

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)

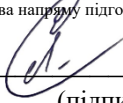
КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА


магістра


на тему

«Професійна підготовка інженерного складу інженерно-конструкторського бюро до розробки сучасного нафтовидобувного обладнання»
(тема кваліфікаційної роботи)

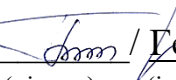
Виконав: студент 2 курсу, групи ЗПОНС24мг
спеціальності: 015 Професійна освіта (Видобуток, переробка та транспортування корисних копалин)
(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

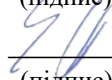
 / Євген ЛЯШЕНКО
(підпис) (ім'я та прізвище)

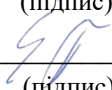
Керівник  / Олена ПРОКОПЕНКО
(підпис) (ім'я та прізвище)

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

«До захисту допущено»

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

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

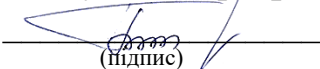
Секретар ЕК  / Євген КЛЮЧКА
(підпис) (ім'я та прізвище)

Харків – 2025 рік

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

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

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри


(підпис)



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

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

здобувачу вищої освіти Євгену ЛЯШЕНКО
(ім'я, прізвище)

1. Тема «Професійна підготовка інженерного складу інженерно-конструкторського бюро до розробки сучасного нафтовидобувного обладнання» 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 інженерного складу інженерно-конструкторського бюро до розробки сучасного нафтовидобувного обладнання. Аналіз і обґрунтування методів і засобів розробки сучасного нафтовидобувного обладнання для підвищення нафтовіддачі при видобутку. Вимоги до кадрового забезпечення інженерного складу інженерно-конструкторського бюро. Розробка дидактичного проєкту.
5. Перелік графічного матеріалу (презентаційний матеріал): Презентація, виконана в програмі Microsoft PowerPoint

6. Консультант:

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

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

Керівник роботи

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

Завдання прийняв до виконання

 Євген ЛЯШЕНКО
(підпис) (ім'я, прізвище)

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

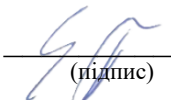
№ з/п	Назва етапів роботи та питань, які мають бути розроблені відповідно до завдання	Термін виконання	Позначки керівника про виконання завдань
1	Аналітичний огляд літератури	06.10.2025 – 15.10.2025	вик.
2	Актуальність професійної підготовки працівників інженерно-конструкторського бюро.	16.10.2025 – 25.10.2025	вик.
3	Аналіз і обґрунтування методів і засобів розробки сучасного нафтовидобувного обладнання для підвищення нафтовіддачі при видобутку.	26.10.2025 – 10.11.2025	вик.
4	Вимоги до кадрового забезпечення інженерного складу інженерно-конструкторського бюро.	11.11.2025 – 14.11.2025	вик.
5	Розробка дидактичного проєкту.	15.11.2025 – 05.12.2025	вик.
6	Оформлення пояснювальної записки та презентації	До 15.12.2025	вик.

Здобувач вищої освіти


(підпис)

Євген ЛЯШЕНКО
(ім'я, прізвище)

Нормоконтроль


(підпис)

Євген КЛЮЧКА
(ім'я, прізвище)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка дипломної роботи складає: 103 сторінки, 11 рисунків, 12 таблиць, 33 переліки посилань.

Ключові слова: ПРОФЕСІЙНА ПІДГОТОВКА, ІНЖЕНЕРНО-КОНСТРУКТОРСЬКЕ БЮРО, РОЗРОБКА ОБЛАДНАННЯ, НАФТОДОБИЧА, ІНТЕНСИФІКАЦІЯ ВИДОБУТКУ

Об'єкт дослідження – процес професійної підготовки інженерного складу інженерно-конструкторського бюро, який бере участь у проектуванні, розрахунку, випробуванні та вдосконаленні сучасного нафтовидобувного обладнання.

Предмет дослідження – формування професійних компетентностей конструкторів і інженерів, що забезпечують створення високотехнологічних систем для нафтовидобутку – насосно-компресорного обладнання, фонтанної арматури, систем інтенсифікації видобутку, автоматизованих комплексів контролю та обладнання підвищеної надійності для роботи в складних геологічних і технічних умовах.

Мета дослідження – теоретично обґрунтувати та розробити ефективну систему професійної підготовки інженерного персоналу ІКБ, спрямовану на формування технічних, аналітичних, цифрових та інноваційних компетентностей, необхідних для проектування надійного, енергоефективного та безпечного нафтовидобувного обладнання нового покоління.

Проаналізовано особливості професійної діяльності інженерів і конструкторів, які займаються розробкою сучасного нафтовидобувного обладнання; визначено ключові професійні компетентності, необхідні для інженера-конструктора у сфері нафтовидобувного обладнання; обґрунтовано структуру, зміст та методи професійної підготовки, що забезпечують здатність розробляти надійні, енергоефективні та технологічно вдосконалені конструкції.

ABSTRACT

An explaining message consists of: 103 pages, 11 pictures, 12 tables, 33 lists of references.

Keywords: PROFESSIONAL TRAINING, ENGINEERING DESIGN BUREAU, EQUIPMENT DEVELOPMENT, OIL PRODUCTION, INTENSIFICATION OF PRODUCTION

The object of the study is the process of professional training of the engineering staff of the engineering design bureau, which participates in the design, calculation, testing and improvement of modern oil production equipment.

The subject of the study is the formation of professional competencies of designers and engineers that ensure the creation of high-tech systems for oil production - pumping and compressor equipment, fountain fittings, production intensification systems, automated control complexes and equipment of increased reliability for operation in difficult geological and technical conditions.

The purpose of the study is to theoretically substantiate and develop an effective system of professional training of engineering personnel of the IKB, aimed at the formation of technical, analytical, digital and innovative competencies necessary for the design of reliable, energy-efficient and safe new generation oil production equipment.

The features of the professional activities of engineers and designers involved in the development of modern oil production equipment are analyzed; the key professional competencies required for a design engineer in the field of oil production equipment are identified; the structure, content and methods of professional training are substantiated, ensuring the ability to develop reliable, energy-efficient and technologically advanced designs.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	9
РОЗДІЛ 1	13
АКТУАЛЬНІСТЬ ПРОФЕСІЙНОЇ ПІДГОТОВКИ ІНЖЕНЕРНОГО СКЛАДУ ІНЖЕНЕРНО-КОНСТРУКТОРСЬКОГО БЮРО ДО РОЗРОБКИ СУЧАСНОГО НАФТОВИДОБУВНОГО ОБЛАДНАННЯ.....	
	13
1.1. Роль інженерно-конструкторського бюро у створенні сучасних технологічних рішень	13
1.2 Вплив професійної підготовки на якість та безпеку нафтовидобувного обладнання	16
1.3 Основні проблеми сучасної системи підготовки інженерних кадрів	18
1.4 Міжнародний і національний досвід підготовки інженерів-конструкторів	21
1.5 Необхідність удосконалення системи професійної підготовки ІКБ.....	23
Висновки до розділу 1	26
РОЗДІЛ 2	29
АНАЛІЗ І ОБГРУНТУВАННЯ МЕТОДІВ І ЗАСОБІВ РОЗРОБКИ СУЧАСНОГО НАФТОВИДОБУВНОГО ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ НАФТОВІДДАЧІ ПРИ ВИДОБУТКУ	
	29
2.1 Класифікація методів збільшення нафтовіддачі.....	29
2.2 Умови застосування методів нафтовіддачі.....	29
2.3 Критерії застосування методів підвищення нафтовіддачі	31
2.3.1 Використання вуглекислого газу.....	32
2.3.2 Заводнення з використанням полімерів.....	33
2.3.3 Заводнення з використанням луку.....	33
2.3.4 Використання теплових методів.....	33
2.4 Вплив на продуктивний пласт	33
2.4.1 Класифікація водогазового впливу	33
2.4.2 Переваги та недоліки технології водогазового впливу	37

2.4.3 Умови застосування водогазового впливу	39
2.4.4 Механізм та перші дослідження застосування водогазового впливу.....	40
2.4.5 Оцінка ефективності витіснення нафти водою та газом на різних режимах	41
2.5 Аналіз технологій водогазового впливу на продуктивний пласт	42
2.5.1 Світовий і досвід застосування технології водогазового впливу на продуктивний пласт	42
2.5.2 Види технологій для водогазового впливу.....	42
2.5.3 Компресорна технологія.....	43
2.5.4 Безкомпресорна технологія.....	44
2.5.5 Спільне закачування	44
2.5.6 Бустерні технології	45
2.5.7 Ежекторні технології	45
2.6 Насосно-ежекторні системи у складі систем підвищення нафтовіддачі.	46
2.7 Аналіз та проблеми використання насосно-ежекторних систем для їх застосування у технології водогазового впливу на пласт.....	47
2.8 Проектний розрахунок насосно-ежекторного устаткування.....	50
2.8.1 Дані для розрахунку.....	50
2.8.2 Розрахунок обладнання	51
Висновки до розділу 2	66
РОЗДІЛ 3	67
ВИМОГИ ДО КАДРОВОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ІНЖЕНЕРНОГО СКЛАДУ ІНЖЕНЕРНО-КОНСТРУКТОРСЬКОГО БЮРО.....	67
Висновки до розділу 3	71
РОЗДІЛ 4	72
РОЗРОБКА ДИДАКТИЧНОГО ПРОЄКТУ ВИКЛАДАННЯ ТЕМИ «РОЗРОБКА СУЧАСНОГО НАФТОВИДОБУВНОГО ОБЛАДНАННЯ», ЩО ВИВЧАЄТЬСЯ У ПРОЦЕСІ ПІДВИЩЕННЯ КВАЛІФІКАЦІЇ ІНЖЕНЕРНОГО СКЛАДУ ІНЖЕНЕРНО-КОНСТРУКТОРСЬКОГО БЮРО	72
4.1 Вихідні дані.....	72

4.2 Види та зміст професійної діяльності фахівця.....	75
4.3 Кваліфікаційні вимоги до інженерного складу інженерно- конструкторського бюро	78
4.4 Постановка цілей вивчення навчальної теми «Розробка сучасного нафтовидобувного обладнання».....	79
4.5 Перелік літературних джерел з теми.....	81
4.6 Конструювання дидактичних матеріалів з теми «Розробка сучасного нафтовидобувного обладнання».....	81
4.7 Аналіз базових умов навчання з теми «Розробка сучасного нафтовидобувного обладнання».....	83
4.8 Проєктування мотиваційних технологій	85
4.9 Проєктування технології формування орієнтовної основи діяльності....	86
4.11 Проєктування контрольних дій	91
4.12 Розробка програми курсів підвищення кваліфікації	93
Висновки до розділу 4	97
ВИСНОВКИ	100
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	101

ПЕРЕЛІК СКРОЧЕНЬ ТА ПОЗНАЧЕНЬ

ВГВ – водогазовий вплив

ВГС – водогазова суміш

ГРС – газорідинна суміш

ДНС – дожимна насосна станція

ІКБ -інженерно-конструкторське бюро

КС – компресорна станція

НКТ – насосно-компресорна труба

НЕС – насосно-ежекторна установка

ПНГ – попутний нафтовий газ

СА – струменевий апарат

ЕЦН – електровідцентровий насос

ВСТУП

Розвиток нафтовидобувної галузі в сучасних умовах значною мірою залежить від здатності інженерно-конструкторських підрозділів створювати високотехнологічне, надійне та економічно ефективне обладнання. Норми промислової безпеки, стандартизації та екологічні вимоги посилюються, геолого-технічні умови добування ускладнюються, а цикли модернізації обладнання скорочуються. За цих обставин роль інженерно-конструкторського бюро як осередку технологічних інновацій стрімко зростає, що актуалізує потребу у висококваліфікованих кадрах, здатних забезпечувати повний цикл створення сучасних нафтовидобувних систем — від ідеї та моделювання до виготовлення й випробувань.

Стрімка цифровізація промисловості, зокрема широке застосування CAD/CAE-систем, технологій віртуальних випробувань, прогнозних моделей, систем керування життєвим циклом продукту (PLM), вимагає від інженерів глибокого володіння цифровими інструментами. Водночас роботодавці очікують, що фахівці матимуть не тільки технічну компетентність, а й здатність працювати в мультидисциплінарному середовищі, швидко адаптуватися до нових технологій, ухвалювати проєктні рішення на основі ризик-орієнтованого підходу та врахування нормативних вимог міжнародних стандартів (API, ISO, ASME).

Сучасні виклики галузі — зростання глибин буріння, робота в умовах високих температур і тисків, використання складних методів інтенсифікації видобутку — демонструють, що ефективність і безпека нафтовидобувних операцій безпосередньо залежать від рівня підготовки інженера-конструктора. Недостатній рівень професійної підготовки призводить до проєктних помилок, зниження надійності обладнання, збільшення аварійності та фінансових ризиків. Саме тому створення ефективної системи формування професійних компетентностей фахівців ІКБ є ключовою умовою підвищення технологічної конкурентоспроможності підприємств нафтовидобувного комплексу.

Наявні освітні програми та корпоративні системи підготовки часто не відповідають сучасним потребам галузі: недостатньо уваги приділяється інженерному моделюванню, випробуванням цифрових прототипів, аналізу відмов обладнання та методам продовження його ресурсу. Бракує інтеграції між фундаментальними інженерними дисциплінами та практичними виробничими задачами, що ускладнює готовність молодих інженерів до роботи з реальними конструкціями, складними технічними умовами й високою відповідальністю.

Отже, актуальність дослідження полягає у необхідності наукового обґрунтування, структуризації та вдосконалення системи професійної підготовки інженерів інженерно-конструкторських бюро, яка забезпечуватиме їхню здатність до створення інноваційного нафтовидобувного обладнання, відповідного до міжнародних стандартів, вимог промислової безпеки та сучасних технологічних викликів. Розроблення й упровадження такої системи сприятиме підвищенню технологічного рівня галузі, зменшенню аварійності, оптимізації виробничих процесів і посиленню інженерного потенціалу країни.

Об'єкт дослідження – процес професійної підготовки інженерного складу інженерно-конструкторського бюро (ІКБ), який бере участь у проектуванні, розрахунку, випробуванні та вдосконаленні сучасного нафтовидобувного обладнання.

Предмет дослідження – формування професійних компетентностей конструкторів і інженерів, що забезпечують створення високотехнологічних систем для нафтовидобутку – насосно-компресорного обладнання, фонтанної арматури, систем інтенсифікації видобутку, автоматизованих комплексів контролю та обладнання підвищеної надійності для роботи в складних геологічних і технічних умовах.

Мета дослідження – теоретично обґрунтувати та розробити ефективну систему професійної підготовки інженерного персоналу ІКБ, спрямовану на формування технічних, аналітичних, цифрових та інноваційних компетентностей, необхідних для проектування надійного, енергоефективного та безпечного нафтовидобувного обладнання нового покоління.

Гіпотеза дослідження – професійна підготовка інженерного складу інженерно-конструкторського бюро буде результативною та забезпечуватиме високий рівень інноваційності проєктних рішень за умови, якщо:

- у зміст навчання включити вивчення сучасних методів інженерних розрахунків, цифрових прототипів, симуляційних технологій, матеріалознавства та методів підвищення ресурсу нафтовидобувного обладнання;
- забезпечити інтеграцію знань із механіки, термодинаміки, гідравліки, трибології, цифрового моделювання, промислової безпеки, стандартизації та ризик-орієнтованих методів проєктування;
- активно застосовувати практикоорієнтовані форми навчання: роботу з CAD/CAE-системами, інженерні лабораторні модулі, віртуальні випробування, аналіз реальних виробничих задач і помилок.

Завдання дослідження

1. Проаналізувати особливості професійної діяльності інженерів і конструкторів, які займаються розробкою сучасного нафтовидобувного обладнання.

2. Визначити ключові професійні компетентності, необхідні для інженера-конструктора у сфері нафтовидобувного обладнання.

3. Обґрунтувати структуру, зміст та методи професійної підготовки, що забезпечують здатність розробляти надійні, енергоефективні та технологічно вдосконалені конструкції.

4. Розробити програму професійної підготовки для інженерів ІКБ з урахуванням міжнародних стандартів (API, ISO, ASME), вимог промислової безпеки, сучасних цифрових інструментів і практичних задач галузі.

Методи дослідження: аналіз науково-технічної літератури з машинобудування, матеріалознавства та нафтогазового обладнання; вивчення нормативних документів і міжнародних стандартів; порівняльний аналіз освітніх програм підготовки конструкторів у провідних інженерних школах; моделювання професійних задач; експертні інтерв'ю з провідними інженерами-

конструкторами; аналіз реальних виробничих кейсів та відмов обладнання; педагогічне моделювання та розробка дидактичної системи.

Наукова новизна дослідження полягає в тому, що:

– уперше комплексно обґрунтовано систему професійної підготовки інженерів ІКБ, орієнтовану на створення сучасного нафтовидобувного обладнання в умовах цифровізації та жорстких вимог промислової безпеки;

– запропоновано інтегровану модель підготовки, що поєднує цифрове моделювання, системне мислення, ризик-орієнтовані підходи та інженерний аналіз;

– визначено структурно-функціональні компетентності інженера-конструктора нового покоління, здатного працювати з високотехнологічними цифровими інструментами.

Практична значущість дослідження: розроблена система професійної підготовки може бути використана у програмах підвищення кваліфікації інженерів-конструкторів, а також у корпоративних навчальних центрах нафтогазових компаній.

Структура магістерської роботи

Магістерська кваліфікаційна робота містить вступ, чотири розділи, висновки та список використаних джерел.

РОЗДІЛ 1

АКТУАЛЬНІСТЬ ПРОФЕСІЙНОЇ ПІДГОТОВКИ ІНЖЕНЕРНОГО СКЛАДУ ІНЖЕНЕРНО-КОНСТРУКТОРСЬКОГО БЮРО ДО РОЗРОБКИ СУЧАСНОГО НАФТОВИДОБУВНОГО ОБЛАДНАННЯ

1.1. Роль інженерно-конструкторського бюро у створенні сучасних технологічних рішень

Інженерно-конструкторське бюро (ІКБ) є ключовим елементом системи інженерного забезпечення нафтовидобувного підприємства, оскільки саме в його межах формується технічна концепція, проектується та вдосконалюється обладнання, яке визначає технологічний рівень видобутку вуглеводнів. У сучасних умовах зростання технічної складності нафтовидобувних процесів ІКБ виконує не лише функції створення конструкторської документації, але й забезпечує інтеграцію новітніх інженерних принципів, цифрових інструментів та наукових підходів у виробничу діяльність.

Роль ІКБ полягає у забезпеченні технологічної модернізації підприємства шляхом розроблення обладнання з підвищеною надійністю, енергоефективністю, здатністю працювати у складних геолого-технічних умовах. Бюро виступає центром генерування інноваційних рішень, де поєднуються результати наукових досліджень, інженерного аналізу, випробувань і практичного досвіду експлуатаційних підрозділів. Саме інженерно-конструкторські рішення визначають рівень автоматизації виробничих процесів, безпеку робіт, оптимальність технологічних режимів, а також економічну доцільність використання обладнання протягом усього життєвого циклу.

Сучасне ІКБ виконує функції координації між науковими установами, виробничими службами, сервісними компаніями та міжнародними інжиніринговими партнерами. Така інтеграційна роль дозволяє формувати

комплексні технічні рішення, що поєднують механіку, матеріалознавство, гідравліку, електроніку та цифрове моделювання. Отже, діяльність ІКБ є фундаментом технологічного розвитку підприємства, а професійна якість його фахівців безпосередньо визначає успішність проектування сучасного нафтовидобувного обладнання.

Інженерно-конструкторське бюро займає центральне положення у виробничо-технологічному циклі нафтовидобувного підприємства, виконуючи повний спектр робіт – від зародження ідеї технічної модернізації до контролю якості впровадження обладнання у виробництво. Основними його функціями є:

- аналітико-дослідницька діяльність, що включає вивчення технічного стану існуючих систем, аналіз відмов, виявлення конструктивних недоліків і потреб у модернізації;
- конструкторське проектування, яке передбачає розробку робочої документації, моделей, технічних специфікацій і комплектацій;
- інженерний розрахунковий супровід – виконання гідравлічних, механічних, теплотехнічних та міцнісних розрахунків;
- цифрове моделювання та симуляція роботи обладнання, включаючи використання CAD/CAE/CFD-платформ для прогнозування ресурсів і оцінки надійності;
- участь у виготовленні та випробуваннях, надання технічних рекомендацій виробництву та сервісним підрозділам;
- технічний аудит та експертна підтримка експлуатаційних служб, спрямовані на оптимізацію режимів роботи обладнання;
- стандартизація та сертифікація, забезпечення відповідності продукції чинним технічним регламентам і галузевим стандартам.

Таким чином, ІКБ забезпечує безперервний зв'язок між науковими розробками, виробничими можливостями та експлуатаційною практикою. Його

діяльність формує технологічний каркас підприємства, визначаючи темпи інноваційного розвитку та конкурентоспроможність продукції.

Результативність роботи конструкторського бюро безпосередньо залежить від рівня підготовки його інженерів, широти їхніх професійних компетентностей та здатності інтегрувати міждисциплінарні знання в єдину інженерну систему. Фахівець ІКБ повинен володіти сучасними методами інженерного аналізу, знати принципи роботи видобувного обладнання, розуміти фізичні процеси, що відбуваються у пластах, свердловинах, насосних і компресорних системах.

Високий рівень професійної компетентності визначає:

- точність конструкторських рішень та їх відповідність реальним експлуатаційним умовам;
- здатність передбачати можливі ризики, деградаційні процеси та аварійні сценарії;
- ефективність використання цифрових інструментів моделювання та систем автоматизованого проєктування;
- якість комунікації з виробництвом, сервісними службами та замовниками;
- швидкість ухвалення технічних рішень за умов змінних геолого-технічних параметрів.

Недостатній рівень підготовки інженерного персоналу може призвести до помилок у розрахунках, перевитрати матеріалів, зниження надійності обладнання, подовження термінів розробки та підвищення собівартості проєктів. Тому професійна підготовка інженерів ІКБ є критичним фактором, що визначає довговічність і безпечну експлуатацію нафтовидобувного обладнання.

Сучасний нафтовидобуток розвивається у напрямі інтенсифікації свердловин, роботи у складних геологічних умовах, застосування високих тисків, температур та агресивних середовищ. Це висуває принципово нові вимоги до інженерної діяльності в ІКБ.

Серед ключових вимог:

- володіння цифровими технологіями — 3D-моделювання, цифрові двійники, симуляція навантажень, прогнозування ресурсу, віртуальні випробування;
- орієнтація на енергоефективність і зниження витрат, що передбачає комплексний підхід до матеріалів, механізмів і систем керування;
- розуміння принципів екологічної та промислової безпеки, зокрема оцінювання ризиків, аналізу наслідків відмов, вибору безпечних технічних рішень;
- здатність працювати в міждисциплінарних командах, де поєднуються знання з механіки, гідравліки, автоматизації, геомеханіки, електроніки та IT-технологій;
- швидка адаптація до змін та впровадження інновацій, що пов'язано з постійним оновленням стандартів і технологій видобутку.

Інтенсифікація нафтовидобутку вимагає від інженера готовності до роботи з більш складними конструкціями, проведення детальних розрахунків навантажень, аналізу даних сенсорних систем, впровадження адитивних технологій і сучасних композитних матеріалів. Таким чином, нові вимоги значно розширюють зміст професійної підготовки, роблячи її системною, безперервною та орієнтованою на практичний результат.

1.2 Вплив професійної підготовки на якість та безпеку нафтовидобувного обладнання

Професійна підготовка інженерних кадрів є визначальним чинником, що формує якість, надійність та безпечність нафтовидобувного обладнання протягом усього його життєвого циклу. Висококваліфікований інженер здатний застосовувати комплексний підхід до проектування, враховувати складні фізико-

хімічні умови експлуатації та прогнозувати потенційні небезпеки, які можуть виникати в процесі видобутку. Від рівня підготовки фахівця залежить точність виконаних розрахунків, обґрунтованість вибору конструктивних рішень і здатність передбачити наслідки можливих відмов.

Сучасні стандарти безпеки вимагають від інженера не лише технічних знань, але й володіння сучасними системами діагностики, методами аналізу ризиків, інструментами цифрового моделювання та випробувань. Професійна підготовка забезпечує здатність спеціаліста проєктувати обладнання, що відповідає підвищеним вимогам до міцності, стійкості до корозії, термостабільності та роботи під екстремальними навантаженнями. Таким чином, якісна інженерна освіта та безперервний професійний розвиток є ключем до створення безпечних і технологічно досконалих рішень у сфері нафтовидобутку.

Надійність нафтовидобувного обладнання безпосередньо залежить від професійного рівня інженерів, які проєктують, калібрують, обслуговують і контролюють технічні системи. Компетентний спеціаліст здатний правильно інтерпретувати фізичні процеси, що впливають на роботу обладнання, і враховувати їх при створенні конструкцій. Недостатня кваліфікація персоналу може призвести до помилкових розрахунків, неправильного підбору матеріалів, некоректних режимів роботи, що, своєю чергою, знижує ресурс техніки й збільшує ймовірність її передчасного виходу з ладу.

Кваліфікований інженер володіє сучасними методами діагностики та аналізу, здатний оцінювати вплив навантажень, агресивних середовищ, температурних і механічних факторів на працездатність обладнання. Висока компетентність сприяє прийняттю технічно обґрунтованих рішень, які забезпечують підвищену надійність і довговічність технічних систем.

Професійна підготовка відіграє ключову роль у мінімізації виробничих ризиків, оскільки саме від компетентності інженерного та технічного персоналу залежить здатність вчасно ідентифікувати потенційні небезпеки, визначати критичні точки технологічного процесу та запобігати аварійним ситуаціям. Інженер, який володіє сучасними методами оцінки ризиків, уміє застосовувати

принципи HAZOP, FMEA та інші підходи прогнозування відмов, здатен приймати рішення, що знижують ймовірність технологічних інцидентів.

В умовах інтенсифікованого видобутку фахівці часто працюють з обладнанням, яке функціонує на межі допустимих навантажень. Чим вищий рівень їхньої підготовки, тим точніше вони дотримуються вимог безпеки, контролюють технологічні параметри та оперативно реагують на відхилення. Натомість недостатня кваліфікація персоналу може стати причиною помилкових дій, що призводять до простоїв, втрат продуктивності і навіть аварій. Таким чином, компетентність інженерів є основою формування культури безпеки на підприємстві.

Ефективність інжинірингових рішень визначається не лише технічними характеристиками проєктованого обладнання, а й здатністю інженера комплексно аналізувати виробничу систему, передбачати різні сценарії роботи та приймати оптимальні конструктивні рішення. Висока професійна підготовка забезпечує можливість застосовувати сучасні інструменти цифрового моделювання, оптимізації параметрів, аналізу енергоспоживання та ресурсозбереження.

Підготовлений фахівець здатний враховувати економічну доцільність, технологічну сумісність обладнання, вимоги стандартизації та нормативів. Такий підхід сприяє скороченню термінів розробки, підвищенню точності розрахунків, мінімізації витрат на виробництво та експлуатацію. Крім того, безперервний професійний розвиток дозволяє спеціалістам швидше адаптуватися до нових технологічних трендів і впроваджувати інновації, що забезпечують конкурентні переваги підприємства.

1.3 Основні проблеми сучасної системи підготовки інженерних кадрів

Підготовка інженерного складу для інженерно-конструкторських бюро у сфері нафтовидобувного обладнання потребує постійного оновлення, адже швидкі технологічні зміни, цифровізація виробництва та зростання вимог до

промислової безпеки суттєво впливають на зміст і методи навчання. Однак сучасна система професійної підготовки в Україні та багатьох інших країнах стикається з низкою системних проблем, які знижують її ефективність і не дозволяють забезпечити відповідність кваліфікації інженерів актуальним потребам галузі.

Однією з ключових проблем є розрив між наповненням освітніх програм і вимогами сучасної промисловості. Багато навчальних планів орієнтуються на застарілі конструктивні принципи, не враховують розвиток цифрового інжинірингу, 3D-моделювання, адитивних технологій, сучасних стандартів ISO, API та норм промислової безпеки, що використовуються на міжнародному рівні.

Ця невідповідність призводить до ситуації, коли випускники володіють базовими теоретичними знаннями, але недостатньо готові до роботи з високотехнологічними системами, складними програмними комплексами або сучасними методами оцінювання надійності обладнання. Відсутність актуалізації освітнього контенту знижує конкурентоспроможність майбутніх інженерів і ускладнює їхнє швидке включення в інноваційні проекти підприємств нафтової галузі.

У сучасному інженерному середовищі дедалі більшу роль відіграють цифрові технології — системи комп'ютерного моделювання, симулятори навантажень, цифрові двійники обладнання, засоби автоматизованого проектування (CAD/CAE), аналітичні платформи для прогнозування ресурсу. Незважаючи на це, багато фахівців відчують брак цифрових навичок, що обмежує їхню здатність до участі у високотехнологічних процесах.

Сучасні стандарти підготовки інженерів потребують вміння працювати не лише з базовими розрахунками, але й з великими масивами даних, використовувати аналітичні інструменти, проводити моделювання складних навантажень та оцінювати потенційні сценарії відмов. Недостатня цифрова грамотність знижує точність прийнятих інженерних рішень і ускладнює впровадження інноваційних технологій у виробничі процеси.

Нафтовидобувне обладнання є результатом комплексної взаємодії багатьох галузей знань: механіки, матеріалознавства, хімії, гідравліки, електроніки, автоматизації, екологічної та промислової безпеки. Проте освітні програми часто представлені розрізненими дисциплінами, які вивчаються окремо, без достатнього міждисциплінарного зв'язку.

У результаті майбутнім інженерам складно побачити повну картину функціонування обладнання, оцінити взаємозв'язки між конструктивними елементами, технологічними режимами та умовами експлуатації. Брак інтеграції знань знижує якість проєктних рішень, ускладнює виявлення прихованих технічних ризиків і перешкоджає розробленню інноваційних конструкцій, здатних працювати у складних умовах родовищ.

Ще однією суттєвою проблемою є недостатній рівень практичної підготовки. Значна частина інженерів навчається переважно у форматі лекційних або теоретичних занять, тоді як сучасна галузь потребує фахівців, які здатні працювати з реальними конструкціями, експериментальними зразками, діагностичним обладнанням і виробничими сценаріями.

Навчальні заклади часто не забезпечені лабораторними комплексами, стендами для випробувань, програмним забезпеченням промислового рівня або доступом до виробничих даних. Відсутність роботи з реальними кейсами — аваріями, дефектами, нестандартними ситуаціями — обмежує здатність інженера діяти в умовах технологічної невизначеності та приймати практично обґрунтовані рішення.

Недостатня кількість практичних модулів, виїзних занять на виробництві, тренінгів з використанням цифрових симуляторів та аналітичних систем знижує готовність фахівців до роботи в реальних умовах складного нафтовидобувного циклу.

1.4 Міжнародний і національний досвід підготовки інженерів-конструкторів

Підготовка інженерних кадрів у сфері розроблення обладнання для нафтовидобувної промисловості суттєво відрізняється залежно від країни, рівня розвитку виробничих технологій і підходів до організації інженерної освіти. Аналіз зарубіжних і національних практик дозволяє виявити найбільш ефективні моделі професійної підготовки, що можуть бути адаптовані до умов функціонування українських інженерно-конструкторських бюро (ІКБ) та підвищити їхню інноваційну спроможність.

У розвинених країнах – США, Німеччині, Норвегії, Канаді – інженерна освіта базується на поєднанні глибокої теоретичної бази з широкими можливостями практичної підготовки. У США домінує модель "*engineering science*", яка акцентує увагу на фундаментальній підготовці, системному мисленні та використанні сучасних цифрових інструментів моделювання. Освітні програми орієнтовані на підготовку інженера, здатного проєктувати обладнання, враховуючи експлуатаційні ризики та вимоги промислових стандартів.

У країнах Європи важливою є дуальна система освіти, коли майбутні інженери значну частину навчального часу проводять у виробничих компаніях. Німецькі та норвезькі навчальні заклади мають партнерські програми з машинобудівними підприємствами, що дозволяє студентам працювати з реальними кейсами, проводити дослідницькі проєкти спільно з виробником і брати участь у розробці експериментальних конструкцій.

Канадська модель характеризується акцентом на безпеці, екологічності, управлінні ризиками та сучасних стандартах API, ASME. Інженери проходять підготовку не лише в технічному напрямку, а й у сфері проєктного менеджменту, що додає гнучкості у прийнятті рішень та організації конструкторських робіт.

Українська система традиційно має сильну теоретичну основу, однак все ще відстає за рівнем інтеграції промислових практик, доступу до сучасних

цифрових платформ і залучення студентів до реальних конструкторських задач. Це створює потребу модернізувати освітні програми відповідно до міжнародних стандартів та актуальних вимог галузі.

Міжнародний досвід свідчить, що сучасна інженерна підготовка невід’ємно пов’язана із впровадженням цифрових базових інструментів. Найпоширенішими трендами є:

Використання PLM-систем (Product Lifecycle Management). Такі системи, як *Siemens Teamcenter*, *PTC Windchill*, *Dassault 3DEXPERIENCE*, забезпечують управління життєвим циклом виробу від концепції до утилізації. Їх інтеграція в навчальний процес дає можливість студентам працювати в умовах, максимально наближених до промислових.

Розвиток CAD/CAE/CAM-платформ. Системи *SolidWorks*, *ANSYS*, *AutoCAD*, *Abaqus*, *COMSOL Multiphysics* використовуються у провідних освітніх програмах для формування навичок 3D-моделювання, аналізу міцності, моделювання гідравлічних і теплових процесів.

Використання симуляторів і цифрових двійників. Цифрові моделі обладнання дозволяють проводити віртуальні експерименти, тестувати конструктивні рішення, прогнозувати поведінку обладнання у складних умовах. Вони знижують ризики та забезпечують швидке застосування студентами теоретичних знань.

Інтеграція VR/AR-технологій. У багатьох країнах вже застосовують віртуальні лабораторії, що дають змогу моделювати роботу складних установок без ризику та з мінімальними витратами.

В Україні окремі навчальні заклади впроваджують сучасні цифрові інструменти, однак цей процес відбувається нерівномірно та потребує системної підтримки з боку держави та бізнесу.

Українські ІКБ можуть отримати суттєві переваги від впровадження міжнародного досвіду, зокрема:

- розроблення партнерських програм із заводами, сервісними компаніями та університетами, що дозволить формувати практичні навички та створювати спільні інженерні проєкти;
- стандартизація освітніх програм відповідно до API, ISO, ASME та інших глобальних норм, що підвищить якість проєктних рішень;
- впровадження цифрових платформ PLM/CAD/CAE як обов'язкового елементу інженерної підготовки;
- розширення використання реальних виробничих кейсів у навчальному процесі для розвитку системного та критичного мислення;
- створення центрів симуляцій та віртуальних лабораторій, що забезпечать доступ до сучасного моделювального середовища.

Адаптація міжнародного досвіду дасть змогу підвищити технологічну готовність українських інженерів, зміцнити конкурентоспроможність підприємств і сприяти переходу до сучасних моделей виробництва.

1.5 Необхідність удосконалення системи професійної підготовки ІКБ

Сучасні умови розвитку нафтовидобувної галузі характеризуються високою динамікою технологічних змін, зростанням конкуренції та підвищенням вимог до надійності обладнання. У цих умовах професійна підготовка інженерів-конструкторів стає ключовим чинником технологічної спроможності підприємства. Традиційні підходи, орієнтовані переважно на теоретичну складову та повторення усталених конструкторських рішень, вже не забезпечують відповідності глобальним стандартам та вимогам сучасного виробництва. Тому система підготовки фахівців ІКБ потребує глибокого оновлення, розширення інструментальної бази, інтеграції цифрових технологій і практикоорієнтованих методів навчання.

Оновлення програм підвищення кваліфікації інженерного складу обумовлене низкою чинників, які визначають реальні потреби виробництва:

- Швидкий розвиток технологій машинобудування та матеріалознавства. За останні роки з'явилися нові типи сплавів, методи обробки, технології лазерного зварювання, адитивного виробництва та корозійного захисту, які вимагають повного перегляду навчального змісту.

- Поширення цифрового проєктування та цифрових двійників. Інженер має вміти працювати у PLM-середовищах, застосовувати комп'ютерні моделі для аналізу навантажень і прогнозування ресурсу обладнання.

- Ускладнення технічних регламентів та розширення нормативної бази. Міжнародні стандарти API, ASME, ISO постійно оновлюються, що потребує систематичного навчання персоналу.

- Підвищення вимог до надійності і промислової безпеки. Будь-яка помилка в конструкторській діяльності може призвести до аварії, екологічної шкоди чи значних фінансових втрат.

Отже, оновлення програм підвищення кваліфікації є не факультативним елементом, а стратегічною необхідністю для підприємств, які прагнуть утримувати конкурентні позиції та забезпечувати випуск сучасного нафтовидобувного обладнання.

Сучасна підготовка інженерів має базуватися не лише на теорії, а й на практиці, максимально наближеній до реальних виробничих умов. Тому особливо важливими стають такі інструменти:

Кейс-методика. Розбір реальних конструкторських задач, відмов обладнання, інженерних спорів та аварійних ситуацій формує у фахівця практичне мислення та здатність приймати інженерні рішення в умовах обмежених даних та невизначеності.

Комп'ютерне моделювання. Використання CAD/CAE-платформ дозволяє аналізувати міцність конструкцій, моделювати термогідравлічні процеси,

визначати критичні зони та оптимізувати конструктивні рішення ще на етапі проектування.

Віртуальні випробування та цифрові двійники. Симуляція навантажень, вібраційних впливів, температурних циклів та дії корозійних середовищ дає можливість тестувати обладнання без фізичного виготовлення прототипу. Це скорочує час та вартість розробки і значно підвищує якість конструкторських рішень.

Інтеграція цих методів у систему підготовки допомагає розвивати у фахівців компетентності, які раніше формувалися лише на виробництві, а отже – прискорює професійний розвиток та мінімізує навчальні ризики.

Сучасні вимоги до інженерів-конструкторів значно ширші, ніж традиційні знання креслення, технічної механіки та стандартів. Нова модель компетентностей має охоплювати такі компоненти:

- цифрова компетентність – володіння PLM-системами, CAE/CAD-пакетами, системами розрахунку та симуляції;
- аналітична компетентність – вміння працювати з великими масивами технічних даних, проводити порівняльний аналіз, оцінювати надійність конструкцій;
- проектно-конструкторська компетентність – здатність розробляти нові вузли, проводити їх оптимізацію, адаптацію до умов експлуатації;
- інноваційна компетентність – пошук нових рішень, розуміння сучасних технологічних трендів, використання матеріалів та методів інженерії майбутнього;
- ризик-орієнтована компетентність – оцінювання потенційних небезпек, прогнозування поведінки обладнання в аварійних ситуаціях;
- комунікаційна компетентність – здатність працювати в команді, вести технічну документацію, презентувати проєктні рішення.

Формування такої моделі дозволить забезпечити високу якість конструкторської діяльності та підготувати персонал до викликів сучасного виробництва.

Створення корпоративних центрів підготовки та перепідготовки інженерних кадрів є важливою умовою розвитку галузі. Їх переваги полягають у тому, що вони:

- створюють єдиний стандарт компетентностей для всіх підрозділів компанії;
- забезпечують доступ до сучасного обладнання, симуляторів та лабораторій, що недоступно у звичайних навчальних закладах;
- дозволяють навчати персонал у контексті реальних виробничих потреб, а не узагальнених академічних програм;
- скорочують період адаптації молодих фахівців, оскільки навчання відбувається на основі внутрішніх технологій і регламентів підприємства;
- підвищують інноваційну активність, оскільки стають центрами генерації та тестування нових технічних рішень;
- сприяють формуванню кадрового резерву для стратегічних напрямів розвитку компанії.

Таким чином, корпоративні навчальні центри здатні стати ключовою ланкою між фундаментальною освітою та реальними потребами інженерно-конструкторської практики, забезпечуючи галузь висококваліфікованими фахівцями.

Висновки до розділу 1

Аналіз сучасного стану нафтовидобувної галузі та ролі інженерно-конструкторських бюро переконливо свідчить, що професійна підготовка інженерного персоналу є одним із ключових чинників технологічного розвитку

підприємств. Умови інтенсифікації видобутку, перехід до складніших геологічних об'єктів, необхідність підвищення надійності та безпеки обладнання обумовлюють підвищені вимоги до якості інженерної діяльності. Саме тому компетентність інженерів-конструкторів безпосередньо впливає на технологічний рівень виробництва, конкурентоспроможність продукції та стабільність роботи підприємства.

Інженерно-конструкторські бюро сьогодні виконують стратегічну роль у створенні нових технологічних рішень: від формування технічних концепцій і розробки обладнання до його оптимізації та забезпечення технологічної сумісності з реальними умовами експлуатації. Ефективність роботи ІКБ значною мірою залежить від професійних знань, аналітичних навичок і здатності інженерів працювати з сучасними цифровими інструментами. Тому рівень підготовки фахівців стає визначальним фактором успішності всього виробничо-технологічного циклу.

Водночас існуюча система підготовки інженерних кадрів стикається з низкою проблем: застарілістю освітніх програм, недостатньою інтеграцією цифрових технологій, обмеженою кількістю міждисциплінарних модулів та браком практикоорієнтованого навчання. Наявні дисбаланси між академічною освітою та реальними потребами виробництва ускладнюють формування повного спектра компетентностей, необхідних інженеру-конструктору сучасного рівня.

Досвід провідних країн демонструє, що розвиток інженерної освіти має базуватися на цифровізації, використанні симуляторів, PLM-систем, віртуальних лабораторій та кейсових методик. Ці практики дозволяють скоротити час на розробку, підвищити точність проєктних рішень та мінімізувати ризики, пов'язані з експлуатацією обладнання. Їх адаптація до українських умов здатна істотно підвищити якість професійної підготовки персоналу ІКБ.

Загалом результати аналізу свідчать, що вдосконалення системи професійної підготовки інженерів-конструкторів є необхідною умовою для забезпечення технологічної модернізації нафтовидобувної галузі. Створення

сучасної моделі навчання, орієнтованої на компетентності, цифрові технології, виробничі кейси та інтеграцію науки з практикою, відкриває можливості для підвищення ефективності інженерних рішень та забезпечення високого рівня безпеки й надійності нафтовидобувного обладнання.

РОЗДІЛ 2

АНАЛІЗ І ОБГРУНТУВАННЯ МЕТОДІВ І ЗАСОБІВ РОЗРОБКИ СУЧАСНОГО НАФТОВИДОБУВНОГО ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ НАФТОВІДДАЧІ ПРИ ВИДОБУТКУ

2.1 Класифікація методів збільшення нафтовіддачі

Відомі методики збільшення коефіцієнта нафтовіддачі пласта закачуваного агенту поділяють на такі види, представлені на рис. 2.1, [1].

Також існує класифікація за етапами експлуатації родовища, подана рис.2.2.

Насправді одним методом на пласт користуються вкрай рідко й у основному застосовується відразу кілька методів одночасно - комбіноване вплив. Це дозволяє ще більше збільшити ефективність кожного з них [1] .

2.2 Умови застосування методів нафтовіддачі

Для вибору найбільш відповідного методу збільшення нафтовіддачі кожному за конкретного випадку зіставляються показники нафтогазоносного пласта з встановленими межами застосування методів збільшення нафтовіддачі пласта тобто проводиться скринінг. Основними факторами при виборі найбільш ефективного методу збільшення нафтовіддачі є глибина залягання колектора і в'язкість нафти, також існує ще безліч інших параметрів, які необхідно враховувати на даному етапі робіт, такі як: обводненість, газовий фактор, температура і тиск пласта та ін.

Впровадження сучасних методів підвищення ефективності нафтовіддачі пластів - це складний і дорогий процес порівняно з традиційнішими методами роботи. Нові технології мають на увазі під собою складні хімічні та фізичні процеси та переходи, що відбуваються в пласті та на поверхні.

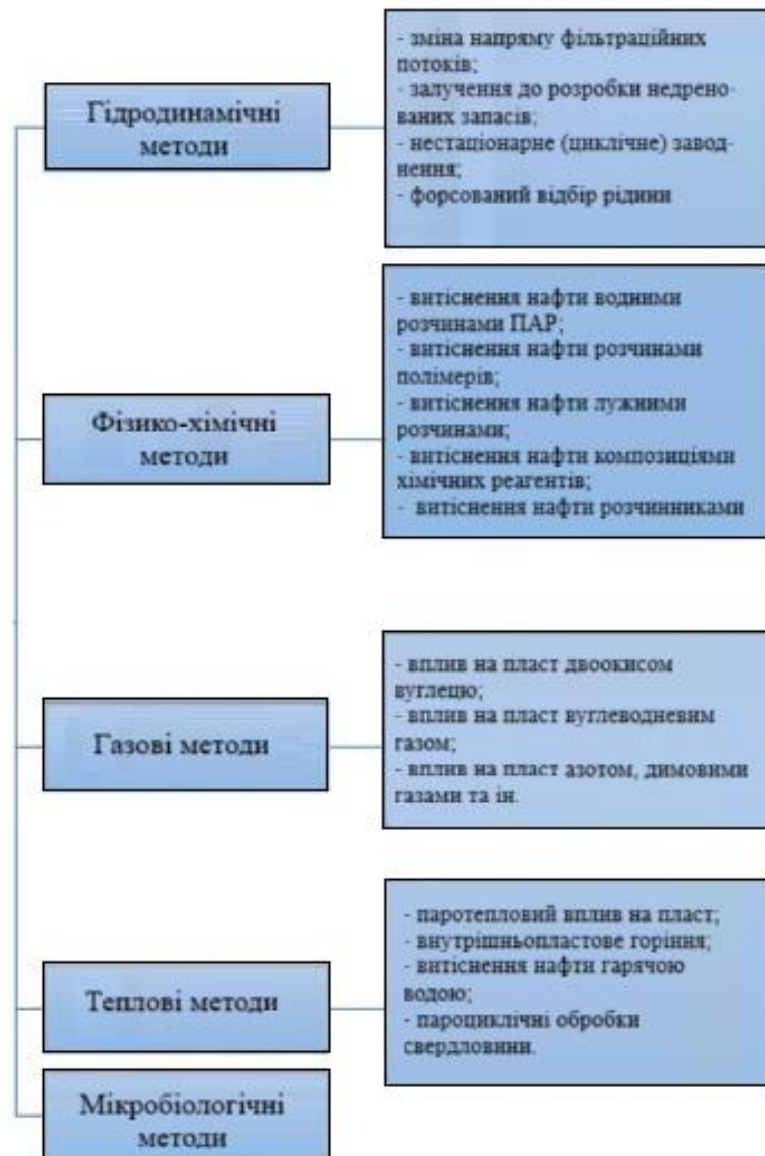


Рис. 2.1 Методи збільшення нафтовіддачі по виду впливу

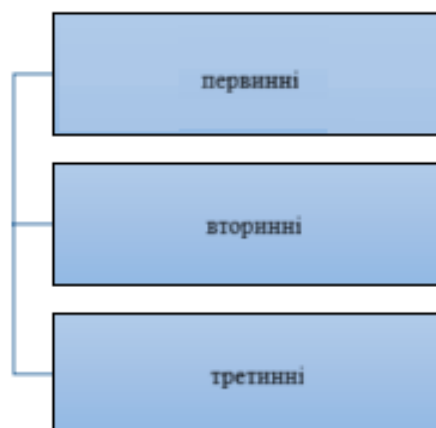


Рис. 2.2 Методи збільшення нафтовіддачі за етапами експлуатації родовища

Перед впровадженням нової технології вона має пройти низку етапів [1]:

- Повинні бути детально вивчені властивості пластової системи, особливості її геологічної будови;
- Проведено аналіз родовища під час його розробки;
- Проведено дослідження в лабораторії щодо вивчення процесів у пласті, що відбуваються, при різних видах впливу на нього;
- Опрацьовано та численно змодельовано варіанти розробки покладу та геолого-фільтраційні моделі;
- Підбір технології, що ґрунтується на максимальному використанні найбільш ефективних факторів нафтовіддачі та обліку геологопромислової характеристики;
- Проведення промислових випробувань підібраних технологій на ділянці покладу для підтвердження її ефективності;
- Уточнення моделей та розрахунків до фактичних даних промислових випробувань;
- Оцінка економічної ефективності застосування обраної технології за результатами проведених промислових випробувань та складання технологічної схеми розробки даним методом.

2.3 Критерії застосування методів підвищення нафтовіддачі

Для первинного відбору методів, які придатні підвищення ефективності нафтовіддачі пластів застосовують відбір за критеріями застосовності. Найчастіше характеристики конкретного нафтогазоносного пласта підходять для ефективного застосування відразу кількох різних методів – двох, трьох тощо. Тоді найкращий метод вибирається з погляду найбільш ефективних економічних та матеріально-технічних можливостей.

Критерії застосування того чи іншого методу є для всіх видів. Для кожного окремого методу також існують свої критерії, зумовлені індивідуальними особливостями процесу [1].

Розглянемо загальні критерії, до яких належать:

- висока в'язкість нафти. Якщо в'язкість нафти становить понад 50 мПа·с, то безліч методів, які застосовуються для підвищення ефективності нафтовіддачі, втрачають свої переваги та ефективність. Якщо показник в'язкості понад 140, необхідно застосування полімерного заводнення як методу на пласт. При в'язкості понад 200 мПа з високою ефективності нафтовіддачі дозволяє досягти термічний метод впливу або його комбінація з іншими видами;

- висока обводненість пласта, що розробляється, більше 65-70%;

- висока глинистість колектора. За наявності у пласті глини вмістом понад 10-15% створюються проблеми для ефективного впливу на продуктивний пласт за допомогою фізико-хімічних методів. Також на ефективність даних методів надає жорсткість пластової води, яку використовують для приготування необхідних розчинів для закачування в пласт – чим вона вища, тим менша ефективність.

- тріщинуватість колектора;

Критерії, що обмежують застосування окремих методів:

2.3.1 Використання вуглекислого газу

Доцільність використання цього методу обґрунтована при невеликій в'язкості нафти – близько 15 мПа·с, при великих значеннях в'язкості погіршаться умови сумісності даного газу з нафтою, також обмежується пластовий тиск – не більше 10 МПа.

Нафтогазоносний пласт обмежується товщиною в 20-25 м, в іншому випадку ефективність методу буде не така висока через поділ нафти і газу гравітацією.

2.3.2 Заводнення з використанням полімерів.

Для доцільного використання цього методу температура в товщі пласта обмежена 90-100°C, т.к. при перевищенні цього порога полімер починає руйнуватися. Використання цього методу ускладнюється при низьких показниках проникності. Так, якщо вона становить менше 0,2 мкм², то процес стає скрутним через недостатній розмір пор порівняно з розміром полімерних молекул.

2.3.3 Заводнення з використанням луку

Цей метод дуже залежить від складу нафти, що видобувається. Якщо нафта низькокислотна, менше 0,6-0,4 мг/г, то цьому випадку застосування цього методу неможливе. Лужні розчини, на відміну інших фізико-хімічних методів, можуть бути застосовані при високих температурах пласта.

3.3.4 Використання теплових методів

Методи залежать від технічних, технологічних та геолого-фізичних особливостей таких як: властивості флюїдів, системи контролю та регулювання параметрів процесу, наявність джерел енергії, наявність та стан відповідного обладнання та свердловинного фонду та ін.

У цій магістерській роботі буде розглянуто метод водогазового впливу на пласт, як найбільш універсальний і підходящий під умови його застосування.

2.4 Вплив на продуктивний пласт

2.4.1 Класифікація водогазового впливу

На даний момент все більшого інтересу набуває метод спільного закачування води та газу в пласт з метою збільшення його нафтовіддачі. Дана технологія є комбінованою і поєднує заводнення та закачування в пласт вуглеводневого газу. За даними різних досліджень технологія водогазового

впливу ефективності вилучення нафти перевищує рівень традиційного заводнення на 15-20%. А також дозволяє залучити в розробку низькопроникні колектори з зосередженими в них запасами нафти, в яких, при традиційному методі заводнення коефіцієнт вилучення нафти становить всього 20-30% [2].

Метод водогазового впливу є багатограним і передбачає можливість закачування газу, не обов'язково вуглеводневого, та води у різних пропорціях, що забезпечує варіативність даного методу залежно від поставлених умов.

Водогазовий вплив в основному розглядається як один з кількох методів збільшення нафтовіддачі пластів з використанням газу.

Класифікація газових методів представлена рис. 2.3[18].

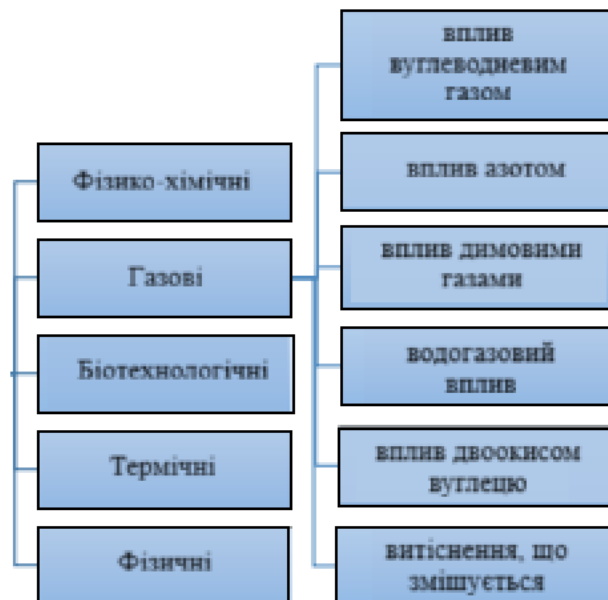


Рис. 2.3 Класифікація газових методів

Водогазовий вплив на пласт має на увазі під собою закачування суміші води та газу в різних пропорціях і модифікаціях, за рахунок якої відбувається підтримка та відновлення пластового тиску. У розглянутих статтях та працях вчених для аналізу використовують класифікацію, яка заснована та розроблена на основі вітчизняних нормативних актів та документах.

У роботах застосовується багаторівнева класифікація водогазового впливу збільшення ефективності нафтовіддачі. ВГВ є самостійною технологією, яка є підрозділом газових методів впливу на пласт і має класифікацію за видами речовини, що закачується.

2.4.1.1 По взаємодії газу з нафтою, що витісняється. По дії газу та нафти одна на одну взаємодію поділяють на:

- обмежену розчинність;
- необмежену розчинність;
- газову репресію.

Необмежена розчинність, або має таку назву як режим, що змішується, характеризується наявністю поділу між фазами і відсутністю міжфазного натягу компонентів.

Обмежена розчинність відрізняється наявністю процесу обміну компонентів між фазами при витісненні нафти у пласті. Крім того, міжфазний натяг не змінюється при процесі часткового переміщення речовин з рідкої фази в газову та назад.

Останній вид взаємодії відрізняється відсутністю масобміну у фазах. При газовій репресії нафта витісняється газодинамічними силами, що впливають на неї.

2.4.1.2 По газовому агенту, що використовується. По дії газового агенту водогазовий вплив поділяють на кілька видів, представлених на рис. 2.4, [4].

Також можливе застосування "сухого" або вуглеводневого газу, що містить велику кількість вуглеводневих розчинників - збагаченого.

Використання як агент повітря виникає ймовірність окислювальних реакцій екзотермічного характеру між вуглеводнями в нафті і киснем, що містяться в повітрі. У такому випадку повітря не є робочим агентом, а служить для отримання необхідної речовини, що витісняє. Залежно від температури, тиску та флюїдів у пласті має кілька різних варіантів процесу витіснення нафти.

Димові гази застосовуються за нестачі теплового впливу на нафтовіддачу.

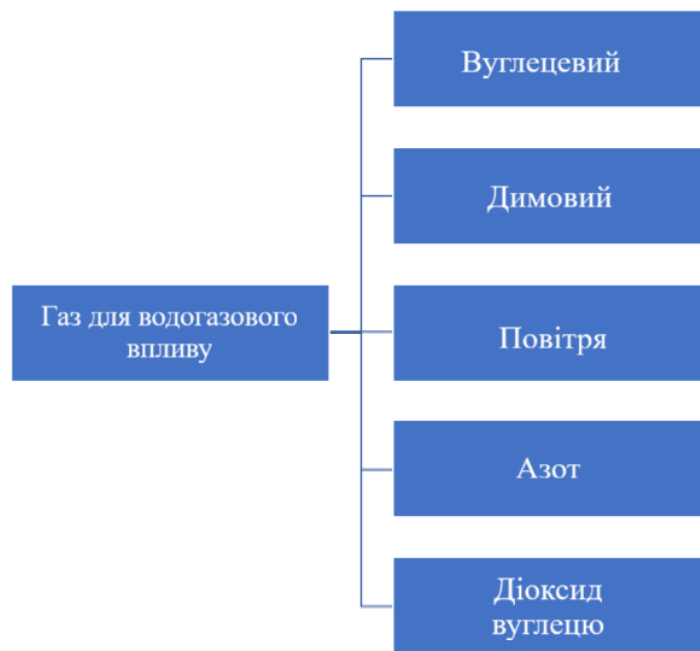


Рисунок 4 – Види газового агента для ВГВ

Термогазовий метод впливу застосовується у разі виникнення зони високих температур, у якому утворюється внутрішньопластове горіння.

2.4.1.3 За способом нагнітання. Способи нагнітання під час використання технології водогазового впливу поділяються кілька видів закачування в пласт і представлені рис. 2.5, [5].

При закачуванні послідовним способом нагнітання передбачається нагнітання газу протягом тривалого проміжку часу, а потім закачування води в пласт.

Поперемінне закачування має на увазі роздільне нагнітання витісняючих агентів у пласт, обсяг об'ємів в умовах пласта повинен бути не більше 15% від початкового обсягу.

При спільному інжектуванні газ і вода надходять у пласт одночасно, утворюючи суміш.



Рис. 2.5 Способи нагнітання при ВГВ

2.4.2 Переваги та недоліки технології водогазового впливу

Розглянемо переваги технології водогазового впливу на пласт з метою збільшення коефіцієнта нафтовіддачі пласта [6]:

- надає можливість використання на окремих видобувних свердловинах або на всьому родовищі одночасно;
- технологія дозволяє застосовувати її у складі системи підтримки пластового тиску вже на діючих родовищах;
- дозволяє зменшити темп прориву води у видобувні свердловини;
- підвищення нафтовіддачі. це відбувається за рахунок присутності в газорідинної суміші води, яка дозволяє підвищити коефіцієнт охоплення продуктивного пласта, та газу, що підвищує коефіцієнт витіснення нафти з пористого середовища пласта;
- дозволяє ефективно вирішити проблему утилізації пнг на нафтовидобувних промислах;

Варто відзначити і недоліки цієї технології:

- високі капітальні витрати на створення газопроводу для постачання системи водогазового впливу в необхідних обсягах;
- газ для цієї технології повинен мати високий тиск;

– необхідно мати джерело газу в достатньому для ефективного функціонування об'ємі;

– конструкція свердловини ускладнюється через необхідність більшої герметичності колон експлуатаційних та насосно-компресорних труб, також потрібне застосування пакерного пристрою.

Складність впровадження технології водогазового впливу полягає в розрахунку та доборі необхідного технологічного обладнання: насосів та компресорів. А також налагодження його безперебійної роботи та встановлення необхідних параметрів технологічного процесу. Принципову технологічну схему водогазового впливу на пласт представлено на рис. 2.6, [7].

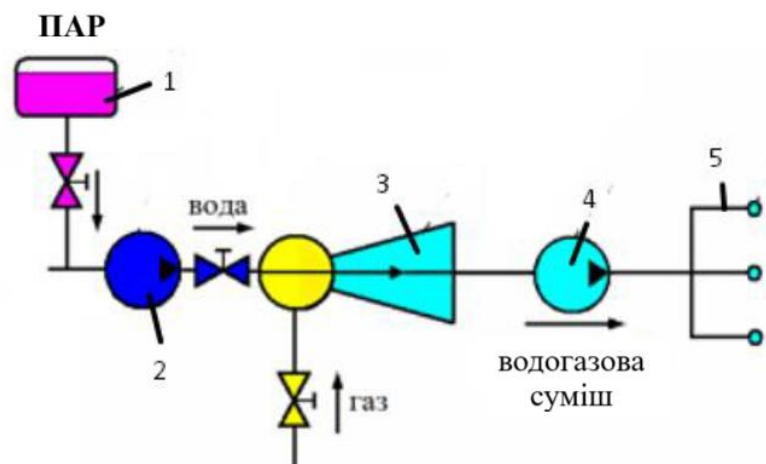


Рис. 2.6 – Принципова технологічна схема водогазового впливу на пласт за допомогою насосно-ежекторної системи:

1 – ємність з поверхнево-активними речовинами 2, 4 – електровідцентрові насоси; 3 – ежектор; 5 – нагнітальні свердловини

На рис. 2,7 представлено принципову схему витіснення нафти з продуктивного пласта засобами застосування технології водогазового впливу.

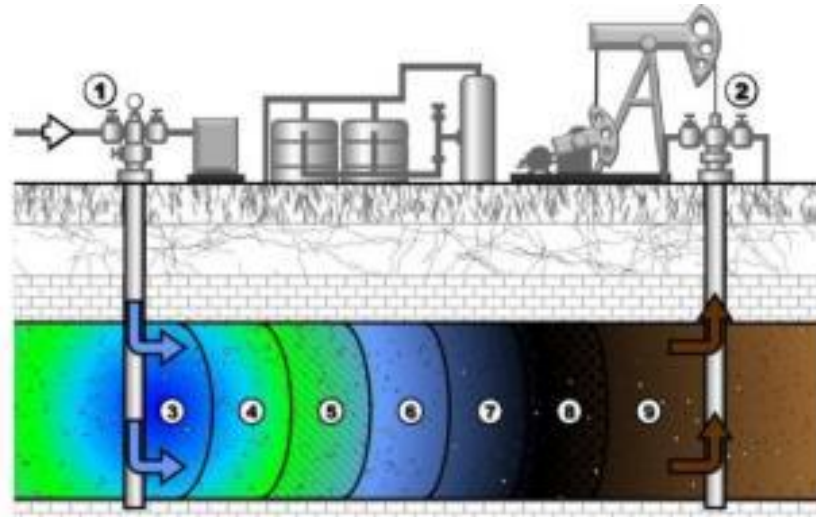


Рис. 2.7 Принципова схема витіснення нафти водогазовим впливом:
 1 – нагнітальна свердловина; 2 – добувна свердловина; 3 – водогазова зона; 4 – газ; 5 – водогазова зона; 6 – газ; 7-зона змішування; 8 – вал нафти; 9 – зона початкового стану пласт.

2.4.3 Умови застосування водогазового впливу

Точністю підбраного методу, яким здійснюється вплив на пласт, визначається ефективність розробки даного родовища. Сам вибір впливу визначається за кількома умовами, що включають: геолого-фізичні умови нафтового покладу, склад, структуру, нафтовий поклад та інші, включаючи властивості та характеристики флюїдів. На основі цих даних, які відповідають критеріям скринінгу, вибирається метод. Для водогазового впливу також є дані критерії, які представлені в табл. 2.1.

Таблиця 2.1

Критерії застосування ВГВ

Параметри	Одиниці вимірювання	Критерії застосовності
Глибина	м	1000-1800
Пластовий тиск	МПа	Більш ніж 15-18
Товщина пласта	м	2-20
Пористість	%	10-35
Проникність	мкм ²	0,02-0,8
Пластова температура	°С	Більш 50
В'язкість нафти	мПа·с	1-10

Нечіткість критеріїв застосування пояснюється малою вивченістю деяких процесів, які відбуваються при впливі на нього даним методом.

2.4.4 Механізм та перші дослідження застосування водогазового впливу

Найпоширенішим поясненням механізмів, які спостерігаються під впливом на пласт за допомогою води з газом, є модель, яка представляє їх просоченням дрібних каналів, тоді як газом дренуються великі канали пір через те, що великі канали є гідрофобними, а дрібні навпаки – гідрофільні.

Ця модель була доведена та підтверджена зарубіжними вченими за допомогою проведених експериментів на прозорих моделях пористого середовища. Цей експеримент описаний в [9]. Були отримані візуальні дані, що показують вплив газу та води на великі та дрібні пори. Модель в експерименті розглядається з погляду протікання гідродинамічних процесів, а значить, що розрахунок ефективності впливу на пласт за допомогою цього методу має бути визначений властивостями середовища, нарівні з властивостями нафти та газу, які відповідають за режим витіснення.

2.4.5 Оцінка ефективності витіснення нафти водою та газом на різних режимах

Оцінимо результати досліджень залежності зміни коефіцієнта витіснення нафти при водогазовому впливі на пласт на різних режимах роботи технологічного обладнання.

Дослідження проводилися за послідовного витіснення нафти спочатку газом, потім водою і навпаки – водою, та був газом; при нагнітанні води та газу одночасно; при змінному закачуванні робочих речовин та різною тривалістю таких циклів закачування.

В результаті проведених досліджень було отримано дані, які говорять про сильний вплив процесу змочування пористого середовища продуктивного пласта на ефективність витіснення нафти та підвищення коефіцієнта нафтовіддачі.

- було з'ясовано, залежність коефіцієнта витіснення нафти від обраної робочої речовини, якою здійснюється вплив;
- не останнє місце в ефективному процесі витіснення займає підбір режиму нагнітання робочих речовин у пласт та його проникність;
- важливу роль застосуванні методу водогазового впливу грає черговість закачування води та газу пласт.

Таким чином, вторинні та третинні методи збільшення нафтовіддачі продуктивних пластів мають велике значення при дослідно-промислових випробуваннях на ділянках родовищ або застосуванні у видобутку на всьому родовищі. [8]

2.5 Аналіз технологій водогазового впливу на продуктивний пласт

2.5.1 Світовий і досвід застосування технології водогазового впливу на продуктивний пласт

Проведено велику кількість експериментів із застосування технології ВГВ на пласт. Їх вплив на ділянки родовищ та процеси, що супроводжують даний вид впливу на продуктивний пласт можна розглянути на прикладі кількох родовищ.

Про високу привабливість цього виду підвищення нафтовіддачі пластів говорить світовий досвід застосування цієї технології. Багато країн, серед яких Канада, США, Норвегія, Китай та Росія, реалізували метод водогазового впливу на багатьох об'єктах нафтопромислу. [10].

2.5.2 Види технологій для водогазового впливу

Більшість фахівців підтримує сучасну класифікацію технологій водогазової дії на пласт, представлену на рис. 2.8.

В даний час технологія поперемінного закачування води та газу в пласт є більш поширеною, порівняно з одночасним нагнітанням. Остання має низку переваг перед своїм конкурентом, які були доведені експериментально. Одночасне закачування характеризується більш рівномірною подачею водогазової суміші на забій свердловини, а також вищим коефіцієнтом нафтовіддачі. Незважаючи на велику кількість досвідчених проектів та промислових випробувань на ділянках родовищ, технологія водогазового впливу великомасштабного застосування не отримала через наявність недоліків технологій її реалізації.



Рис. 2.8 - Класифікація технологій водогазового впливу

Проаналізуємо технології реалізації водогазового впливу на продуктивний пласт виявимо найбільш ефективну з точки зору переваг та недоліків кожної з них.

2.5.3 Компресорна технологія

Компресорна технологія реалізації водогазового впливу є закачуванням газу в продуктивний пласт декількома компресорами високого тиску, в сукупності являють собою компресорну станцію, зазвичай їх кількість варіюється від 2 до 6-8. Газ надходить у пласт протягом кількох тижнів чи місяців. Після чого нагнітання газу змінюється закачуванням у пласт води під високим тиском, що створюється насосними агрегатами на поверхні.

Ця технологія застосовується на родовищах найчастіше хоч і має низку істотних недоліків. Насамперед найголовніший недолік пов'язані з великими витратами технологічне устаткування. Невелика компресорна станція, яка

складається з кількох компресорів високого тиску, обійдеться підприємству в кілька десятків мільйонів рублів. Газопровід високого тиску, розрахований на тиск газу близько 40-45 МПа, також має малу вартість реалізації.

У результаті, виходячи з всього вищесказаного, можна сказати, що це спосіб реалізації технології водогазового впливу, належить до недоцільним для невеликих родовищ, оскільки пов'язані з високими капітальними витратами придбання і експлуатацію технологічного устаткування, застосовуваного у разі. З іншого боку, т.к. компресор є складним технологічним обладнанням у нього є недолік, пов'язаний з ремонтом окремих компонентів, перериваючи цикл закачування газу в пласт на час простою. Компресорні станції високого тиску мають обмеження за складом газу, що перекачується, і не можуть використовуватися з будь-яким газом. Для їхньої роботи потрібен сухий газ, що негативно позначається на ефективності даного методу для збільшення нафтовіддачі пластів.

2.5.4 Безкомпресорна технологія

При такому варіанті реалізації процесу водогазового впливу використовується газ, що залягає у газових пластах. Головний недолік методу впливу без компресора полягає у відсутності, за невеликою кількістю родовищ, газоносного шару з високим тиском. Більшість таких пластів мають недостатньо високий тиск на гирлі для його використання в нагнітанні, без додаткового обладнання для підняття тиску.

Мінусом технології є зменшення проникності нафтоносного пласта понад 8-10 разів через занадто високе насичення його газом у районі свердловини, що нагнітає.

2.5.5 Спільне закачування

При сумісному закачуванні водогазової суміші у пласт можливе застосування технології з використанням насосів різного виду. Також для

технології спільного закачування можна використовувати струменевий апарат (СА).

Так як спільне закачування робочих агентів в пласт більш ефективна, в порівнянні з роздільною і чергується з-за більш високого коефіцієнта нафтовіддачі і проникності пласта, що не змінюється, в районі нагнітальної свердловини, що є ще однією позитивною рисою, зупинимося на ній більш докладно і детально розглянемо дані технології реалізації впливу води і газу.

2.5.6 Бустерні технології

Застосування цього типу технологій пов'язані з необхідністю застосування газу високого тиску прийомі апаратів, понад десять МПа, т.к. ступінь стиснення у насосів на водогазовій суміші не більше 4, що унеможливорює застосування такого варіанту без використання компресорів або іншого джерела високонапірного газу. При використанні газорідинної суміші продуктивність плунжерних установок знижується через зниження коефіцієнта заповнення.

Також недоліком таких установок є великі габарити високопродуктивних установок та скорочений міжремонтний період при високому тиску суміші, що негативно позначається на економічній ефективності.

2.5.7 Ежекторні технології

Цей метод може бути застосований як на поверхні, так і над вибоєм. Технологія заснована на використанні як основний компонент струменевого апарату.

Плюсом застосування СА є подача в свердловину однорідної газорідинної суміші. Але, на жаль, застосування ежекторної технології не набуло широкого застосування через неможливість створити ежектор досить високий тиск нагнітання водогазової суміші в пласт. А розташування апарату в свердловині не дозволяє проводити регулювання роботи, тому що для цього потрібно підйом обладнання зі свердловини на поверхню.

У цій роботі пропонується найдокладніше розглянути насосно-ежекторні системи, оскільки така реалізація водогазового впливу на пласт має переваги поєднання струменевих апаратів та відцентрових насосів.

2.6 Насосно-ежекторні системи у складі систем підвищення нафтовіддачі

Для збільшення коефіцієнта нафтовіддачі та підвищення дебіту свердловинного фонду став набувати широкого поширення метод водогазового впливу на пласт. Технології даного впливу та методи реалізації були розглянуті у попередніх розділах. Наразі зупинимося на методі реалізації ВГВ за допомогою насосно-ежекторних систем.

Водогазовий вплив виконує три основні завдання:

- Збільшення коефіцієнта вилучення нафти з продуктивного пласта у тому числі в ускладнених умовах: складна геологічна будова, низька проникність пористого середовища, висока в'язкість та ін.;
- Утилізація попутного нафтового газу;
- Підтримка пластового тиску.

Застосування насосно-ежекторних систем для реалізації методу водогазового впливу дозволяє уникнути обмеження складу закачуваного газу, як наприклад при реалізації компресорних технологій. Газ, у разі, можливо, будь-якого складу – сухий, збагачений чи жирний. Він не має негативного впливу на роботу цієї системи.

За рахунок використання жирного газу можна досягти досить високої ефективності водогазового впливу, порівняно з іншими видами реалізації. Цю технологію можна масштабувати і продати не тільки на окремих свердловинах або кущових майданчиках, але і на всьому родовищі. Ще однією позитивною рисою при використанні даного обладнання є проблеми утворення гідратів. Так як закачування води і газу відбувається одночасно, то насосно-ежекторний метод реалізації дозволяє запобігти проривам газу до видобувної свердловини.

У плані капітальних та експлуатаційних витрат насосно-ежекторні установки значно виграють у компресорних та бустерних установок за рахунок більш дешевого та надійного обладнання.

З усього вище сказаного слід висновок, що дана технологія має потенціал для широкого впровадження та можливості для вирішення завдань при розробці родовищ водогазовим методом впливу на продуктивний пласт, через використання доступного та якісного обладнання.

До мінусів можна віднести необхідність створення високого тиску нагнітання газорідинної суміші. Що потребує відповідного технологічного обладнання та умов наявності води та газу.

2.7 Аналіз та проблеми використання насосно-ежекторних систем для їх застосування у технології водогазового впливу на пласт

Для початку необхідно розглянути, що представляє струменевий апарат. Він поділяється на два види ежектор та інжектор. Ежектор називається струменевий апарат, призначений для відкачування рідини або газу. Інжектор, навпаки, дозволяє нагнітати. Дія заснована на обміні енергією та взаємодії потоками середовищ у даному пристрої. Схему струминного апарату представлено на рис. 2.9.

Робота апарату починається з того, що на вхід у сопло надходить високонапірний потік рідини, там тиск зменшується, а швидкість, навпаки, зростає. Потім потік надходить в камеру змішування, яка вже заповнена агентом, що перекачується, що має значно меншу швидкість і тиск, [18].

Пройшовши через сопло, потік розпадається і середовища перемішуються між собою. У цей час кінетична енергія робочого агента перетворюється на тиск суміші. Потім суміш проходить через частину апарату, що розширюється, - дифузор, в якому продовжує наростати тиск і зменшуватися швидкість.

Далі необхідно розібратися в причинах невеликого масштабу застосування струменевих апаратів для збільшення та підтримки тиску рідини чи газу порівняно з традиційними насосними та компресорними агрегатами.

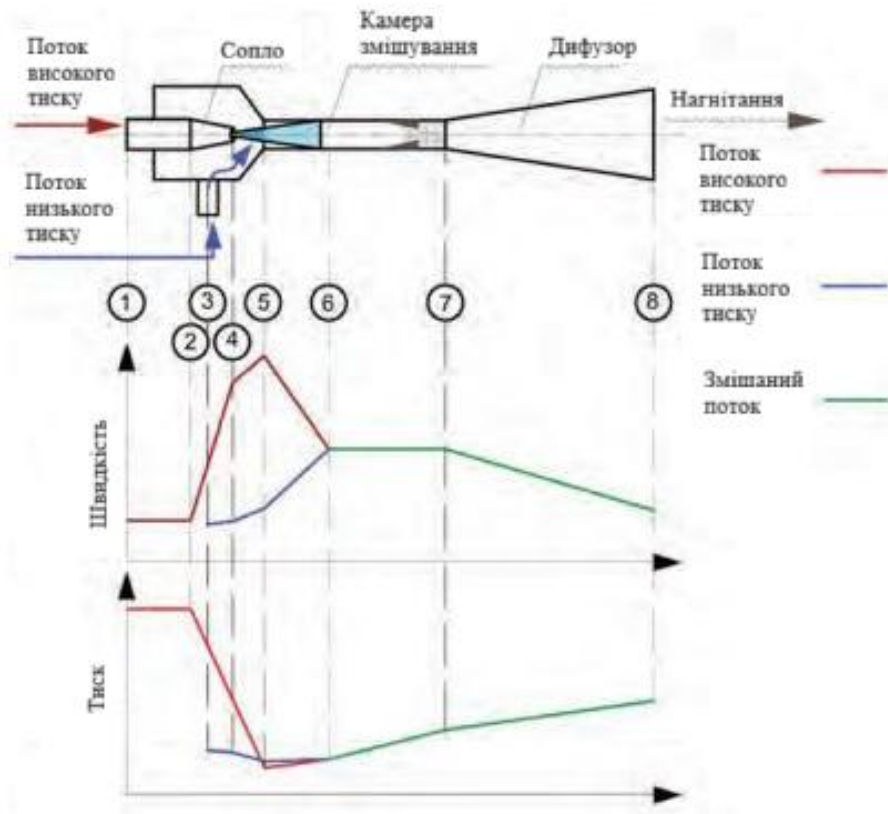


Рис. 2.9 Принципова схема роботи струминного апарату

Пов'язано це насамперед із тим, що:

- у струменевих апаратів досить низький ККД, порівняно з машинами об'ємної та динамічної дії – близько 30–40%, але верхня межа все ще точно не встановлена;
- мала вивченість роботи даних апаратів на змінних режимах;
- недостатня вивченість питань регулювання роботи струменевих апаратів.

Незважаючи на наведені недоліки, які в основному пов'язані з малою вивченістю апаратів, вони мають ряд переваг з практичної точки зору, такі як:

- низька вартість обладнання;

- невеликі терміни окупності;
- простота та компактність конструкції;
- легкість монтажу та виготовлення;
- велика пропускна здатність;
- здатність перекачувати газорідинне середовище (ГРС) у широких діапазонах.

Ці переваги дозволяють струменевим апаратам знайти своє застосування на нафтогазовидобувному промислі та на заводах з нафтопереробки. Діяльність розглядається застосування насосно-ежекторного устаткування, тобто. пов'язана робота струминного апарату (СА) та електровідцентрового насоса (ЕВЦН).

Таким чином, насосно-ежекторні системи (НЕС) можуть бути використані для вирішення різних завдань у складі як наземного, так і занурювального обладнання: високий напір і великі обсяги речовини, що перекачується, у насоса і здатність перекачувати газ і ГРС у струминного апарату дозволяє використовувати переваги кожного з них і доповнювати один одного, розширюючи діапазон застосування даного методу.

Завдання насосно-ежекторного обладнання на поверхні та свердловинного представлені на рис. 2.10.

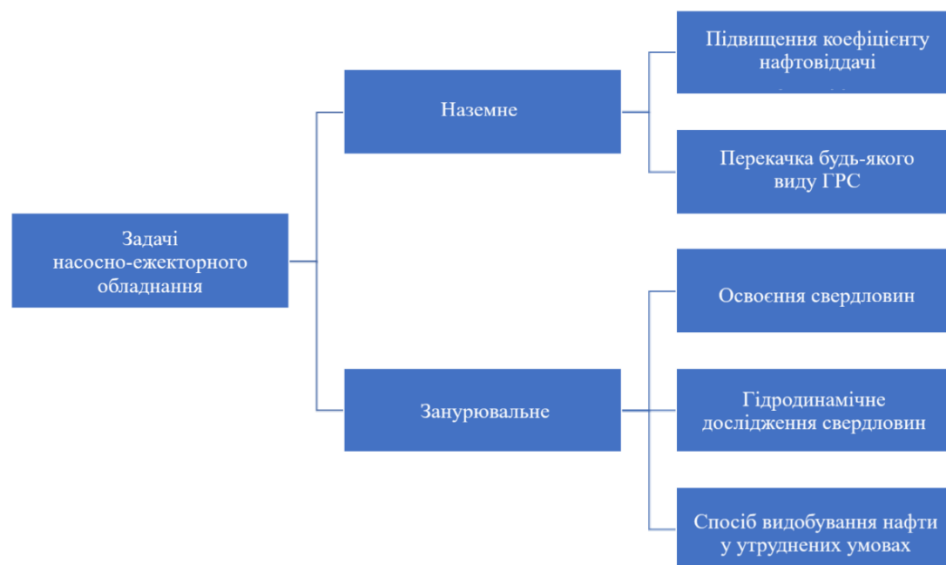


Рис. 2.10 Аналіз завдань насосно-ежекторного обладнання

У роботі розглянуті завдання насосно-ежекторного устаткування, що розташовано на поверхні, у складі системи підвищення коефіцієнта нафтовіддачі продуктивного пласта із застосуванням технології водогазового впливу.

2.8 Проектний розрахунок насосно-ежекторного устаткування

2.8.1 Дані для розрахунку

Для проведення розрахунків було обрано технологічну схему із застосуванням ежекторів, представлену на рис. 2.11, [19].

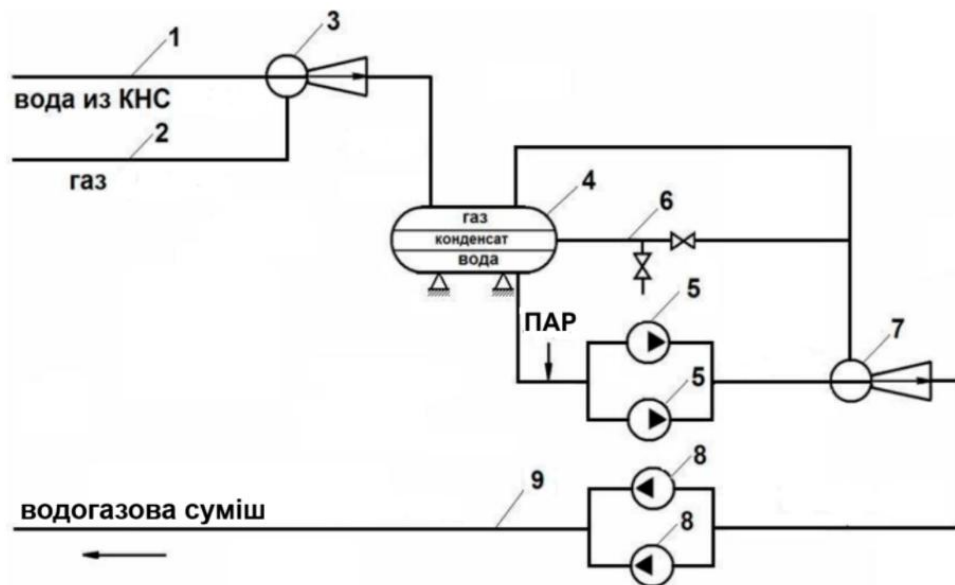


Рис. 2.11 Технологічна схема насосно-ежекторної системи для водогазового впливу:

- 1- вода з кушової насосної станції, 2 – газова лінія низького тиску від ДНС,
- 3 – ежектор першого ступеня стиснення, 4 – сепаратор,
- 5, 8 – багатоступінчасті насоси, 6 – лінія стиснення,
- 9 - водовід до нагнітальних свердловин

Дані для розрахунку представлені у табл. 2.2:

Таблиця 2.2

Вихідні дані для розрахунку

Найменування	Позначення	Значення
Газовміст суміші в пластових умовах	α	30%
Щільність води у стандартних умовах	$\rho_{\text{в}}$	1007 кг/м ³
Щільність газу у стандартних умовах	$\rho_{\text{газ}}$	1,228 кг/м ³
Тиск на гирлі нагнітальної свердловини при закачуванні газу	$P_{\text{у}}$	12 МПа
Об'єм води, що закачується	$Q_{\text{в}}$	978 м ³ /добу
Глибина свердловини	$H_{\text{св}}$	1339 м
Внутрішній діаметр НКТ	$d_{\text{нкт}}$	114 мм
Витрата газу у стандартних умовах	$Q_{\text{газ ст.у.}}$	35000 м ³ /добу.
Тиск газу на прийомі	$P_{\text{п1}}$	0,4 МПа

2.8.2 Розрахунок обладнання

Розрахунок гідростатичного тиску на вибої:

$$P_{\text{г}} = \rho_{\text{в}} \cdot g \cdot H_{\text{св}} \quad (2.1)$$

$$P_{\text{г}} = 1007 \cdot 9,81 \cdot 1339 = 13,23 \text{ МПа}$$

Розрахунок швидкості води:

$$v_{\text{в}} = \frac{Q}{S} = \frac{Q_{\text{в}} \cdot 4}{t \cdot \pi \cdot d_{\text{нкт}}^2} ; \quad (2.2)$$

$$v = \frac{978 \cdot 4}{86400 \cdot \pi \cdot 0,114^2} = 1,11 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Розрахунок числа Рейнольдса:

$$Re = \frac{v_B \cdot d_{\text{НКТ}} \cdot \rho_B}{\mu}; \quad (2.3)$$

$$Re = \frac{1,11 \cdot 0,114 \cdot 1007}{10^{-3}} = 12740.$$

Отримане значення відповідає режиму турбулентного $Re > 10000$.

Розрахунок границь зони:

$$\text{Нижня границя} = 10 \cdot d_{\text{НКТ}} / \Delta = 10 \cdot 114 / 0,1 = 11400. \quad (2.4)$$

$$\text{Верхня границя} = 500 \cdot d_{\text{НКТ}} / \Delta = 10 \cdot 114 / 0,1 = 570000. \quad (2.5)$$

Розрахунок коефіцієнта гідравлічного опору 2-ї області турбулентного режиму:

$$\lambda = 0,11 \cdot \left(\frac{68}{Re} + \frac{\Delta}{d_{\text{НКТ}}} \right)^{0,25} \quad (2.6)$$

$$\lambda = 0,11 \cdot \left(\frac{68}{12740} + \frac{\Delta}{114} \right)^{0,25} = 0,021$$

Розрахунок втрат напору на тертя:

$$h_T = \lambda \cdot \frac{H_{\text{св}}}{d_{\text{НКТ}}} \cdot \frac{v_B^2}{2g} \quad (2.7)$$

$$h_T = 0,021 \cdot \frac{1339}{0,114} \cdot \frac{1,11^2}{2 \cdot 9,81} = 15,71 \text{ м}$$

Розрахунок втрати тиску води на тертя:

$$P_T = \rho_v \cdot g \cdot h_T, \quad (2.8)$$

$$P_T = 1007 \cdot 9,81 \cdot 15,71 = 1,55 \cdot 10^5 \text{ Па}$$

Розрахунок повного вибійного тиску:

$$P_{\text{виб}} = P_{\text{г}} + P_T + P_y; \quad (2.9)$$

$$P_{\text{виб}} = (132,3 + 1,55 + 120) \cdot 10^5 = 25,38 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

Щоб прийнятність свердловини, при застосуванні як робочого агента газорідинної суміші замість води, не змінилася тиск на вибої свердловини має залишитися на тому ж рівні і дорівнювати 25,38 МПа. Витрата газорідинної суміші залишається рівним витраті води, тобто 978 м³/добу. Необхідно перерахувати гідростатичний тиск на вибої.

Розрахунок витрати газу при пластовому тиску 12,17 МПа:

$$Q_{\text{газ. пласт}} = Q_v \cdot \alpha; \quad (2.10)$$

$$Q_{\text{газ. пласт}} = 978 \cdot 0,30 = 293,4 \text{ м}^3/\text{добу.}$$

Розрахунок необхідної витрати води:

$$Q_v = Q_{\text{в}} - Q_{\text{газ. пласт}}; \quad (2.11)$$

$$Q_v = 978 - 293,4 = 684,6 \text{ м}^3/\text{добу.}$$

Перерахунок витрати газу для вибійного тиску 25,38 МПа:

$$Q_{\text{газ. виб}} = 140,69 \text{ м}^3/\text{добу}.$$

Перерахунок витрати газу для вибійного тиску:

$$\alpha_{\text{виб}} = \frac{Q_{\text{г. виб}}}{Q_{\text{г. виб}} + Q_{\text{в}}};$$

$$\alpha_{\text{виб}} = \frac{140,69}{140,69 + 684,6} = 17\%.$$
(2.12)

Розрахунок щільності суміші на вибої:

$$\rho_{\text{вгс з виб}} = \rho_{\text{в}} \cdot (1 - \alpha_{\text{виб}}) + \rho_{\text{газ}} \cdot P_{\text{виб}} \cdot \alpha_{\text{виб}};$$
(2.13)

$$\rho_{\text{вгс виб}} = 1007 \cdot (1 - 0,17) + 1,228 \cdot 253,8 \cdot 0,17 = 888,5 \text{ кг/м}^3.$$

Розрахунок втрат тиску за рахунок сил тертя для водогазової суміші ($\beta_{\text{з}}=17\%$) починається з розрахунку швидкості суміші:

$$v_{\text{вгс}} = \frac{Q_{\text{в}} + Q_{\text{г. виб}}}{S} = \frac{(Q_{\text{в}} + Q_{\text{г. виб}}) \cdot 4}{t \cdot \pi \cdot d_{\text{нкт}}^2};$$

$$v_{\text{вгс}} = \frac{(684,6 + 140,69) \cdot 4}{86400 \cdot \pi \cdot 0,114^2} = 0,936 \text{ м/с}.$$
(2.14)

Розрахунок числа Рейнольдса для водогазової суміші:

$$Re = \frac{v_{\text{ВГС}} \cdot d_{\text{НКТ}} \cdot \rho_{\text{ВГС виб}}}{\mu};$$

$$Re = \frac{0,936 \cdot 0,114 \cdot 888,5}{1,41 \cdot 10^{-3}} = 64260.$$
(2.15)

Розрахунок коефіцієнта гідравлічного опору:

$$\lambda = 0,11 \cdot \left(\frac{68}{Re} + \frac{\Delta}{d_{\text{НКТ}}} \right)^{0,25}$$

$$\lambda = 0,11 \cdot \left(\frac{68}{64260} + \frac{\Delta}{114} \right)^{0,25} = 0,023$$
(2.16)

Розрахунок втрат напору на тертя:

$$h_{\text{Т1}} = \lambda \cdot \frac{H_{\text{СВ}}}{d_{\text{НКТ}}} \cdot \frac{v_{\text{ВГС}}^2}{2g};$$

$$h_{\text{Т1}} = 0,023 \cdot \frac{1339}{0,114} \cdot \frac{0,936^2}{2 \cdot 9,81} = 12 \text{ м.}$$
(2.17)

Розрахунок втрат тиску:

$$P_{\text{Т1}} = \rho_{\text{ВГС}} \cdot g \cdot h_{\text{Т1}};$$

$$P_{\text{Т1}} = 888,5 \cdot 9,81 \cdot 12 = 1,05 \cdot 10^5 \text{ Па.}$$
(2.18)

Тепер необхідно задати гирловий тиск свердловини, візьмемо 15 МПа, і розрахувати витрати газу при ньому:

$$Q_{\text{газ } P_{y15}} = Q_{\text{газ виб}} \cdot \frac{P_{\text{виб}}}{P_{\text{устя } 15}}; \quad (2.19)$$

$$Q_{\text{газ } P_{y15}} = 140,69 \cdot \frac{25,38}{15} = 238,1 \text{ м}^3/\text{добу}.$$

Розрахунок газовмісту на гирлі свердловини при P_{y15} :

$$\alpha_{\text{устя } 15} = \frac{Q_{\text{газ } P_{y15}}}{Q_{\text{газ } P_{y15}} + Q_{\text{в}}}; \quad (2.20)$$

$$\alpha_{\text{устя } 15} = \frac{238,1}{238,1 + 684,6} = 25,8\%.$$

Розрахунок щільності водогазової суміші на гирлі при P_{y15} :

$$\rho_{\text{вгс устя}} = \rho_{\text{в}} \cdot (1 - \alpha_{\text{устя } 15}) + \rho_{\text{газ}} \cdot P_{\text{устя } 15} \alpha_{\text{устя } 15} \quad (2.21)$$

$$\rho_{\text{вгс устя}} = 1007 \cdot (1 - 0,258) + 1,228 \cdot 150 \cdot 0,258 = 794,7 \text{ кг/м}^3.$$

Розрахунок гідростатичного вибійного тиску при закачуванні водогазової суміші при P_{y15} :

$$P_{\text{г вгс } 15} = \frac{\rho_{\text{вгс виб}} + \rho_{\text{вгс устя}}}{2} \cdot g \cdot H_{\text{св}}; \quad (2.22)$$

$$P_{\text{г вгс } 15} = \frac{888,5 + 794,7}{2} \cdot 9,81 \cdot 1339 = 11,05 \text{ МПа}.$$

Розрахунок втрати тиску водогазової суміші на тертя ($\beta_{y15} = 25,8\%$)

Розрахунок швидкості ВГС при P_{y15} :

$$v_{\text{вгс2}} = \frac{Q_{\text{в}} + Q_{\text{газ Py15}}}{S} = \frac{(Q_{\text{в}} + Q_{\text{газ Py15}}) \cdot 4}{t \cdot \pi \cdot d_{\text{нкт}}^2}; \quad (2.23)$$

$$v_{\text{вгс2}} = \frac{(684,6 + 238,1) \cdot 4}{86400 \cdot \pi \cdot 0,114^2} = 1,05 \text{ м/с.}$$

Розрахунок числа Рейнольдса при P_{y15} :

$$Re = \frac{v_{\text{вгс2}} \cdot d_{\text{нкт}} \cdot \rho_{\text{вгсуст}}}{\mu}; \quad (2.24)$$

$$Re = \frac{1,05 \cdot 0,114 \cdot 794,7}{1,785 \cdot 10^{-3}} = 53130.$$

Розрахунок коефіцієнта гідравлічного опору при P_{y15} :

$$\lambda = 0,11 \cdot \left(\frac{68}{Re} + \frac{\Delta}{d_{\text{нкт}}} \right)^{0,25}; \quad (2.25)$$

$$\lambda = 0,11 \cdot \left(\frac{68}{53130} + \frac{\Delta}{114} \right)^{0,25} = 0,024$$

Розрахунок втрат напору на тертя при P_{y15} :

$$h_{\text{т2}} = \lambda \cdot \frac{H_{\text{св}}}{d_{\text{нкт}}} \cdot \frac{v_{\text{вгс2}}^2}{2g}; \quad (2.26)$$

$$h_{\text{т2}} = 0,024 \cdot \frac{1339}{0,114} \cdot \frac{1,05^2}{2 \cdot 9,81} = 15,6 \text{ м.}$$

Розрахунок втрат тиску на тертя при P_{y15} :

$$P_{T2} = \rho_{\text{вгс уст}} \cdot g \cdot h_{T2}; \quad (2.27)$$

$$P_{T2} = 794,7 \cdot 9,81 \cdot 15,6 = 1,212 \cdot 10^5 \text{ Па.}$$

Розрахунок середніх втрат тиску на тертя при P_{y15} :

$$P_{T15} = \frac{(P_{T1} + P_{T2})}{2}; \quad (2.28)$$

$$P_{T15} = \frac{(1,05 \cdot 10^5 + 1,212 \cdot 10^5)}{2} = 1,131 \cdot 10^5 \text{ Па.}$$

Розрахунок повного вибійного тиску при P_{y15} :

$$P_{\text{виб}15} = P_{\text{Г вгс } 15} + P_{T15} + P_{y15}; \quad (2.29)$$

$$P_{\text{виб}15} = (110,5 + 1,131 + 150) \cdot 10^5 = 26,17 \cdot 10^6 \text{ Па.}$$

Тиск на гирлі має бути зменшено через те, що він вище забійного тиску при дії водою.

Задаємо тиск на гирлі 14 МПа і розраховуємо витрати газу при ньому:

$$Q_{\text{газ } Py14} = Q_{\text{газ виб}} \cdot \frac{P_{\text{виб}}}{P_{\text{устья } 14}}; \quad (2.30)$$

$$Q_{\text{газ } Py14} = 140,69 \cdot \frac{25,38}{14} = 262,97 \text{ м}^3 / \text{добу.}$$

Розрахунок газоутримання на гирлі свердловини при P_{y14} :

$$Q_{\text{Газ } P_{y14}} = Q_{\text{Газ виб}} \cdot \frac{P_{\text{виб}}}{P_{\text{устья } 14}}; \quad (2.31)$$

$$Q_{\text{Газ } P_{y14}} = 140,69 \cdot \frac{25,38}{14} = 262,97 \text{ м}^3/\text{добу}.$$

Розрахунок щільності водогазової суміші на гирлі при P_{y14} :

$$\rho_{\text{ВГС уст}} = \rho_{\text{в}} \cdot (1 - \alpha_{\text{уст } 14}) + \rho_{\text{Газ}} \cdot P_{y14} \cdot \alpha_{\text{уст } 14}; \quad (2.32)$$

$$\rho_{\text{ВГС уст}} = 1007 \cdot (1 - 0,278) + 1,228 \cdot 140 \cdot 0,278 = 775,25 \text{ кг/м}^3.$$

Розрахунок гідростатичного вибійного тиску при закачуванні водогазової суміші при P_{y14} :

$$P_{\text{ГВГС } 14} = \frac{\rho_{\text{ВГС виб}} + \rho_{\text{ВГС уст}}}{2} \cdot g \cdot H_{\text{СКВ}}; \quad (2.33)$$

$$P_{\text{ГВГС } 14} = \frac{888,5 + 775,25}{2} \cdot 9,81 \cdot 1339 = 10,93 \text{ МПа}.$$

Розрахунок втрати тиску водогазової суміші на тертя ($\beta_{y14} = 25,8\%$).

Розрахунок швидкості ВГС при P_{y14} :

$$v_{\text{ВГС2}} = \frac{Q_{\text{в}} + Q_{\text{Газ } P_{y14}}}{S} = \frac{(Q_{\text{в}} + Q_{\text{Газ } P_{y14}}) \cdot 4}{t \cdot \pi \cdot d_{\text{НКТ}}^2}; \quad (2.34)$$

$$v_{\text{ВГС2}} = \frac{(684,6 + 262,97) \cdot 4}{86400 \cdot \pi \cdot 0,114^2} = 1,075 \text{ м/с}.$$

Розрахунок числа Рейнольдса при P_{y14} :

$$Re = \frac{v_{\text{ВГС2}} \cdot d_{\text{НКТ}} \cdot \rho_{\text{ВГС уст}}}{\mu};$$

$$Re = \frac{1,05 \cdot 0,114 \cdot 775,25}{1,76 \cdot 10^{-3}} = 53980.$$
(2.35)

Розрахунок коефіцієнта гідравлічного опору при P_{y14} :

$$\lambda = 0,11 \cdot \left(\frac{68}{Re} + \frac{\Delta}{d_{\text{НКТ}}} \right)^{0,25}$$

$$\lambda = 0,11 \cdot \left(\frac{68}{53980} + \frac{\Delta}{114} \right)^{0,25} = 0,024$$
(2.36)

Розрахунок втрат напору на тертя при P_{y14} :

$$h_{\tau 2} = \lambda \cdot \frac{H_{\text{св}}}{d_{\text{НКТ}}} \cdot \frac{v_{\text{ВГС2}}^2}{2g};$$

$$h_{\tau 2} = 0,024 \cdot \frac{1339}{0,114} \cdot \frac{1,075^2}{2 \cdot 9,81} = 16,4 \text{ м.}$$
(2.37)

Розрахунок втрат тиску на тертя при P_{y14} :

$$P_{\tau 2} = \rho_{\text{ВГС уст}} \cdot g \cdot h_{\tau 2};$$
(2.38)

$$P_{\tau 2} = (775,25 \cdot 9,81 \cdot 16,4) \cdot 105 = 1,244 \cdot 10^5 \text{ Па};$$

Розрахунок середніх втрат тиску на тертя при P_{y14} :

$$P_{T14} = \frac{(P_{T1} + P_{T2})}{2};$$

$$P_{T14} = \frac{(1,05 \cdot 10^5 + 1,244 \cdot 10^5)}{2} = 1,147 \cdot 10^5 \text{ Па.}$$
(2.39)

Розрахунок повного вибійного тиску при P_{y14} :

$$P_{\text{віб}14} = P_{\text{г вгс}14} + P_{T14} + P_{y14};$$
(2.40)

$$P_{\text{віб}14} = (109,3 + 1,147 + 140) \cdot 10^5 = 25,04 \cdot 10^6 \text{ Па.}$$

Тиск на гирлі має бути збільшено.

Розрахунок точнішого значення гирлового тиску проводиться формулою лінійної інтерполяції:

$$P_y = P_{y14} + \frac{(P_{y15} - P_{y \text{ віб } 14}) \cdot (P_{\text{віб}} - P_{\text{віб}14})}{P_{\text{віб } 15} - P_{\text{віб}}};$$

$$P_y = 14 \cdot 10^6 + \frac{(15 - 14) \cdot 10^6 \cdot (25,38 - 25,04) \cdot 10^6}{(26,17 - 25,04) \cdot 10^6} = 14,31 \text{ МПа.}$$
(2.41)

Гирловий тиск в усті при вибраному вибійному складі 14,31 МПа.

Далі приступимо до розрахунку та підбору необхідного технологічного обладнання для насосно-ежекторної системи.

Розрахунок витрати газу на прийомі ежектора I ступеня:

$$Q_{\text{газ п1}} = \frac{Q_{\text{газ ст.у.}} \cdot P_{\text{газ ст.у.}}}{P_{\text{п1}}};$$

$$Q_{\text{газ п1}} = \frac{35000 \cdot 0,1}{0,4} = 8750 \frac{\text{м}^3}{\text{добу}};$$
(2.42)

Розрахунок коефіцієнта інжекції ежектора I ступеня:

$$K_{e1} = \frac{Q_{\text{газ п1}}}{Q_{\text{рідини}}}; \quad (2.43)$$

$$K_{e1} = \frac{8750}{978} = 8,95.$$

Тиск суміші після ежектора I ступеня встановимо рівне 2,0 МПа.

ККД ежекторів, згідно з дослідженнями, приймаємо рівними $\eta=0,35$ для ежектора I ступеня і $\eta=0,45$ для ежектора II ступеня стиснення.

Розрахунок робочого тиску рідини перед соплом ежектора I ступеня:

$$P_{\text{роб1}} = P_{\text{сум1}} + \frac{K_{e1} \cdot P_{\text{п1}} \cdot \ln \frac{P_{\text{сум1}}}{P_{\text{п1}}}}{\eta}; \quad (2.44)$$

$$P_{\text{роб1}} = 2 + \frac{8,95 \cdot 0,4 \cdot \ln \frac{2}{0,4}}{0,35} = 18,46 \text{ МПа.}$$

Тиск на прийомі ежектора II ступеня дорівнює 2 МПа.

Розрахунок витрати газу на прийомі:

$$Q_{\text{газп2}} = \frac{Q_{\text{газст.у.}} \cdot P_{\text{газ ст.у.}}}{P_{\text{п2}}}; \quad (2.45)$$

$$Q_{\text{газп2}} = \frac{35000 \cdot 0,1}{2} = 1750 \frac{\text{м}^3}{\text{добу}}.$$

Розрахунок коефіцієнта інжекції ежектора II ступеня:

$$K_{e2} = \frac{Q_{\text{газ п2}}}{Q_{\text{рідини}}}; \quad (2.46)$$

$$K_{e2} = \frac{1750}{978} = 1,79.$$

Тиск водогазової суміші після ежектора II ступеня стиснення приймемо 7,5 МПа.

Розрахунок газу на вході в насоси:

$$Q_{\text{газ вх}} = \frac{Q_{\text{газ ст.у.}} \cdot P_{\text{газ ст.у.}}}{P_{\text{вх1}}}; \quad (2.47)$$

$$Q_{\text{газ вх}} = \frac{35000 \cdot 0,1}{7,5} = 467 \frac{\text{м}^3}{\text{добу}}$$

Розрахунок газовмісту суміші $\alpha_{\text{вх}}$ на вході в насос:

$$\alpha_{\text{вх}} = \frac{Q_{\text{газ вх}}}{Q_{\text{газ вх}} + Q_{\text{рідини}}}; \quad (2.48)$$

$$\alpha_{\text{вх}} = \frac{467}{467 + 978} = 0,323.$$

Газовміст знаходиться в допустимих межах для сучасних відцентрових насосів.

Розрахунок робочого тиску рідини перед соплом ежектора II ступеня:

$$P_{\text{роб2}} = P_{\text{сум2}} + \frac{K_{e2} \cdot P_{\text{п2}} \cdot \ln \frac{P_{\text{сум2}}}{P_{\text{п2}}}}{\eta}; \quad (2.49)$$

$$P_{\text{роб2}} = 7,5 + \frac{1,79 \cdot 2 \cdot \ln \frac{7,5}{2}}{0,45} = 18 \text{ МПа.}$$

Розрахунок тиску насоса ежектора II ступеня:

$$P_{\text{насоса2}} = P_{\text{роб2}} - P_{\text{п2}}; \quad (2.50)$$

$$P_{\text{насоса2}} = 18 - 2 = 16 \text{ МПа.}$$

Для забезпечення необхідних технологічних параметрів режиму роботи обладнання було вибрано 2 насоси типу ВНН6-1000-960, які при подачі 978 м³/добу забезпечать необхідний напір 1822 м. Сумарна потужність споживана N насосами становитиме 333,2 кВт.

Параметри роботи насоса після ежектора II ступеня: $P_1 = 7,5$ МПа; $\alpha_{\text{вх}} = 0,323$; $Q_{\text{рідини}} = 978$ м³/добу, $P_2 = 14,31$ МПа.

Розрахунок подачі газу:

$$Q_{\text{газ сер.}} = \frac{Q_{\text{газ ст.у.}} \cdot P_{\text{газ ст.у.}}}{P_2 - P_1} \cdot \ln \frac{P_2}{P_1}; \quad (2.51)$$

$$Q_{\text{газ сер.}} = \frac{35000 \cdot 0,1}{14,31 - 7,5} \cdot \ln \frac{14,31}{7,5} = 332 \frac{\text{м}^3}{\text{добу}}.$$

Розрахунок подачі насоса на ВГС:

$$Q_{\text{сер}} = Q_{\text{газ сер}} + Q_{\text{рідини}}; \quad (2.51)$$

$$Q_{\text{сер}} = 332 + 978 = 1310 \text{ м}^3/\text{добу}.$$

Розрахунок масової витрати суміші:

$$M_{\text{сум}} = Q_{\text{рідини}} \cdot \rho_{\text{вод}} + Q_{\text{газ ст.у.}} \cdot \rho_{\text{газ}}; \quad (2.52)$$

$$M_{q\text{сум}} = 978 \cdot 1007 + 35000 \cdot 1,228 = 1,028 \cdot 10^6 \text{ кг/добу};$$

Розрахунок масової витрати суміші:

$$M_{q\text{сум}} = Q_{\text{рідини}} \cdot \rho_{\text{вод}} + Q_{\text{газ ст.у.}} \cdot \rho_{\text{газ}}; \quad (2.53)$$

$$M_{q\text{см}} = 978 \cdot 1007 + 35000 \cdot 1,228 = 1,028 \cdot 10^6 \text{ кг/добу.}$$

Розрахунок середньої щільності ВГС $\rho_{\text{вгс сер}}$:

$$\rho_{\text{вгс сер}} = M_{q\text{сум}} / Q_{\text{сер}}; \quad (2.54)$$

$$\rho_{\text{вгс сер}} = 1,028 \cdot 10^6 / 1310 = 785 \text{ кг/м}^3.$$

Розрахунок середнього напору насоса на ВГС:

$$h_{\text{сер.}} = \frac{P_2 - P_1}{\rho_{\text{вгс сер}} \cdot 10}; \quad (2.55)$$

$$h_{\text{сер.}} = \frac{(14,3 - 7,5) \cdot 10^6}{785 \cdot 10} = 868 \text{ м.}$$

Для забезпечення необхідних технологічних параметрів режиму роботи обладнання було обрано насос типу ЕЦН-1250-1195, що розвиває при подачі 978 м³/добу, напір 868 м. Потужність, що витрачається на воді, дорівнює 198,4 кВт.

Розрахунок потужності на ВГС:

$$N_{\text{насос вгс}} = \frac{N_{\text{насос}} \cdot \rho_{\text{вгс сер.}}}{1000};$$

$$N_{\text{насос вгс}} = \frac{198,4 \cdot 785}{1000} = 156 \text{ кВт.}$$
(2.56)

Висновки до розділу 2

У другому розділі кваліфікаційної магістерської роботи розглянуто методи впливу на пласт з метою підвищення нафтовіддачі та варіанти їх реалізації різними технологіями. З них було обрано метод водогазового впливу із застосуванням насосно-ежекторної системи, як найбільш універсальний та надійний метод.

В розділі було проведено проектний розрахунок та підібрано необхідне технологічне обладнання для насосно-ежекторної системи водогазового впливу на пласт з метою підвищення нафтовіддачі пласта та утилізації попутного нафтового газу:

- ежектор першого ступеня стиснення з коефіцієнтом інжекції 8,95;
- ежектор другого ступеня з коефіцієнтом інжекції 1,79;
- насос типу ВНН6-1000-960;
- насос типу ЕЦН-1250-1195.

Витрата рідини дорівнює 978 м³/добу, витрата газу в стандартних умовах дорівнює 35000 м³/добу, тиск на гирлі нагнітальної свердловини - 14,31 МПа. Загальна потужність, яка споживається насосами, становить 531,6 кВт.

РОЗДІЛ 3

ВИМОГИ ДО КАДРОВОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ІНЖЕНЕРНОГО СКЛАДУ ІНЖЕНЕРНО-КОНСТРУКТОРСЬКОГО БЮРО

Нині обсяг видобутку нафти поточними способами вважається недостатнім т.к. споживання продуктів переробки нафти зростає у всьому світі з кожним роком. За різними даними нафтовіддача пластів становить близько 30-35%.

Тому дуже важливо та актуально впроваджувати нові, досконаліші методи збільшення нафтовіддачі пластів. Основним напрямом видобутку є розвиток методів, що дозволяють збільшити коефіцієнт нафтовіддачі на діючих вже свердловинах і родовищах, а також здатних підвищити ефективність видобутку на нових родовищах та проектування і технологічний розрахунок нового обладнання для нафтовидобутку.

Попутний нафтовий газ (ПНГ), що утворюється при видобутку нафти, є цінним енергетичним ресурсом. Його нераціональне спалювання на факельних установках призводить до втрат енергії, забруднення довкілля та підвищення екологічного навантаження. українське законодавство передбачає:

Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища» забороняє безпідставне спалювання корисних копалин. Податковий кодекс України встановлює екологічний податок за викиди забруднюючих речовин, включаючи продукти спалювання ПНГ. ДСТУ Б В.2.5-40:2011 містить положення щодо збору, транспортування та утилізації газу. ДСТУ 8786:2018 — регламентує методи контролю викидів при спалюванні.

У зв'язку з цим компаніям необхідно шукати можливість використання цього газу без його спалювання. Одним із таких напрямків утилізації ПНГ стала можливість його використання для задоволення власних потреб на виробництві чи комерційної реалізації. Але для цього необхідно застосовувати компресорні чи інші технології, пов'язані з великими капітальними та експлуатаційними

витратами на придбання та обслуговування необхідного технологічного обладнання. Альтернативним варіантом даних технологій може стати застосування насосно-ежекторних установок, що дозволяють значно скоротити первинні та експлуатаційні витрати. За рахунок нижчої собівартості та підвищення прибутку від більш ефективного видобутку.

У сучасних умовах енергетичної трансформації та зростаючого попиту на ефективне використання природних ресурсів особливої актуальності набуває питання підвищення нафтовіддачі пластів. Традиційні методи видобутку нафти вже не забезпечують необхідного рівня продуктивності, тому впровадження нових, досконаліших технологій стає ключовим напрямом розвитку галузі.

Одним із основних завдань сучасного нафтовидобутку є оптимізація роботи діючих свердловин. Застосування методів вторинного та третинного видобутку — таких як закачування води, газу, хімічних реагентів або мікроорганізмів — дозволяє значно збільшити коефіцієнт нафтовіддачі. Ці технології не лише підвищують ефективність, але й сприяють зменшенню екологічного навантаження на довкілля.

Не менш важливим є проектування нового обладнання, яке відповідає сучасним вимогам безпеки, автоматизації та енергоефективності. Використання цифрових технологій, систем моніторингу та дистанційного управління дозволяє оперативно реагувати на зміни в пластових умовах і оптимізувати процес видобутку.

У цьому контексті особливої уваги заслуговує підготовка інженерно-технічних кадрів, які здатні не лише обслуговувати існуючі системи, а й розробляти нові технології та обладнання, адаптовані до складних сучасних умов. Сучасний фахівець повинен володіти знаннями в галузі гідродинаміки, автоматизації, екології, а також навичками роботи з цифровими платформами моделювання. Саме ці кадри є рушієм інновацій, здатним забезпечити сталий розвиток нафтової галузі.

Крім того, співпраця між університетами, науковими центрами та промисловими підприємствами має стати основою для формування нової

генерації інженерів. Інвестиції в освіту, стажування, лабораторні дослідження та міжнародні обміни — це не витрати, а стратегічні вкладення в енергетичну безпеку країни.

Таким чином, впровадження інноваційних методів збільшення нафтовіддачі є не просто технічним завданням, а стратегічним кроком до сталого розвитку енергетичної галузі. Це вимагає міждисциплінарного підходу, інвестицій у наукові дослідження та тісної співпраці між державою, бізнесом і освітніми установами.

Кадровий склад інженерно-конструкторського бюро, який займається проєктуванням нафтовидобувного обладнання для підвищення нафтовіддачі при видобутку має володіти знаннями та практичними навичками:

1) Знати класифікацію методів збільшення нафтовіддачі, володіти особливостями кожного, знайти переваги та недоліки кожного, умови застосування методів нафтовіддачі та вміти обґрунтовувати вибір та застосовність методів;

2) Знати критерії застосування методів підвищення нафтовіддачі, вміти застосовувати їх при виборі та обґрунтуванні методів для конкретних технологій і виробництв;

3) Знати особливості впливу на продуктивний пласт;

4) Знати класифікацію і особливості технологій водогазового впливу, переваги та недоліки, умови застосування водогазового впливу, механізм та відомі результати досліджень застосування водогазового впливу, вміти проводити оцінку ефективності витіснення нафти водою та газом на різних режимах;

5) Вміти аналізувати технології водогазового впливу на продуктивний пласт з врахуванням світового досвіду;

6) Знати види технологій для водогазового впливу та особливості їх впровадження у виробництво:

- компресорна технологія;

- безкомпресорна технологія;

- спільне закачування;
- бустерні технології;
- ежекторні технології,

вміти проводити їх проєктування для конкретних виробництв і виробничих підрозділів;

7) Знати особливості використання насосно-ежекторних систем у складі систем підвищення нафтовіддачі, вміти визначати ефективність їх використання;

8) Вміти проводити аналіз та проблеми використання насосно-ежекторних систем для їх застосування у технології водогазового впливу на пласт та представляти його результати при обговоренні з різнопрофільними фахівцями;

9) Виконувати модернізацію існуючих КПП ЗОД;

10) Розробляти та впроваджувати заходи щодо забезпечення контролю якості будівельних та монтажних робіт;

11) Вміти виконувати проєктний розрахунок насосно-ежекторного устаткування, зокрема:

- аналіз вихідних даних для розрахунку;
- розрахунок гідростатичного тиску на вибої;
- розрахунок швидкості води;
- розрахунок числа Рейнольдса;
- розрахунок границь зон турбулентності;
- розрахунок коефіцієнта гідравлічного опору областей турбулентного режиму;
- розрахунок втрат напору на тертя;
- розрахунок втрати тиску води на тертя;
- розрахунок повного вибійного тиску;
- визначати прийнятність свердловин;
- визначати витрату газорідної суміші;
- перераховувати гідростатичний тиск на вибої;
- проводити розрахунок витрати газу при різних пластових тисках;
- проводити розрахунок необхідної витрати води;

- проводити перерахунок витрати газу для різних вибійних тисків;
- розраховувати щільності суміші на вибої;
- проводити розрахунок втрат тиску за рахунок сил тертя для водогазової суміші.

Висновки до розділу 3

У третьому розділі роботи сформульовано і обґрунтовано вимоги до інженерного складу інженерно-конструкторського бюро, до функцій якого входить проєктування насосно-ежекторного устаткування.

РОЗДІЛ 4

РОЗРОБКА ДИДАКТИЧНОГО ПРОЄКТУ ВИКЛАДАННЯ ТЕМИ «РОЗРОБКА СУЧАСНОГО НАФТОВИДОБУВНОГО ОБЛАДНАННЯ», ЩО ВИВЧАЄТЬСЯ У ПРОЦЕСІ ПІДВИЩЕННЯ КВАЛІФІКАЦІЇ ІНЖЕНЕРНОГО СКЛАДУ ІНЖЕНЕРНО-КОНСТРУКТОРСЬКОГО БЮРО

4.1 Вихідні дані

Розроблення ефективної програми підвищення кваліфікації для інженерів-конструкторів нафтовидобувної галузі потребує всебічного аналізу виробничих потреб, рівня професійної підготовки слухачів, особливостей їх інженерного досвіду, а також ресурсів навчального середовища. Вихідні параметри, наведені нижче, визначають принципи формування змісту курсу, добір методів навчання та інструментів, необхідних для розвитку компетентностей, що забезпечують здатність інженерів до створення високонадійного, безпечного та технологічно ефективного нафтовидобувного обладнання.

Підвищення кваліфікації орієнтується на інженерів та конструкторів, які беруть участь у таких видах професійної діяльності:

- проєктування та модернізація елементів нафтовидобувних систем – насосних установок, колонного обладнання, трубопроводів, арматури високого тиску, систем збору та підготовки продукції;
- структурно-механічний аналіз обладнання з урахуванням напружено-деформованого стану, корозійних і термомеханічних впливів, циклічних навантажень;
- застосування цифрових інструментів моделювання (CAE-системи, CFD-аналіз, CAD-платформи) для верифікації конструктивних рішень;
- розрахунок надійності та оцінка ризиків, пов'язаних з експлуатацією обладнання у складних геологічних та технологічних умовах;

- технологічне супроводження виготовлення обладнання, включно з підготовкою технічної документації, вибором матеріалів і контролем відповідності стандартам;

- участь у випробуваннях, діагностиці та сертифікації конструкцій, що впроваджуються у виробництво.

Категорії слухачів. До участі у програмах підвищення кваліфікації залучаються:

- інженери-конструктори середнього та провідного рівня;
- фахівці інженерно-технологічних, проєктних і виробничих підрозділів;
- спеціалісти, які займаються 3D-моделюванням, структурним аналізом, CFD-симуляціями та системним проєктуванням;
- працівники служб, що відповідають за стандартизацію, матеріалознавство, випробування та оцінювання надійності обладнання;
- молоді інженери, що мають базові конструкторські навички, але потребують розширення компетентностей у цифровому моделюванні та ризик-орієнтованому проєктуванні.

Рівень попередньої підготовки слухачів. Учасники програм, як правило, вже володіють:

- базовими знаннями з машинобудування, механіки, матеріалознавства та опору матеріалів;
- навичками роботи із системами CAD (SolidWorks, Autodesk Inventor, Kompas 3D, Siemens NX тощо);
- загальним розумінням технологій нафтовидобутку та обладнання свердловинно-наземного комплексу;
- досвідом підготовки технічної документації, розроблення робочих креслень, технічних умов та паспортів виробів;
- елементарними навичками аналізу дефектів, оцінювання технологічності конструкцій і взаємодії з виробництвом;
- знанням нормативних документів, що регламентують конструювання нафтовидобувного обладнання (ГОСТ, ДСТУ, API, ISO тощо).

До навчання можуть бути залучені фахівці з таких організацій:

- інженерно-конструкторські бюро та проєктні департаменти нафтовидобувних компаній;
- машинобудівні підприємства, що виробляють бурове, насосне, компресорне та наземне обладнання;
- сервісні інжинірингові компанії, які виконують проєктні, монтажні та пусконаладжувальні роботи;
- науково-дослідні інститути та лабораторії, що займаються випробуваннями й матеріалознавчими дослідженнями;
- підприємства, де проводиться модернізація, ремонт та контроль якості нафтовидобувного обладнання.

Заклади та середовища підвищення кваліфікації. Підготовка інженерного складу може здійснюватися:

1. У корпоративних інженерно-технологічних центрах компаній, які мають тренувальні полігони, лабораторії випробувань матеріалів, стенди для перевірки насосних і бурових систем, цифрові симулятори.

2. У технічних університетах та інститутах післядипломної освіти, що спеціалізуються на машинобудуванні, нафтогазовій інженерії та промисловій безпеці.

3. У навчальних центрах цифрового моделювання та інженерного аналізу, де використовуються PLM-платформи, CAE-системи та спеціалізовані комплекси для аналізу міцності й гідродинаміки.

4. У спеціалізованих сервісних компаніях та випробувальних центрах, що забезпечують повноцінну практику роботи з реальними зразками обладнання.

Тривалість програм може становити від 1 до 6 місяців, залежно від обсягу спеціалізації та рівня підготовки слухачів. Поглиблені курси, орієнтовані на формування компетентності у сфері цифрового моделювання та розробки складних конструкцій, можуть бути розраховані на довший період.

Форми навчання передбачають змішаний формат, зокрема:

- лекційні модулі – основи конструювання, стандарти, принципи роботи обладнання, матеріали, гідравлічні та механічні розрахунки;
- практичні заняття – моделювання вузлів та агрегатів, аналіз напружено-деформованого стану, підготовка креслень;
- лабораторні роботи – дослідження механічних властивостей матеріалів, випробування елементів конструкцій, аналіз дефектів;
- цифрові симуляції та тренажери – виконання CFD-розрахунків, FEA-моделювання, оптимізація конструкції;
- кейс-методи – розв’язання проєктних задач, аналіз причин відмов реального обладнання;
- групові проєкти – створення та захист комплексного інженерного рішення;
- самостійна робота – опрацювання нормативної документації, виконання розрахункових завдань і проєктних модулів.

4.2 Види та зміст професійної діяльності фахівця

Аналіз професійної діяльності інженерного складу інженерно-конструкторського бюро наведений в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1

Аналіз професійної діяльності фахівця

Вид діяльності	Функції діяльності	Процес діяльності
1. Проектно-конструкторська діяльність		
Розроблення нових конструкцій нафтовидобувного обладнання	<ul style="list-style-type: none"> - формування технічного завдання; - розроблення концепції та технічних рішень; - створення 3D-забезпечення моделей, креслень і специфікацій; - відповідності стандартам та нормативам 	<ul style="list-style-type: none"> - аналіз потреб виробництва та експлуатаційних умов; - вибір конструктивної схеми, матеріалів і принципів роботи вузлів; - моделювання та оптимізація конструкції в CAD/CAE середовищах; - підготовка повного пакета конструкторської документації
Модернізація існуючих зразків обладнання	<ul style="list-style-type: none"> - визначення причин низької ефективності або відмов; - розроблення удосконалених конструктивних рішень 	<ul style="list-style-type: none"> - аналіз експлуатаційної статистики та дефектів; - аналіз напружено-деформованого стану (FEA); - внесення змін у конструкцію і документацію;
2. Інженерно-аналітична діяльність		
Розрахунково-аналітичні роботи	<ul style="list-style-type: none"> - виконання механічних, теплових, гідравлічних та динамічних розрахунків; - визначення надійності елементів конструкції; - оцінювання ризиків при експлуатації 	<ul style="list-style-type: none"> - побудова математичних моделей обладнання; - проведення CFD- та FEA-аналізу; - перевірка конструкції на стійкість, міцність, зносостійкість; - формування технічних висновків
Аналіз матеріалів та технологій	<ul style="list-style-type: none"> - вибір матеріалів із необхідними властивостями; - оцінка корозійних, температурних та навантажувальних впливів слабких місць конструкції 	<ul style="list-style-type: none"> - дослідження механічних властивостей матеріалів; - аналіз сумісності матеріалів з умовами видобутку; - підготовка рекомендацій щодо вибору матеріалів натурних випробуваннях; - коригування проектних рішень

3. Технологічна діяльність		
Забезпечення технологічності виготовлення конструкцій	<ul style="list-style-type: none"> - адаптація конструкторських рішень під можливості виробництва; - узгодження конструкції з технологіями й виробничими дільницями 	<ul style="list-style-type: none"> - аналіз технологічних маршрутів; - оптимізація конструкції під доступні технології (литво, зварювання, мехобробка); - участь у технічних нарадах з виробництвом
Участь у випробуваннях зразків та вузлів	<ul style="list-style-type: none"> - розроблення програм випробувань; - аналіз результатів і виявлення 	<ul style="list-style-type: none"> - підготовка протоколів випробувань; - присутність на стендових, гідростатичних чи
4. Документаційна та нормативно-регуляторна діяльність		
Підготовка технічної документації	<ul style="list-style-type: none"> - створення комплексу конструкторських документів; - стандартизація та уніфікація виробів 	<ul style="list-style-type: none"> - розроблення креслень, схем, специфікацій; - перевірка відповідності ДСТУ, ГОСТ, API, ISO; - формування технічних умов і паспортів
Супровід сертифікації та ліцензування	<ul style="list-style-type: none"> - забезпечення відповідності обладнання вимогам промислової безпеки 	<ul style="list-style-type: none"> - підготовка пакетів документів для сертифікаційних органів; - участь у технічних аудитах та експертизах
5. Комунікаційна діяльність та робота у команді		
Взаємодія з підрозділами компанії	<ul style="list-style-type: none"> - узгодження технічних рішень із технологіями, виробництвом, службами контролю якості 	<ul style="list-style-type: none"> - проведення технічних консультацій; - участь у міжфункціональних нарадах; - обмін технічною інформацією
Підтримка впровадження нових виробів	<ul style="list-style-type: none"> - супровід запуску обладнання у виробництво; - консультування експлуатаційних служб 	<ul style="list-style-type: none"> - відвідування виробничих майданчиків; - усунення технічних неузгодженостей; - навчання персоналу принципам роботи нових конструкцій

6. Інноваційно-дослідницька діяльність		
Участь у науково-технічних розробках	- дослідження нових підходів до проектування; - впровадження цифрових інструментів та інноваційних технологій	- аналіз світових технічних трендів; - випробування нових методів моделювання; - створення експериментальних конструкцій
Робота з інтелектуальною власністю	- підготовка патентної документації; - захист авторських рішень	- оформлення патентних заявок; - консультативна робота з юристами та дослідниками

4.3 Кваліфікаційні вимоги до інженерного складу інженерно-конструкторського бюро

Кваліфікаційні вимоги до фахівців експертної організації представлені в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2

Кваліфікаційні вимоги до фахівця

Фахівець повинен уміти	Фахівець повинен знати
1	2
<ul style="list-style-type: none"> – Розробляти конструктивні рішення для сучасного нафтовидобувного обладнання з урахуванням технологічних, матеріалознавчих та експлуатаційних аспектів. – Виконувати розрахунки на міцність, стійкість та надійність вузлів і агрегатів із використанням CAD/CAE і математичних моделей. – Створювати повні пакети конструкторської документації: креслення, специфікації, технічні умови, паспорти виробів. 	<ul style="list-style-type: none"> – Основи механіки, гідравліки, термодинаміки та електротехніки у контексті нафтовидобувного обладнання. – Конструктивні особливості насосів, компресорів, трубопровідної арматури та допоміжних систем. – Сучасні стандарти та нормативні вимоги (ISO, API, EN, ДСТУ) до проектування та експлуатації обладнання.

Продовження табл. 4.2

1	2
<ul style="list-style-type: none"> – Аналізувати та оцінювати роботу обладнання за результатами випробувань і експлуатаційної практики. – Застосовувати методи моделювання та оптимізації конструкцій, включаючи цифрові симулятори та PLM-системи. – Виявляти дефекти, оцінювати ризики та формулювати рекомендації щодо підвищення надійності обладнання. – Узгоджувати проєктні рішення з технологічними, виробничими та безпековими службами підприємства. – Використовувати сучасні методи дослідження матеріалів та технологій, враховуючи корозійні, механічні та температурні впливи. – Планувати та організовувати експериментальні випробування вузлів і агрегатів. – Працювати у міждисциплінарних командах та ефективно комунікувати з колегами та керівництвом. 	<ul style="list-style-type: none"> – Основи матеріалознавства: властивості металів і сплавів, методи підбору матеріалів для високонавантажених вузлів. – Методики технічного моделювання та цифрового прототипування (CAD, CAE, PLM). – Принципи проведення експериментальних випробувань та оцінки надійності конструкцій. – Методи аналізу ризиків, технічної діагностики та прогнозування залишкового ресурсу обладнання. – Сучасні технології обробки даних, цифрові симулятори та системи візуалізації результатів проєктування. – Положення щодо промислової безпеки, охорони праці та вимоги до сертифікації обладнання. – Принципи міждисциплінарної взаємодії в команді: комунікація з технологами, виробничим персоналом та керівництвом.

4.4 Постановка цілей вивчення навчальної теми «Розробка сучасного нафтовидобувного обладнання»

Формування у інженерно-конструкторського персоналу компетентностей, необхідних для розробки, моделювання та оптимізації сучасного нафтовидобувного обладнання, з урахуванням технологічних, матеріалознавчих та експлуатаційних вимог, забезпечення безпеки та надійності обладнання на всіх етапах його життєвого циклу.

Таблиця 4.3

Цілі-задачі на окремих етапах досягнення оперативних цілей

Рівні засвоєння навчального матеріалу теми	Цілі-задачі на окремих етапах досягнення оперативних цілей.
1	2
I, II, III, IV	<ul style="list-style-type: none"> – Вивчити основні типи насосів, компресорів, арматури та допоміжних систем. – Розглянути механічні, гідравлічні та електротехнічні характеристики обладнання. – Ознайомитися з вимогами безпеки та стандартами ISO, API, EN та національними регламентами. – Виконувати конструкторські розрахунки на міцність, стійкість та довговічність обладнання. – Моделювати роботу вузлів та агрегатів у цифровому середовищі. – Розробляти конструкторську документацію та специфікації. – Аналізувати результати цифрового моделювання та експериментальних випробувань. – Виявляти потенційні дефекти та вузькі місця конструкцій. – Пропонувати оптимальні рішення щодо підвищення надійності та ресурсу обладнання. – Виконувати комплексні проекти з розробки нових вузлів та агрегатів. – Проводити аналіз виробничих кейсів та розробляти експертні висновки. – Впроваджувати цифрові інструменти для оцінки надійності та оптимізації роботи обладнання.

4.5 Перелік літературних джерел з теми

1. Бабенко, В.І. Сучасні технології розробки нафтових і газових родовищ: підручник для вищих навчальних закладів. – Київ: Наукова думка, 2020. – 356 с.
2. Іваненко, С.П., Коваль, О.М. Інноваційні методи проектування насосного обладнання для нафтової промисловості. – Харків: Політехніка, 2019. – 248 с.
3. Peterson, R., Smith, J. Advanced Oilfield Equipment Design and Reliability. – New York: Springer, 2021. – 412 p.
4. API Standard 610. Centrifugal Pumps for Petroleum, Petrochemical, and Natural Gas Industries. – American Petroleum Institute, 2020.
5. Chen, L., Zhang, H. Digital Simulation and Optimization of Oilfield Equipment. – London: Elsevier, 2022. – 305 p.

4.6 Конструювання дидактичних матеріалів з теми «Розробка сучасного нафтовидобувного обладнання»

Процес розробки дидактичних матеріалів для підвищення кваліфікації інженерного складу інженерно-конструкторського бюро передбачає системний підхід до організації навчального процесу. Він має базуватися на аналізі професійних завдань, з якими стикаються інженери, і на сучасних технологічних вимогах до нафтовидобувного обладнання.

Основними принципами конструювання навчальних матеріалів є:

1. Практикоорієнтованість – матеріали повинні забезпечувати безпосереднє застосування знань у проектуванні та модернізації обладнання, аналізі технічних характеристик і прогнозуванні ресурсів.
2. Інтеграція міждисциплінарних знань – поєднання механіки, матеріалознавства, гідродинаміки, автоматизації та комп'ютерного моделювання дозволяє сформувати цілісну компетентність інженера.

3. Цифрова підтримка навчання – використання симуляторів, цифрових макетів, CAD/PLM-систем і спеціалізованого програмного забезпечення для моделювання технічних процесів та випробувань обладнання.

4. Модульність та поступовість – матеріали поділяються на окремі навчальні модулі, що включають теоретичні лекції, практичні вправи, лабораторні роботи та кейс-стаді.

Дидактичні матеріали повинні охоплювати такі компоненти:

- Теоретичні блоки, які висвітлюють конструктивні особливості сучасного нафтовидобувного обладнання, новітні технологічні рішення та стандарти безпеки.

- Практичні завдання, що дозволяють розробляти ескізи, проєктувати вузли та агрегати, оцінювати ефективність конструкцій та аналізувати можливі технічні ризики.

- Лабораторні роботи, в яких передбачено роботу з реальними або макетними моделями насосів, компресорів, систем автоматики та трубопровідної арматури.

- Кейси та ситуаційні вправи, що моделюють аварійні або нестандартні умови роботи обладнання та вимагають прийняття інженерних рішень на основі аналізу даних і нормативних документів.

- Цифрові симуляції, що дозволяють прогнозувати поведінку обладнання, оцінювати ресурс вузлів та випробовувати різні технологічні сценарії без ризику для реального обладнання.

Важливим аспектом є адаптація навчальних матеріалів до рівня підготовки слухачів, їхніх професійних компетенцій та особливостей виробничої діяльності конкретного підприємства. Комплексне використання теоретичних, практичних і цифрових компонентів сприяє формуванню у слухачів глибокого розуміння конструкцій, технологічних процесів і безпечних методів експлуатації сучасного нафтовидобувного обладнання.

4.7 Аналіз базових умов навчання з теми «Розробка сучасного нафтовидобувного обладнання»

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

Таблиця 4.4

Аналіз базового матеріалу і способи актуалізації базових знань

Перелік базових понять, законів, способів дії	Способи (методи, форми, засоби) перевірки рівня сформованості базових знань і способів дій
1	2
1. Історія та сучасні тенденції розвитку нафтовидобувного обладнання	<p>Методи: усне опитування. Форми: фронтальна. Засоби: контрольні питання.</p> <p>Які ключові етапи розвитку нафтовидобувного обладнання можна виділити за останні сто років? Які фактори вплинули на прискорене впровадження сучасних технологій у видобутку нафти? Які сучасні стандарти застосовуються при проектуванні нафтових установок? Які тенденції розвитку обладнання визначаються цифровізацією процесів? Чим відрізняються класичні та сучасні конструкції насосних агрегатів?</p>
2. Конструктивні особливості насосно-компресорного обладнання	<p>1. Які основні типи насосів використовуються у нафтовидобутку? 2. Як відрізняються принципи роботи центробіжних та шестерених насосів? Які вузли сучасного насосного агрегату є критичними для безпечної роботи? 4. Як конструкція компресорів впливає на ефективність видобутку? 5. Які вимоги пред'являються до монтажу та технічного обслуговування насосно-компресорного обладнання?</p>

Продовження табл. 4.4

1	2
3. Матеріало-знавство та ресурсоемність обладнання	<p>Які матеріали зазвичай використовуються для виготовлення насосних агрегатів?</p> <p>Як впливає корозійна стійкість матеріалу на тривалість служби обладнання?</p> <p>Що таке ресурсоемність і як її оцінюють для вузлів обладнання?</p> <p>Як вибір матеріалу впливає на технічну надійність і безпеку роботи?</p> <p>Які методи контролю дефектів матеріалу застосовуються у виробництві обладнання?</p>
4. Системи автоматизації та управління обладнанням	<p>1. Які основні функції систем автоматизації на нафтових установках?</p> <p>2. Як системи моніторингу допомагають запобігати аваріям?</p> <p>3. Які технології використовуються для дистанційного керування обладнанням?</p> <p>4. Що таке цифрові двійники (digital twins) і як вони застосовуються в управлінні?</p> <p>5. Які вимоги до надійності та безпеки мають системи автоматизації?</p>
5. Технологічні аспекти проектування сучасного обладнання	<p>1. Які етапи проходить процес проектування нафтового обладнання?</p> <p>2. Як моделювання конструкцій допомагає підвищити ефективність обладнання?</p> <p>3. Які фактори враховуються при оптимізації конструкцій насосних агрегатів?</p> <p>4. Як впливає енергозбереження на проектування та експлуатацію обладнання?</p>
6. Безпека та ризик-орієнтоване проектування	<p>Які основні стандарти промислової безпеки застосовуються у нафтовидобутку?</p> <p>Як оцінюють ризики під час проектування нового обладнання?</p> <p>Які аварійні ситуації є найпоширенішими при експлуатації насосних агрегатів?</p> <p>Які заходи зменшують імовірність технічних відмов?</p> <p>Як інтеграція систем контролю і діагностики підвищує безпеку експлуатації?</p>

4.8 Проектування мотиваційних технологій

Проектування мотиваційних технологій навчання з теми «Розробка сучасного нафтовидобувного обладнання», 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! Сучасна нафтогазова промисловість стоїть перед постійним викликом забезпечення ефективності, надійності та безпеки видобутку. Розробка сучасного нафтовидобувного обладнання є ключовим чинником, що визначає успішність виробничих процесів, зниження аварійності та оптимізацію експлуатаційних витрат. Підвищення кваліфікації інженерів-конструкторів у цій сфері дозволяє не лише освоювати новітні технології, а й впроваджувати інноваційні рішення, які враховують сучасні вимоги до продуктивності та безпеки.</p> <p>Мотивація до вивчення теми обумовлена необхідністю сформулювати у фахівців комплексне розуміння конструктивних, технологічних та матеріалознавчих аспектів обладнання, а також здатність до аналітичного мислення, прогнозування експлуатаційних ризиків і прийняття обґрунтованих інженерних рішень. Слухачі навчальних програм отримують можливість поєднати теоретичні знання з практичними навичками, використовуючи сучасні цифрові моделі, симулятори та технологічні стенди. Вивчення теми спрямоване на формування професійної компетентності, яка включає не лише знання конструктивних особливостей насосів, компресорів, арматури та систем автоматизації, а й уміння адаптувати інженерні рішення під специфіку конкретного родовища, враховуючи економічні, екологічні та безпекові аспекти. Це забезпечує розвиток творчого та</p>

Продовження табл. 4.5

1	2
	критичного мислення, необхідного для інноваційної діяльності в умовах високих технологічних стандартів та швидких змін промислових процесів.
	Таким чином, мотивація до вивчення теми полягає у поєднанні прагнення до професійного розвитку, підвищення ефективності виробництва та готовності впроваджувати передові технології, що визначають конкурентоспроможність підприємства на сучасному ринку нафтогазових послуг.

4.9 Проєктування технології формування орієнтовної основи діяльності

Проєктування технології формування орієнтовної основи діяльності при вивченні теми «Розробка сучасного нафтовидобувного обладнання» (табл. 4.6).

Таблиця 4.6

Способи формування ООД з теми

Рівні засвоєння навчального матеріалу теми	Форми навчання	Методи та засоби навчання
1	2	3
<p>Рівень знання (Remembering)</p> <ul style="list-style-type: none"> Вміння пригадати та відтворити основні поняття про нафтовидобувне обладнання: типи насосів, компресорів, арматури, технологічні схеми. <p>Знання нормативних документів, стандартів (ISO, API, EN), технічної термінології та параметрів обладнання.</p> <p>Рівень розуміння (Understanding)</p> <ul style="list-style-type: none"> Пояснення принципів роботи окремих елементів обладнання та їх взаємозв'язку у технологічних системах. Інтерпретація технічних схем, креслень та документації. <p>Рівень застосування (Applying)</p> <ul style="list-style-type: none"> 	<p>Лекційні заняття – пояснення теоретичних основ і сучасних підходів до проектування обладнання.</p> <p>Практичні заняття – розв'язання інженерних завдань, робота з технічними картами та схемами.</p> <p>Лабораторні заняття – використання макетів, стендів та програмного забезпечення для моделювання конструкцій.</p> <p>Семінари та кейс-дослідження – аналіз реальних виробничих ситуацій та розробка рішень.</p> <p>Самостійна робота – підготовка проєктів, вивчення нормативної документації, опрацювання сучасних технологій.</p>	<p>1. Методи навчання</p> <ul style="list-style-type: none"> Пояснювально-ілюстративний (лекції, презентації, схемні моделі). Практикоорієнтований (робота з симуляторами, проєктними завданнями). Дослідницький (моделювання, аналіз технічних рішень, експерименти на стендах). Кейс-методика та групові дискусії для обговорення реальних ситуацій. <p>2. Засоби навчання</p> <ul style="list-style-type: none"> Цифрові симулятори та CAD/CAE-програми. Тренувальні макети насосів, компресорів та арматури. <p>Лабораторне та діагностичне обладнання для демонстрації принципів роботи.</p> <p>Навчальні посібники, стандарти та нормативна документація (ISO, API, EN).</p> <ul style="list-style-type: none">

Продовження табл. 4.6

1	2	3
<ul style="list-style-type: none"> • Використання знань для виконання розрахунків параметрів обладнання (продуктивність, тиск, напір). • Застосування програмного забезпечення для моделювання та проектування конструкцій. <p>Рівень аналізу (Analyzing)</p> <p>Виявлення дефектів та критичних зон у конструкціях, аналіз технічних даних та результатів діагностики.</p> <p>Порівняння різних інженерних рішень та оцінка їх ефективності.</p> <p>Рівень оцінки (Evaluating)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Прийняття • обґрунтованих рішень щодо оптимізації та модернізації обладнання. <p>Оцінка ризиків, безпеки та економічної доцільності проектних рішень.</p> <p>Рівень створення (Creating)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Розробка нових конструкцій, модифікацій обладнання та технологічних рішень з урахуванням сучасних стандартів та виробничих умов. • Створення проектів комплексного обладнання для нафтовидобувних установок із застосуванням цифрових інструментів та симуляторів. • 		

4.10 Проектування технології формування виконавчих дій

Проектування технології формування виконавчих дій при вивченні теми «Розробка сучасного нафтовидобувного обладнання» (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>Вправа 1. Аналіз конструктивних рішень обладнання</p> <p>Мета: навчитися оцінювати існуючі конструкції насосів, компресорів та арматури, визначати їх переваги та недоліки.</p> <p>Завдання:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Ознайомитися з технічними кресленнями насосного та компресорного обладнання. 2. Виділити основні елементи конструкції та визначити їх функціональне призначення. 3. Проаналізувати можливі точки підвищеного зносу та ризику виходу з ладу. 4. Скласти короткий звіт з рекомендаціями щодо оптимізації конструкції. <p>Методи: робота з кресленнями, порівняльний аналіз, групова дискусія.</p> <p>Вправа 2. Розрахунок технологічних параметрів обладнання</p> <p>Мета: застосувати теоретичні знання для практичного розрахунку параметрів нафтовидобувного обладнання.</p> <p>Завдання:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Визначити номінальну продуктивність насосної установки. 2. Розрахувати необхідний напір та енергетичні характеристики обладнання.

1	2	3
		<p>3. Проаналізувати вплив зміни робочих умов (температура, в'язкість нафти, тиск) на продуктивність.</p> <p>Методи: використання формул, електронних таблиць, симуляційного програмного забезпечення.</p> <p>Вправа 3. Моделювання роботи обладнання</p> <p>Мета: навчитися використовувати цифрові інструменти для проектування та оптимізації обладнання.</p> <p>Завдання:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Створити цифрову модель насосної установки у CAD/CAE системі. 2. Провести аналіз напружень та деформацій основних елементів. 3. Оцінити ефективність модифікацій конструкції та запропонувати оптимальні рішення. <p>Методи: комп'ютерне моделювання, симуляції, інженерний аналіз.</p> <p>Вправа 4. Практика діагностики обладнання</p> <p>Мета: навчитися ідентифікувати дефекти та оцінювати технічний стан обладнання.</p> <p>Завдання:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Виконати візуальний огляд та оцінку стану елементів насосно-компресорних агрегатів. 2. Використати методи неруйнівного контролю (ультразвуковий, вібраційний, термографічний контроль). 3. Підготувати експертний звіт із визначенням критичних дефектів та залишкового ресурсу обладнання. <p>Методи: практичні лабораторні заняття, робота з діагностичними приладами, аналіз реальних кейсів.</p> <p>Вправа 5. Проектування інноваційного обладнання</p>

1	2	3
		<p>Мета: формування компетентності створення нових рішень для нафтовидобувних установок.</p> <p>Завдання:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Розробити концепт сучасного обладнання з підвищеною ефективністю та безпекою. 2. Скласти технічне завдання для інженерної команди. 3. Використати цифрові моделі для демонстрації роботи системи. 4. Провести аналіз переваг та ризиків нового обладнання порівняно з існуючими аналогами. <p>Методи: кейс-метод, групові проєкти, цифрове моделювання, презентація результатів.</p>

4.11 Проєктування контрольних дій

Проєктування контрольних дій з теми «Розробка сучасного нафтовидобувного обладнання» (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-індивідуальні	<p><u>Контрольні питання.</u></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Які основні функції виконують сучасні нафтовидобувні установки та обладнання? 2. Які конструктивні особливості насосних агрегатів і компресорів впливають на їх ефективність та надійність? 3. У чому полягає роль матеріалознавства при розробці нафтовидобувного обладнання? 4. Які сучасні цифрові технології та програмні засоби використовуються для моделювання та проєктування обладнання? 5. Як впливає професійна підготовка інженерів на безпеку та ефективність роботи нафтовидобувного обладнання? 6. Які основні методи контролю технічного стану обладнання застосовуються на нафтових установках? 7. У чому полягає значення ергономічного та технологічного проєктування для надійності обладнання? 8. Які типові дефекти та зони підвищеного зносу характерні для насосно-компресорного обладнання? 9. Як здійснюється оцінка залишкового ресурсу та прогнозування міжремонтного періоду обладнання? 10. Які міжнародні стандарти та нормативи регламентують проєктування, експлуатацію та безпеку нафтовидобувного обладнання?

4.12 Розробка програми курсів підвищення кваліфікації

Розробка програми курсів підвищення кваліфікації викладання теми «Розробка сучасного нафтовидобувного обладнання» 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 сучасного нафтовидобувного обладнання	2	Ознайомлення з сучасними технологіями та обладнанням у нафтовидобувній галузі	Лекція	Презентація, дискусія, демонстрація прикладів сучасного обладнання
2	Конструктивні особливості насосних та компресорних агрегатів	3	Розуміння будови, принципу роботи та особливостей обслуговування насосно-компресорного обладнання	Лекція + практикум	Схеми, відеоогляди, робота з макетами обладнання
3	Матеріалознавство та вибір матеріалів для обладнання	2	Вивчення впливу матеріалів на надійність і довговічність обладнання	Лекція	Презентації, аналіз прикладів, групова робота
4	Цифрове моделювання та програмні засоби проектування	4	Навчитися використовувати сучасні CAD/CAE системи та цифрові симулятори	Практичне заняття	Робота на комп'ютерах, моделювання, тренінг з використанням програмних продуктів
5	Технологічне проектування та безпека експлуатації	3	Розуміння принципів безпечної експлуатації та ергономічного проектування	Лекція + кейси	Аналіз реальних кейсів, групова дискусія, обговорення ризиків
6	Методи контролю технічного стану обладнання	4	Оволодіння сучасними методами неруйнівного контролю та діагностики	Практикум	Демонстрація НК, візуальний, ультразвуковий, вібраційний контроль, тренажери

Продовження табл. 4.9

1	2	3	4	5	6
7	Оцінка залишкового ресурсу та планування ремонтів	3	Навчитися прогнозувати залишковий ресурс та оптимізувати міжремонтні періоди	Практикум	Робота з технічними картами, аналіз даних, групові вправи
8	Інтегровані інженерні рішення та сучасні тренди	2	Розглянути комплексний підхід до проектування та впровадження новітніх технологій	Лекція + дискусія	Презентація тенденцій, обговорення інновацій, порівняльний аналіз практик
9	Підсумкове заняття: кейс-стаді та експертна оцінка	3	Узагальнення знань, практичне застосування отриманих компетентностей	Практикум	Робота над кейсами, обговорення рішень, захист групових проектів

4.13 Розробка сценарію заняття «Оцінка залишкового ресурсу та планування ремонтів».

Таблиця 4.10

Сценарій заняття

№ з/п	Структурні елементи заняття	Зміст структурних елементів
1	2	3
1	Організаційна частина (5 хвилин)	Привітання учасників, перевірка присутності, ознайомлення з планом заняття та цілями практикуму. Пояснення важливості теми для безпечної та ефективної експлуатації нафтовидобувного обладнання.
2	Вступна частина (10 хвилин)	Короткий огляд основних понять: залишковий ресурс обладнання, міжремонтний період, фактори, що впливають на надійність. Мотивація слухачів через приклади реальних аварій і економічні наслідки неналежного планування ремонтів.
3	Теоретична частина (30 хвилин)	- Методи оцінки залишкового ресурсу: експертні, аналітичні, статистичні. - Основи технічної діагностики та аналізу дефектів. - Принципи планування ремонтних кампаній з урахуванням ризиків та критичності вузлів. - Використання сучасних програмних засобів для прогнозування залишкового ресурсу і оптимізації міжремонтних періодів.
4	Практична частина (45 хвилин)	- Робота з цифровими симуляторами для моделювання залишкового ресурсу насосних агрегатів та трубопровідної арматури. - Аналіз технічних карт і даних діагностики для визначення критичності вузлів. - Розробка плану ремонтів для конкретного підприємства з урахуванням ризиків та ресурсних обмежень. - Групова дискусія та обговорення результатів моделювання, обґрунтування прийнятих рішень.
5	Заключна частина (10 хвилин)	Підведення підсумків заняття: ключові принципи оцінки залишкового ресурсу, методи планування ремонтів та їх практичне значення. Відповіді на запитання слухачів. Надання рекомендацій щодо самостійного вдосконалення знань та подальшого використання отриманих компетентностей.

Висновки до розділу 4

У результаті розробки дидактичного проєкту викладання теми «Розробка сучасного нафтовидобувного обладнання», яка вивчається в процесі підвищення кваліфікації інженерного складу інженерно-конструкторського бюро, можна зробити такі висновки:

Системний підхід до підготовки інженерів дозволяє забезпечити комплексне засвоєння знань і навичок, необхідних для проєктування та вдосконалення сучасного нафтовидобувного обладнання, враховуючи технологічні, матеріалознавчі, безпекові та економічні аспекти.

Дидактичний проєкт включає логічно побудовану структуру навчального матеріалу, що поєднує теоретичні знання з практичними вправами, роботою з кейсами та цифровими симуляторами, що сприяє формуванню професійної компетентності інженерів.

Розробка навчальних матеріалів і методик дозволяє адаптувати процес підготовки до рівня попередньої підготовки слухачів, специфіки підприємства та типу обладнання, підвищуючи ефективність навчання та якість інженерних рішень.

Практикоорієнтований підхід забезпечує можливість відпрацювання навичок планування, моделювання та технічної діагностики обладнання, що значно знижує виробничі ризики та сприяє безпечній експлуатації нафтовидобувного обладнання.

Впровадження цифрових інструментів і симуляційних систем дозволяє інженерам відпрацьовувати складні технологічні процеси у віртуальному середовищі, прогнозувати залишковий ресурс обладнання та приймати обґрунтовані рішення щодо його модернізації чи ремонту.

Таким чином, розроблений дидактичний проєкт забезпечує ефективне підвищення кваліфікації інженерного складу інженерно-конструкторського бюро, сприяє формуванню професійних компетентностей та підвищенню якості і

безпеки сучасного нафтовидобувного обладнання, що є важливим фактором розвитку підприємств галузі та зниження виробничих ризиків.

ВИСНОВКИ

Роботу присвячено розробці ефективної системи професійної підготовки інженерного персоналу інженерно-конструкторського бюро.

У ході виконання магістерської роботи проведено літературний огляд нормативної документації та науково-технічної літератури щодо сучасного нафтовидобувного обладнання. Розглянуто різноманітні методи підвищення ефективності нафтовіддачі пластів. В результаті оцінки ефективності, критеріїв застосування та можливості утилізації попутного нафтового газу обґрунтовано і обрано метод водогазового впливу, як найбільш підходящий і актуальний, для вирішення поставлених завдань.

Для розрахунку обрано технологічну схему реалізації водогазового впливу за допомогою насосно-ежекторного обладнання з найменшим можливим числом технологічного обладнання та рухомих частин, що у свою чергу дозволяє збільшити надійність обладнання.

Також було розроблено дидактичний проєкту викладання теми «Розробка сучасного нафтовидобувного обладнання», який забезпечує ефективне підвищення кваліфікації інженерного складу інженерно-конструкторського бюро, сприяє формуванню професійних компетентностей та підвищенню якості і безпеки сучасного нафтовидобувного обладнання, що є важливим фактором розвитку підприємств галузі та зниження виробничих ризиків.

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., Стрельніков В.Ю., Стрельніков 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. Стрельніков, М. В. Стрельніков. – Полтава : АСМІ, 2020. – 303 с.
5. Методика професійної освіти : навч. посібник для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти за спеціальністю 015 «Професійна освіта» галузі знань 01 «Освіта / Педагогіка» / Д. О. Чернишев, К. І. Почка, Г. Л. Корчова, Ю. С. Красильник, М. В. Руденко. – Київ : Компринт, 2024. – 224 с.
6. Методичні вказівки до виконання магістерської кваліфікаційної роботи для здобувачів освіти другого (магістерського) рівня вищої освіти денної та заочної форм навчання за спеціальністю 015 Професійна освіта (за спеціалізацією) / Укр. інж.-пед. акад.; упоряд.: О. Е. Коваленко, Н. О. Брюханова, Н.В. Божко, Н.В. Корольова – Харків: УПА, 2024. – 82 с.
7. Семенова А.В. Професійна педагогіка: Підручник. / Авт. : О.В. Грабовський, Л.В. Коломієць, О.С. Савельєва, А.В. Семенова, В.Ф. Яні; за заг. ред. А.В. Семенової. – Одеса: Бондаренко М.О., 2020. – 575 с.

8. Сайт дистанційної освіти Університету – Режим доступу: <https://moodle.karazin.ua>
9. EdEra – студія онлайн-освіти [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ed-era.com/>
10. Український освітній онлайн-портал для вчителів «На Урок» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://naurok.com.ua/>
11. «Освіторія Медіа» – онлайн медія про освіта та виховання [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://osvitoria.media/>
12. Освіта.UA [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://osvita.ua>
13. Всеосвіта – освітня платформа для професійного зростання педагогічних працівників та підвищення їх педагогічної майстерності [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://vseosvita.ua/>
14. РД 39-9-151-79 «Посібник із проектування та застосування методу заводнення з газоводяними сумішами».
15. Білецький В. С , Орловський В.М., Фик М.І. Технологія підвищення нафтогазоконденсатовилучення із пластів : НТУ «ХП», 188 с.
16. Пилипів Л. Д. Основи нафтогазової справи : навч. посіб. [Електронний ресурс] / Л. Д. Пилипів. – Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2012. – 312 с. – Режим доступу : <http://chitalnya.nung.edu.ua/osnovi-naftogazovoyi spravi.html-1>.
17. Білецький В.С., В.М.Орловський, М.І.Фик Технологія підвищення нафтогазоконденсатовилучення із пластів. - Х.: НТУ «ХП», 2025. 181 с.
18. Q-x. Feng. A visual micro-model study: the mechanism of water alternating gas displacement in porous media / Q-x. Feng, L-c. Di, Z-y. Chen. SPE 89362.
19. Орловський В. М., Білецький В. С., Вітрик В. Г. Технологія розробки нафтових родовищ. [Текст]: 2-ге видання, навч. посіб. для студ спеціальності 185 «Нафтогазова інженерія та технології» / В. М. Орловський, В. С. Білецький, В. Г. Вітрик; ХНУМГ ім.О.М. Бекетова; НТУ «ХП». – Львів: «Новий Світ - 2000», 2020. 243 с. <https://repository.kpi.kharkov.ua/items/6d7bccf3-0dcf-49d7-b5ca049da966a92d>

20. Орловський В. М., Білецький В. С., Вітрик В. Г., Сіренко В. І. Технологія розробки газових і газоконденсатних родовищ. Харків: Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, НТУ «Харківський політехнічний інститут». Львів, Видавництво «Новий Світ – 2000», 2020. – 311 с. <https://repository.kpi.kharkov.ua/items/dfbbed76-86cb-4512-8242>

21. Орловський В. М. Технологія видобування газу і газового конденсату : навч. посіб. для студентів спеціальності 185 "Нафтогазова інженерія та технології" / В. М. Орловський, В. С. Білецький, В. І. Сіренко ; Редакція "Гірничої енциклопедії". — Полтава : НТП "Бурова техніка" ; Львів : Новий Світ – 2000, 2023. 358 с. https://repository.kpi.kharkov.ua/items/6626d032-8760-4cdf_a0d7-2e6b51ba171f

22. Білецький В. С., Орловський В. М., Вітрик В. Г. Основи нафтогазової інженерії [Текст]: підруч. для студ. спец. 185 «Нафтогазова інженерія та технології» / Білецький В. С., Орловський В. М., Вітрик В. Г.; НТУ «ХПІ», ХНУМГ ім. О. М. Бекетова. – Полтава: ТОВ “АСМІ”, 2018. – 415 с. <https://repository.kpi.kharkov.ua/server/api/core/bitstreams/8d67d6fa-2d73-4326-9156-6f0237f6c470/content>

23. Орловський В. М. Нафтогазовилучення з важкодоступних і виснажених пластів : посібник для студ. спеціальності 185 4 "Нафтогазова інженерія та технології" / В. М. Орловський, В. С. Білецький, В. І. Сіренко ; Харків. нац. ун-т міського господарства ім. О. М. Бекетова ; Нац. техн. ун-т "Харків. політехн. ін-т". – Львів, Новий Світ – 2000, 2023. – 312 с. <https://repository.kpi.kharkov.ua/items/7919e89d-89f6-4b29-a232-a6b551ea8d3b ВБН В.2.3-00013741-09:2009>

24. Бойко В. С. Розробка та експлуатація нафтових родовищ / В. С. Бойко. – К. : Реал-Принт, 2004. – 695 с..

16. Довідник з нафтогазової справи / [ред. В. С. Бойко, Р. М. Кондрат, Р. С. Яремійчук]. – Львів, 1996. – 620 с.

25. Експлуатаційникові газонафтового комплексу: довідник / [В. В. Розгонюк, Л. А. Хачикян, М. А. Григіль, О. С. Удалов, В. П. Нікішин]. – К. : Росток, 1998. – 430 с.

26. Коцкулич Я. С. Буріння нафтових і газових свердловин / Я.С.Коцкулич, Я.М.Кочкодан. – Коломия, 1999. – 504с.15. ДБН А.3.1-5:2009 «Організація будівництва».

19. Бойко В. С., Бойко Р.В.Тлумачно-термінологічний словник довідник з нафти і газу. Київ: Міжнародна економічна фундація. Тт. 1-2, 2004–2006рр. 560 + 800 с.

27. Проектування бурового і нафтогазопромислового обладнання / [БілецькийВ.С., ВітрикВ.Г., МатвієнкоА.М., ОрловськийВ.М., СавикВ.М., РойМ.М. та ін.]. –Полтава: ПолтНТУ, 2015. –192с.

28. Бойко В. С. Технологія розробки нафтових родовищ / В.С.Бойко. – Івано-Франківськ: Нова Зоря, 2011. –509с.

29. Інтенсифікація припливу вуглеводнів у свердловину / [КочмарЮ.Д., СвітлицькийВ.М., СинюкБ.Б., ЯремійчукР.С.]. –Львів: Центр Європи, 2004. – Книга 1. –352с.

30. Інтенсифікація припливу вуглеводнів у свердловину / [КочмарЮ.Д., СвітлицькийВ.М., СинюкБ.Б., ЯремійчукР.С.]. –Львів: Центр Європи, 2004. – Книга 2. –352с.

31. Яремійчук Р. С. Освоєння свердловин: Довідникове видання / Р.С.Яремійчук, Я.С.Яремійчук. –Львів: Центр Європи, 2007. –368с.

32. Технологія і техніка буріння: узагальнювальна довідкова книга / [Войтенко В.С., Вітрик В.Г., Яремійчук Р.С., Яремійчук Я.С.]. –Львів: Центр Європи, 2012. –708с.

33. Українська нафтогазова енциклопедія / за загальною редакцією В. С. Іванишина. — Львів : Сполом, 2016. — 603 с. : іл., табл. — ISBN 9789669191403.