжинірингових центрів, що забезпечить підвищення ефективності модернізації шламових насосів, зниження аварійності обладнання та оптимізацію планування технічного обслуговування і ремонтів.

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

РОЗДІЛ 1

АКТУАЛЬНІСТЬ ПРОФЕСІЙНОЇ ПІДГОТОВКИ ФАХІВЦІВ ІНЖИНІРИНГОВОГО ЦЕНТРУ ДО МОДЕРНІЗАЦІЇ ШЛАМОВИХ НАСОСІВ СИСТЕМ ОЧИЩЕННЯ СВЕРДЛОВИН

1.1 Вимоги до професійної діяльності фахівців інжинірингового центру

Професійна діяльність фахівців інжинірингового центру, які здійснюють модернізацію та технічний супровід шламових насосів систем очищення свердловин, відзначається високим рівнем відповідальності та складністю виконуваних завдань. Специфіка цих робіт передбачає комплексний підхід до оцінки технічного стану насосного обладнання, аналізу його експлуатаційних характеристик, виявлення дефектів, що можуть призвести до зниження продуктивності або аварійних ситуацій, а також розробки технічних рішень щодо модернізації та оптимізації режимів роботи. Фахівець повинен володіти здатністю працювати з різними типами насосів, розуміти принципи їх роботи, конструктивні особливості та особливості взаємодії з системами очищення свердловин, а також враховувати умови експлуатації, включаючи вплив абразивного шламу, гідравлічних навантажень і температурних коливань.

Компетентнісний профіль інженера-експерта формується на основі поєднання теоретичних знань, практичних умінь та професійних навичок. До знань, необхідних для ефективного виконання завдань, належать гідравліка, технічна механіка, матеріалознавство, методи діагностики та оцінки залишкового ресурсу насосів, а також сучасні технології неруйнівного контролю та цифрового моделювання режимів роботи обладнання. Вміння фахівця включають аналіз технічного стану насосів, визначення причин відмов, проведення модернізаційних робіт, складання експертних висновків і

рекомендацій щодо оптимізації експлуатаційних параметрів. Навички охоплюють роботу з діагностичними приладами, цифровими платформами для моніторингу та прогнозування технічного стану, а також уміння застосовувати знання нормативних і стандартних документів у процесі планування та виконання робіт.

Не менш важливим аспектом професійної діяльності є дотримання нормативно-технічного забезпечення, яке регламентує безпечну експлуатацію та модернізацію насосного обладнання. Фахівець інжинірингового центру повинен знати національні стандарти та державні нормативи, а також міжнародні вимоги, такі як ISO, API та EN, що встановлюють правила проведення технічної діагностики, методи випробувань, критерії допустимих відхилень і заходи щодо запобігання аварійним ситуаціям. Дотримання цих стандартів забезпечує не лише безпеку виробничих процесів, а й підвищує надійність обладнання, дозволяє обґрунтовано приймати рішення щодо модернізації, планування ремонтів та продовження ресурсу шламових насосів.

Таким чином, вимоги до професійної діяльності фахівців інжинірингового центру охоплюють комплекс знань, умінь та навичок, інтеграцію міждисциплінарної підготовки та суворе дотримання нормативно-технічних стандартів, що дозволяє забезпечити високий рівень ефективності модернізації, надійності та безпечної експлуатації шламових насосів у системах очищення свердловин.

1.2 Проблеми та суперечності в існуючій системі підготовки фахівців

Аналіз існуючої системи професійної підготовки фахівців інжинірингових центрів виявляє низку проблем і суперечностей, які суттєво впливають на якість модернізації та технічного супроводу шламових насосів у системах очищення свердловин. Однією з основних проблем є невідповідність освітніх програм сучасним технологічним викликам. Більшість навчальних

курсів розроблено на основі застарілих підходів і не враховує новітні технології насосного обладнання, сучасні методи діагностики, автоматизації та цифрового моделювання процесів. Це призводить до того, що випускники освітніх програм часто не володіють достатнім обсягом знань і практичних умінь, необхідних для ефективної модернізації та супроводу шламових насосів.

Ще одним значущим недоліком є недостатній рівень практичної підготовки та відсутність інтеграції міждисциплінарних знань. Ефективна робота інженера-експерта вимагає комплексного розуміння матеріалознавства, гідравліки, технічної механіки, методів цифрового моделювання та аналітики технічного стану обладнання. Однак існуючі навчальні програми часто фрагментовані та подають дисципліни окремо, без належного поєднання теоретичних і практичних аспектів. В результаті фахівці не завжди здатні оперативно інтегрувати знання з різних галузей, що знижує ефективність діагностики, аналізу залишкового ресурсу та прийняття рішень щодо модернізації обладнання.

Ще однією суттєвою проблемою є відсутність системного підходу до роботи з реальними виробничими дефектами та аварійними ситуаціями. Практична підготовка часто обмежується теоретичними заняттями або роботою на лабораторних макетах, тоді як досвід роботи з реальними насосами у виробничих умовах обмежений. Це призводить до того, що фахівці не завжди готові до несподіваних аварійних ситуацій, не можуть швидко визначити причину відмови, оцінити ризики та розробити ефективні заходи щодо їх усунення. Внаслідок цього підвищується ймовірність помилок у діагностиці та прийнятті рішень, що негативно впливає на надійність і ресурс шламових насосів.

Таким чином, існуюча система підготовки фахівців має суттєві недоліки, що зумовлюють необхідність її модернізації. Вона потребує інтеграції міждисциплінарних знань, підвищення рівня практичної підготовки,

впровадження сучасних цифрових та симуляційних технологій, а також системного підходу до роботи з реальними виробничими дефектами. Лише комплексна модернізація освітніх програм дозволить сформувати висококваліфікованих фахівців, здатних ефективно виконувати завдання з модернізації та технічного супроводу шламових насосів у сучасних умовах нафтогазового виробництва.

1.3 Необхідність удосконалення професійної підготовки фахівців інжинірингового центру

Необхідність удосконалення професійної підготовки фахівців інжинірингового центру обумовлена сучасними вимогами нафтогазової промисловості до ефективної та безпечної експлуатації шламових насосів у системах очищення свердловин. Постійне вдосконалення технологій, підвищення складності насосного обладнання та зростання вимог до продуктивності і надійності технічних систем створюють потребу у впровадженні оновлених методик навчання. Традиційні підходи, що переважно орієнтовані на теоретичну підготовку, не забезпечують належного рівня практичних навичок, необхідних для оперативного виявлення дефектів, діагностики технічного стану та прийняття обґрунтованих рішень щодо модернізації насосів. Впровадження сучасних навчальних методик дозволяє інтегрувати міждисциплінарні знання, забезпечити поєднання теорії та практики, а також створити умови для системного формування професійних компетентностей.

Особливе значення має використання практикоорієнтованих форм підготовки, включаючи роботу на тренажерах, лабораторних макетах і промислових стендах, що моделюють реальні умови експлуатації насосів. Такі форми навчання дають можливість фахівцям відпрацьовувати алгоритми виявлення та усунення дефектів, оцінки залишкового ресурсу обладнання, аналізу режимів роботи насосних систем і прийняття рішень щодо їх

модернізації. Практичні тренінги дозволяють не лише закріпити теоретичні знання, а й виробити навички швидкого реагування на аварійні ситуації, що підвищує рівень безпеки та знижує ймовірність технічних відмов у виробничих умовах.

Важливим напрямом удосконалення підготовки є формування цифрової, аналітичної та ризик-орієнтованої компетентності. Сучасні інженери повинні володіти інструментами цифрового моделювання та аналізу даних, методами прогнозування залишкового ресурсу, а також прийняттям рішень на основі оцінки ризиків і ймовірності відмов обладнання. Використання цифрових платформ, програмного забезпечення для вібро- та термодіагностики, а також засобів моніторингу роботи насосів дозволяє значно підвищити точність оцінки технічного стану та обґрунтованість рекомендацій щодо модернізації. Це особливо важливо в умовах складних експлуатаційних процесів, де відсутність належного аналізу та прогнозування може призвести до аварійних ситуацій, простоїв та збільшення витрат на ремонт обладнання.

Таким чином, удосконалення професійної підготовки фахівців інжинірингового центру є необхідною умовою підвищення ефективності модернізації шламових насосів, забезпечення безпечної та надійної роботи систем очищення свердловин, а також формування високого рівня професійної компетентності, здатної відповідати сучасним технологічним і промисловим вимогам. Комплексне впровадження оновлених методик, практикоорієнтованих форм навчання та цифрових інструментів дозволяє створити цілісну систему підготовки фахівців, орієнтовану на реальні виробничі завдання та оперативне прийняття ефективних інженерних рішень.

1.4 Зарубіжний та вітчизняний досвід підготовки спеціалістів у сфері модернізації насосного обладнання

Аналіз зарубіжного та вітчизняного досвіду підготовки спеціалістів у сфері модернізації насосного обладнання дозволяє визначити ключові

тенденції та ефективні підходи до формування професійної компетентності інженерів. У багатьох країнах із розвинутим нафтогазовим сектором підготовка фахівців поєднує глибоку теоретичну базу з активним застосуванням практикоорієнтованих методик. Наприклад, у США, Канаді та Німеччині освітні програми для інженерів передбачають інтеграцію знань з гідравліки, матеріалознавства, технічної механіки та цифрових технологій, а також використання сучасних симуляторів, лабораторних макетів і цифрових платформ для моделювання режимів роботи насосів та аналізу їх технічного стану. Такий підхід дозволяє фахівцям не лише засвоїти теоретичні аспекти, а й отримати навички практичного рішення складних інженерних завдань, що виникають у виробничих умовах.

Вітчизняна система підготовки спеціалістів в галузі нафтогазового обладнання також поступово впроваджує нові методики, однак вона стикається з низкою обмежень, пов'язаних із недостатнім рівнем практичної підготовки, обмеженим доступом до сучасних симуляторів і цифрових платформ, а також невисоким рівнем інтеграції міждисциплінарних знань. Багато навчальних програм орієнтовані на традиційні лекційні форми викладання і лабораторні заняття, що не завжди відтворюють реальні виробничі умови та складність експлуатаційних завдань. Це обмежує здатність фахівців ефективно модернізувати насосне обладнання та здійснювати його технічний супровід у складних виробничих режимах.

Серед кращих практик зарубіжних країн можна виділити використання цифрових платформ для моніторингу роботи насосів у режимі реального часу, інтерактивних симуляторів, що моделюють різні аварійні та критичні ситуації, а також тренажерних комплексів, що дозволяють відпрацьовувати алгоритми діагностики та модернізації насосів без ризику для виробничого обладнання. Застосування таких технологій сприяє підвищенню точності експертної оцінки технічного стану обладнання, оптимізації режимів роботи та формуванню навичок прийняття обґрунтованих інженерних рішень.

Можливості адаптації зарубіжного досвіду для вітчизняної системи підготовки полягають у запровадженні інтегрованих навчальних програм, що поєднують міждисциплінарну теоретичну підготовку з практикоорієнтованими тренінгами, використанні цифрових платформ і симуляторів, а також у впровадженні системи оцінки компетентностей фахівців на основі практичних кейсів і реальних виробничих ситуацій. Такий підхід дозволяє підвищити ефективність підготовки інженерів, забезпечити їх готовність до модернізації шламових насосів, знизити ризики аварій та підвищити надійність і продуктивність обладнання на об'єктах видобутку та очищення свердловин.

Таким чином, порівняльний аналіз зарубіжного та вітчизняного досвіду підготовки фахівців демонструє, що впровадження сучасних практикоорієнтованих методів, цифрових інструментів та інтегрованих програм навчання є ключовою умовою підвищення професійної компетентності інженерів і забезпечення ефективної модернізації насосного обладнання у виробничих умовах.

Висновки до розділу 1

Аналіз сучасного стану професійної підготовки фахівців інжинірингових центрів демонструє високу актуальність удосконалення навчальних програм у зв'язку з постійним ускладненням конструкцій шламових насосів, підвищенням вимог до їхньої надійності та ефективності, а також впровадженням нових технологій діагностики та цифрового моніторингу. Виявлені проблеми існуючої системи підготовки, зокрема невідповідність освітніх програм сучасним технологічним викликам, недостатній рівень практичної підготовки та відсутність інтеграції міждисциплінарних знань, підкреслюють необхідність переходу до комплексного підходу, який об'єднує теоретичну базу, практичні навички та

компетентності у сфері цифрових і аналітичних методів оцінки технічного стану насосного обладнання.

Особлива увага має приділятися впровадженню практикоорієнтованих форм навчання, включаючи роботу на тренажерах, макетах і симуляторах, що відтворюють реальні експлуатаційні умови шламових насосів та можливі аварійні ситуації. Такий підхід забезпечує формування здатності фахівця швидко аналізувати технічний стан обладнання, визначати дефекти та приймати обґрунтовані рішення щодо модернізації та оптимізації режимів роботи. Крім того, інтеграція цифрових інструментів і ризик-орієнтованих методів оцінки дозволяє підвищити точність прогнозування залишкового ресурсу насосів та зменшити ймовірність аварій, що має безпосередній вплив на надійність і безпеку технологічних процесів.

Порівняльний аналіз зарубіжного та вітчизняного досвіду підготовки спеціалістів показав, що використання інтегрованих міждисциплінарних програм, цифрових платформ, симуляторів і тренажерів значно підвищує ефективність навчання та рівень професійної компетентності інженерів. Адаптація цих методик до національних умов та специфіки роботи інжинірингових центрів сприяє створенню системи підготовки, яка відповідає сучасним виробничим вимогам і технологічним стандартам.

Таким чином, висновки розділу свідчать про те, що удосконалення професійної підготовки фахівців інжинірингових центрів є критичною умовою забезпечення ефективної модернізації шламових насосів, підвищення надійності та безпеки технологічних процесів у системах очищення свердловин, а також формування високого рівня інженерної компетентності, що відповідає сучасним промисловим викликам. Системний підхід до навчання, орієнтований на інтеграцію теоретичних знань, практичних навичок і цифрових технологій, створює основу для підготовки фахівців, здатних приймати ефективні інженерні рішення у складних виробничих умовах.

РОЗДІЛ 2

МОДЕРНІЗАЦІЯ ШЛАМОВИХ НАСОСІВ СИСТЕМ ОЧИЩЕННЯ СВЕРДЛОВИН

Насоси - один з основних видів обладнання, що застосовується для перекачування різних сумішей рідини, включаючи абразивні, що містять тверді речовини різних розмірів, складів, міцності та інших характеристик.

У цьому випадку використовуються спеціальні конструкційні насосні конструкції, які називають ґрунтові. Різновид ґрунтового насоса – шламований насос, призначений для перекачування гідросумішей щодо невеликих твердих частинок, які промисловість називає шламом. Шлам менше абразивний, ніж тверді частинки інших типів, а їх розмір відносно невеликий. Через досить важкі умови експлуатації таких насосів необхідно використовувати відповідні конструктивні пристрої.

Нафтогазова промисловість широко використовує шламіві насоси в системі очищення свердловин від вибуреної породи та очищення розчину від неї. Їх також можна застосовувати і в інших цілях, де необхідно перекачувати забруднені рідини, особливо в разі збору рідин, що розлилися.

Для створення більш досконалих конструкцій шламових насосів та їх ефективної експлуатації потрібне знання та облік вже існуючих розробок у цій галузі та знання основ розрахунку та конструювання насосів подібного призначення. Проаналізувавши конструкції існуючих шламових насосів як прототип був обраний горизонтальний шламований насос 6Ш8. Даний насос є одним із найпоширеніших шламових насосів на бурових. Застосовується при бурінні свердловин для перекачування промивного розчину з питомою вагою 1200...1500 кг/м³ та подачі відпрацьованого розчину в гідроциклонну установку для очищення. Насос працює при перекачуванні розчину з температурою не більше 40 градусів і вмістом твердих частинок до 20 мм. Практика експлуатації насоса 6Ш8 показала, що найбільш поширеною

проблемою є знос ущільнення валу (ущільнення часто виходить з ладу, що призводить до значного зниження ресурсу роботи насоса). У зв'язку з цим модернізація БШ8 з метою підвищення ресурсу роботи насоса є актуальним завданням. Завданням дипломного проекту збільшення міжремонтного періоду насоса. Для вирішення цього завдання в роботі було виконано аналіз конструкцій вітчизняних та зарубіжних шламових насосів, описано їх відмінні риси, розглянуто переваги та недоліки конструкцій.

Завданнями цього розділу є

- аналіз особливостей конструкцій шламових насосів (ШН);
- розгляд їх переваг та недоліків;
- обґрунтування пріоритетної технології для їх модернізації;
- модернізація ротора насоса, шляхом оснащення його ввімкненим шнеком у всмоктувальному патрубку;
- аналіз можливостей зниження перетоків розчину;
- виробітка пропозицій щодо побільшення міжремонтного періоду насосу з урахуванням зниження кавітаційної ерозії ротора;
- чисельне моделювання одержаної конструкції у системі ANSYS;
- розрахунок та оптимізація основних параметрів шнека та обґрунтування конструкції модернізованого шламового насоса на основі розробленої моделі.

2.1 Аналіз конструкції шламових насосів

Шламові насоси є одним із видів досить великого класу ґрунтових насосів. Специфічні властивості двокомпонентних рідин, що перекачуються - абразивність і наявність в них великих твердих частинок, зумовлюють особливості конструкції цього класу насосів.

Ґрунтові насоси та, в тому числі шламові, відцентрового типу, одноступінчасті, з консольним розташуванням робочого колеса. Робочі колеса ґрунтових насосів виконують широкими, з паралельними стінками в

меридіональному перерізі та малим числом лопатей (2...4). Відведення роблять кільцевого, напівспірального чи спірального типу.

Наявність великих включень в гідросуміші викликає ударні навантаження, що діють на ротор і опорні вузли насосів, що особливо проявляються при заклиніванні твердих включень в робочому колесі. Тому підшипникові вузли виконують посиленими, здатними сприймати ударні навантаження.

Особливостями конструкції, викликаними абразивними властивостями гідросуміші, у загальному випадку є такі:

- застосування спеціальних зносостійких матеріалів для деталей, що швидко зношуються;
- використання захисних елементів, що легко замінюються, – бронедисків, ущільнюючих кілець та ін.;
- збільшення товщини деталей (лопатей та дисків робочого колеса, стінок корпусу, бронедисків), що піддаються зношуванню;
- розвантаження кінцевих ущільнень від тиску та захист їх від потрапляння абразивних частинок;
- висока ремонтпридатність насосів, що забезпечує легкість та доступність заміни деталей та складальних одиниць;

У деяких ґрунтових насосах можуть використовуватися:

- змінні внутрішні корпуси;
- захист ущільнень при вході в робоче колесо від зношування за допомогою подачі рідини для промивання;
- можливість регулювання осьових зазорів в ущільненнях у процесі експлуатації;
- посадка та кріплення робочого колеса на валу, що виключають наявність кріпильної гайки у вхідній частині колеса, а також використання різних вкладишів у маточині робочого колеса для можливості обробки посадкового отвору.

Найбільш поширеними є насоси типу 6Ш8 та 6Ш8-2. Насоси 6Ш8 і 6Ш8-2 призначені для перекачування нейтральних гідросумішей з дрібною твердою фракцією щільністю 1200-1500 кг/м³ температури до 40° С, що містять тверді частинки максимальним розміром не більше 20 мм. Насоси 6Ш8 і 6Ш8-2 відрізняються лише деякими геометричними розмірами та, відповідно, технічними показниками. Характеристики шламових насосів 6Ш8 і 6Ш8-2 представлені в табл. 2.1.

Таблиця 2.1

Технічні характеристики шламових насосів типу 6Ш8 та агрегатів на їх основі

Найменування основних параметрів і розмірів	Тип насосу	
	6Ш8	6Ш8-
1	2	3
Подача, м ³ /год	250	150
Натиск, м	54	33
Частота обертання електродвигуна, об/хв	1500	1500
Потужність, кВт	90,100	30
Довжина, мм	2030	2020
Ширина, мм	707	583
Висота, мм	880	760
Діаметр всмоктуючого патрубку, мм	150	125
Діаметр нагнітального патрубку, мм	125	100
ККД, %	64	64
Висота всмоктування, м	5	5
Маса насоса, кг	400	380
Маса насоса з рамою	475	455

Продовження табл. 2.1

1	2	3
Напрацювання на відмову, год	600	600
Середній ресурс до капітального ремонту, год.	6000	4000

Загальний вигляд насоса представлено рис. 2.1.

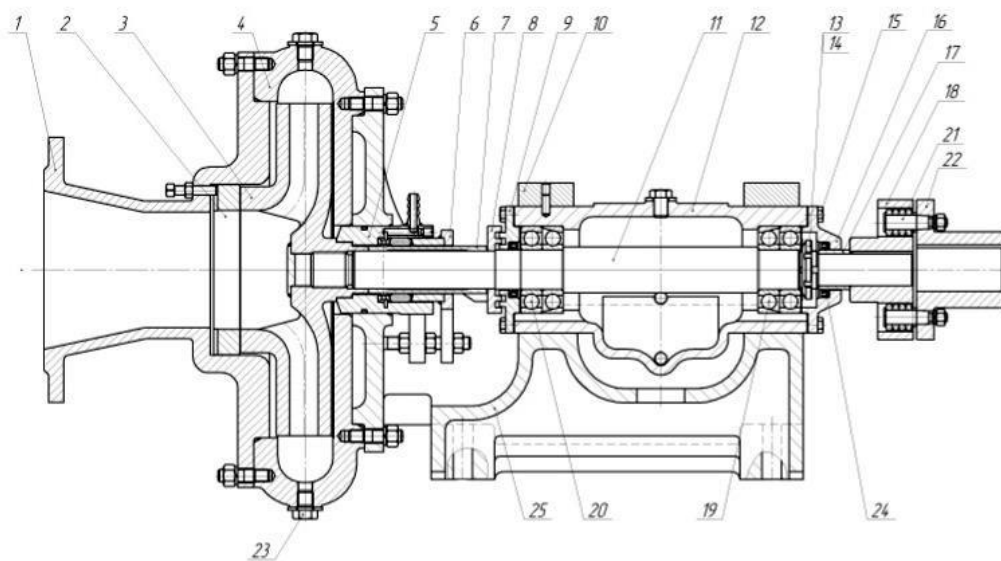


Рис. 2.1 Загальний вигляд насоса 6Ш8:

1 - всмоктувальний патрубок; 2 – кільце; 3 - робоче колесо; 4 – корпус спіральний; 5 – корпус ущільнення; 6 – корпус сальника; 7 - підсальникова втулка; 8 - кільце лабіринтне; 9 -кришка підшипника передня; 10 - скоба; 11 - вал; 12 – корпус підшипника; 13 – гайка; 14 - шайба; 15 – болти; 16 – кришка підшипників задня; 17 – втулка; 18 - напівмуфта насоса; 19 – підшипник;
20 - підшипник; 21 – пальці муфти; 22 - напівмуфта електродвигуна; 23 - пробка; 24 – манжета; 25 - корпус насоса

Насосний агрегат складається з насоса, електродвигуна, сполучної муфти, кожуха, фундаментної плити. Ці насоси консольні, одноступінчасті, відцентрового типу. Вал насоса встановлений у корпусі на двох підшипниках: передні роликові сприймають лише радіальне навантаження; задні радіально-упорні сприймають радіальну і знакозмінну за напрямом осьове навантаження. Ущільненням валу служить сальникове набивання. У міру зношування набивання її підтискають за допомогою корпусу сальника. Для охолодження та змащення сальникового вузла передбачена подача чистої води через штуцер у корпусі ущільнення. Ущільнення боку, що всмоктує, - рухоме торцеве. Додатково передбачено регулювання торцевого зазору за допомогою регулювальних гвинтів. Робоче колесо закріплене на валу за допомогою різьбового з'єднання. Наявність скоб, що кріплять корпус підшипників, полегшує процес розбирання та збирання підшипникового вузла без демонтажу опорного кронштейна.

Насос та електродвигун встановлюються на загальну плиту так, щоб між напівмуфтами був зазор 5-6 мм, потім виробляють центрування напівмуфт із застосуванням спеціальних пристроїв та встановленням під лапи електродвигуна металевих прокладок. Співвісність валів насоса та електродвигуна не повинна бути більше 0,3 мм; непаралельність торцевих площин напівмуфт понад 0,2 мм.

При монтажі всмоктувального та нагнітального трубопроводів слід звернути особливу увагу на їхню герметичність. Всмоктувальна лінія повинна йти, піднімаючись до насоса. Це необхідно для того, щоб повітря або пари, що виділяються з гідросуміші, могли легко видалятися. Внутрішній діаметр всмоктуючого трубопроводу не повинен бути меншим від внутрішнього всмоктуючого патрубка насоса. Нагнітальний та всмоктувальний трубопроводи повинні виключити передачу зусиль від ваги трубопроводів. На всмоктувальній та нагнітальній лініях повинні бути встановлені засувки.

Також на бурових установках застосовують електронасосні агрегати типу ГрА.

Агрегат електронасосний типу ГрА складається з горизонтального одноступінчастого відцентрового насоса та приводного електродвигуна. Залежно від умов експлуатації передбачено компонування агрегату з верхнім розташуванням електродвигуна та клинопасової передачею від двигуна до насоса та компонування насоса та електродвигуна на загальній фундаментній плиті зі з'єднанням валу насоса та електродвигуна через пружну муфту. Перевага верхнього розташування двигуна в тому, що змінюючи співвідношення діаметрів шківів на валу насоса і двигуна, можна отримати відповідну зміну продуктивності та напору насоса.

Насос відцентрового типу має консольно закріплене на валу робоче колесо. Вхід рідини здійснюється в робоче осьове колесо. Відведення рідини із робочого колеса забезпечується спіральною камерою. Спіральний корпус насоса притягнутий до проміжного кільця. Між кільцями та спіральним корпусом затиснутий бронедиск. У конструкції передбачені два взаємозамінні типи ущільнення – сальникове та комбіноване. Для забезпечення надійної роботи сальникового ущільнення під час роботи необхідно підводити чисту воду. Комбіноване ущільнення доцільно застосовувати за умов, коли відсутня можливість подачі води. Ущільнення складається із укріпленого на валу диска з радіальними лопатками (експелера), що обертається у закритій циліндричній камері. У місці виходу валу з камери встановлюються два кільця сальникового набивання, розділені кільцем і стиснуті кришкою, [6].

Вал насоса обертається у двох підшипникових опорах, які розміщуються у сталевій склянці, закріпленій хомутами на кронштейні опорної стійки. У передній опорі розміщено один роликовий дворядний сферичний підшипник, що сприймає лише радіальні навантаження. У задній опорі розміщені два підшипники: конічний, що упирається у внутрішній бурт склянки і сприймає

тільки осьові навантаження, направлені в бік патрубку насоса, що всмоктує, і дворядний сферичний роликовий, що сприймає радіальні навантаження.

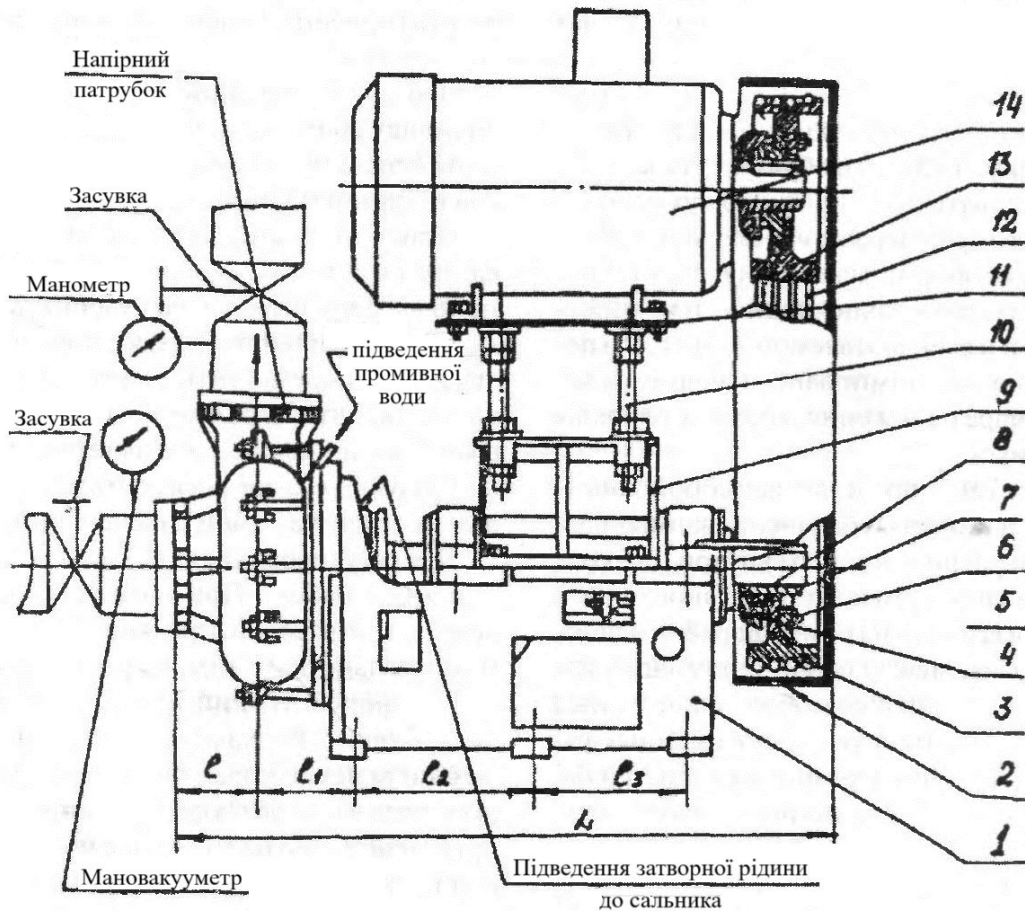


Рис. 2.2 Насосна установка ГрАК – 170/40

- 1 – насос; 2 – кожух; 3, 13 – шків; 4 – кільце; 5 – гайка; 6 – шпилька;
 7 – диск; 8 – втулка конічна; 9 – рама; 10 - шпилька регульовальна;
 11 – плита; 12 - ремінь; 14 – електродвигун; 15 – плита фундаментна;
 16 - муфта; 17 – огорожа

У конструкції насоса передбачена можливість регулювання осевого положення ротора насоса, що необхідно для встановлення необхідного торцевого проміжку між робочим колесом і торцевими поверхнями спірального корпусу і бронециліндра (2 ÷ 2,5 мм). Щоб уникнути передчасного

виходу з ладу підшипників внаслідок підвищення осьової сили понад розрахункову, передній торцевий зазор по робочому колесу слід витримувати в процесі експлуатації та складання насоса у зазначених межах. Регулювання здійснюється осьовим переміщенням склянки разом із ротором за допомогою регулювальних гайок та шпильок.

Для зниження тиску перед ущільненням валу з боку робочого колеса та зменшення осьової сили, що діє на підшипники ротора, на поверхнях торцевих робочого колеса виконані радіальні відбійні лопатки.

Таблиця 2.2

Характеристика агрегату електронасосного типу ГрА-170/40

Характеристика, од вимірювання	Значення
Максимальна щільність суспензій, що перекачуються, сумішей, кг/м ³	1400 - 1800
Подача, м ³ /год	170
Натиск, м	40
Частота обертання, об/хв	1450
Допустимий кавітаційний запас, м, не більше	4,5

При обв'язуванні насосів необхідне встановлення запірної арматури на всмоктувальній та нагнітальній лініях. При монтажі агрегату необхідно дотримуватись горизонтальності. Горизонтальність контролювати за рівнем. Після закінчення монтажу агрегату та трубопроводів необхідно перевірити центрування валів насоса та двигуна.

Крім вище зазначених насосів на бурових для перекачування шламу використовують вертикальні напівзанурювальні насоси. Прикладом таких насосів є ВШН-150, а також його аналоги – ВШНС-250/60 та ВШН-300.

Насос ВШН-150, показано на рис.2 .3, призначений для перекачування розчину для промивання з питомою вагою 1300 кг/м³. Температура розчину не

повинна перевищувати 50°C , а вміст твердих частинок - 20% при найбільшій їх величині не більше 20 мм.

Насос ВШН-150 є відцентровим насосом. Корпус зварного насоса складається з труби з вікнами, верхнього фланця, двох кронштейнів та нижньої кришки. У середині корпусу є фланець для кріплення склянки. До верхнього фланця кріпиться електродвигун. До нижньої кришки кріпиться задня броня, спіральний корпус і гумовий підшипник, що є одночасно пристроєм ущільнювача. До спірального корпусу кріпиться кришка, яка виконує роль передньої броні. Робоче колесо відкритого типу, правого обертання. Колесо кріпиться на валу за допомогою спеціального болта. Вал насоса встановлений на двох шарикопідшипниках. Нижній кінець валу проходить через гумовий підшипник. Для ущільнення кришки та спірального корпусу в них міститься гумовий шнур діаметром 6 мм. Для запобігання проникненню розчину в підшипники над спіральним корпусом насоса на валу встановлюється лабіринтне кільце, яке кріпиться настановними гвинтами.

При встановленні електродвигуна необхідно перевірити правильність центрування насоса та електродвигуна накладанням лінійки по зовнішньому діаметру напівмуфт у чотирьох протилежних місцях, при цьому проміжок не повинен бути більше 0,3 мм між лінійкою і напівмуфтами, і зазор між напівмуфтами не більше 3,5 мм.

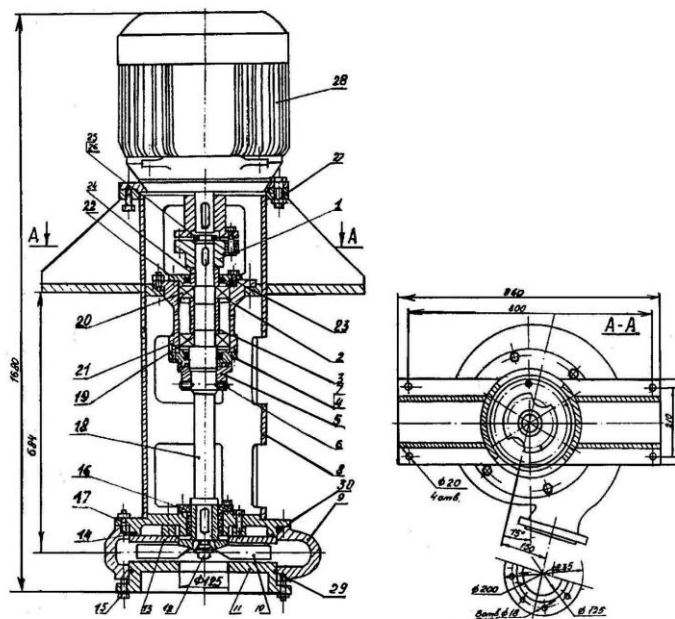


Рис. 2.3 Агрегат електронасосний вертикальний відцентровий
шламовий ВШН-150:

- 1 – напівмуфта насоса; 2 - кільце пружинне; 3 - розпірна втулка; 4 – кришка;
 5 - кільце лабіринтне; 6 - гвинт настановний; 7 – манжета; 8 – корпус;
 9 – корпус спіральний; 10 - робоче колесо; 11 – кришка; 12 – болт спеціальний; 13 – броня; 14 – ущільнення; 15 - гвинт; 16 - підшипник (гума);
 17 - шпилька; 18 - вал; 19, 20 – підшипник 312; 21 – склянка; 22 - кришка;
 23 - болт; 24 - втулка; 25 – гайка; 26 - стопорна шайба; 27 – болт;
 28 – електричний двигун; 29, 30 – ущільнення

Таблиця 2.3

Технічна характеристика агрегату ВШН - 150

Технічна характеристика, од. вимірювання	Значення
1	2
Подача, м ³ /год	150
Натиск, м	30
Діаметр нагнітального патрубку, мм	125

Продовження табл. 2.1

1	2
Кількість робочих коліс, шт.	1
Діаметр робочого колеса, мм	360
Ширина робочого колеса, мм	40
ККД, %	57
Електродвигун, тип:	4А-18ОМ4
потужність, кВт	30
частота обертання, об/хв.	1500
Габаритні розміри, мм:	
довжина	625
ширина	860
висота (разом з електродвигуном), не більше	1750
Маса агрегату, кг, не більше	750

Агрегат встановлюється над ємністю так, щоб площа опорного кронштейна насоса була вищою на 120-150 мм і відстань від дна ємності до нижньої площини насоса повинна бути не менше 100 мм.

Інжинірингові центри спеціалізуються у сфері надання послуг для компаній нафтогазового сектору та у галузі комплектації та постачання:

- бурового та нафтопромислового обладнання;
- труб нафтового сортаменту;
- стаціонарних та мобільних бурових установок;
- інструменту та матеріалів, що використовуються при будівництві нафтових, газових, геологорозвідувальних свердловин.

Відцентрові шламкові насоси Серії SB розроблені спеціально для перекачування абразивних шламів. Пісочні насоси Серії SB є новим типом узгоджувального обладнання системи управління твердої фракції. Коли виконуються технічні параметри конструкції, він повністю вважається

пісковим насосом для роботи за оптимальних умов поділу системи управління твердої фракції. Вони також можуть використовуватися як каналізаційні насоси, всмоктувальні або дренажні насоси і спеціальні насоси для польових робіт і в гірській справі.

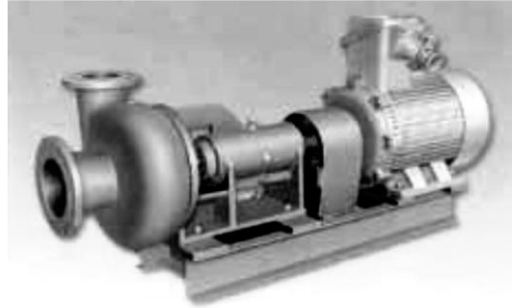


Рис. 4.2 Пісочний насос SB – 200

Особливості насоса:

- частини насоса мають хорошу взаємозамінність. Насос відрізняється високим ккд, щільним ущільненням валу без витіку, надійною роботою, тривалим терміном служби та простотою техобслуговування;

- пісочний насос має осьову конструкцію, компоненти переливної частини виготовлені із зносостійкого чавуну та підходять для переливання корозійного бурового розчину або рідкого середовища, що містить зважені частки. Він оптимально підходить до пісковідділювача, муловідділювача та мішалці, а також є ідеальним нагнітаючим насосом для бурового розчину.

Таблиця 2.4

Основні технічні параметри насосів Серії SB

Модель	SB - 200	SB - 150
1	2	3
Діаметр впускного патрубку, мм	200	150
Діаметр випускного патрубку, мм	150	125

Продовження табл. 2.4

1	2	3
Лопать, мм	315	310
Продуктивність, л/с	67	50
Ліфт, м	35	29
Швидкість, об/хв	1,480	1,480
ККД накачування, %	74	70
Потужність насоса на валу, л/с	55	38
Потужність двигуна, л/с	45, 50	30
Нетто, кг	300	286
Вага двигуна, кг	520, 630	320
Загальна вага, кг	820, 930	606
Строк служби ущільнень	≥ 2,500	≥ 2,500
Загальні габарити (Д x Ш x В), мм	2,000 x 630 x 890	1,803 x 585 x 846

Корпорація Metso – світовий лідер у постачанні технологічного обладнання та виробничих систем. Вона є виробником (Original Equipment Manufacturer) комплектного обладнання та є єдиним постачальником оригінальних деталей, виготовлених за оригінальними кресленнями для шламових насосів під торговими марками Metso, Svedala, Denver, Sala, Orion, Thomas.

Компанія виробляє такі види шламових насосів:

- насоси для брудної води та розчинів;
- шламові насоси (вертикальні та горизонтальні);
- занурювальні шламові насоси; струменеві насоси.

Крім того, компанія є найбільшим постачальником шламових насосів у всьому світі. У східній Європі фірма займається бізнесом із 1999 р.

Розглянемо деякі моделі шламових насосів цієї компанії.

Горизонтальні ST - насоси із заглибленими та каналними крильчатками серії Orion. Ряд ST – насосів включає високоміцні шламіві насоси загального призначення, які здобули особливу популярність завдяки заглибленим крильчаткам. Гідравлічна конструкція забезпечує дуже м'яку роботу з перекачування шламу.

Робота насосів із заглибленими крильчатками, що забезпечує відсутність грудок та засмічень, також робить машини даного ряду ідеальними для всіх умов, коли потрібно перекачування шламу з великими або довгими волокнистими частинками.



Рис. 1.5 Горизонтальний шламівий насос серії ST

Насоси STHM також можуть поставлятися з різними конструктивними виконаннями крильчаток, що забезпечує легку адаптацію до перекачування різних середовищ від важких суспензій до чистих рідин.

Вихрова крильчатка призначена для перекачування важких суспензій та газо-рідинних сумішей. Канальна крильчатка призначена для перекачування легких суспензій та чистих рідин.

Клиноременний привід - забезпечує просте та недороге налаштування продуктивності насоса.

Підшипниковий вузол має конструкцію касетного типу з підшипниками, що змащуються консистентним мастилом, розрахованими на термін експлуатації понад 60000 годин.

Ущільнення валу - стандартна сальникова коробка з водяним мастилом ущільнень. Прокладки можуть мати різні конструктивні виконання.

Стандартні деталі насоса виготовляються з чавуну, нержавіючої сталі, високохромистої сталі, а деталі для деяких типорозмірів виготовляються з поліуретану або мають гумове футерування.

Розташована вище насоса опорна плита двигуна забезпечує компактність установки, покращений захист двигуна та простоту натягу ременів.

Вихрова крильчатка втоплена в задню частину корпусу насоса, що забезпечує вільне проходження потоку через корпус. За звичайних умов насос може перекачувати будь-які середовища, які можуть пройти через з'єднувальні трубопроводи.

Вертикальні резервуарні насоси ряду VT виробництва Metso Minerals розроблені спеціально для перекачування абразивних шламів, вони мають високу міцність і не вимагають частого обслуговування.

При роботі з абразивними шламами та корозійними рідинами використовуються на робочому кінці футерування або з еластомеру, або зі сплаву, причому підшипники не занурюються в рідину.

Унікальна конструкція насосів забезпечує простоту їх монтажу та легкість обслуговування. Відкритий картер і вертикальний вхід запобігають утворенню повітряних пробок та забезпечують плавність роботи.



Рис. 2.6 – Зовнішній вигляд насоса серії SALA фірми Metso

Перелік особливостей конструкції включає:

- комплексний насосний вузол, що забезпечує гнучкі можливості для монтажу;
- плавну роботу відкритого картера та вертикальне введення, що запобігає утворенню повітряних пробок;
- консольну конструкцію, що унеможливорює занурення підшипників або ущільнень валу;
- підшипниковий вузол із подвійним захисним ущільненням від впливу шламу;
- деталі, що зношуються, можуть виготовлятися з різних матеріалів і є взаємозамінними простоту обслуговування.

Продуктивність потоку становить до 600 м³/год. Натиск до 30 метрів.

Інший великий постачальник насосів на галузевому ринку – компанія Warman. Компанія є світовим лідером у виробництві стійких до абразивного зношування шламових насосів, шламових засувок, гідроциклонів.

Насоси водовідливні типу "SP" та "SPR" спроектовані для особливо важких умов безперервної роботи. Конструкція підшипникових вузлів дозволяє працювати насосу у важких умовах без пошкодження підшипників. При роботі з абразивними шламами та корозійними рідинами використовуються на робочому кінці футерування або з еластомеру, або зі сплаву, причому підшипники не занурюються в рідину. Підходить для гірських, хімічних та загального типу виробництв. Можливі різні довжини та всмоктувальні насадки для більшості глибин. Для перекачування більших частинок можливі крильчатки " Вортекс " .[7]

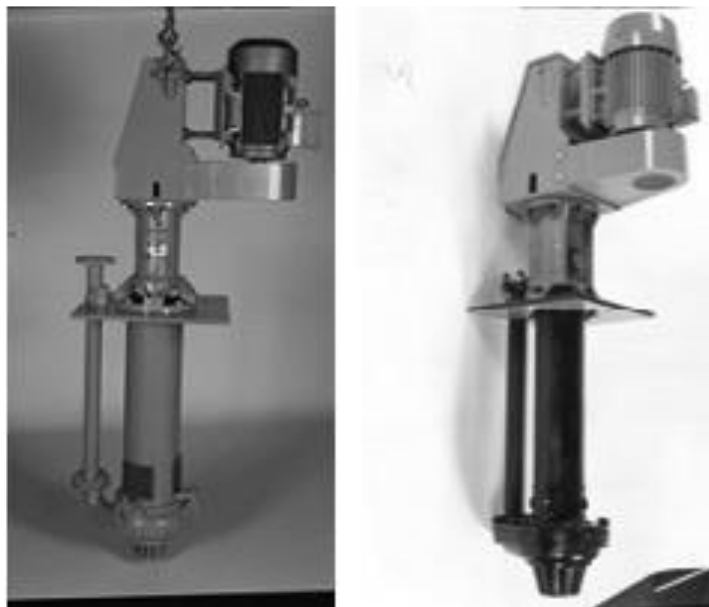


Рис. 2.7 Зовнішній вигляд насосів типу "SP" та "SPR" фірми Warman

Типорозміри: від 40 до 200 мм;

Продуктивність: від 13 л/с до 140 л/с;

Макс. натиск: 35 м

Проаналізувавши конструкційні особливості, переваги та недоліки шламових насосів, як прототип був обраний горизонтальний шламовий насос 6Ш8, що зарекомендував себе з найкращого боку при експлуатації.

2.2 Опис базової конструкції насоса

Насоси 6Ш8 і 6Ш8-2 (рис. 2.8) призначені для перекачування нейтральних гідросумішей з дрібною твердою фракцією щільністю 1200 ... 1500 кг/м³, температурою до 40 °С, що містять тверді частинки максимальним розміром більше 20 мм.

Літери та цифри, що входять до позначки насоса, означають:

6 - діаметр всмоктуючого патрубку в мм, зменшений в 25 разів і округлений;

Ш – шламовий;

8 - коефіцієнт швидкохідності, зменшений у 10 разів та округлений.

Насоси 6Ш8 і 6Ш8-2 відрізняються лише деякими геометричними розмірами та, відповідно, технічними показниками.

Насосний агрегат складається з насоса та електродвигуна, які змонтовані на загальній фундаментній рамі. Привід насоса електродвигуна здійснюється за допомогою сполучної пружної муфти.

Насос – відцентровий, горизонтальний, одноступінчастий зі спіральним корпусом.

Вал насоса обертається у двох підшипникових опорах, для змащування яких передбачена олійна ванна. Підшипникові вузли захищені від потрапляння в них рідини, що перекачується, ущільненнями.

Для ущільнення корпусу насоса у місці виходу з нього валу використовуються сальники, охолодження та промивання яких здійснюється за допомогою технічної води. Вода підводиться з тиском 0,05 ... 0,1 МПа більше, ніж вихідний тиск насоса. Переднє ущільнення робочого колеса з боку всмоктування – рухоме, торцеве.

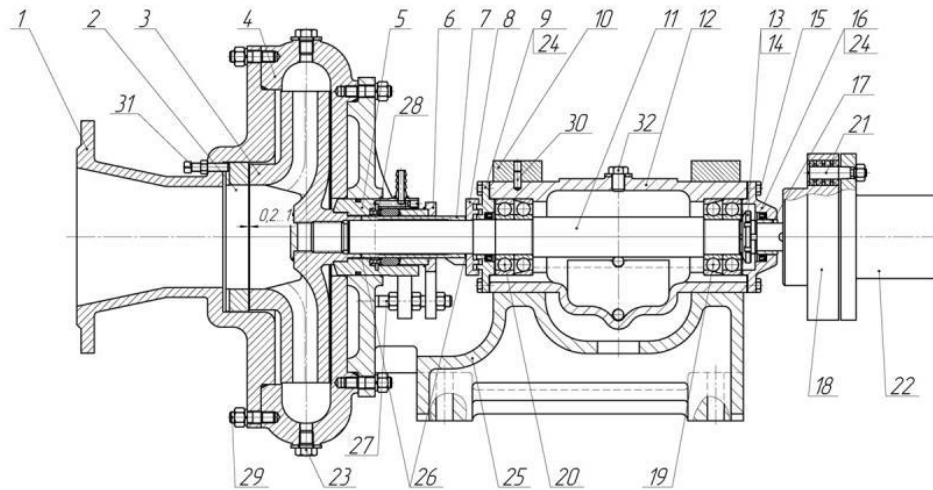


Рис. 2.8 Загальний вигляд насоса 6Ш8:

1 - всмоктувальний патрубок; 2 - кільце ущільнювальне; 3 - робоче колесо;
 4 – корпус спіральний; 5 – корпус ущільнення; 6 – корпус сальника;
 7 - втулка (підсальникова); 8 - кільце лабіринтне; 9 – кришка підшипника
 передня; 10 - скоба; 11 - вал; 12 – корпус підшипника; 13 – гайка; 14 - шайба;
 15 – болти; 16 - кришка підшипникова задня; 17 – втулка; 18 - напівмуфта
 шламового насоса; 19 - підшипник 346 310 20; Підшипник 310; 21 – пальці
 муфти; 22 - напівмуфта електродвигуна; 23 - пробка; 24 – манжета 1.2-50x70;
 25 - корпус шламового насосу; 26 - кільце регулювальне; 27 - шпилька
 М16x125; 28 - кільце сальника; 29 - шпилька М16x125; 30 - штифт 31 - гвинт
 регулювальний М12x55; 32 - пробка підшипникова

Загальний вид агрегату на базі шламового насоса 6Ш8 представлений
 рис. 2.9.

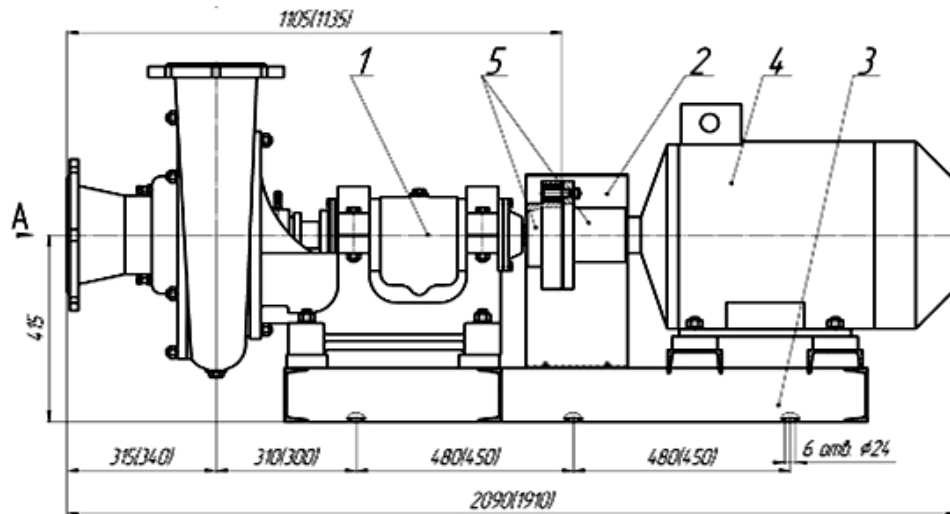


Рис. 2.8 Загальний вигляд агрегату:

1 – насос; 2 – кожух; 3 – рама; 4 – електродвигун; 5 - муфта

2.3 Робоча характеристика насоса 6Ш8

Характеристика насоса - це графічна залежність основних технічних показників насоса (напору H , що підводиться до насоса потужності N і ККД η) від подачі Q при постійній частоті обертання та фізичних властивостях рідкого середовища, що перекачується, на вході в насос.

Робоча характеристика будується одному полі креслення. Побудова здійснюється на підставі дослідних даних, отриманих в результаті випробувань насоса на стенді. Робочу характеристику насоса 6Ш8 представлено на рис. 2.9.

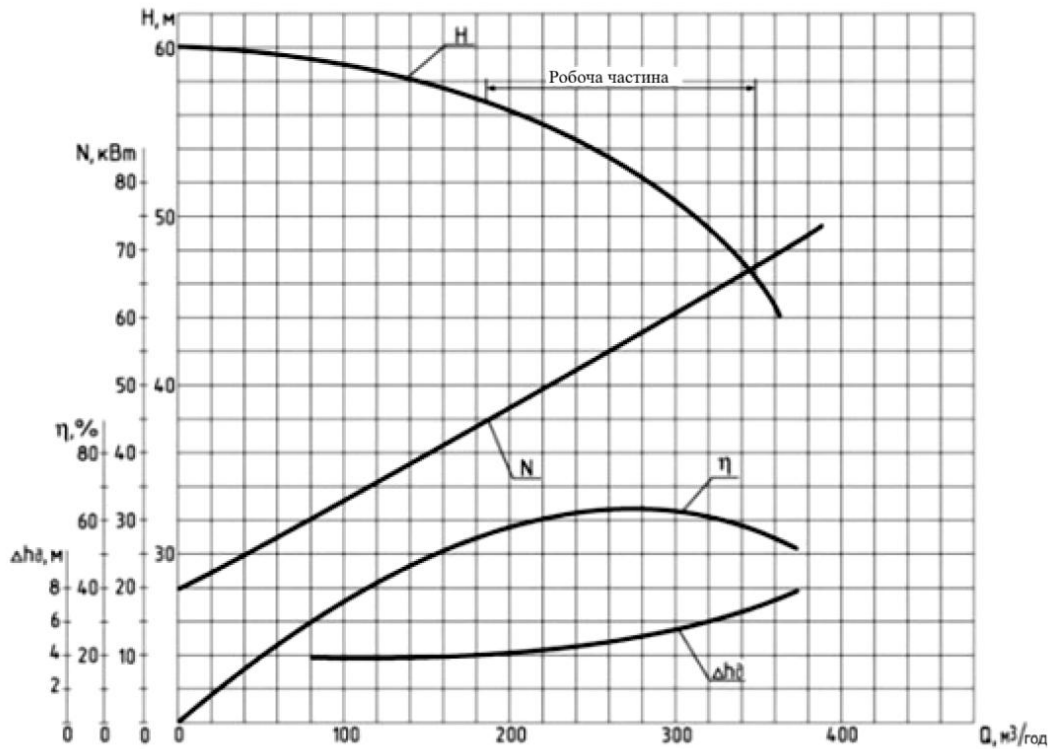


Рис. 2.9 Робоча характеристика насоса 6Ш8 при роботі на чистій воді

2.4 Аналіз основних несправностей та причин відмов

Аналіз основних несправностей та причин відмов насосів 6Ш8 був проведений на підставі даних та експертних оцінок механіків, які обслуговують насосні агрегати на промислах.

Причини несправностей насоса 6Ш8 та способи їх усунення наведено у табл. 2.5.

Таблиця 2.5

Причини несправностей насоса 6Ш8 та способи їх усунення

Несправність	Ймовірна причина	Спосіб усунення
1	2	3
Агрегат не подає гідросуміш	1. Насос та всмоктувальний трубопровід не були залиті водою перед запуском;	1. Залити водою насос і всмоктувальний трубопровід
Агрегат не подає гідросуміш	1. Трубопроводи зашламовані; 2. Всмоктувальний трубопровід не герметичний; 3. Відбувається підсмоктування повітря.	1. Очистити трубопроводи; 2. Усунути підсмоктування повітря
Агрегат не забезпечує необхідної подачі	1. Рівень гідросуміші падає настільки, що можливе підсмоктування повітря; 2. Знос ущільнення валу	1. Зупинити насос до наповнення резервуару; 2. Замінити сальникове ущільнення
Агрегат не забезпечує необхідного тиску	1. Зношування робочого колеса; 2. Електродвигун не розвиває повного числа	1. Замінити робоче колесо; 2. Перевірити напругу в електромережі

Продовження табл. 2.5

1	2	3
	внаслідок зниженої напруги	
Агрегат вібрує під час роботи	1. Неприпустима неспіввісність осей валів насоса та електродвигуна; 2. Слабо закріплений насос та електродвигун	1. Відцентрувати осі валів насоса та електродвигуна; 2. Підтягнути болти, що кріплять насос електродвигун

2.5 Ущільнювальні пристрої

Ущільнювальні пристрої (ущільнення) базових конструкцій застосовують у рухомих та нерухомих з'єднаннях для поділу середовищ з різними фізичними властивостями та (або) параметрами.

Ущільнення можна поділити на функціональні елементи і у вигляді структурної схеми із зазначенням взаємозв'язків елементів та його залежність від параметрів середовищ і з'єднань.

Загальними елементами ущільнень різних видів є поверхні, що ущільнюються, стику з'єднання і забезпечує герметичність ущільнювач. На працездатність ущільнення впливають експлуатаційні, конструктивні, технологічні, техніко-економічні та екологічні фактори. Найважливішими з них є: властивості робочої та навколишнього середовищ, режими роботи, властивості матеріалів герметизованого з'єднання та ущільнювача, межі витоку, що допускаються, ресурс, загальний термін експлуатації, токсичність і хімічна агресивність середовищ.

Відповідно до властивостей матеріалу та характеру виробництва їх поділяють на механічні (деталі з твердих тіл – вуглеграфітові або сталеві кільця), гумові або еластомірні (гумові кільця або манжети), композиційні,

набивні, рідинні (рідини спеціальні та розділові). На рис. 2.11 представлено ущільнення щодо типів герметизованих з'єднань.



Рис. 2.11 - Типи герметизованих з'єднань та індексація ущільнень

Для розрахунку ущільнень рухомих з'єднань (УС) необхідно вивчити сукупність проблем герметичності, тертя та зношування. Рух контртіла (валу, штока та ін.) викликає нові фізичні процеси в зоні контакту з ущільнювачем, в результаті яких, між поверхнями може виникнути плівка мастильного матеріалу і в зазор, що утворився - δ може проникнути середовище, що герметизують. У торцевих і радіальних УВ потік, створений перепадом тиску Δp , перпендикулярний потоку рідини в напрямку ковзання. В УПС цей потік збігається у напрямку з рухом контртіла.

Процеси в області контакту залежать, насамперед, від властивостей матеріалів контактуючих тіл, тому вони суттєво різні для механічних та еластомірних УПС та УВ. Однією з особливостей УПС і УВ є широкий діапазон умов роботи і різних режимів тертя, що виникають при цьому. Перехід від одного режиму тертя до іншого обумовлений зміною робочих параметрів μ , ν , r_k та наявністю (або відсутністю) плівки мастильного матеріалу. Багато суміші гуми близькі за складом та властивостями, тому в

стандартах загального призначення вказані лише групи гум із приблизно однаковими властивостями. Оскільки принципи групування різні і не ґрунтуються на класифікації, існує невідповідність між групами, встановленими різними стандартами. Так, групи за ГОСТ 18829-73 на кільця гумові не збігаються з групами за ГОСТ 8752-79 на гумові манжети і з групами по документації для авіаційної, хімічної промисловості і т. д. Основні властивості гуми визначають властивості каучуку. Комплекс інгредієнтів у оптимальних співвідношеннях визначається особливостями каучуку, вимогами сумісності із середовищем та умовами експлуатації, що дозволяє отримати гуму з найкращими фізико-механічними властивостями. У зв'язку з цим у більшості стандартів вихідними принципами групування гум є робоче середовище та тип каучуку

Для зменшення витоків рідини з відведення підведення біля входу в робоче колесо виконують ущільнення у вигляді малого зазору між робочим колесом і корпусом. Стінки цього зазору зношуються досить швидко через велику швидкість рідини в ньому, що сприяє хімічному та ерозійному руйнуванню матеріалу. Особливо швидко вони зношуються за наявності рідини абразивних частинок. Для того щоб при зносі ущільнюючого зазору не довелося змінювати робоче колесо або корпус насоса, на них часто закріплюють кільця ущільнювальні, що утворюють ущільнюючий зазор. Слід зазначити, що збільшення витоків, що отримує при зношуванні ущільнення робочого колеса, призводить до зміни закону розподілу тиску в області з лівого боку колеса. Це може призвести до збільшення осьової сили тиску в 1,5 ... 2 рази.

У місцях виходу валу з корпусу насоса найчастіше встановлюють сальники. Набивання найчастіше виготовляють із спеціального бавовняного або, при високій температурі рідини, що перекачується, азбестового шнура квадратного перерізу і, перед установкою, просочують мастилом з графіту і технічного жиру. Шнур укладають окремими кільцями. Його не можна

намотувати на вал одним шматком, тому що при цьому важко отримати рівномірне по колу потиск набивання. Під час роботи матеріал набивання зношується, перестає щільно прилягати до валу і витік рідини збільшується. Тому гайки сальника треба періодично підтягувати. Якщо повторне натягування кришки сальника не дає ущільнення або призводить до надмірного нагрівання сальника, набивання необхідно змінити. Набивання працює до зміни від 200 до 4000 год. залежно від ступеня забруднення рідини та матеріалу набивання.

Замість сальникових ущільнень часто застосовують торцеві. У кришку ущільнення запресовують нерухоме кільце пари тертя, до якого пружиною і тиском рідини притискається кільце, що обертається. Ущільнює гумове кільце перешкоджає протіканню рідини між валом та кільцем.

2.6 Аналіз відомих рішень

Відоме технічне рішення, при якому з метою підвищення ресурсу роботи на абразивних рідинах робоче колесо відцентрового насоса, містить провідний і покривний диски, а встановлені між ними лопатки з лицьовими і тильними сторонами мають поверхні лицьових сторін лопаток перпендикулярних покривному диску під кутом $74 \dots 87^\circ$, показано на рис. 2.12, [6].

Також відоме технічне рішення при якому пропонується з метою підвищення довговічності робочі поверхні ущільнювальних лопаток переднього диска робоче колесо ґрунтового насоса, що містить основні лопатки з робочими поверхнями, закріплені між переднім і заднім дисками, забезпеченими ущільнювальними лопатками з робочими поверхнями, виконати з периферійних та центральних ділянок, сполучених під гострими кутами, спрямованими вершинами у бік обертання колеса, причому периферійні ділянки ідентичні робочим поверхням основних лопаток, а центральні ділянки виконані увігнутими (рис. 2.12), [8].

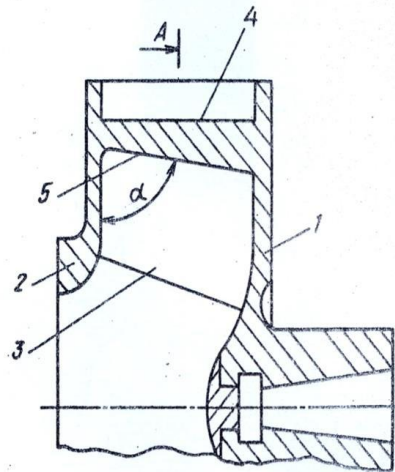


Рис. 2.12 Робоче колесо відцентрового насоса:

1- провідний диск; 2-покривний диск; 3-лопатка;

4- лицьова сторона лопатки; 5 - тильна сторона лопатки

Також є відомим технічне рішення [10], при якому з метою підвищення його зносостійкості при перекачуванні дрібнодисперсних рідин у лопатевого колеса насоса для перекачування абразивних рідин робоча поверхня кожної лопатки має уступ з похилою поверхнею, розташованою під кутом, який є не менше іншого, що примикає до робочої поверхні лопатки (рис. 2.13), [11].

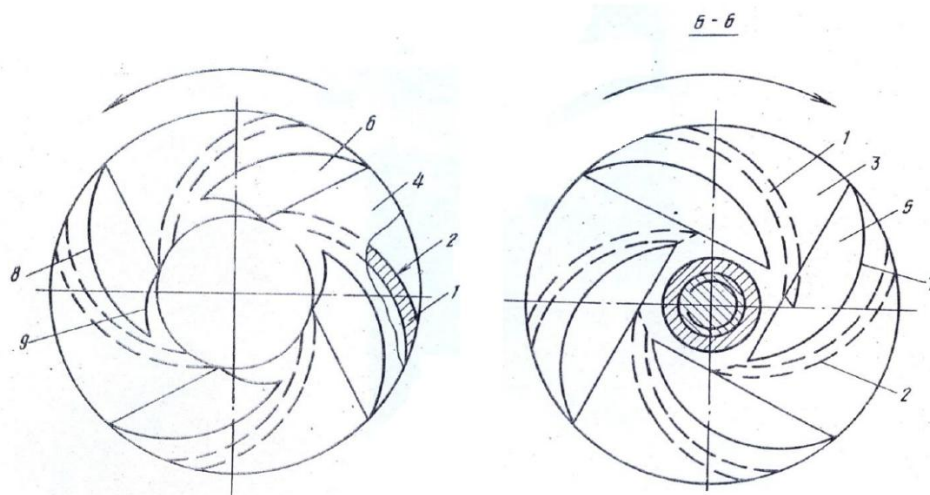


Рис. 2.13 Робоче колесо ґрунтового насоса:

1 - основні лопатки; 2 – робочі поверхні основних лопаток; 3 – передній диск;

4 - задній диск; 5, 6 - ущільнювальні лопатки; 7 - робочі поверхні
ущільнювальних лопаток

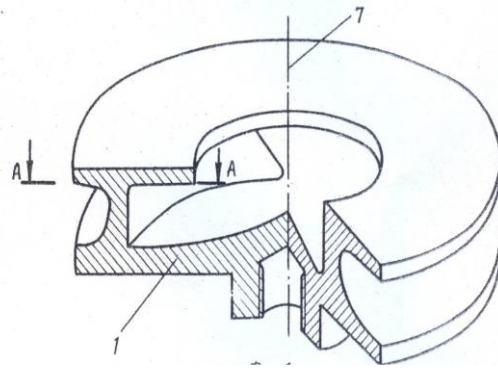


Рис. 2.14 Лопаткове колесо насоса для перекачування абразивних рідин

Також є відомим технічне рішення [12], у якому відцентровий насос, що містить корпус з передньої і задньої стінками і встановлене в ньому робоче колесо з ведучим і веденим дисками і розташованими між ними робочими лопатками з вхідними і вихідними кромками, мають на веденому диску з боку передньої стінки кут установки відбійних лопаток веденого диска, який на виході дорівнює куту установки відбійних лопаток ведучого диска на виході, причому кількість відбійних лопаток на веденому диску дорівнює загальній кількості відбійних лопаток ведучого диска (рис. 2.15).

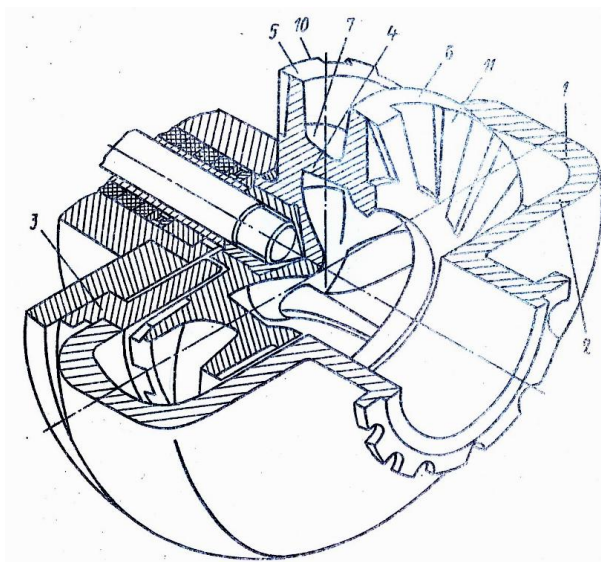


Рис. 2.15 Відцентровий насос та встановлене в ньому робоче колесо
1 - корпус; 2,3 - передні та задні стінки; 4 - робоче колесо; 5, 6- провідний та ведений диски; 7 - робочі лопатки; 10, 11 - відбійні лопатки

2.7 Обґрунтування модернізації та опис запропонованої конструкції насоса

Як запропонована модернізація [15] запропонована конструкція шнековідцентрового шламowego насоса. Таким чином, робочий орган – відцентрове колесо, що додатково оснащується на вході шнеком.

Пропонована конструкція (рис. 2.16) містить корпус 1 з всмоктувальним патрубком 2 і встановлений в ньому, закріплений на валу 3 ротор, що включає відцентрове колесо 4 закритого типу і передвключений шнек з лопатками 5, виконаними на втулці 6. Лопатки 5 одночасно розташовані всередині всмоктувального патрубка 2, і у горловині колеса 4.

Шнек виконаний двозахідним, яке лопатки 5 встановлені перпендикулярно втулці 6.

Діаметр лопаток 5 шнека виконаний зменшуються у напрямку до відцентрового колеса 4.

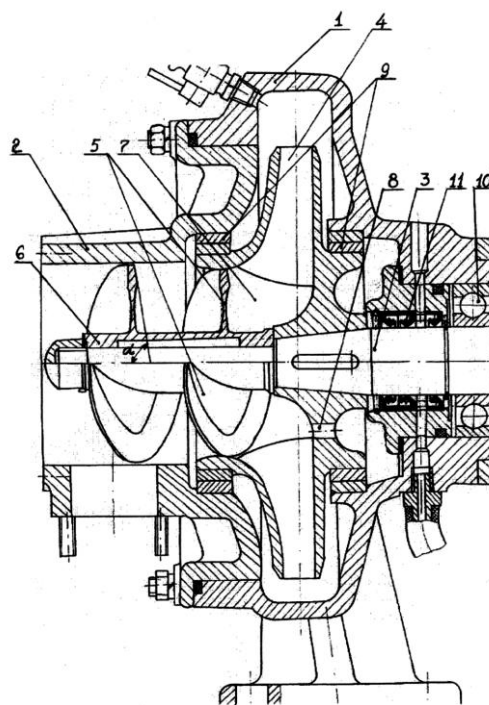


Рис. 2.16 Шнековідцентровий шламований насос

Принцип дії шнека ґрунтується на використанні гвинта, що обертається, спіральна частина якого, здатна переміщати розчин, розташований в порожнинах між корпусом і гвинтовим пером шнека. Така схема має компактність і має високий коефіцієнт корисної дії, що робить насос економічним обладнанням.

При обертанні вала 3 відбувається засмоктування бурового розчину у всмоктувальний патрубок 2 передвімкненим шнеком в відцентрове колесо 4.

За рахунок розміщення вихідної ділянки шнека всередині горловини 7 відцентрового колеса 4 запобігається поширення зворотних струмів з відцентрового колеса 4 до входу шнека, збільшується окружна складова абсолютної швидкості на вході в канали відцентрового колеса 4 і підвищується напір, що, у свою чергу, призводить до зменшення величини динамічного падіння тиску на лопатях відцентрового колеса 4 і підвищення антикавітаційних якостей насоса в цілому.

В результаті такого виконання ротора насоса досягається підвищення антикавітаційних якостей і зниження ерозії кавітації ротора насоса, а отже підвищення ресурсу шламового насоса.

Проведена модернізація дозволить знизити перетікання розчину (назад у всмоктувальний патрубок), що призводить до збільшення ККД насоса в цілому, до зменшення зносу колеса та корпусу внаслідок утворення антикавітаційного ефекту.

2.8 Розрахунок параметрів модернізованого насосу

До основних робочих органів відцентрових насосів належить робоче колесо, а також відведення, в якому розміщується робоче колесо. Тому в розрахунковій частині буде визначено їх конструктивні розміри.

2.8.1 Розрахунок параметрів робочого колеса

Вихідними даними для розрахунку робочого колеса прийнято такі величини:

Подача насоса $Q = 170 \text{ м}^3/\text{год} = 0,04722 \text{ м}^3/\text{с}$;

Натиск $H = 50 \text{ м}$;

Частота обертання колеса $n = 1481 \text{ об/хв} = 24,68 \text{ с}^{-1}$;

Кутова швидкість $\omega = 155 \text{ рад/с}$;

Щільність рідини, що перекачується $\rho = 1200 \text{ кг/м}^3$;

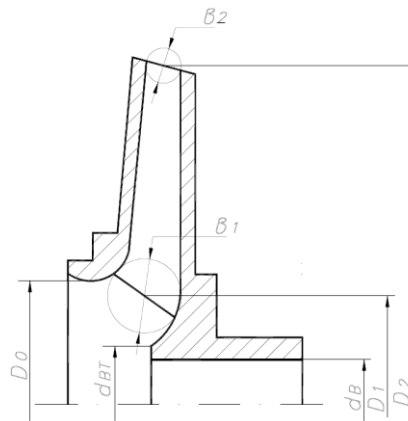


Рис. 2.17 Конструкція робочого колеса

Розраховуємо розміри та параметри меридіанного перерізу робочого колеса.

Коефіцієнт швидкохідності n_s :

$$n_s = \frac{n \cdot \sqrt{Q}}{(g \cdot H_{\text{СТ}})^{3/4}} \quad (2.1)$$

де $g = 9,81 \text{ м/с}^2$;

$H_{\text{СТ}}$ - натиск, створюваний одним ступенем, м, $H_{\text{СТ}} = H = 50 \text{ м}$.

$$n_s = \frac{24,68 \cdot \sqrt{0,04722}}{(9,81 \cdot 50)^{3/4}} = 0,0514$$

Для відцентрових насосів такий коефіцієнт швидкохідності допустимий, проте він свідчить про невеликий ККД насоса.

Витрата рідини в каналах робочого колеса Q_k :

$$Q_k = \frac{Q}{\eta_{об}}, \quad (2.2)$$

де $\eta_{об}$ - об'ємний коефіцієнт корисної дії;

Q - витрата рідини, м³/год.

Об'ємний коефіцієнт корисної дії $\eta_{об}$:

$$\eta_{об} = \frac{1}{1+6 \cdot 10^{-3} (n_s)^{-2/3}} = \frac{1}{1+6 \cdot 10^{-3} (0,0514)^{-2/3}} = 0,958 \quad (2.3)$$

Тоді

$$Q_k = \frac{0,04722}{0,958} = 0,04929$$

Наведений діаметр входу в робоче колесо за одним із критеріїв подібності:

$$\frac{Q_k}{(n \cdot D_{1пр}^3)} = const \quad (2.4)$$

де $D_{1пр}$ - наведений діаметр входу в робоче колесо, м.

Наведений діаметр входу в робоче колесо $D_{1пр3}$:

$$D_{1\text{пр}} = k_{\text{вх}} \cdot \sqrt[3]{\frac{Q_k}{n}}, \quad (2.5)$$

де $k_{\text{вх}}$ - Коефіцієнт входу, $k_{\text{вх}} = 0,9 \dots 1,28$.

Для малих розмірів ($D_{1\text{пр}} < 70\text{мм}$) рекомендуються найбільші коефіцієнти; середні – для перших ступенів багатоступінчастих насосів; малі – для великих діаметрів та проміжних щаблів багатоступінчастих насосів.

Прийmemo $k_{\text{вх}} = 0,95$.

$$D_{\text{пр}} = D_0^2 - d_{\text{вт}}^2, \quad (2.6)$$

де D_0 - зовнішній діаметр входу в робоче колесо, м;

$d_{\text{вт}}$ -діаметр втулки колеса, м.

$$D_{1\text{пр}} = 0,95 \cdot \sqrt[3]{\frac{0,04929}{24,68}} = 0,1196 \approx 0,12$$

ККД насоса η :

$$\eta = \eta_{\Gamma} \cdot \eta_{\text{об}} \cdot \eta_{\text{м}}, \quad (2.7)$$

де η_{Γ} - гідравлічний ККД;

$\eta_{\text{об}}$ - об'ємний ККД, $\eta_{\text{об}} = 0,958$;

$\eta_{\text{м}}$ - механічний ККД, $\eta_{\text{м}} = 0,8 \dots 0,98$.

Найменше значення $\eta_{\text{м}}$ приймається для багатоступінчастих насосів, для насосів з малим n_s (коефіцієнтом швидкохідності), з осьовою опорою у кожного колеса. Для випадку, що розглядається, приймаемо $\eta_{\text{м}} = 0,8$.

$$\eta_{\Gamma} = 1 - \frac{0,42}{(\lg 120 - 0,172)^2} = 0,88$$

Тоді

$$\eta = 0,88 \cdot 0,958 \cdot 0,8 = 0,67$$

Визначаємо потужність споживану насосом:

$$N = \frac{Q_k \cdot \rho \cdot g \cdot H}{\eta}, \quad (2.8)$$

де ρ - щільність рідини, що перекачується, кг/м³;

g - прискорення вільного падіння, м/с²;

H - натиск, м.

$$N = \frac{0,04929 \cdot 1200 \cdot 9,8 \cdot 50}{0,67} = 43302 \text{Вт} \approx 43,3 \text{кВт}$$

Діаметр валу $d_{\text{в}}$:

$$d_{\text{в}} = \sqrt[3]{\frac{N}{n \cdot [\tau]}}, \quad (2.9)$$

де $[\tau]$ - допустима напруга матеріалу валу при крученні (у попередньому розрахунку валу воно приймається заниженим), Па; $[\tau] = 12\text{-}20$ МПа.

Приймаємо $[\tau] = 19 \cdot 10^6$ Па.

$$d_{\text{в}} = \sqrt[3]{\frac{43302}{24,68 \cdot 19 \cdot 10^6}} = 0,045$$

тобто3 можна використовувати вал від насоса 6Ш8. Матеріал валу: Сталь 40Х ГОСТ 4543-71; $[\tau] = 1500 \text{ кгс/см}^2 = 150 \text{ МПа}$.

Діаметр валу: М45 допускається.

Зовнішній діаметр втулки $d_{\text{вт}}$:

$$d_{\text{вт}} = (1,2 - 1,35 \cdot d_{\text{в}}). \quad (2.10)$$

Для валів меншого діаметра (25 – 17 мм) беруть коефіцієнти 1,2-1,35. Приймаємо коефіцієнт 1,22.

$$d_{\text{вт}} = 1,22 \cdot 0,045 = 0,055 \text{ м}$$

Діаметр входу в колесо D_0 :

$$D_0 = \sqrt{\left(\frac{4 \cdot Q_k}{\pi \cdot C_0}\right) + d_{\text{вт}}^2}, \quad (2.11)$$

де C_0 - осьова швидкість рідини біля входу в просторі між D_0 і $d_{\text{вт}}$, визначається без урахування підкрутки потоку залежно від Руднева, м/с:

$$C_0 = (0,9 - 1,28) \cdot \sqrt[3]{Q_k \cdot n^2}, \quad (2.12)$$

приймаємо $k_{\text{вх}} = 0,95$.

$$C_0 = 0,95 \cdot \sqrt[3]{0,04929 \cdot 24,68^2} = 2,95 \text{ м/с}$$

тоді

$$D_0 = \sqrt{\left(\frac{4 \cdot 0,04929}{3,14 \cdot 2,95}\right) + 0,055^2} = 0,155 \text{ м},$$

та округливши, приймаємо значення D_0 , як у насоса 6Ш8: $D_0 = 0,15$ м.

Діаметр колеса біля вхідної кромки лопаті D_0 :

$$D_1 = (0,8 - 0,9) \cdot D_0, \quad (2.13)$$

$$D_1 = (0,8 - 0,9) \cdot 0,155 = 0,124.$$

Приймаємо $D_0 = 0,135$ м.

Ширина каналу робочого колеса біля вхідної кромки лопаті b_1 :

$$b_1 = \frac{Q_k}{\pi \cdot D_1 \cdot C_{0m}}, \quad (2.14)$$

де C_{0m} - швидкість потоку на вході у лопатей до стиснення ними прохідного перерізу, м/с.

Приймаємо $C_{0m} = C_0 \approx (2,95 - 3,1) \approx 2,95$ м/с.

Тоді:

$$b_1 = \frac{0,04929}{3,14 \cdot 0,135 \cdot 2,95} = 0,039 \approx 0,4 \text{ м}.$$

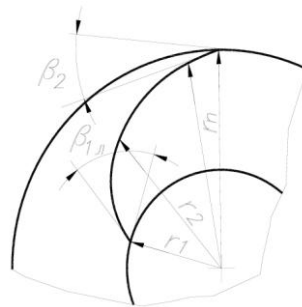


Рис. 2.18 Схема лопаті колеса

Кут вхідної кромки лопаті $\beta_{1л}$:

$$\beta_{1л} = \beta_1 + \delta, \quad (2.15)$$

де δ – кут атаки, °

$\delta = 5 \dots 100$, для підвищення кавітаційних якостей приймають $\delta = 150$.

Визначаємо β_1 з виразу:

$$\operatorname{tg} \beta_1 = \frac{C_{1m}}{U_1}, \quad (2.16)$$

де U_1 - окружна швидкість

$$C_{1m} = k_1 \cdot C_{0m}, \quad (2.17)$$

де k_1 – коефіцієнт стиснення прохідного перерізу лопатями на вході колеса;

$k_1 = 1,1 \dots 1,25$.

Прийmemo $k_1 = 1,25$.

$$C_{1m} = 1.25 \cdot 2.95 = 3,69 \text{ м/с.}$$

Визначимо окружну швидкість:

$$U_1 = \frac{\omega \cdot D_1}{2}, \quad (2.18)$$

$$U_1 = \frac{155 \cdot 0.135}{2} = 10.46 \text{ м/с}$$

Тоді

$$\operatorname{tg} \beta_1 = \frac{3,69}{10,46} = 0,35277$$

Відкіля

$$\beta_1 = \operatorname{arctg} 0,35277 = 19,4314380 \approx 19^\circ 30'.$$

Приймаємо $\delta = 7^\circ 30'$.

$$\beta_{1л} = 19,5 + 7,5 = 27,$$

$\rho_k = 0,7 \dots 0,75$ – коефіцієнт реакції для насосів, приймаємо для випадку, що розглядається, $\rho_k = 0,74$.

$$C_{2u} = 2 \cdot (1 - 0,74) = 0,52 \text{ м/с.}$$

Тоді

$$U_2 = \sqrt{\frac{9,81 \cdot 56,82}{0,52}} = 32,74 \text{ м/с}$$

$$D_2 = \frac{2 \cdot 32,74}{155} = 0,422 \text{ м}$$

Округлюємо $D_2 = 0,42 \text{ м}$.

Знаходимо відношення:

$$\frac{D_2}{D_1} = \frac{0,42}{0,128} = 3,1 \tag{2.19}$$

Ширина каналу робочого колеса біля вхідної кромки лопаті D_2 :

$$B_2 = \frac{Q_k}{\pi \cdot D_2 \cdot C_{2m}}, \quad (2.20)$$

де C_{2m} - меридіальна швидкість на виході з колеса, взята без урахування стиснення прохідного перерізу лопатями, м/с.

Приймають

$$C_{2m} = (0,8 \dots 1,1) \cdot C_{0m}, \quad (2.21)$$

Зокрема C_{0m} ближче до нижньої межі у випадку, якщо виникають технологічні труднощі під час виготовлення колеса з вузьким каналом на виході з нього.

$$C_{2m} = 0,85 \cdot 2,95 = 2,5 \text{ м/с.}$$

Тоді

$$B_2 = \frac{0,04929}{3,14 \cdot 0,42 \cdot 2,5} = 0,15 \text{ м}$$

Кут вихідної кромки лопаті β_2 знаходять їхні плани швидкості W_1 і W_2 з урахуванням коефіцієнта стиснення:

$$C_{2m} = (0,8 \dots 1,1) \cdot C_{0m}, \quad (2.22)$$

$$\sin \beta_2 = \sin \beta_{1л} \cdot \frac{W_1}{W_2} \cdot \frac{k_2}{k_1} \cdot \frac{C_{2m}}{C_{1m}},$$

де $W_1/W_2 - 1,6 \dots 1,2$ - для насосів з $n_s = 0,04 \dots 1,1$;
 $W_1/W_2 - 1,2 \dots 1,1$ - для насосів з $n_s = 0,1 \dots 1,25$.
 Для випадку, при $n_s = 0,0514$ приймаємо $W_1/W_2 = 1,5$.
 Середній зовнішній діаметр колеса D_2 :

$$D_2 = \frac{2 \cdot U_2}{\omega}, \quad (2.23)$$

де U_2 – окружна швидкість, м/с.

$$U_2 = \sqrt{\frac{g \cdot H_T}{c_{2u}}}, \quad (2.24)$$

де H_T - теоретичний напір, м.

$$H_T = \frac{H}{\eta_T}, \quad (2.25)$$

$$H_T = \frac{50}{0,88} = 56,82 \text{ м}$$

$$\sin \beta_2 = \sin 27^\circ \cdot 1,5 \cdot \frac{1,05}{1,12} \cdot \frac{2,5}{3,69} = 0,43253$$

$$\beta_2 = 25,6286^\circ \approx 25^\circ$$

Оптимальна кількість лопатей $Z_{\text{л}}$:

$$Z_{\text{л}} = k \cdot \frac{D_2 + D_1}{D_2 - D_1} \cdot \sin \frac{\beta_2 + \beta_{\text{лн}}}{2}, \quad (2.26)$$

де $k = 6,5$ – при лопатях щодо великої товщини (~ 4 - 6 мм);

$k \geq 8$ – при лопатях, виконаних з листа з малою товщиною (~ 2 - 3 мм).

У нашому випадку приймаємо $k = 6,5$ (при $s = 16$ мм).

$$Z_{\text{л}} = 6,5 \cdot \frac{0,42 + 0,135}{0,42 - 0,135} \cdot \sin \frac{25^{\circ} + 27^{\circ}}{2} = 5,5$$

Округлюємо та приймаємо $Z_{\text{л}} = 5$ лопаток.

Теоретичний натиск при нескінченній кількості лопатей $H_{\text{рт}}$:

$$H_{\text{рт}} = (1 + p) \cdot H_{\text{т}}, \quad (2.27)$$

$$p = \frac{2 \cdot \Psi}{Z_{\text{л}}} \cdot \frac{1}{1 - \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^2}, \quad (2.28)$$

$$\Psi = \frac{\pi}{2} \left[\sin \beta_2 + \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^2 \cdot \sin \beta_{1\text{л}} \right], \quad (2.29)$$

або $n_s = 0,06 \dots 0,125$:

$$\Psi = (0,55 - 0,65) + 0,6 \cdot \sin \beta_2, \quad (2.30)$$

Для випадка, що розглядається:

$$\Psi = 0,6 + 0,6 \cdot 0,422618 = 0,85.$$

Тоді

$$p = \frac{2 \cdot 0,85}{5} \cdot \frac{1}{1 - \left(\frac{0,135}{0,42}\right)^2} = 0,38$$

$$H_{\text{пр}} = (1 + 0,38) \cdot 56,58 = 78,41\text{м}$$

Перевірка розрахунку:

$$C_{2m} = k_2 \cdot C_{2m}, \quad (2.31)$$

$$C_{2m} = 1,04 \cdot 2,5 = 2,6 \text{ м/с};$$

$$U_{2(2)} = \left(\frac{C_{2m}}{2 \cdot \text{tg} \beta_2}\right) + \sqrt{\left(\frac{C_{2m}}{2 \cdot \text{tg} \beta_2}\right)^2 + g \cdot H_{\text{пр}}}, \quad (2.32)$$

$$U_{2(2)} = \left(\frac{2,6}{2 \cdot \text{tg} 25^\circ}\right) + \sqrt{\left(\frac{2,6}{2 \cdot \text{tg} 25^\circ}\right)^2 + 0,78 \cdot 78,41} = 30,66 \text{ м/с}$$

Визначаємо:

$$D_{2(2)} = \frac{2 \cdot U_{2(2)}}{\omega}, \quad (2.33)$$

$$D_{2(2)} = \frac{2 \cdot 30,66}{155} = 0,395 \text{ м}$$

$$B_{2(2)} = \frac{Q_k}{(\pi \cdot D_{2(2)} \cdot C_{2m})}$$

$$B_{2(2)} = \frac{0,04929}{(3,14 \cdot 0,395 \cdot 2,5)} = 0,0158 \text{ м} \quad (2.34)$$

2.8.2 Чисельне моделювання отриманої конструкції у системі ANSYS

Розрахунок проводився у програмному комплексі ANSYS CFX. Модель побудована для параметрів, які були використані вище для розрахунку. Розрахунок проводився для моделі двічі зі шнеком і без нього. На рис. 2.20 та 2.21 зображені лінії струму рідини в робочому колі насоса.

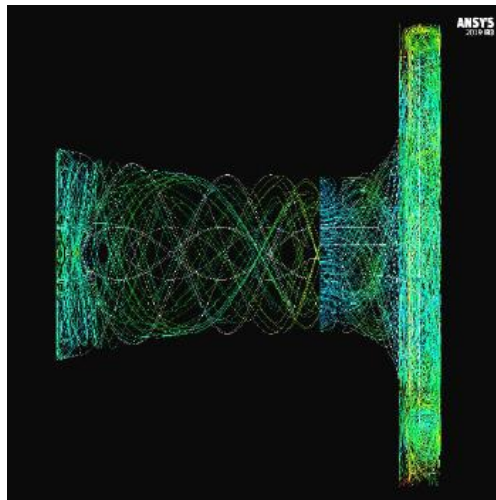


Рис. 2.19 Модель проточної частини робочого колеса зі шнеком

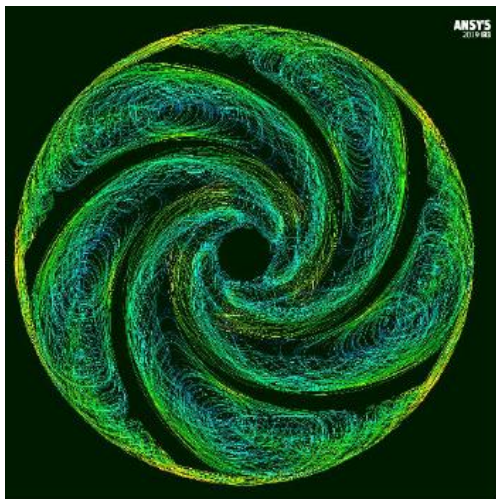


Рис. 2.20 Модель потоків рідини у робочому колесі без шнека

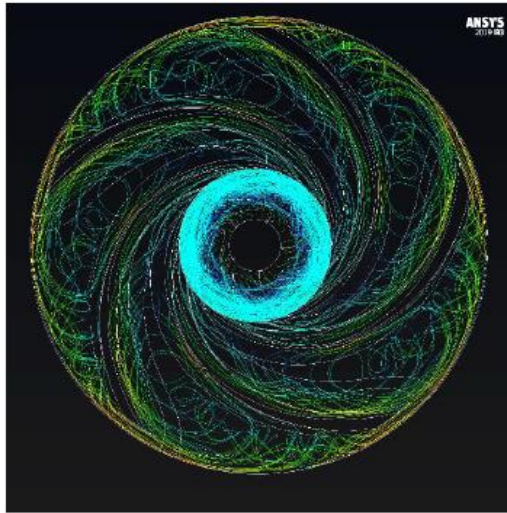


Рис. 2.21 Модель потоків рідини у робочому колесі з врахуванням шнека

Таблиця 2.6

Порівняння основних параметрів двох розрахунків

Найменування	Значення		Од. вимірювання
	Без шнека	Із шнеком	
Витрата	102	228	м ³ /ч
Натиск	49	44	м
Потужність	35,2	36,2	кВт
Швидкість обертання	1480	1480	об/хв
Щільність розчину	1200	1200	кг/м ³

Висновки до розділу 2

У другому розділі кваліфікаційної магістерської роботи було запропоновано конструкцію горизонтального шламowego насоса, який застосовується для перекачування бурового розчину.

Було проведено аналіз наявних конструкцій відцентрових консольних насосів, проведено патентне опрацювання конструкцій з модернізації консольних насосів, які застосовуються для перекачування абразивних рідин.

Крім цього проаналізовано основні несправності та причини відмов шламових насосів.

В результаті даного аналізу як прототип був обраний шламовий насос 6Ш8 вітчизняного виробництва.

Було обґрунтовано пропоновану модернізацію конструкції шнека, який запропоновано встановлювати на вході, перед колесом.

Виконано розрахунки та моделювання геометричних та енергетичних параметрів шламового насоса 6Ш8, проведено порівнювальний аналіз отриманих результатів.

РОЗДІЛ 3

ВИМОГИ ДО КАДРОВОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ІНЖИНІРИНГОВОГО ЦЕНТРУ

До професійної підготовки фахівців інжинірингового центру, які виконують модернізацію шламових насосів систем очищення свердловин, висувають серйозні вимоги, основними з яких є:

- глибоке знання конструкції та принципів роботи шламових насосів різних типів (центробіжні, поршневі, гвинтові);
- вміння проводити діагностику зношених вузлів, оцінювати залишковий ресурс обладнання;
- навички роботи з CAD/CAM-системами для розробки модернізованих компонентів;
- знання сучасних матеріалів, що використовуються для підвищення зносостійкості та корозійної стійкості насосних елементів;
- вміння інтегрувати сенсори та системи моніторингу стану обладнання (IoT-рішення);

Фахівці мають пройти проектно-інженерну підготовку, результати якої передбачають:

- здатність розробляти технічні рішення з урахуванням гідродинамічних характеристик свердловин;
- вміння адаптувати конструкцію насосів до специфіки геологічних умов (в'язкість, абразивність, хімічний склад шламу);
- знання нормативної документації (ДСТУ, ISO, API) щодо насосного обладнання та модернізаційних процедур;
- навички складання технічних паспортів, актів модернізації, схем підключення.

Вони мають також володіти аналітичними та дослідницькими навичками:

- здатність аналізувати ефективність роботи насосів до і після модернізації;

- вміння проводити лабораторні випробування матеріалів та вузлів;

- навички математичного моделювання процесів перекачування шламу

- здатність оцінювати економічну доцільність модернізації (ROI, TCO).

Фахівці інжинірингового центру мають володіти знаннями та навичками з безпеки та екології та використовувати їх на практиці, основними з яких є:

- знання правил охорони праці при роботі з високонапірним обладнанням;

- навички поводження з небезпечними речовинами (шлами з токсичними домішками);

- здатність розробляти заходи з мінімізації екологічного впливу модернізованих систем.

Бажаною є також сертифікація фахівців з промислової безпеки та екологічного аудиту.

В галузі комунікації та управління основними є:

- вміння працювати в мультидисциплінарних командах (геологи, технологи, монтажники);

- навички технічного консалтингу для замовників;

- здатність презентувати модернізаційні рішення керівництву та замовникам.

Також однією з обов'язкових умов є знання англійської мови на рівні технічної документації.

як формуються та задовольняються вимоги до професійної підготовки фахівців інжинірингового центру, що займаються модернізацією шламових насосів систем очищення свердловин:

Розглянемо можливості формування вказаних знань і навичок фахівців при поетапному підході.

Професійна підготовка фахівців інжинірингового центру базується на інтеграції теоретичних знань, практичного досвіду та інноваційного мислення. Вона охоплює кілька ключових етапів та напрямів:

1. Базова технічна освіта;
2. Спеціалізовані курси та сертифікація;
3. Практична підготовка на виробництві;
4. Аналітика та дослідження;
5. Комунікація та консалтинг.

При отриманні базової технічної освіти фахівці здобувають фундаментальні знання з гідравліки, механіки рідин, матеріалознавства та машинобудування. При цьому особлива увага приділяється вивченню насосного обладнання, його типів, принципів роботи та конструктивних особливостей.

При проходженні підготовки на спеціалізованих курсах та при сертифікації проводяться тренінги з діагностики та модернізації насосних систем, включаючи САД-моделювання, вибір матеріалів та оптимізацію конструкцій. Там же фахівці проходять сертифікацію з промислової безпеки, екологічного аудиту та роботи з абразивними середовищами.

Практична підготовка на виробництві передбачає закріплення знань, отриманих під час стажування на об'єктах, де здійснюється модернізація насосів. Працівники беруть участь у демонтажі, аналізі зношених вузлів, розробці нових компонентів та їх інтеграції в існуючі системи.

Проведення досліджень та аналізу їх результатів дозволяють навчити фахівців аналізувати ефективність модернізаційних рішень, використовуючи математичне моделювання та лабораторні випробування. Вони оцінюють економічну доцільність змін, враховуючи витрати, продуктивність та довговічність.

Комунікація та консалтинг формує навички технічного консалтингу, презентації рішень замовникам, ведення технічної документації. Важливим при цьому є вміння працювати в мультидисциплінарних командах, узгоджуючи рішення з геологами, технологами та монтажниками.

Шляхи задовільнення цих вимог на практиці передбачають забезпечення технічної компетентності через постійне оновлення навчальних програм відповідно до нових технологій та стандартів.

Проектно-інженерна підготовка реалізується через участь у реальних модернізаційних проєктах, де фахівці розробляють рішення під конкретні геологічні умови.

Аналітичні навички формуються через залучення до дослідницьких груп, які тестують нові матеріали та конструкції.

Безпекові стандарти впроваджуються через регулярні інструктажі, аудит робочих процесів та симуляції аварійних ситуацій.

Комунікаційні вміння розвиваються через участь у технічних нарадах, презентаціях та роботі з клієнтами.

Висновки до розділу 3

У третьому розділі роботи обґрунтовано та сформульовано вимоги до фахівців інжинірингового центру, які виконують модернізацію шламових насосів систем очищення свердловин, та показано шляхи їх ефективного формування.

РОЗДІЛ 4

РОЗРОБКА ДИДАКТИЧНОГО ПРОЄКТУ ВИКЛАДАННЯ ТЕМИ «МОДЕРНІЗАЦІЯ ШЛАМОВИХ НАСОСІВ СИСТЕМ ОЧИЩЕННЯ СВЕРДЛОВИН», ЩО ВИВЧАЄТЬСЯ У ПРОЦЕСІ ПІДВИЩЕННЯ КВАЛІФІКАЦІЇ ІНЖИНІРИНГОВОГО ЦЕНТРУ

4.1 Вихідні дані

Для розробки ефективного курсу підвищення кваліфікації фахівців інжинірингового центру необхідно враховувати реальні виробничі умови, професійний досвід учасників, рівень їхньої підготовки, а також технічні можливості освітньої установи або корпоративного навчального центру. Вихідні параметри визначають зміст, методи та форми навчання, спрямовані на формування компетентностей, необхідних для виконання робіт з модернізації та діагностики шламових насосів у системах очищення свердловин.

Програма підготовки орієнтована на інженерно-технічний персонал інжинірингових центрів, який здійснює модернізацію насосного обладнання, технічний супровід, діагностику та контроль стану насосів і систем очищення свердловин. Слухачі набувають навичок оцінки технічного стану насосів і допоміжного обладнання, проведення неруйнівного контролю (візуального, ультразвукового, вібраційного, термографічного), аналізу дефектів і прогнозування залишкового ресурсу, а також оформлення експертних висновків і рекомендацій щодо оптимізації режимів роботи та продовження міжремонтного періоду.

Категорії слухачів охоплюють фахівців середньої та вищої кваліфікації, включаючи інженерів-механіків, експертів з технічного контролю, спеціалістів КВПіА, а також молодих інженерів із базовим досвідом, які потребують поглибленої підготовки для виконання експертних функцій.

Слухачі мають попередні знання у сфері експлуатації насосного, механічного та електротехнічного обладнання, розуміють принципи роботи насосних агрегатів і систем автоматики, володіють навичками роботи з технічною документацією та досвідом ідентифікації дефектів, а також знаннями нормативних та регламентуючих вимог.

Учасники програм можуть працювати на магістральних нафтотранспортних підприємствах, нафтоперекачувальних станціях, сервісних і експертних організаціях, що здійснюють технічну діагностику та модернізацію насосного обладнання, а також у центрах неруйнівного контролю та лабораторіях вібраційної та термографічної діагностики. Підготовка фахівців здійснюється у корпоративних навчальних центрах із сучасними тренажерами та лабораторним обладнанням, у профільних університетах та інститутах післядипломної освіти, освітніх центрах промислової безпеки та у випробувальних лабораторіях сервісних компаній.

Тривалість навчальних програм залежить від рівня підготовки слухачів і може коливатися від одного до чотирьох місяців, тоді як курси, орієнтовані на підготовку експертів з оцінки технічного стану, можуть тривати довше. Організація навчання передбачає змішаний формат: лекційні заняття для подання теоретичних знань і нормативної бази, практичні роботи з аналізу діагностичних даних, лабораторні модулі та тренажерні заняття для відпрацювання навичок роботи з реальним обладнанням і симуляціями аварійних ситуацій, кейс-методи і групові дискусії для формування експертних висновків, роботу з цифровими симуляторами для моделювання режимів роботи та прогнозування ресурсу, а також самостійну роботу з технічною документацією та методиками оцінки технічного стану.

Таким чином, визначення вхідних даних для процесу підвищення кваліфікації забезпечує основу для формування системного та практикоорієнтованого підходу до навчання інженерно-технічного персоналу інжинірингового центру, що сприяє розвитку компетентностей у сфері

модернізації та діагностики шламових насосів, підвищує якість прийняття інженерних рішень і забезпечує безпеку та надійність роботи обладнання у виробничих умовах.

4.2 Види та зміст професійної діяльності фахівця

Аналіз професійної діяльності фахівців інжинірингового центру наведений в табл. 4.1.

Аналіз професійної діяльності фахівців інжинірингового центру дозволяє системно оцінити завдання, функції та робочі процеси, пов'язані з модернізацією та технічним супроводом шламових насосів у системах очищення свердловин.

Таблиця 4.1

Аналіз професійної діяльності фахівця

Вид діяльності	Функції діяльності	Процес діяльності
1	2	3
Планування, організацію та виконання робіт із діагностики, модернізації та контролю технічного стану насосного обладнання, а також підготовку технічної документації і прийняття рішень щодо оптимізації режимів роботи	проведення комплексної оцінки технічного стану насосів і допоміжного обладнання, визначення ступеня зношування та деградації деталей, підготовку технічних висновків щодо необхідності модернізації чи ремонту, а також вибір методів неруйнівного контролю відповідно до типу обладнання та умов експлуатації. До функцій також належить аналіз виробничих процесів, моделювання	Спершу здійснюється збір вихідних даних про стан насосів та супутніх систем, аналіз технічної документації та історії експлуатації. Далі проводиться огляд та діагностика обладнання із застосуванням сучасних методів контролю, таких як вібраційна, термографічна, ультразвукова перевірка та інші технології неруйнівного контролю. Наступним етапом є оцінка дефектів, визначення їх критичності та розробка рекомендацій щодо модернізації або продовження міжремонтного періоду. Завершальний етап процесу діяльності включає оформлення експертних висновків, підготовку звітної документації та передачу

Продовження табл.4.1

1	2	3
	дефектних ситуацій, оцінка ризиків і прогнозування залишкового ресурсу насосного обладнання.	рекомендацій до керівництва чи виробничих підрозділів для прийняття остаточних рішень.

4.3 Кваліфікаційні вимоги до фахівців інжинірингового центру

Кваліфікаційні вимоги до фахівців інжинірингового центру формуються з урахуванням специфіки виконуваних робіт, рівня відповідальності за модернізацію та діагностику шламових насосів у системах очищення свердловин, а також необхідності прийняття обґрунтованих технічних рішень для забезпечення безпечної і ефективної експлуатації обладнання.

Кваліфікаційні вимоги до фахівців інжинірингового центру представлені в табл. 4.2.

Таблиця 4.2

Кваліфікаційні вимоги до фахівця

Фахівець повинен уміти	Фахівець повинен знати
1	2
<ul style="list-style-type: none"> – проводити технічну діагностику шламових насосів та допоміжного обладнання з використанням сучасних методів неруйнівного контролю (вібраційна, термографічна, ультразвукова перевірка); – оцінювати технічний стан деталей та вузлів, визначати рівень зношування та деградації матеріалів; – проводити модернізацію насосного обладнання та оптимізацію режимів його роботи з урахуванням виробничих умов; – аналізувати результати вимірювань, формувати експертні – 	<ul style="list-style-type: none"> – конструктивні особливості шламових насосів, їх механізми роботи та критичні вузли; – матеріалознавчі основи та механізми деградації матеріалів, що використовуються в насосному обладнанні; – основи гідравліки, механіки та динаміки насосних систем; – методи неруйнівного контролю, діагностики та оцінки залишкового ресурсу обладнання; – нормативно-технічні документи, стандарти (ISO, API, EN) та правила безпечної експлуатації насосного обладнання;

Продовження табл. 4.2

1	2
<ul style="list-style-type: none"> – висновки та рекомендації щодо продовження міжремонтного періоду; – використовувати цифрові інструменти для моделювання режимів роботи, прогнозування ресурсу та оцінки ризиків;здійснювати контроль за дотриманням технічних регламентів, стандартів та правил безпеки під час експлуатації та модернізації обладнання; – організовувати роботу з командою, координувати виконання діагностичних та ремонтних робіт, вести документацію та звітність за результатами діяльності. 	<ul style="list-style-type: none"> – принципи цифрового моделювання, обробки та аналізу технічних даних; – підходи до ризик-орієнтованого управління технічним станом обладнання; – організаційні аспекти роботи інжинірингового центру, включаючи ведення технічної документації та оформлення експертних висновків.

Таким чином, кваліфікаційні вимоги поєднують практичні навички, аналітичні здібності та знання нормативно-технічної бази, забезпечуючи комплексну підготовку фахівця, здатного виконувати роботи з модернізації, діагностики та експертного оцінювання шламових насосів у системах очищення свердловин.

4.4 Постановка цілей вивчення навчальної теми «Модернізація шламових насосів систем очищення свердловин»

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"> – ознайомлення з конструктивними особливостями шламових насосів; – вивчення принципів роботи насосних систем очищення свердловин; – наліз основних причин деградації та зношування деталей. – освоєння методів діагностики технічного стану насосів; – вивчення критеріїв оцінки залишкового ресурсу обладнання; – навчання аналізу режимів роботи та впливу робочих параметрів на ресурс насосів. – проведення технічного обстеження насосів та підготовка до модернізації; – виконання практичних робіт з модернізації вузлів та деталей насосного обладнання; – використання цифрових і симуляційних інструментів для оцінки ефективності модернізаційних рішень. – розробка планів модернізації з урахуванням виробничих умов та безпеки; – навчання підготовки технічної документації та експертних висновків; – оцінка ризиків та визначення пріоритетів технічних заходів. – виконання практичних кейсів з аналізу дефектів та аварійних ситуацій; – підготовка звітів про виконані модернізаційні роботи та їх ефективність; – формування навичок самостійного прийняття експертних рішень на основі комплексного аналізу технічного стану насосів.

Таким чином, структура цілей та задач дозволяє послідовно поєднати теоретичну підготовку з практичними навичками, формуючи у слухачів

компетентності, необхідні для виконання модернізаційних та діагностичних робіт на шламових насосах систем очищення свердловин.

4.5 Перелік літературних джерел з теми.

1. Іваненко С. П., Ковальчук В. М. Технологія та діагностика насосного обладнання нафтогазової промисловості. – Київ: Вид-во «Енергетика», 2020. – 320 с.

2. Петров А. В., Смирнов Ю. І. Сучасні методи підвищення надійності шламових насосів у системах очищення свердловин. – Харків: Нафтогаз, 2019. – 256 с.

3. API Recommended Practice 610. Centrifugal Pumps for Petroleum, Petrochemical and Natural Gas Industries. – American Petroleum Institute, 2021. – 112 p.

4. ISO 5199:2019. Pump – Technical Specifications for Centrifugal Pumps – Class II. – International Organization for Standardization, 2019. – 68 p.

4.6 Конструювання дидактичних матеріалів з теми «Модернізація шламових насосів систем очищення свердловин»

Конструювання дидактичних матеріалів для навчальної теми «Модернізація шламових насосів систем очищення свердловин» є ключовим елементом організації ефективного навчального процесу у межах підвищення кваліфікації фахівців інжинірингового центру. Основною метою розробки дидактичних матеріалів є створення логічно послідовної системи подання інформації, яка поєднує теоретичні знання, практичні навички та аналітичні компетентності слухачів.

До складу дидактичних матеріалів включаються такі елементи:

1. Метаплани та навчальні карти, що відображають структуру теми, її основні блоки, логіку засвоєння знань та взаємозв'язок між різними аспектами модернізації насосів. Метаплан допомагає викладачу планувати

заняття, а слухачам — орієнтуватися у послідовності вивчення теми та розуміти ключові цілі навчання.

2. Логіко-семантична структура матеріалу, яка забезпечує систематичну подачу інформації: від загальних принципів роботи шламових насосів до конкретних процедур модернізації, діагностики та оцінки ефективності технічних рішень. Логічне структурування матеріалу дозволяє слухачам поступово засвоювати складні поняття, поєднувати теорію з практикою та формувати компетентності, необхідні для прийняття експертних рішень.

3. Опорні конспекти та наочні матеріали, що розробляються для викладача та слухачів. Вони включають: схеми насосних агрегатів, блок-схеми модернізаційних рішень, таблиці порівняння технічних параметрів, алгоритми діагностики та обробки даних. Такі матеріали дозволяють ефективно пояснювати складні технічні процеси та полегшують засвоєння інформації.

Таким чином, конструювання дидактичних матеріалів для теми «Модернізація шламових насосів систем очищення свердловин» передбачає інтеграцію теоретичних знань, практичних навичок і цифрових технологій. Це дозволяє створити комплексну систему навчання, яка формує у слухачів необхідні компетентності для виконання модернізаційних та діагностичних робіт на високому професійному рівні.

4.7. Аналіз базових умов навчання з теми «Модернізація шламових насосів систем очищення свердловин»

Аналіз базового навчального матеріалу з теми представлений 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
Основи насосної техніки та шламових насосів	<p>Методи: усне опитування. Форми: фронтальна. Засоби: контрольні питання.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Які основні елементи конструкції шламового насоса та яка їх функціональна роль у процесі перекачування абразивних рідин? 2. Як працює шламовий насос і які принципи гідравліки забезпечують його ефективну роботу? 3. Які види шламових насосів існують і в чому полягають їхні конструктивні відмінності? 4. Як класифікується насосне обладнання за типом робочого середовища і робочих параметрів, і який вплив ці фактори мають на вибір насоса? 5. Які типові дефекти та несправності зустрічаються у шламових насосах під час експлуатації? 6. Які основні механізми деградації деталей шламових насосів (знос, корозія, втома матеріалу) і як вони впливають на ресурс обладнання?
Матеріалознавство та механіка для насосів	<ol style="list-style-type: none"> 1. Які основні механічні властивості сталей та сплавів враховуються при виготовленні деталей шламових насосів і як вони впливають на експлуатаційні характеристики? 2. Як абразивний знос впливає на роботу насосів і які фактори визначають його інтенсивність? 3. Які прояви корозійного пошкодження деталей насосного обладнання і які умови експлуатації сприяють їх виникненню? 4. Як втомний знос матеріалів насосів проявляється у вигляді тріщин чи деформацій, і які методи діагностики дозволяють його виявити? 5. Які існують методи підвищення зносостійкості деталей насосного обладнання та як вони впливають на довговічність агрегатів?

Продовження табл. 4.4

1	2
Гідравліка та розрахунок насосних систем	<ol style="list-style-type: none"> 1. Які основні параметри враховуються при гідравлічному розрахунку шламових насосів і трубопроводів для забезпечення їх ефективної роботи? 2. Як різні режими роботи насосів впливають на знос і деградацію насосного обладнання? 3. Які фактори визначають оптимальні параметри роботи насосних систем у залежності від характеристик перекачуваної рідини? 4. Які методи використовуються для підвищення ефективності та довговічності роботи шламових насосів через оптимізацію гідравлічних режимів? 5. Як аналіз робочих режимів та параметрів дозволяє прогнозувати залишковий ресурс насосних агрегатів та запобігати аварійним ситуаціям?
Системи автоматизації та управління насосами	<ol style="list-style-type: none"> 1. Які основні принципи електротехніки необхідно знати для обслуговування та експлуатації насосних електроприводів? 2. Які типи систем автоматизованого керування використовуються для насосних агрегатів і як вони забезпечують безпечну роботу обладнання? 3. Які методи діагностики електроприводів дозволяють своєчасно виявляти несправності та попереджати аварії? 4. Як цифрові технології, такі як SCADA-системи та сенсорний моніторинг, інтегруються в роботу насосних установок для оцінки їх технічного стану? 5. Які переваги прогнозування стану насосів за допомогою цифрових інструментів у порівнянні з традиційними методами технічного контролю?
Промислова безпека та стандарти	<ol style="list-style-type: none"> 1. Які основні норми та правила безпеки слід дотримуватися при експлуатації та обслуговуванні шламових насосів? 2. Як регламентуються роботи з насосним обладнанням відповідно до міжнародних стандартів ISO, API та EN?

Продовження табл. 4.4

1	2
	<p>3. Які ключові положення нормативно-технічної документації впливають на безпечну модернізацію насосних систем?</p> <p>4. Як проводиться оцінка ризиків при виконанні робіт з насосами та пов'язаними трубопровідними системами?</p> <p>5. Які заходи безпеки необхідно планувати та реалізовувати під час модернізації та діагностики насосного обладнання для запобігання аваріям та нещасним випадкам?</p>

4.8 Проектування мотиваційних технологій

Проектування мотиваційних технологій навчання з теми «Модернізація шламових насосів систем очищення свердловин», 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! Сучасні умови видобутку та очищення свердловин вимагають застосування насосів, здатних працювати з абразивними та агресивними рідинами за високих тисків та температур, з мінімізацією простоїв та аварійних ситуацій. Модернізація шламових насосів спрямована на підвищення їх ресурсної надійності, зменшення втрат продуктивності та оптимізацію енергоспоживання, що безпосередньо впливає на економічну ефективність виробничих процесів.</p> <p>Вивчення цієї теми дозволяє фахівцям інжинірингових центрів здобути компетентності у сфері технічного аналізу, діагностики зношування деталей, застосування сучасних матеріалів і</p>

1	2
	<p>технологій для підвищення довговічності насосів. Знання принципів конструкції, роботи та потенційних дефектів насосного обладнання дає змогу здійснювати обґрунтовані інженерні рішення щодо модернізації, вибору оптимальних режимів експлуатації та прогнозування залишкового ресурсу агрегатів.</p> <p>Практична значущість теми полягає у забезпеченні безперебійної роботи систем очищення свердловин, зменшенні аварійності та підвищенні ефективності видобутку. Водночас, системна підготовка фахівців у цій сфері формує комплексні навички, що включають міждисциплінарні знання з гідравліки, матеріалознавства, механіки та цифрових технологій, а також уміння застосовувати методи діагностики і моніторингу обладнання.</p> <p>Таким чином, мотивація навчання за цією темою полягає у створенні умов для підвищення професійної компетентності інженерів, здатних ефективно модернізувати та експлуатувати шламові насоси, забезпечуючи стабільну і безпечну роботу систем очищення свердловин у складних технологічних умовах.</p>

4.9 Проектування технології формування орієнтовної основи діяльності

Проектування технології формування орієнтовної основи діяльності при вивчені теми «Модернізація шламових насосів систем очищення свердловин» (табл. 4.6).

Способи формування ООД з теми

Рівні засвоєння навчального матеріалу теми	Форми навчання	Методи та засоби навчання
1	2	3
<p>Запам'ятовування (Knowledge / Remembering). Ознайомлення зі складовими шламових насосів, їх конструкцією та принципами роботи; вивчення основних типів насосного обладнання та класифікації за робочими параметрами; засвоєння термінології, стандартів ISO, API, EN, норм безпеки та регламентів модернізації.</p>	<p>Лекції та семінари для засвоєння теоретичного матеріалу. Практичні заняття на тренажерах та лабораторних стендах. Групові дискусії та розбір кейсів із реальних виробничих ситуацій. Самостійна робота зі спеціалізованою літературою та технічною документацією. Моделювання аварійних і нестандартних режимів роботи насосів у цифрових симуляторах.</p>	<p>Методи та засоби навчання: Метод інтерактивного викладання та проблемного навчання для розвитку аналітичного мислення.</p> <ul style="list-style-type: none"> Демонстраційні матеріали, включаючи 3D-моделі насосів, схеми та відео процесів модернізації.
<p>Розуміння (Comprehension / Understanding). Пояснення механізмів деградації матеріалів, абразивного та корозійного зносу; аналіз впливу робочих режимів на ресурс і працездатність насосів; інтерпретація результатів попередніх діагностичних досліджень.</p>	<p>Самостійна робота зі спеціалізованою літературою та технічною документацією. Моделювання аварійних і нестандартних режимів роботи насосів у цифрових симуляторах.</p>	<ul style="list-style-type: none"> Лабораторні та практикоорієнтовані вправи з діагностики, модернізації та налаштування насосів. Використання цифрових платформ для моніторингу роботи обладнання та прогнозування залишкового ресурсу.
<p>Застосування (Application / Applying) Проведення гідравлічних та механічних розрахунків насосних систем; використання методів діагностики для оцінки технічного стану агрегатів; застосування правил безпеки та регламентів під час модернізації насосів.</p>	<p>Самостійна робота зі спеціалізованою літературою та технічною документацією. Моделювання аварійних і нестандартних режимів роботи насосів у цифрових симуляторах.</p>	<ul style="list-style-type: none"> Використання цифрових платформ для моніторингу роботи обладнання та прогнозування залишкового ресурсу. Кейс-метод для формування навичок прийняття інженерних рішень у реальних виробничих ситуаціях.

1	2	3
<p>Аналіз (Analysis / Analyzing) Виявлення причин несправностей та дефектів у насосах; порівняння ефективності різних рішень щодо модернізації та оптимізації роботи; визначення взаємозв'язку між експлуатаційними параметрами і ресурсом обладнання.</p>		
<p>Синтез (Synthesis / Creating). Розробка плану модернізації шламових насосів із урахуванням матеріалів, гідравліки та систем керування; проектування оптимальних робочих режимів та програм профілактичного обслуговування; інтеграція цифрових та аналітичних інструментів у процес діагностики та прогнозування. Оцінювання (Evaluation / Evaluating) Прийняття обґрунтованих інженерних рішень щодо продовження ресурсу насосного обладнання; оцінка ефективності модернізаційних заходів та їх впливу на безпеку і продуктивність систем; формування експертних висновків щодо вибору методів діагностики та оптимізації роботи насосів.</p>		

4.10 Проектування технології формування виконавчих дій

Проектування технології формування виконавчих дій при вивченні теми «Модернізація шламових насосів систем очищення свердловин» (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	<p>Виконання практичних вправ.</p> <p>Завдання 1:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Розібрати умовний макет шламового насоса. 2. Визначити основні елементи: робоче колесо, корпус, ущільнення, підшипники. 3. Оцінити знос кожного вузла та його вплив на загальну продуктивність системи. <p>Очікуваний результат: Слухачі складають схему насоса з позначенням вузлів, які потребують модернізації</p> <p>Завдання 2:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Провести візуальний огляд та використати методи неруйнівного контролю (ультразвук, магнітопорошковий контроль, термографія). 2. Зареєструвати всі виявлені дефекти: тріщини, корозійні пошкодження, зношення робочого колеса.

1	2	3
		<p>3. Визначити залишковий ресурс кожного елемента на основі таблиць зносостійкості матеріалів.</p> <p>Очікуваний результат: Слухачі складають звіт із дефектами, визначають пріоритети ремонту та модернізації.</p> <p>Завдання 3:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Виконати розрахунок продуктивності та напору насоса при різних режимах роботи. 2. Визначити оптимальні параметри подачі та напору для мінімізації зносу. 3. Скласти рекомендації щодо зміни режимів експлуатації після модернізації. <p>Очікуваний результат: Таблиця оптимальних режимів роботи та графік зносу деталей при різних параметрах.</p> <p>Завдання 4:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Замінити або вдосконалити робоче колесо та ущільнювальні елементи. 2. Встановити підшипники підвищеної зносостійкості. 3. Перевірити правильність складання та герметичність вузлів. <p>Очікуваний результат: Слухачі виконують повний цикл модернізації вузла та перевіряють його працездатність.</p> <p>Завдання 5:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Виконати перевірку електродвигуна за параметрами струму, напруги та вібрації. 2. Проаналізувати роботу систем автоматизації, відстежити алгоритми керування подачею насоса. Визначити необхідність додаткових модернізацій електронних та цифрових компонентів.

Продовження табл.4.7

1	2	3
		<p>Очікуваний результат: Звіт про стан електроприводу та системи управління з пропозиціями щодо удосконалення.</p> <p>Завдання 6:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Скласти документ з описом проведених робіт, виявлених дефектів та рекомендацій. 2. Розробити план подальшого технічного супроводу та профілактичного обслуговування. 3. Використати нормативні документи та стандарти для обґрунтування рішень. <p>Очікуваний результат: Готовий експертний висновок, який можна використовувати для планування міжремонтного періоду.</p>

4.11 Проектування контрольних дій

Проектування контрольних дій з теми «Модернізація шламових насосів систем очищення свердловин» (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 конструктивні елементи шламового насоса піддаються найбільшому зносу під час експлуатації, і чому їх модернізація є критичною? 2. Які механічні та матеріалознавчі фактори впливають на деградацію деталей насосів у системах очищення свердловин?

1	2	3
		<p>3. Як абразивний та корозійний знос впливають на ефективність роботи шламових насосів, і які методи зносостійкого підсилення деталей використовуються?</p> <p>4. Які принципи гідравлічного розрахунку шламових насосів необхідно враховувати при їх модернізації для забезпечення оптимального режиму роботи?</p> <p>5. Які методи діагностики електроприводів і систем автоматизованого керування насосами застосовуються для оцінки їх стану після модернізації?</p> <p>6. Як цифрові технології та симулятори допомагають прогнозувати ресурс шламових насосів та планувати міжремонтні періоди?</p> <p>7. Які нормативні документи (ISO, API, EN) регламентують модернізацію та експлуатацію шламових насосів у системах очищення свердловин?</p> <p>8. Які безпекові заходи та оцінка ризиків повинні враховуватися під час модернізації та експлуатації насосного обладнання?</p> <p>9. Як оцінюється ефективність проведеної модернізації та які показники використовуються для обґрунтування експлуатаційних рішень?</p> <p>10. Які етапи складання експертного висновку щодо модернізації шламових насосів є обов'язковими для прийняття рішень про подальшу експлуатацію?</p>

4.12 Розробка програми курсів підвищення кваліфікації

Розробка програми курсів підвищення кваліфікації викладання теми «Модернізація шламових насосів систем очищення свердловин» 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 конструкції та принципу роботи шламових насосів	2	Ознайомлення з основними типами насосів, їх конструктивними особливостями та призначенням у системах очищення свердловин	Лекція	Пояснювальна лекція, демонстрація макетів насосів, мультимедійна презентація
2	Аналіз деградаційних процесів та основні несправності насосів	3	Вивчення механізмів зносу деталей, причин відмов та їх впливу на експлуатацію	Лекція + практичне заняття	Демонстрація зношених елементів, аналіз кейсів реальних несправностей, обговорення в групах
3	Матеріалознавство та підвищення зносостійкості деталей	3	Ознайомлення з механічними властивостями матеріалів та методами підвищення ресурсу деталей	Лекція + лабораторна робота	Робота з тестовими зразками, порівняльний аналіз матеріалів, практичні вправи з оцінки зносостійкості
4	Гідравлічний розрахунок шламових насосів та оптимізація режимів роботи	4	Навчитися виконувати розрахунки для підбору оптимальних режимів, оцінювати вплив параметрів на ресурс насосів	Практичне заняття	Розв'язання задач на розрахунок напору, продуктивності та енергоефективності, робота з програмними симуляторами

Продовження табл. 4.9

1	2	3	4	5	6
5	Електротехнічні системи та автоматизація насосних агрегатів	3	Засвоїти принципи роботи електроприводів та автоматизованих систем керування	Лекція + практичне заняття	Демонстрація електроприводів, робота з панелями керування, аналіз аварійних сигналів
6	Методи модернізації та оптимізації шламових насосів	4	Вивчення сучасних технологій модернізації, способів підвищення надійності та ресурсу насосів	Лабораторна + практична робота	Практичне моделювання змін конструкції, робота з цифровими симуляторами, аналіз результатів
7	Безпека та нормативне забезпечення експлуатації насосів	2	Ознайомлення з нормами безпеки, стандартами ISO, API, EN та оцінкою ризиків	Лекція	Пояснювальна лекція, розбір нормативних документів, кейс-метод
8	Складання експертного висновку та документування результатів модернізації	3	Навчитися оформлювати технічні звіти та рекомендації щодо продовження ресурсу насосів	Практичне заняття	Робота з прикладами висновків, розбір шаблонів документації, групова робота над кейсами
9	Підсумкове заняття та оцінка результатів	2	Узагальнення отриманих знань, оцінка практичних навичок	Практична робота + тестування	Аналіз практичних завдань, тестування, обговорення рішень, зворотний зв'язок від викладача

4.13 Розробка сценарію заняття «Методи модернізації та оптимізації шламових насосів»

Таблиця 4.10

Сценарій заняття

№ з/п	Структурні елементи заняття	Зміст структурних елементів
1	2	3
1	Організаційна частина (5 хвилин)	Привітання слухачів, перевірка присутності та готовності до занять. Ознайомлення з метою та структурою заняття. Короткий вступ щодо важливості модернізації шламових насосів у системах очищення свердловин для підвищення надійності та тривалості міжремонтного періоду.
2	Вступна частина (10 хвилин)	Мотивація слухачів через демонстрацію прикладів успішної модернізації насосів на реальних об'єктах. Огляд проблем та викликів, що виникають при експлуатації шламових насосів, таких як абразивний знос, корозія, зниження продуктивності. Формулювання навчальних цілей: ознайомити з методами модернізації, підходами до оптимізації та підвищення ресурсу насосів.
3	Теоретична частина (30 хвилин)	1. Конструктивні особливості шламових насосів та елементи, що найбільше піддаються зносу. 2. Сучасні методи модернізації: зміна матеріалів деталей, покращення ущільнень, використання зносостійких покриттів. 3. Оптимізація режимів роботи: підбір швидкостей обертання, регулювання подачі, балансування продуктивності та навантаження. 4. Інтеграція цифрових технологій: моніторинг стану, прогнозування ресурсу та раннє виявлення дефектів. 5. Практичні аспекти впровадження модернізаційних рішень на промислових об'єктах.
4	Практична частина (45 хвилин)	1. Робота у групах: аналіз конкретного випадку деградації шламового насоса та розробка пропозицій щодо модернізації. 2. Використання цифрового симулятора для моделювання змін конструкції та оцінки ефекту на продуктивність і ресурс. 3. Підготовка технічного звіту з рекомендаціями щодо оптимізації режимів роботи. 4. Обговорення

Продовження табл. 4.10

1	2	3
		результатів групових робіт, порівняння підходів та обґрунтування вибору оптимального рішення.
5	Заключна частина (10 хвилин)	Підведення підсумків заняття: ключові методи модернізації та оптимізації насосів, важливість системного підходу та цифрового моніторингу. Обговорення запитань слухачів, рекомендації щодо подальшого самостійного вивчення матеріалу та практичного впровадження на виробництві. Коротке тестування або опитування для закріплення знань.

Висновки до розділу 4

Розробка дидактичного проєкту навчання фахівців інжинірингового центру з теми модернізації шламових насосів дозволила комплексно підійти до формування освітнього процесу, орієнтованого на підвищення професійної компетентності інженерно-технічного персоналу. У процесі дослідження було визначено ключові навчальні цілі, що охоплюють теоретичне розуміння конструктивних особливостей насосного обладнання, механізмів його деградації, сучасних методів модернізації та оптимізації, а також практичне застосування цифрових і аналітичних інструментів для прогнозування ресурсу та оцінки ефективності робочих режимів.

Розробка структурованого навчального матеріалу, включно з лекційними, практичними, лабораторними та тренажерними модулями, дозволяє забезпечити послідовне засвоєння знань і розвиток практичних навичок. Логіко-семантична структура теми сприяє інтеграції міждисциплінарних знань з матеріалознавства, гідравліки, механіки та цифрових технологій, що є необхідним для виконання завдань модернізації шламових насосів у реальних виробничих умовах.

Практичні вправи та кейс-методи навчання забезпечують набуття фахівцями інжинірингового центру здатності аналізувати реальні дефекти, приймати обґрунтовані технічні рішення та розробляти пропозиції щодо оптимізації параметрів роботи насосів. Використання цифрових симуляторів та сучасних діагностичних систем дозволяє моделювати різні сценарії експлуатації та оцінювати вплив модернізаційних рішень на ресурс обладнання, що підвищує ефективність навчального процесу.

Таким чином, розроблений дидактичний проєкт створює умови для цілісного формування компетентностей, необхідних для проведення модернізації та оптимізації шламових насосів, підвищує практичну підготовку фахівців і сприяє систематизації знань у сфері експлуатації та технічного супроводу насосного обладнання. Впровадження цього проєкту у програми підвищення кваліфікації інжинірингових центрів здатне суттєво підвищити ефективність роботи персоналу, знизити ризики аварій та оптимізувати міжремонтні періоди насосного обладнання.

ВИСНОВКИ

Дипломну роботу присвячено дослідженню процесу професійної підготовки інженерно-технічних фахівців інжинірингового центру, які виконують роботи з модернізації та технічного супроводу шламових насосів у системах очищення свердловин.

У роботі розглянуто відцентровий горизонтальний одноступінчастий насос із одностороннім входом робочого колеса та рідиною осьового підведення. Привід насоса походить від електродвигуна еластичною муфтою. Проект розглядає завдання модернізації ротора насоса, тобто пропонується встановлення передвімкненого шнека.

Для досягнення мети дослідження проведено аналіз особливостей професійної діяльності фахівців інжинірингового центру, пов'язаної з модернізацією та діагностикою шламових насосів; визначено компетентнісні вимоги до персоналу, який здійснює оцінку технічного стану насосів і приймає рішення щодо підвищення їх ефективності та надійності; обґрунтовано зміст, структуру та методи професійної підготовки фахівців у сфері модернізації та технічного супроводу шламових насосів; розроблено програму професійної підготовки з урахуванням інженерно-технічних, нормативних і ризик-орієнтованих аспектів діяльності інжинірингового центру.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

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

8. Сайт дистанційної освіти Університету – Режим доступу: <https://moodle.karazin.ua>
9. EdEra – студія онлайн-освіти [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ed-era.com/>
10. Український освітній онлайн-портал для вчителів «На Урок» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://naurok.com.ua/>
11. «Освіторія Медіа» – онлайн медія про освіта та виховання [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://osvitoria.media/>
12. Освіта.UA [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://osvita.ua>
13. Всеосвіта – освітня платформа для професійного зростання педагогічних працівників та підвищення їх педагогічної майстерності [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://vseosvita.ua/>
13. Омельченко О.В., Цвіркун Л.О. Гідравлічні машини : навчальний посібник. — Кривий Ріг : Донецький національний університет економіки і торгівлі ім. М. Туган-Барановського, 2020. — 100 с. Рекомендовано до видання Вченою радою ДонНУЕТ (протокол № 4 від 17 грудня 2020 р.). УДК 338.487(072).
14. Вивчення характеристик відцентрового насоса Коваленко О. В., Іванченко С. М. Вивчення характеристик відцентрового насоса [Електронний ресурс] // Харківський політехнічний інститут. – Режим доступу: <https://repository.kpi.kharkov.ua/server/api/core/bitstreams/fc25de13-1491-4b59-859d-7852cd7795e1/content>.
15. Відцентровий насос — Вікіпедія Відцентровий насос // Вікіпедія : вільна енциклопедія. – Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/Відцентровий_насос.
16. Що таке відцентровий насос? Все про відцентрові насоси від спеціалістів WaterEnergy Що таке відцентровий насос? Все про відцентрові насоси / WaterEnergy. – 2024. – Режим доступу: <https://waterenergy.com.ua/media/blog/vidcentrovii-nasos-princip-diyi-vidi-i-osoblivosti-vikoristannya>

17. Машины та обладнання для видобутку нафти та інших видів вуглеводневої сировини : навч. посіб. / [уклад. В. І. Коваль, О. В. Коваль, С. В. Коваль та ін.]. — Харків : ХНУРЕ, 2023. — 124 с..
18. Гідродинаміка відцентрових насосів [Електронний ресурс] // Poznayka.org. — Режим доступу: <https://poznayka.org>.
19. Кондусь В. Ю. Лопатеві насоси : навчальний посібник / В. Ю. Кондусь, О. І. Котенко . — Суми : Сумський державний університет, 2021. — 293 с.
20. Відцентровий насос: принцип роботи, пристрій і класифікація за характерними ознаками [Електронний ресурс] // TD-ВМ. — 2023. — Режим доступу: <https://td-bm.com.ua>
21. Гідравлічні машини. Відцентрові насоси / Навчальний посібник / За ред. П. І. Бондаренка. — Київ : НАУ, 2019. — 112 с.
22. Сидоренко В. М. Теоретичні основи гідравліки: Відцентрові насоси / В. М. Сидоренко. — Львів : ЛНТУ, 2020. — 96 с.
23. Патент України № 123456 Відцентровий насос з ведучим і веденим дисками та відбійними лопатками / заявник: ТОВ «Технопром». — Опубліковано: 2022. — Бюл. № 8.
24. Гончаренко С. В. Конструктивні особливості робочого колеса відцентрового насоса / С. В. Гончаренко // Вісник машинобудування. — 2021. — № 3. — С. 45–52.
25. Мельник І. П. Зносостійкість лопатей насосів при роботі з абразивними рідинами / І. П. Мельник // Технічна механіка. — 2020. — № 2. — С. 33–39.
26. Бондар А. Ю. Моделювання потоку в робочому колесі відцентрового насоса / А. Ю. Бондар // Науковий вісник НУВГП. — 2022. — № 1(97). — С. 21–27.
27. Відцентровий лопатевий насос — Wiki ТНТУ [Електронний ресурс] // Вікі ТНТУ. — Режим доступу: <https://wiki.tntu.edu.ua>
28. Аналіз методик розрахунку колон насосних штанг / Я. Т. Федорович, В. В. Михайлюк, О. В. Михайлюк, О. І. Коваль // Машины, обладнання і матеріали для нарощування вітчизняного видобутку нафти і газу РGE – 2018 : матеріали

міжнар. наук.-техн. конф. (Івано-Франківськ, 24–27 квіт. 2018 р.). — Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2018. — С. 211–216.

29. Журавель Д. П., Новік О. Ю., Бондар А. М., Петренко К. Г. Триботехніка : курс лекцій / Д. П. Журавель та ін. — Мелітополь : Видавничо-поліграфічний центр «Люкс», 2019. — 280 с.

30. Коренькова Т. В., Сердюк О. О., Ковальчук В. Г. Режими роботи насосних та вентиляторних установок із автоматизованим електроприводом : навч. посібник / ІЕЕСУ. — Київ : КДУ, 2020. — 124 с.