

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

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

До захисту

Завідувач кафедри  
В.О. директорка ННІС  
Г.С. Гавриш

МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

на тему: Підвищення ефективності застосування технологічного  
обладнання при бурінні свердловин на депресії

Пояснювальна записка

Керівник

Ст. викладач Сліченко Р.О.  
посада, наук. ступінь, ПІБ  
СВ  
підпис, дата.

Виконавець роботи

Шинь Артем Федорович  
студент, ПІБ  
група 602-МН  
Шинь  
підпис, дата

Консультант за 1 розділом

к.т.н. доц Михайлова О.В.  
посада, наук. ступінь, ПІБ, підпис

Консультант за 2 розділом

к.т.н. Савчук В.М.  
посада, наук. ступінь, ПІБ, підпис

Консультант за 3 розділом

к.т.н. Савчук В.М.  
посада, наук. ступінь, ПІБ, підпис

Консультант за 4 розділом

к.т.н. доц Глебова Т.М.  
посада, наук. ступінь, ПІБ, підпис

Дата захисту 22.04.2025р.

## АНОТАЦІЯ

У магістерській роботі розроблені наступні розділи:

1. У розділі “Вибір та опис технологічного обладнання” вибрана бурова установка, за допомогою якої будуть здійснюватися технологічні операції в процесі спорудження свердловини глибиною 4700 м, описана актуальність проблеми промивання свердловин пінистими розчинами, необхідність розробки обладнання для створення піни з необхідними параметрами та принципової схеми обв'язки свердловини, яка забезпечить первинне розкриття продуктивних горизонтів з аномально низьким пластовим тиском із невеликими затратами на модернізацію циркуляційної системи бурових установок.

2. В розділі “Опис технічної пропозиції” проведено обґрунтування доцільності та економічної ефективності введення запропонованих технічних рішень з модернізації обладнання при бурінні свердловин на депресії, запропонована модернізована конструкція піногенеруючого пристрою для змішування рідини з повітрям, обґрунтовано її технічну доцільність.

3. В розділі “Дослідно-конструкторська робота” наведено комп'ютерні дослідження піногенеруючого пристрою, дано рекомендації геометричних розмірів його моделі на основі відпрацьованої програми та методики дослідження траєкторії руху потоків рідини, повітря і суміші, розподілу тиску, швидкості, температури по всій робочій довжині пристрою.

4. В розділі “Розрахунки працездатності” проведені розрахунки довжини камери змішування змішувача рідини з повітрям для кожного режиму роботи бурового насоса та різної компоновки змішувача, побудовані графічні залежності.

5. В розділі “Монтаж і експлуатація обладнання” виконані організаційні роботи з монтажу та експлуатації обладнання насосно-циркуляційного комплексу, підготовчі роботи перед експлуатацією змішувача рідини з повітрям, розрахована кількість робітників бригади для монтажу насосно-циркуляційної системи. При аналізі особливостей роботи обладнання визначені основні небезпечні та шкідливі фактори, що діють на працюючих в процесі експлуатації обладнання насосно-циркуляційного комплексу та розглянуті технічні засоби, які передбачаються для зменшення або усунення дії шкідливих і небезпечних виробничих факторів.

Навчально-науковий інститут нафти і газу

Кафедра нафтогазової інженерії та технологій

Освітньо-кваліфікаційний рівень: Магістр

Спеціальність 185 Нафтогазова інженерія та технології

(цифри і літери)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри НГІТ

*В. А. Шевченко*  
"\_\_\_" \_\_\_\_\_ 20\_\_ року

## З А В Д А Н Н Я НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Шиш Артем Федорович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Підвищення ефективності застосування технологічного обладнання при бурінні свердловин на депресії

Керівник роботи ст. викладач Сліченко Роман Олександрович

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

затверджена наказом закладу вищої освіти від "09" 08 2024 року № 889/24

2. Строк подання студентом роботи 28.12 2024 року

3. Вихідні дані до роботи \_\_\_\_\_

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

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

5. Перелік графічного матеріалу

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

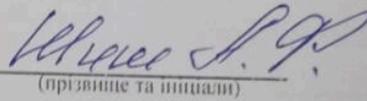
6. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Етапи підготовки	Термін виконання
1	Інформаційно-оглядова частина	14.10-25.10
2	Експериментальна частина	28.10-15.11
3	Теоретична частина (Аналітика. Статистика. Моделювання)	01.07-14.07
4	Впровадження результатів досліджень	09.12-27.12
5	Оформлення та узгодження роботи	30.12-12.01
6	Попередні захисти робіт	13.01-17.01
7	Захист магістерської роботи	20.01-24.01

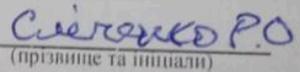
Студент

  
 (підпис)

  
 (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

  
 (підпис)

  
 (прізвище та ініціали)

## ЗМІСТ

	Стор.
Вступ.....	4
1. Вибір та опис технологічного обладнання.....	7
1.1 Розрахунок та вибір основного технологічного обладнання.....	7
1.2 Актуальність проблеми промивання свердловин пінистими розчинами .....	16
2. Опис технічної пропозиції.....	24
2.1 Технології буріння свердловин на депресії .....	24
2.2 Оцінка економічної ефективності.....	35
3. Дослідно-конструкторська робота .....	44
3.1 Дослідження ежекційного односоплового піногенеруючого пристрою.	44
3.2 Аналіз результатів комп'ютерного дослідження піногенеруючого устаткування .....	61
4. Розрахунки працездатності.....	64
4.1 Розрахунок параметрів в камері змішування змішувача рідини з повітрям .....	64
4.2 Розрахунок довжини камери змішування.....	71
5. Монтаж і експлуатація обладнання.....	83
5.1 Організація робіт з монтажу насосно-циркуляційної системи бурової установки .....	83
5.2 Експлуатація та ремонт обладнання.....	89
5.3 Охорона праці при монтажі та експлуатації обладнання.....	93
Висновки.....	100
Список використаної літератури .....	103

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Буріння нафтогазових свердловин на депресії пов'язане із значними складнощами, а саме: велике поглинання бурового розчину, навіть до катастрофічного, та пов'язані з цим значні витрати на постачання хімічних реагентів, приготування промивальних рідин, спуску проміжних колон, тампонажних робіт і т.п.; виникнення в процесі буріння свердловин ускладнень, пов'язаних з розмиванням стінок свердловин, каверноутвореннями, накопиченням на вибої шламу, прихоплюванням і заклинюванням бурового інструменту та інше; при розкриванні нафтогазоносних горизонтів можливе закупорювання буровим розчином продуктивного пласта і неотримання очікуваного ефекту.

Занобігти цим ускладненням можна шляхом використання в якості бурового розчину газорідних сумішей, які мають цілий ряд переваг в порівнянні з промивальними рідинами і дають можливість усунути вище перераховані негативні явища.

Найбільш розповсюдженими в нафтогазовій промисловості є аеровані рідини та піни. У нашому випадку розглядаються піни та обладнання, що пов'язано з ними. При бурінні з промиванням вибою пінами порівняно з буровими розчинами збільшується механічна швидкість буріння в твердих породах (приблизно в 4 рази), є можливість запобігання поглинанню в пористих та тріщинних породах і кольматації проникних пластів. При розкритті та освоєнні продуктивних горизонтів продуктивність свердловини зростає в 1,5 – 2 рази з одночасним скороченням термінів освоєння в 4 – 5 разів.

Процес піноутворення є складним, тому що на утворення якісної піни впливають фізико-хімічні, фізико-технічні та інші фактори. Як правило, для отримання піни використовують піногенеруючі пристрої різних конструкцій і принципів роботи. Всі існуючі пристрої можуть бути рекомендовані для буріння неглибоких геолого-розвідувальних, геофізичних та іншого призначення свердловин. Також має місце сучасна інформація із доступних

джерел, що на даний час в практиці буріння нафтогазових свердловин з піною відсутнє обладнання, яке дозволяє формувати піну із певними заданими структурою і дисперсністю.

Це все ще раз підтверджує актуальність проблеми і необхідність подальших науково-дослідницьких робіт, направлених на підвищення ефективності пінної системи під час процесу буріння пінистими розчинами.

**Мета роботи.** Метою даної роботи є підвищення ефективності піногенеруючих пристроїв насосно-циркуляційних систем бурових установок при бурінні свердловин на депресії.

**Об'єкт дослідження.** Процеси аерації та піноутворення, що протікають в піногенеруючих пристроях насосно-циркуляційної системи.

**Предмет дослідження.** Вдосконалення та вибір характеристик піногенеруючих пристроїв ежекційного типу насосно-циркуляційних систем бурових установок.

**Наукова новизна отриманих результатів.**

- удосконалено математичні моделі руху потоків рідини, повітря та піни через конструктивні елементи піногенеруючого пристрою та окремі елементи обладнання насосно-циркуляційної системи;

- науково обгрунтований метод вибору оптимальних конструктивних форм елементів піногенеруючих пристроїв, які впливають на формування потоків рідини, повітря і піни.

**Можливі результати, які очікуються при виконанні роботи, їхня новизна та значення.** На основі проведених досліджень визначені раціональні геометричні форми та параметри, встановлені оптимальні режими роботи піногенеруючих пристроїв, які є основою для створення нових вискоелективних піногенеруючих пристроїв. Запропоновано низку методів та засобів конструктивного і технологічного характеру для підвищення ефективності промивання свердловин пінистими розчинами.

**Апробація роботи.** Основні положення магістерської роботи доповідались та обговорювались на 75-й науковій конференції професорів, викладачів,

наукових працівників, аспірантів та студентів Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», секція нафтогазова інженерія та технології, м. Полтава, 20.05.2024 р.

### **Структура й обсяг магістерської роботи.**

Магістерська робота складається із вступу, п'яти розділів, загальних висновків, списку використаних літературних джерел, який містить 65 найменувань, додатків. Основна частина магістерської роботи викладена на 102 сторінках комп'ютерного набору і містить 48 рисунків і 14 таблиць. Повний обсяг магістерської роботи становить 108 сторінок.

# 1 ВИБІР ТА ОПИС ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ

## 1.1 Розрахунок та вибір основного технологічного обладнання

### 1.1.1 Вихідні дані для магістерської роботи

Конструкція свердловини глибиною 4700 м подана на рис. 1.1.

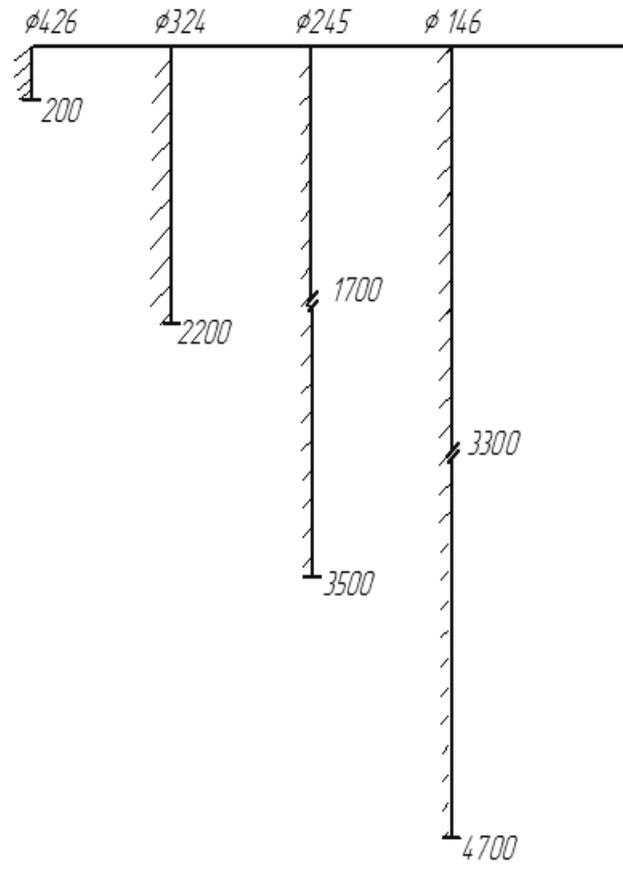


Рисунок 1.1 – Конструкція свердловини глибиною 4700 м

Свердловина (рис. 1.1) має наступну конструкцію:

кондуктор  $d = 426$  мм спускається на глибину 200 м з метою перекриття верхніх нестійких порід, схильних до поглинання. Цементується по всій довжині;

проміжна колона  $d = 324$  мм спускається на глибину 2200 м однією секцією з метою перекриття крейдових і юрських відкладів, де можливі звуження ствола, жолобоутворення і поглинання. Цементується колона по всій

довжині;

проміжна колона  $d = 245$  мм спускається на глибину 3500 м двома секціями із стиковкою на глибині 1700 м з метою перекриття верхніх і середніх пермських відкладів, де можливі водопрояви, а також кам'яновугільних і поляницьких відкладів верхньої пермі, схильних до обвалів і жолобоутворень. Цементується колона по всій довжині;

експлуатаційна колона  $d = 146$  мм спускається до проектної глибини 4700 м двома секціями із стиковкою на глибині 3300 м. Цементується колона по всій довжині.

### 1.1.2 Розрахунок діаметрів доліт

Діаметр долота при бурінні під кожну обсадну колону визначаємо за формулою:

$$D_{\text{дол.}} = D_m + 2\Delta, \quad (1.1)$$

де  $D_m$  – зовнішній діаметр муфти колони обсадних труб [19];

$2\Delta$  – величина проміжку між муфтою і стінками свердловини [19].

Під кондуктор  $D_{\text{дол.}}^{426} = 451 + 45 = 496$  мм; приймаємо  $D_{\text{дол.}}^{426} = 490$  мм.

Під проміжну колону  $D_{\text{дол.}}^{324} = 351 + 37 = 388$  мм; приймаємо  $D_{\text{дол.}}^{324} = 394$  мм.

Під проміжну колону  $D_{\text{дол.}}^{245} = 270 + 25 = 295$  мм; приймаємо  $D_{\text{дол.}}^{245} = 295$  мм.

Під експлуатаційну колону  $D_{\text{дол.}}^{146} = 166 + 20 = 186$  мм; приймаємо  $D_{\text{дол.}}^{146} = 190$  мм.

### 1.1.3 Розрахунки обсадних і бурильних колон

#### 1.1.3.1 Визначення довжини ОБТ

Довжину ОБТ при бурінні під кожну обсадну колону визначаємо за формулою

$$\ell_{\text{ОБТ.}} = \frac{K \cdot G}{q_{\text{ОБТ.}} \left(1 - \frac{j_{\text{б.р.}}}{j_m}\right)}, \quad (1.2)$$

де  $K$  – коефіцієнт, який ураховує перевищення ваги ОБТ над навантаженням на долото; приймаємо  $K=1,25$ ;

$G$  – осьове навантаження на долото [19];

$q_{ОБТ}$  – вага 1м.п. ОБТ [19];

$j_{б.р.}$  – питома вага бурового розчину; приймаємо згідно ГТН;

$j_m$  – питома вага матеріалу труб; приймаємо  $j_m=7850\text{кг/м}^3$ .

Під кондуктор:

$$\ell_{ОБТ}^{426} = \frac{1,25 \cdot 70 \cdot 10^3}{1920 \left(1 - \frac{1140}{7850}\right)} = 55 \text{ м}$$

Під проміжну колону  $\phi 324$  мм:

$$\ell_{ОБТ}^{324} = \frac{1,25 \cdot 210 \cdot 10^3}{1920 \left(1 - \frac{1180}{7850}\right)} = 160 \text{ м}$$

Під проміжну колону  $\phi 245$  мм:

$$\ell_{ОБТ}^{245} = \frac{1,25 \cdot 190 \cdot 10^3}{1890 \left(1 - \frac{1190}{7850}\right)} = 150 \text{ м}$$

Під експлуатаційну колону:

$$\ell_{ОБТ}^{127} = \frac{1,25 \cdot 180 \cdot 10^3}{970 \left(1 - \frac{1400}{7850}\right)} = 285 \text{ м.}$$

### 1.1.3.2 Визначення довжини бурильного інструменту

Розраховуємо бурильний інструмент при бурінні під експлуатаційну колону.

Для I-ої секції бурильної колони приймаємо бурильну трубу  $\phi 114$ мм із товщиною стінки 8 мм групи міцності М. Визначаємо допустиму глибину бурильних труб за формулою:

$$\ell_{\text{дон}}^I = \frac{Q_{\text{дон}}^I - \ell_{\text{ОБТ}} \cdot q_{\text{ОБТ}} \left(1 - \frac{j_{\text{б.р.}}}{j_{\text{м}}}\right)}{q_{\text{нр.}}^I \left(1 - \frac{j_{\text{б.р.}}}{j_{\text{м}}}\right)} + \ell_{\text{ОБТ.}}, \quad (1.3)$$

де  $q_{\text{нр.}}^I$  – вага 1 м.п. бурильної труби [19];

$Q_{\text{дон}}^I$  – допустиме розтягуюче навантаження на тілі труби; визначаємо за формулою

$$Q_{\text{дон}}^I = \frac{Q_p^I}{K}, \quad (1.4)$$

де  $Q_p$  – розтягуюче навантаження, при якому напруження у тілі труби досягає межі текучості [19];

$K$  – коефіцієнт запасу міцності; приймаємо для роторного буріння  $K=1,4$ .

$$Q_{\text{дон}}^I = \frac{2400}{1,4} = 1714,3 \text{ кН};$$

$$\ell_{\text{дон}}^I = \frac{1714,3 \cdot 10^3 - 285 \cdot 970 \left(1 - \frac{1400}{7850}\right)}{254 \cdot \left(1 - \frac{1400}{7850}\right)} + 285 = 7410 \text{ м}$$

Верхню частину колони складаємо із труб діаметром 127 мм із товщиною стінки 8 мм групи міцності М. Визначаємо допустиму довжину 2-ої секції за формулою

$$\ell_{\text{дон}}^{II} = \frac{Q_{\text{дон}}^{II} - Q_{\text{дон}}^I}{q_{\text{нр.}}^{II} \left(1 - \frac{j_{\text{б.р.}}}{j_{\text{м}}}\right)}, \quad (1.5)$$

де  $q_{\text{нр.}}^{II}$  – вага 1 м.п. бурильної труби 2-ої секції;

$Q_{\text{дон}}^{II}$  – допустиме розтягуюче навантаження на тілі труби 2-ої секції.

$$Q_{\text{дон}}^{II} = \frac{Q_p^{II}}{K}. \quad (1.6)$$

$$Q_{\text{дон}}^{II} = \frac{2700}{1,4} = 1928,6 \text{ кН};$$

$$\ell_{\text{дон.}}^{\text{II}} = \frac{1928,6 \cdot 10^3 - 1714,3 \cdot 10^3}{279 \cdot \left(1 - \frac{1400}{7850}\right)} = 935 \text{ м}$$

Третю секцію бурильних труб складемо із труб діаметром 140 мм із товщиною стінки 8 мм групи міцності М. Допустиму довжину визначаємо аналогічно допустимій довжині 2-ої секції за формулами

$$\ell_{\text{дон.}}^{\text{III}} = \frac{Q_{\text{дон.}}^{\text{III}} - Q_{\text{дон.}}^{\text{II}}}{q_{\text{нр.}}^{\text{III}} \cdot \left(1 - \frac{j_{\text{б.п.}}}{j_{\text{м}}}\right)}; \quad (1.7)$$

де  $q_{\text{нр.}}^{\text{III}}$  – вага 1 м.п. бурильної труби 3-ї секції;

$Q_{\text{дон.}}^{\text{III}}$  – допустиме розтягуюче навантаження на тілі труби 3-ї секції

$$Q_{\text{дон.}}^{\text{III}} = \frac{Q_{\text{п.}}^{\text{III}}}{K}. \quad (1.8)$$

$$Q_{\text{дон.}}^{\text{III}} = \frac{2950}{1,4} = 2107,2 \text{ кН};$$

$$\ell_{\text{дон.}}^{\text{II}} = \frac{2107,2 \cdot 10^3 - 1928,6 \cdot 10^3}{331 \cdot \left(1 - \frac{1400}{7850}\right)} = 657 \text{ м}$$

Відповідно проведених розрахунків складаємо таблиці вибору компонування бурильного інструменту.

Таблиця 1.1 – Робочий інструмент при бурінні під експлуатаційну колону

Умовний діаметр бурильної труби, мм	Товщина стінки, мм і група міцності.	Вага 1 м.п., Н	Довжина, м
1	2	3	4
140	8М	331	657
127	8М	279	935
114	8М	254	2823
ОБТ-146	-	970	285

Таблиця 1.2 – Робочий інструмент при бурінні під проміжну колону  $\phi$  245 мм

Умовний діаметр бурильної труби, мм	Товщина стінки, мм і група міцності.	Вага 1 м.п., Н	Довжина, м
1	2	3	4
127	8М	279	467
114	8М	254	2823
ОБТ-197	-	1890	150

Таблиця 1.3 – Робочий інструмент при бурінні під проміжну колону  $\phi$  324 мм

Умовний діаметр бурильної труби, мм	Товщина стінки, мм і група міцності.	Вага 1 м.п., Н	Довжина, м
1	2	3	4
114	8М	254	2040
ОБТ-203	-	1920	160

Таблиця 1.4 – Робочий інструмент при бурінні під кондуктор

Умовний діаметр бурильної труби, мм	Товщина стінки, мм і група міцності.	Вага 1 м.п., Н	Довжина, м
1	2	3	4
114	8М	254	145
ОБТ-203	-	1920	55

### 1.1.3.3 Визначення ваги колони бурильних і обсадних труб

Вагу бурильного інструмента при бурінні під кожну обсадну колону визначаємо за формулою:

$$Q_{\phi.k.} = (Q_{\phi.mp.} + Q_{OBT})K; \quad (1.9)$$

де  $Q_{\phi.mp.}$  - вага колони бурильних труб;

$Q_{OBT}$  - вага колони ОБТ;

K – коефіцієнт прихвату; приймаємо K=1,3

Під експлуатаційну колону:

$$Q_{\text{б.к.}}^e = (331 \cdot 657 + 279 \cdot 935 + 254 \cdot 2823 + 970 \cdot 285) \cdot 1.3 = 1913371,2 \text{ Н} \approx 1913 \text{ кН}$$

Під проміжну колону  $\phi$  245 мм:

$$Q_{\text{б.к.}}^{np} = (279 \cdot 467 + 254 \cdot 2823 + 1890 \cdot 150) \cdot 1.3 = 1470085,5 \text{ Н} \approx 1470 \text{ кН}$$

Під проміжну колону  $\phi$  324 мм:

$$Q_{\text{б.к.}}^{np} = (254 \cdot 2040 + 1920 \cdot 160) \cdot 1.3 = 1072968 \text{ Н} \approx 1073 \text{ кН}$$

Під кондуктор:

$$Q_{\text{б.к.}}^k = (254 \cdot 145 + 1920 \cdot 55) \cdot 1.3 = 185159 \text{ Н} \approx 185 \text{ кН}$$

Вагу кожної секції обсадних колон визначаємо згідно з конструкцією свердловини, приймаючи коефіцієнт запасу допустимого навантаження на гаку для обсадної колони  $k = 1,15$ .

Визначаємо вагу кожної секції експлуатаційної колони діаметром 146мм, яка спускається двома секціями:

1-ша секція довжиною 1400 м:

$$Q_{\text{е.}}^I = (477 \cdot 279 + 2823 \cdot 254 + 350 \cdot 328 + 1050 \cdot 294) \cdot 1,15 = 1464668,8 \text{ Н} \approx 1465 \text{ кН}$$

2-га секція довжиною 3300 м:

$$Q_{\text{е.}}^{II} = (800 \cdot 393 + 2150 \cdot 360 + 350 \cdot 328) \cdot 1,15 = 1383680 \text{ Н} \approx 1384 \text{ кН}$$

Визначаємо вагу кожної секції проміжної колони діаметром 245мм, яка спускається двома секціями:

1-ша секція довжиною 1800 м:

$$Q_{\text{np.}}^I = (1700 \cdot 254 + 1800 \cdot 705) \cdot 1,15 = 1955920 \text{ Н} \approx 1956 \text{ кН}$$

2-га секція довжиною 1700 м:

$$Q_{\text{np.}}^{II} = 1700 \cdot 705 \cdot 1,15 = 1378275 \text{ Н} \approx 1378 \text{ кН}$$

Визначаємо вагу проміжної колони діаметром 324мм, яка спускається на глибину 2000 м:

$$Q_{\text{np.}} = (1450 \cdot 992 + 550 \cdot 835 + 200 \cdot 757) \cdot 1,15 = 2356407,5 \text{ Н} \approx 2356 \text{ кН}$$

Визначаємо вагу кондуктора діаметром 426мм і довжиною 200м:

$$Q_{\text{к.}} = 200 \cdot 1113 \cdot 1,15 = 255990 \text{ Н} \approx 256 \text{ кН}$$

На основі розрахунку обсадних колон і вибору бурильного інструмента

складаємо зведену таблицю ваги всіх колон.

Таблиця 1.5 – Зведена вагова характеристика обсадних і бурильних колон

№ <i>n/n</i>	Назва колони	Діаметр труб, мм	Товщина стілки, мм і група міцн.	Глибина спуску, м	Вага секції, кН	Вага колони, кН
1	2	3	4	5	6	7
1	Бурильний інструмент під експлуатаційну колону	140 127 114 ОБТ-146	8М 8М 8М -	657 935 2823 285	1913	1913
2	Бурильний інструмент під проміжну колону $\varnothing$ 245 мм	127 114 ОБТ-197	8М 8М -	467 2823 150	1470	1470
3	Бурильний інструмент під проміжну колону $\varnothing$ 324 мм	114 ОБТ-203	8М -	2040 160	1073	1073
4	Бурильний інструмент під кондуктор	114 ОБТ-203	8М -	145 55	185	185
5	Експлуатаційна колона	127 114 146	8М 8М 9Д 8Д	477 2823 350 1050	Іс. - 424	1465
		146	11Е 12К 10Е 10К 10Д 9Д	500 300 300 1250 600 350	Іс. - 1384	1384
6	Проміжна колона $\varnothing$ 245 мм	114 245	8М 12К 12Д	1700 300 1500	Іс. - 1269	1956
		245	12Е 12К	700 1000	Іс. - 1378	1378
7	Проміжна колона $\varnothing$ 324 мм	324	12Е 10К 10Д 9Д	1450 350 200 200	2356	2356
8	Кондуктор	426	12Д	200	256	256

#### 1.1.4 Вибір категорії, класу та основних параметрів бурової установки

Вибір бурової установки для одного і того ж класу визначається рядом чинників: умови буріння, метою буріння, типом свердловин, способом буріння, технологією буріння, геологічними умовами.

Згідно ГОСТ 16293-89 вибираємо п'ятий клас, для бурових установок якого регламентовані наступні параметри, що мають відношення до проектного обладнання:

$$G_{\text{б.у.}} \geq G_{\text{max}}; \quad 2500 \geq 2356.$$

Тому вибираємо бурову установку НБО-Е з найбільшою вантажопідйомністю 2500 кН. Комплектність та технічна характеристика вибраної бурової установки наведена у табл. 1.7.

Таблиця 1.6 – Комплектність та технічна характеристика бурової установки  
НБО-Е

Параметри	Бурова установка
1	2
Допустиме навантаження на гаку, кН	2500
Умовна глибина буріння, м,	5000
Загальна встановлювальна потужність, кВт	1650
Найбільша оснастка талевого механізму	5x6
Діаметр талевого каната, мм	32
Привід бурової установки	електричний
Привід лебідки, ротора і насосів	змішаний
Лебідка	ЛБУ-1200
Потужність лебідки, кВт	809
Буровий насос	УНБ-600
Число насосів	2
Потужність насоса, кВт	600
Найбільший тиск на виході і насоса, МПа	25
Найбільша ідеальна подача насоса, м /с	0,051
Ротор	Р – 560

Діаметр прохідного отвору в столі ротора, мм	560
Потужність приводу ротора, кВт	368
Статична вантажопідйомність ротора, т	320
Число швидкостей ротора	4
Вертлюг	УВ - 250
Статична вантажопідйомність вертлюга, т	250
Бурова вежа	ВБ – 53 - 320
Вантажопідйомність вежі, т	320
Кронблок	УКБ – 6 - 270
Вантажопідйомність кронблока, т	270
Зовнішній діаметр шківів, мм	1120
Талевий блок	УТБ – 5 - 225
Вантажопідйомність талевого блока, т	225
Дизель–генераторна станція	ТМЗ – ДЄ – 104 - СЗ
Потужність станції, кВт	100x2
Компресори: з дизельним приводом; з електричним приводом	К5 – М; КСЄ – 5М
Тиск повітря, МПа	0,8
Подача, приведена до умов усмоктування, м/с	0,0835
Засоби механізації та автоматизації: подачі інструмента; спуско–підйомних операцій	ПКР-560; АКМ–3М2
Допоміжне гальмо	УТГ - 1450
Маса комплексу поставки, т	168

## **1.2 Актуальність проблеми промивання свердловин пінистими розчинами**

Кінцева мета буріння нафтових і газових свердловин – одержання припливу нафти або газу. Величина припливу і тривалість освоєння свердловин залежить від якості промивальної рідини, яка використовувалась при

розбурюванні продуктивного пласта, методу входження в продуктивний пласт та способу закінчування свердловин. Під первинним розкриттям пластів розуміють комплекс робіт, пов'язаних з розбурюванням продуктивного пласта, забезпеченням міцності і стійкості привибійної частини свердловини [19, 57].

Тривалі промислові спостереження і спеціальні дослідження показали, що промивальна рідина може суттєво вплинути на термін освоєння свердловини і величину припливу нафти або газу. Існує багато прикладів, коли свердловини, пробурені на неякісному глинистому розчині, не давали припливу нафти, хоча сусідні свердловини, пробурені з промиванням іншими рідинами, працювали з достатньо високими дебітами.

Оскільки головним фактором, який сприяє проникненню промивальної рідини та її фільтрату в продуктивний пласт, є надлишковий тиск у свердловині, необхідно при розкритті підтримувати рівновагу між тисками у свердловині й пласті. Тому густина промивальної рідини повинна бути такою, щоб статичний тиск її стовпа у свердловині дорівнював пластовому у тій точці пласта, де коефіцієнт аномальності найбільший.

В межах Дніпровсько-Донецької западини (ДДЗ) аномально низькі пластові тиски (АНПТ) можуть бути пов'язані із декількома факторами, а саме:

- зони розущільнення карбонатних порід у відкладах башкирського ярусу, пов'язані з тріщинно-кавернизними вапняками горизонту Б-10 (башкирська карбонатна "плита"). В процесі буріння башкирської карбонатної "плити" з градієнтами пластових тисків 0,95–1,0 спостерігаються значні та катастрофічні поглинання промивальної рідини. Прикладом можуть бути ускладнення з поглинаннями бурового розчину в процесі спорудження св.2–Західна Вільшанська і св.1–Станична;

- зони з АНПТ відмічені в карбонатній нижньовізейській плиті на Селюхівському родовищі, де тріщинно-кавернозні вапняки мають градієнти пластових тисків 0,9-1,0. З цим явищем АНПТ пов'язані ускладнення в процесі буріння та освоєння св.5 і 6 Селюхівської площі;

- зони з АНПТ зустрічаються також в породах кори вивітрювання в

північній прибортовій та бортовій частинах ДДЗ. Наприклад, в процесі буріння та освоєння св.1-Кадницька визначені високопроникні породи кори вивітрювання з градієнтом пластових тисків 1,0;

- окрім зон з АНПТ, які зустрічаються в ДДЗ в процесі первинного розкриття пластів, існує проблема буріння свердловин на стадії дорозвідки відомих родовищ, коли нові свердловини треба пробурити в радіусі дренавання працюючих свердловин. Такі проблеми існують на багатьох родовищах в ДДЗ (наприклад, св.20 на Сахалінському родовищі).

За результатами геофізичних досліджень та випробувань пластів встановлено, що переважна більшість перспективних продуктивних горизонтів на розвідувальних площах Дніпровсько-Донецької западини розкривалась із значною репресією на пласт [58]. Такі умови, особливо при тривалому процесі розкриття, сприяють проникненню фільтрату та твердої фази промивальної рідини в продуктивні пласти.

Аналіз впливу технології розкриття продуктивних горизонтів на зміну проникності пластів у привибійній зоні та на продуктивність свердловин показав, що в процесі розкриття проходить зниження фільтраційних властивостей пластів, причому із збільшенням репресії найбільше знижується продуктивність свердловин, в яких продуктивні пласти характеризуються тріщинною проникливістю. Наявність тріщин сприяє проникненню в них не тільки фільтрату, але і твердих частинок промивальної рідини із наступним закупоренням не тільки тріщин, але і навколотріщинного простору [20, 105].

Таким чином, основними негативними наслідками використання промивальної рідини, яка створює значну репресію на продуктивний пласт, є:

- погіршення фільтраційної характеристики колекторів та подальше зниження продуктивності свердловини;

- збільшення терміну освоєння свердловини, а в деяких випадках неможливість отримання припливів та достовірної оцінки наявності вуглеводнів в пласті.

Це приводить до досить відчутного підвищення вартості робіт та

термінів спорудження свердловини.

При розкритті продуктивних горизонтів з коефіцієнтом аномальності нижчим 1,0 для промивання слід використовувати мінералізовані аеровані рідини з домішками поверхнево-активних речовин (ПАР) або рідини на нафтовій основі, а при низьких коефіцієнтах аномальності – піни і газоподібні агенти [55]. Газорідинні системи, що використовуються як самостійні очисні реагенти, діляться на тумани, аеровані рідини і піни.

Туман – дисперсна система, в якій крапельки рідини є дисперсною фазою, а повітря – дисперсійне середовище [85].

Аерованими називають промивальні рідини, в які введено газовий компонент, що надає їм нові властивості. Аерується розчин механічним шляхом – насиченням вихідного розчину повітрям або хімічним шляхом – обробкою розчину піноутворюючими ПАР.

Аеровані рідини є багатофазними дисперсними системами, в яких рідина є дисперсійним середовищем, а повітря (газ) – дисперсною фазою. В них бульбашки газу не зв'язані між собою, а мають, як правило, кулясту форму [59].

Однак аеровані рідини та пінні розчини є одними з найбільших забруднювачів довкілля, тому що перед повторним закачуванням промивальної суміші у свердловину проводиться повна дегазація з виділенням великої кількості газів і парів хімічних речовин із рідини [101, 104].

Будь-яка аерація дозволяє в широких межах регулювати густину промивальної рідини і тим самим зменшувати або збільшувати гідростатичний тиск на вибій. При механічній аерації за допомогою повітря або газу густина розчину може бути знижена до  $100 \text{ кг/м}^3$ , а при хімічній – до  $700 \text{ кг/м}^3$ . Якщо в аеровану рідину додають піноутворюючу ПАР (наприклад, оксиетилований поліфенол ОП-10), то вона сприяє утворенню дуже дрібних глобул повітря в аерованій рідині і перетворює останню в піну.

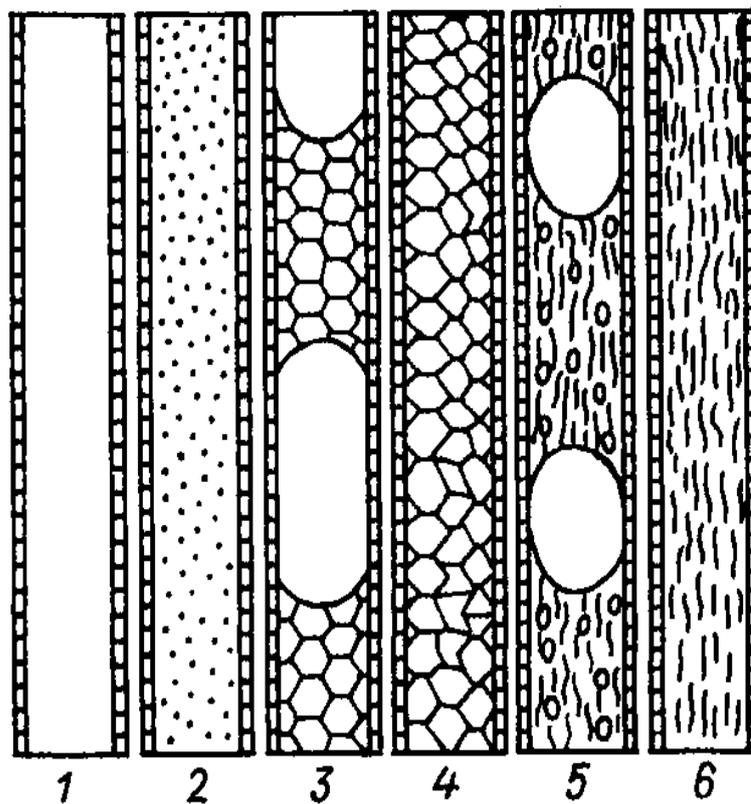
Піна – агрегативно нестійка дисперсна система, яка складається з бульбашок газу (дисперсної фази), що розділені плівками рідини (дисперсійного середовища) [22]. Основну частину об'єму піни (до 99%)

складає газоподібна фаза. Структура очисних агентів в одно- і багатофазному потоці схематично показана на рисунку 1.2.

Для визначення стану фаз в газорідній системі використовується показник ступеня аерації рідини  $u$ , який представляє собою відношення об'ємних витрат газу  $Q_g$  і рідини  $Q_p$  при атмосферному тиску, тобто

$$u = \frac{Q_g}{Q_p}. \quad (1.10)$$

При  $u < 60$  дисперсна система газ – рідина представляє собою аеровану рідину, при  $u = 60 \dots 300$  – піну, а при  $u > 300$  – туман.



1 – потік повітря (газу); 2 – туман; 3 – піна з пачками газу; 4 – стабільна піна; 5 – аерована рідина; 6 – рідина

Рисунок 1.2 – Структура очисних агентів в одно- і багатофазному потоці

Кратність піни  $K_n$  оцінюється відношенням об'єму піни  $V_n$  до об'єму рідини  $V_p$ , яка містить піноутворювач, тобто

$$K_n = \frac{V_n}{V_p}. \quad (1.11)$$

Даний показник змінюється в залежності від властивостей використовуваних ПАР, їх концентрації в розчині і способу отримання піни. До піни відноситься газорідинна система з кратністю  $K_n \geq 3,8$ ; при  $K_n < 3,8$  повітряно-рідинна суміш вважається емульсією газу в рідині.

Пінна система характеризується такими основними властивостями:

- піноутворююча здатність (пінистість) визначається об'ємом (в мл) або висотою стовпа (в мм) піни, яка утворюється з постійного об'єму розчину при забезпеченні певних умов протягом даного часу;
- стабільність (стійкість) піни, тобто час існування певного об'єму піни;
- дисперсність, тобто середній розмір бульбашок або розподіл бульбашок за розмірами;
- коефіцієнт теплопровідності є дуже важливим показником при бурінні у багаторічномерзлих породах.

Піни ефективно застосовуються при бурінні свердловин у твердих породах (вапняках, доломітах), у пористих та тріщинних поглинаючих пластах, при розкритті продуктивних пластів, освоєнні та капітальному ремонті свердловини в умовах аномально низьких тисків (0,3 – 0,8 від значень гідростатичного тиску). Піни також використовують при бурінні свердловин в багаторічномерзлих породах, оскільки вони запобігають розмерзанням порід та практично забезпечують номінальний діаметр свердловини [23, 60, 91, 96, 106 – 108].

Піна, у порівнянні з відомими циркулюючими агентами (газ, вода, глиниста промивальна рідина) володіє специфічними властивостями та перевагами. На основі аналізу практики буріння свердловин отримані ряд переваг пін [7]:

- порівняно із іншими промивальними рідинами піни дозволяють легко і в широкому діапазоні регулювати вибійний тиск як в процесі циркуляції, так і

в період проведення спуско-підіймальних операцій за рахунок зміни ступеня аерації;

- в'язкість піни можна регулювати в широких межах і в деяких випадках вона може значно перевищувати в'язкість інших промивальних рідин;

- використання піни майже повністю запобігає проникненню промивальної рідини в пласт за рахунок закупорюючої дії бульбашок піни;

- значно покращуються умови виносу частин вибуреної породи внаслідок прилипання їх до бульбашок повітря, а наявність стиснутого повітря в системі приводить до збільшення швидкості виходячого потоку; це дозволяє зменшити подачу насоса; як показали експерименти, при степені аерації 20 і більше подачу насоса можна зменшити на 50 %, що приведе до значного зниження гідродинамічного тиску на стінки свердловин;

- механічна швидкість проходки збільшується внаслідок збереження вибою в чистому вигляді, адсорбційного зниження твердості породи (ефект Ребіндера), а також зменшення гідродинамічного тиску на вибій свердловини;

- трьохфазна піна дозволяє зберегти стійкість стінок свердловини в процесі розкриття пластів з невисокими тисками, так як немає перепадів гідродинамічного тиску на стінки свердловини і показник фільтрації низький.

По 129 свердловинах БУ “Укрбургаз” і ОАО “Укрнафта” проведений аналіз проектних даних [31]. На основі виконаної оцінки впливу гідравлічних особливостей первинного розкриття інтервалів продуктивних горизонтів на стан фільтраційної характеристики пластів дається порада для спорудження свердловин з АНПТ використовувати промивальні рідини меншої густини (аеровані, інвертно-емульсійні).

## Висновки

За найбільшим навантаженням на гаку під час буріння свердловини глибиною 4700 м вибрана бурова установка НБО-Е, за допомогою якої будемо здійснювати технологічні операції в процесі спорудження даної свердловини.

Отже, виникає необхідність в розробці обладнання для створення піни з необхідними параметрами. Також необхідно розробити принципову схему обв'язки свердловини, яка забезпечить первинне розкриття продуктивних горизонтів з АНПТ із невеликими затратами на модернізацію циркуляційної системи найпоширеніших типів бурових установок. Усуненню даних недоліків присвячені наступні розділи магістерської роботи.

## 2 ОПИС ТЕХНІЧНОЇ ПРОПОЗИЦІЇ

### 2.1 Технології буріння свердловин на депресії

Досвід буріння нафтових і газових свердловин свідчить про те, що для деяких з них зростає вплив ускладнень на весь процес спорудження свердловин. Особливо це відноситься до родовищ з тривалим терміном експлуатації.

На рис. 2.1 показана динаміка зміни кількості ускладнень і аварій в процесі буріння по Тресту "Комплексних бурових робіт" за 2020 - 2023 роки. Промислові дані по закінчених буріннях свердловин показують, що ускладнення (поглинання бурового розчину і ін.) відбуваються в основному в пластах з аномально низьким пластовим тиском. Аналіз даних показує, що у всіх випадках поглинання бурового розчину відбувається внаслідок перевищення гідродинамічного тиску в свердловині над тиском пласта, тобто порушення балансу тисків в системі "свердловина-пласт".

При порівнянні заміряних в минулому пластових тисків з заново заміряними пластовими тисками після тривалої експлуатації в пробурених свердловинах на одних і тих же родовищах, виявилися значне зниження (в 7-10 разів) початкових пластових тисків.

Світова тенденція виснаження природних запасів вуглеводнів вимагає застосування більш досконалої техніки і технології буріння свердловин, так як "класичне" буріння вже не дозволяє, в достатній мірі, задовольнити потреби розкриття продуктивних пластів.

В останні роки в зарубіжній практиці буріння свердловин все більш широке поширення набуває застосування технології буріння в умовах депресії в системі "свердловина - пласт" [36].

Так, за період з 1977 по 1992 роки тільки по двох провінціях Канади: Альберта і Саскатчеван кількість свердловин, пробурених на ОПД, за рік збільшилася з 30 до 525 [36].

Однією з таких технологій, визнаної і застосовуваної в різних регіонах світу, є буріння з від'ємним диференціальним тиском (БВДТ), або буріння на депресії [30].

Технологія БВДТ дозволяє бурити нові свердловини в старих пластах з низьким тиском і являє собою буріння свердловин з динамічним гідростатичним напором меншим, ніж пластовий тиск. Від'ємний диференціальний тиск виникає, коли тиск в свердловині підтримується на рівні, нижчому, ніж пластовий тиск. Таким чином, буріння на депресії все частіше виявляється доцільним варіантом для ряду промислів, ступінь виснаження яких така, що тиск в продуктивному пласті значно падає.

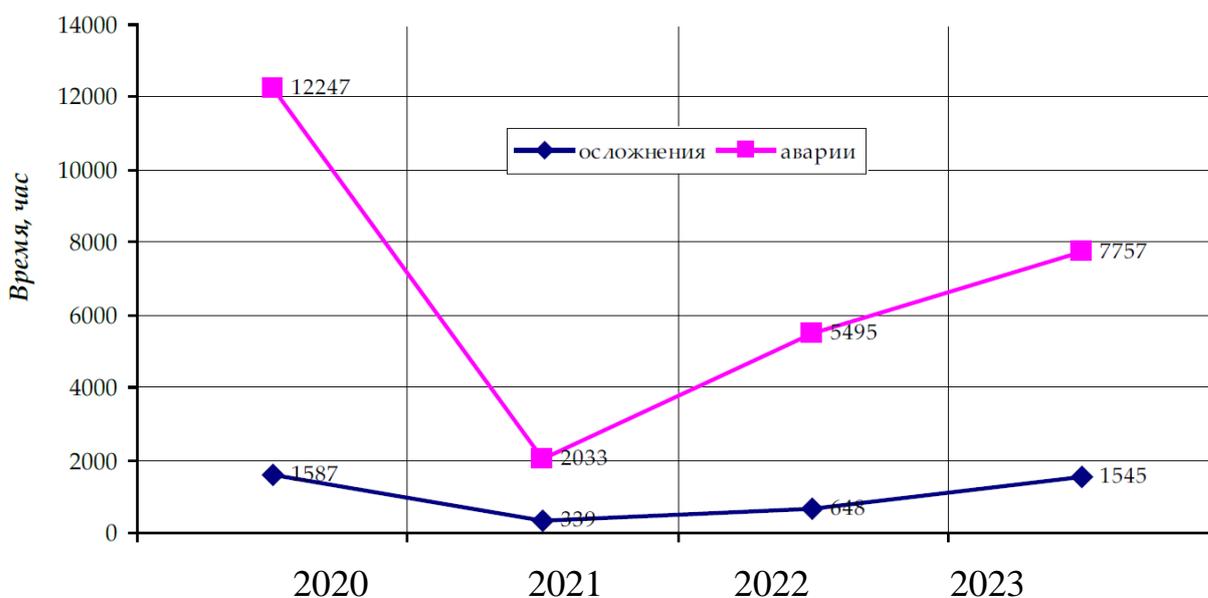


Рисунок 2.1 – Динаміка зміни кількості ускладнень та аварій за 2020-2023 роки

Розкривання пластів в умовах депресії створює передумови для збереження природного стану продуктивних порід. Традиційно буріння здійснюється на репресії, коли тиск  $P_{св}$  промивальної рідини в свердловині вище пластового тиску  $P_{пл}$ . Внаслідок цього є проникнення промивальної рідини в пласти і їх кольтатації (рис. 2.2). Буріння в умовах депресії, коли  $P_{св} < P_{пл}$ , навпаки, викликає приплив пластового флюїду в свердловину,

зберігаючи при цьому природні колекторські властивості порід. У світлі цього застосування методу БВДТ представляється вельми актуальним.

Буріння на "депресії" достатньо новий метод. Добрий він тим, що після розкриття продуктивного горизонту зі зниженим тиском стовпа рідини на привибійну зону і пласт, в свердловині практично не відбувається кольтатації привибійної зони, що згодом дуже позитивно позначається на дебіті свердловини.

Буріння на депресії

Буріння на репресії

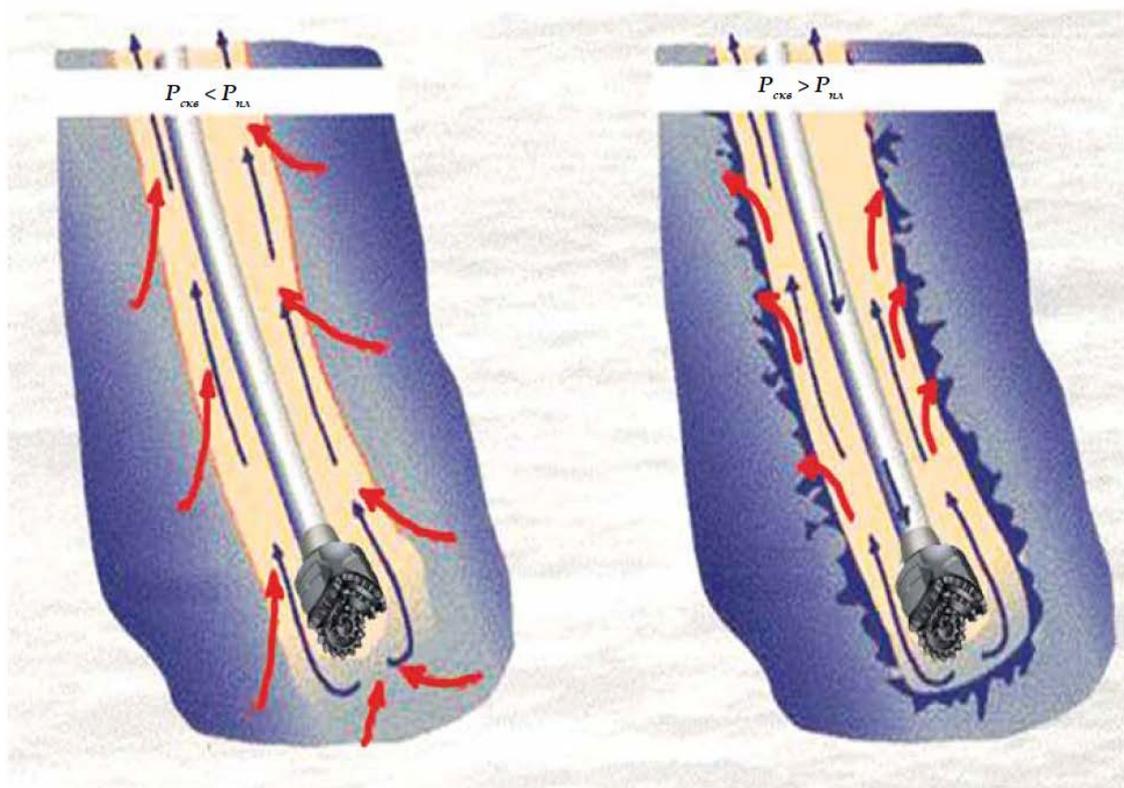


Рисунок 2.2 – Взаємодія в системі “свердловина - пласт” при бурінні на депресії та репресії

Буріння з від’ємним диференціальним тиском являє собою методику, яка дозволяє здійснювати буріння при тиску нижче гідростатичного тиску пласта, тим самим знижуючи ступінь ушкодження пласта і підвищуючи механічну швидкість буріння.

БВДТ може принести значні переваги при горизонтальному бурінні і бурінні багатостволових свердловин, а також і при інших формах буріння, в процесі виконання яких стикаються з проблемами втрати тиску і циркуляції.

Для задоволення зростаючих вимог до технології видобутку нафти необхідні всебічні рішення [38], які забезпечують безпечне та ефективне буріння з від'ємним диференціальним тиском.

Застосування даної технології враховує необхідність:

- економії часу;
- захисту пласта родовища;
- зниження загальних витрат;
- підвищення експлуатаційної та екологічної безпеки.

Дана технологія передбачає необхідність переходу на певний тип полегшеного бурового розчину з густиною меншою, ніж тиск в пласті – здебільшого, з густиною меншою 1 г/см<sup>3</sup>. Типи легких бурових розчинів, використовуваних для досягнення від'ємного диференціального тиску, можуть створюватися різними способами – наприклад, шляхом додавання газу, повітря або піни, а також створенням вуглеводневих емульсій. Такі бурові розчини дозволяють максимізувати видобування при одночасній мінімізації поглинання бурового розчину і пошкодження продуктивного пласта.

При застосуванні даної технології можливі різноманітні варіанти використання систем промивання ствола свердловини. Основними системами розчинів для БВДТ є наступні [23].

Система буріння з продуванням повітрям

Буріння з продуванням вибою повітрям (повітряно-азотною сумішшю) являє собою оптимальну систему циркуляції, що забезпечує механічні швидкості буріння в 2-8 разів вище, ніж при застосуванні звичайної системи подачі розчину. Система дозволяє знизити зношення бурового долота, зменшити викривлення свердловини, знизити експлуатаційні витрати, ефективніше управляти процесом втрати циркуляції, зменшити пошкодження продуктивної зони.

## Система буріння з аерованим буровим розчином

Повітря, що подається під тиском у воду або звичайний буровий розчин, знижує гідростатичний тиск. Ця система істотно знижує втрату циркуляції при низькому тиску і корисна при роботі в зонах з великою втратою циркуляції. При необхідності система приготування розчину може бути обладнана системою подачі інертного газу.

## Буріння з промиванням піною

Унікальна піноутворююча система TransFoam компанії "Weatherford" знімає проблему підтримки стабільності піни, а її відновлюючий хімічний склад утворює стабільну піну, яка легко розкладається і піддається регенерації. Ця система здатна включатися або виключатися в залежності від рН води, яка піддається обробці. При рН 10.0 і вище, при перемішуванні з водою і повітрям, Trans-Foam утворює в'язкий стабільний продукт. При падінні рН до 7, здатність води до утворення піни значно падає і піна може бути знищена деактиваторами. Її активні інгредієнти аналогічні традиційно використовуваним при бурінні з продуванням повітрям з піною.

Для буріння свердловин із промиванням піною використовуються різні схеми обв'язки обладнання [20]. По одній із них (рис. 2.3) рідина подається буровими насосами, а повітря від компресорної групи по викидних лініях компресорів поступає в змішувач повітря і рідини (піногенеруючий пристрій), який змонтований в нагнітальній лінії насосів, і далі суміш направляється через бурильні труби і долото на вибій свердловини.

Очищаючи вибій і охолоджуючи долото, піна по затрубному простору виносить породу на поверхню, де по викидній лінії, на якій змонтовані система протитиску, деаератор, поступає в жолоби, систему очистки розчину від породи і далі в ємності насосів. У випадку використання води в якості рідкої фази із викидної лінії піна поступає в гасник швидкостей і далі в ємності або амбар. При використанні безжолобної системи піна направляється безпосередньо в амбар.

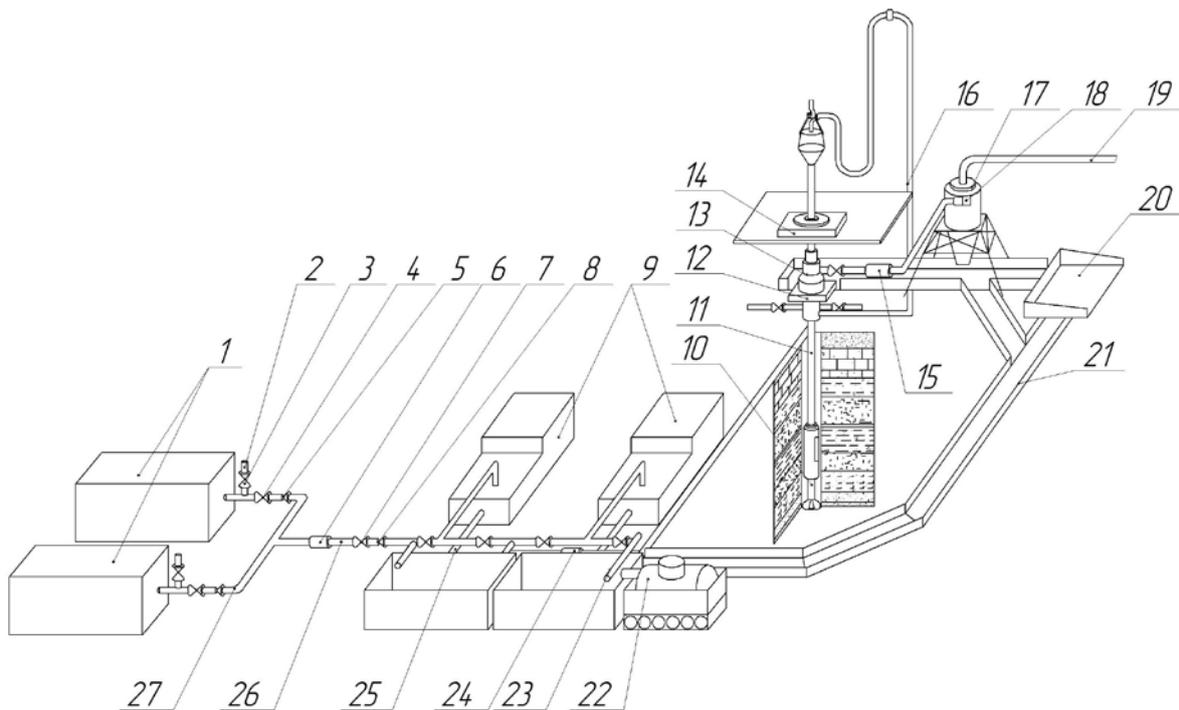


Рисунок 2.3 – Принципова схема обв’язки обладнання для буріння свердловин піною:

- 1 – компресорна група; 2 – пускова лінія; 3, 4, 7, 14 – запірні пристрої;  
 5, 8, 10, 11 – зворотний клапан; 6 – витратомір повітря; 9 – насос;  
 12 – превентор; 13 – обертовий превентор; 15 – система протитиску;  
 16 – скидна лінія; 17 – деаератор; 18 – викидна лінія; 19 – лінія;  
 20 – очисна система; 21 – жолобна система; 22 – дегазатор;  
 23 – пускова лінія насоса; 24 – витратомір рідини; 25 – піногенеруючий пристрій; 26 – нагнітальна лінія; 27 – повітрозбірний колектор

Компресорна група може складатися із однієї або кількох установок високого тиску, із комбінації низькоатмосферних і дотискних компресорних установок, із стаціонарних компресорів високого тиску, які мають привід від двигунів бурової установки, або із стаціонарних компресорів високого тиску промислової станції. В деяких випадках економічно вигідно використовувати для аерації рідини не повітря, а природний газ, який забезпечує необхідний тиск і витрату.

Проведений аналіз використовуваних схем розміщення і обв’язки

обладнання показує, що для буріння свердловин з промиванням піною необхідно підбирати таку монтажну схему, яка не вимагає зміни (або зводить до мінімуму) перероблення стандартного обладнання. Тому виникає необхідність створення такої схеми, яка забезпечить первинне розкриття продуктивних горизонтів з низькими тисками із невеликими витратами на модернізацію циркуляційної системи найпоширеніших типів бурових установок. При цьому промивання свердловини можна буде здійснювати за допомогою промивальної рідини або піни. Перехід від промивальної рідини до піни і навпаки повинен проходити швидко і ефективно.

Пропонується принципова схема розташування комплексу обладнання [29] для очищення вибою експлуатаційної свердловини піною показана на рис. 2.4.

Приготування піни здійснюється наступним чином. Живильний насос 15 нагнітає в камеру стиску (компресійну камеру) дотискного компресора 7 рідину із шламовідділювача 14, утворюючи в камері стиску гідрозатвор. Від повітряного компресора низького тиску 5 в камеру стиску дотискного компресора 7 подається під низьким тиском повітря, де нагнітач зворотно-поступальної дії дотискного компресора 7 стискає поступаюче в камеру стиску від компресора 5 повітря до необхідного тиску і витісняє його разом з невеликою кількістю рідини гідрозатавора (до 5%) через трубопровід 21 в сепаратор високого тиску 8. В сепараторі завдяки роботі регулюючого дроселя 20 досягається необхідне співвідношення газу і рідини в утвореній газорідинній суміші. Після сепаратора 8 суміш проходить вузол заміру витрати і густини флюїду 9 в місткість змішувача 10, куди подається також пристроєм 19 (дозувальним насосом) рідкий емульгатор (ПАР).

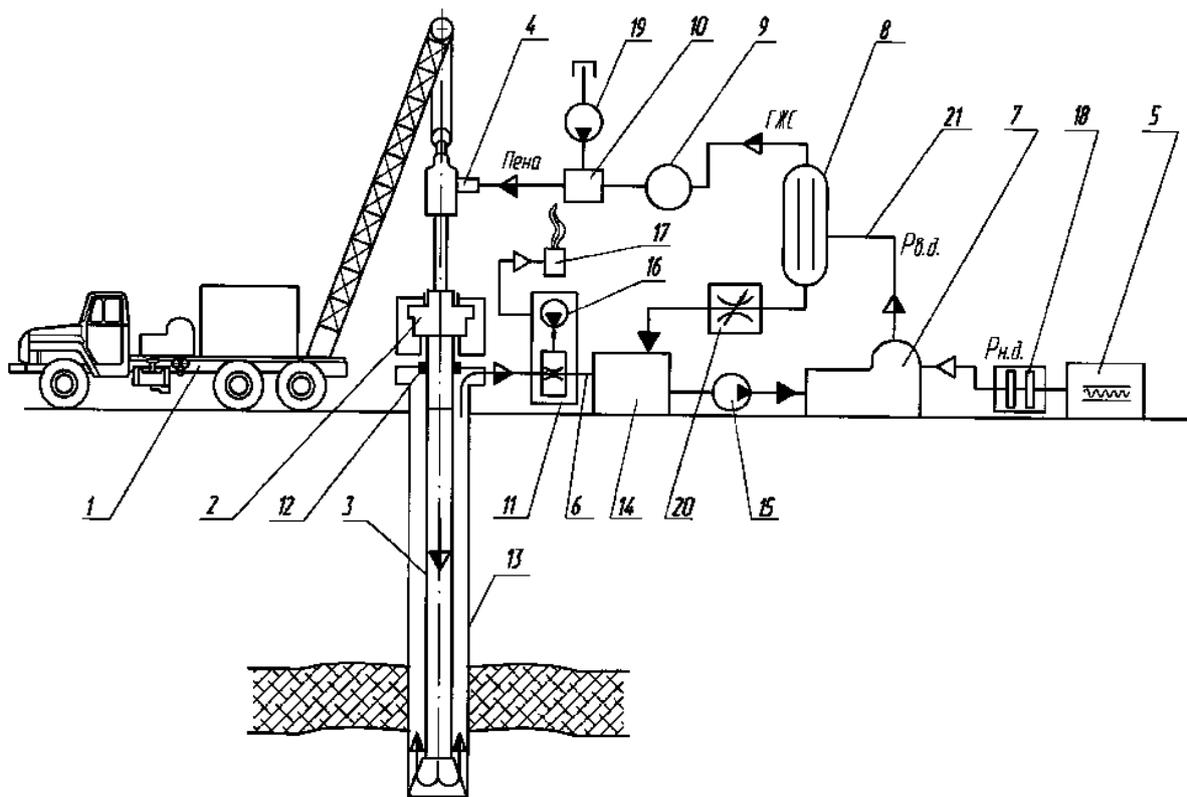


Рисунок 2.4 – Схема розташування комплексу обладнання для очищення вибою експлуатаційної свердловини піною:

- 1 – підйомний агрегат; 2 – пристрій для обертання бурильної колони;  
 3 – бурильна колона; 4 – вертлюг; 5 – компресор низького тиску;  
 6 – циркуляційна система; 7 – дотискний компресор; 8 – сепаратор високого тиску; 9 – вузол заміру витрати і густини флюїду; 10 – змішувач;  
 11 – дегазатор низького тиску; 12 – герметизатор; 13 – гирло свердловини;  
 14 – шламівідділювач; 15 – живильний насос; 16 – деемульгатор;  
 17 – пристрій для спалювання газу; 18 – газорозділюючий мембранний блок; 19 – пристрій для подачі емульгатора; 20 – регулюючий дросель;  
 21 – трубопровід

Піногенеруючий пристрій (рис. 2.5) складається з корпусу 1 циліндричної форми, в якому розміщено багато сопелу вставку 2, камери 3 ежекційні попереднього змішування розташовані співвісно соплам, канали 4 для підводу повітря або газу, камера 5 кавітаційна проміжного змішування, дифузор 6 з камерою турбулентного змішування, штуцера 7, з'єднаного одним

кінцем з отвором у корпусі і інший кінець оснащений зворотнім клапаном 8 і запірнорегулюючим елементом 9.

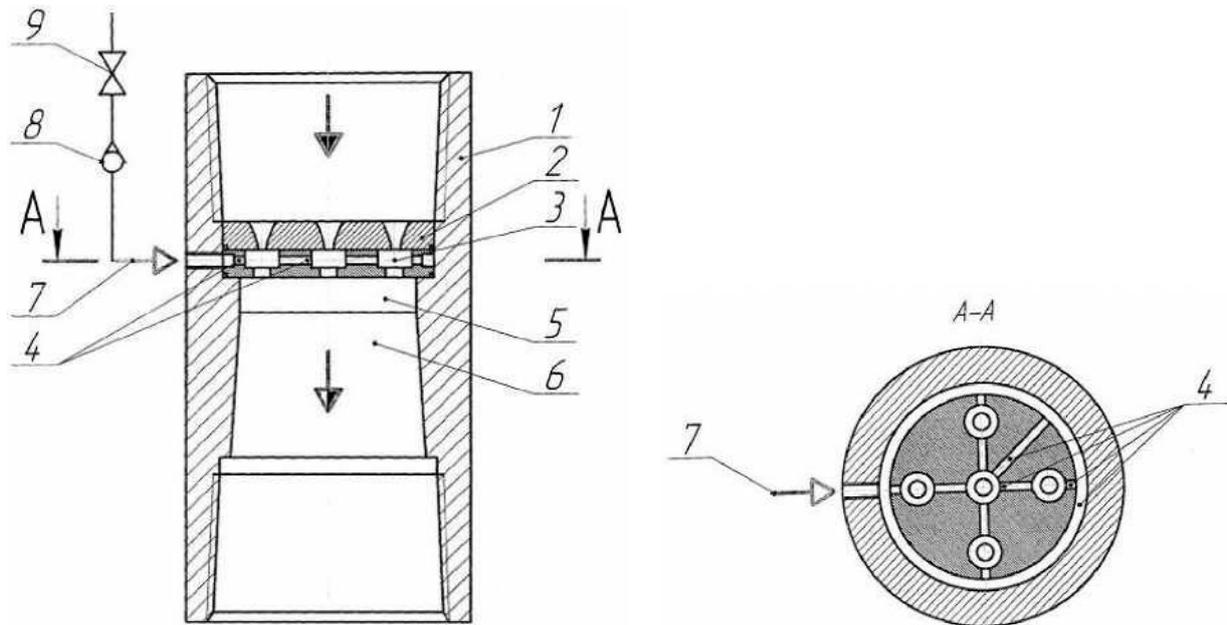


Рисунок 2.5 – Піногенеруючий пристрій

Піногенеруючий пристрій для насичення бурового розчину повітрям або газом з подальшим піноутворенням працює наступним чином.

Буровий розчин поступає в корпус 1 пристрою і через вставку багатосоплову 2 в камерах 3 попереднього змішування за рахунок ефекту ежекції, захоплює повітря, яке підводиться по каналах 4 і частково змішується з рідиною, далі суміш поступає в камеру кавітаційного проміжного змішування 5, яка знаходиться на початку дифузора 6, де за рахунок змішування багатьох струменів утворюється кавітація, який сприяє диспергуванню інтенсивному перемішуванню повітря або газу з рідинним розчином і утворенню піноподібної суміші в камері змішування, яка розміщена в дифузори 6 рідина рухається у турбулентному режимі, де закріплюється ефект насичення розчину газом і піноутворення.

До каналів 4 повітря (газ) підводиться через штуцер 7, зворотній клапан 8, запірнорегулюючий елемент 9. При певних умовах, коли швидкість розчину через багатосоплову вставку 2 буде недостатня для створення ефекту ежекції

(всмоктування повітря) розчин, при відсутності зворотного клапана 8 поступав би в повітряну або газову лінію. За допомогою запірнорегулюючого елемента 9 можна регулювати об'єм поступаючого повітря або газу, тим самим є можливість змінювати параметри пінистого розчину (його густину).

Для отримання піни із невеликими затратами на модернізацію циркуляційної системи найпоширеніших типів бурових установок пропонується використання змішувача рідини з повітрям, встановлення якого в нагнітальній частині бурових насосів забезпечить якісне первинне розкриття продуктивних горизонтів з аномально низькими тисками з використанням піни.

Змішувач рідини з повітрям (рис. 2.6) складається із двох каналів: основного, в якому проходить аерація бурового розчину, і обвідного, що забезпечує швидке відключення пристрою, коли необхідність в аерації відпадає.

Основний канал складається із сопла 1 зі змінною насадкою 2, змінної втулки камери змішування 3, дифузоров 4 і 5. В соплі просвердлені повздовжні отвори 6, які забезпечують поступання через штуцер 7 повітря у вхідну камеру змішувача 8. Отвори прикриваються плаваючим клапаном 9 для запобігання викидів бурового розчину із отворів у випадку різкого підвищення тиску у нагнітальній лінії за дифузоров. Обвідний канал має кран 10.

Промивна рідина подається насосом до насадки. Внаслідок великих швидкостей витікання рідини із насадки у вхідній камері змішувача утворюється розрідження, і повітря із атмосфери через штуцер і повздовжні отвори в соплі поступає у змішувач. В камері змішування повітря перемішується із буровим розчином, потім суміш поступає в дифузор, де швидкість її зменшується, а тиск збільшується.

Контролювання роботи змішувача здійснюється за допомогою витратоміра і двох манометрів. Один манометр встановлюється на буровому насосі, другий – за змішувачем.

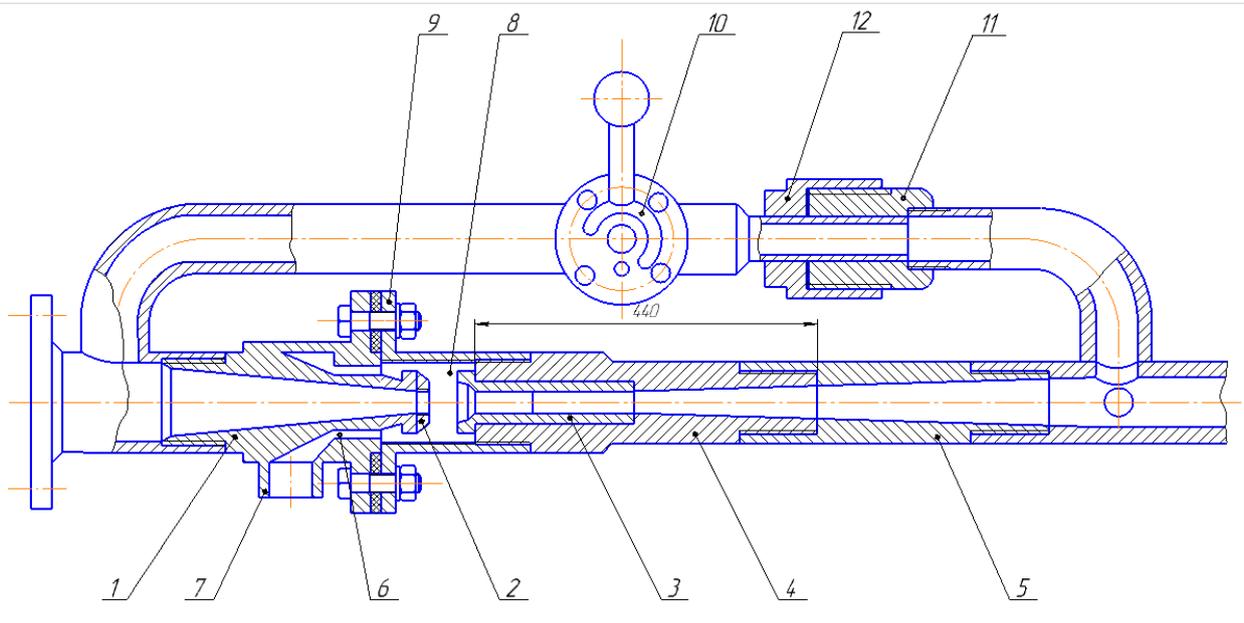


Рисунок 2.6 – Змішувача рідини з повітрям

1— сопло; 2 – насадка; 3 – камера змішування; 4, 5 – дифузор;  
 6 – отвір; 7 – штуцер; 8 – камера вхідна; 9 – клапан; 10 – кран;  
 11 – втулка; 12 – гайка натискна

Під час спорудження свердловини необхідно здійснювати перехід від буріння пінами до промивки буровим розчином, наприклад, в процесі спуско-підймальних операцій. Щоб не використовувати додаткові ємності для зберігання запасу бурового розчину пропонується змішувач рідини з повітрям змонтувати на нагнітальній лінії бурового насоса через "байпас" із засувками.

Впровадження змішувача рідини з повітрям такої конструкції на виробництві, установка його через "байпас" дозволить без великих капіталовкладень на модернізацію циркуляційної системи і пневмосистеми бурової установки здійснювати буріння свердловин з аерованою рідиною, використання якої найбільш прийнятне для розкриття пластів з аномально низькими пластовими тисками.

## 2.2 Оцінка економічної ефективності

Впровадження нової конструкції модернізованої системи приготування промивальних рідин бурової установки НБО-Е дасть змогу продовжити міжремонтний цикл. Зміни технічного обслуговування та ремонтів системи приготування промивальних рідин відображені у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Технічне обслуговування та ремонт системи приготування

Вид технічного обслуговування, ремонту	Періодичність виконання тех. обслуговування та ремонтів, маш.-год ( $T_{ц}$ )	Кількість тех. обслуговувань та ремонтів в одному ремонтному циклі ( $a_i$ )	Тривалість одного технічного обслуговування та ремонту, роб.днів ( $d_{pi}$ )	Трудомісткість виконання одного ТО й ремонту, норма-год ( $r_i$ )
Для аналогової техніки				
ТО	125	28	-	3
ПР	1000	3	1	20
КР	4000	1	2	70
Для модернізованої техніки				
ТО	162	28	-	3
ПР	1296	3	1	20
КР	5184	1	2	70

Економічний ефект від впровадження на виробництві модернізованої конструкції системи приготування визначається за формулою:

$$E = \left[ C_{AT} \cdot k_1 \cdot k_2 + \frac{\Delta I - E_H \cdot (K_2' - K_1')}{(1/T_2) + E_H} - C_{MT} \right] \cdot n, [грн], \quad (2.1)$$

де  $C_{AT}, C_{MT}$  - вартість системи приготування до і після модернізації;

$k_1$  - коефіцієнт зростання продуктивності системи приготування;

$k_2$  - коефіцієнт зміни строків служби;

$E_n$  - єдиний нормативний коефіцієнт економічної ефективності,  $E_n = 0,15$ ;

$K_2', K_1'$  - супутні капітальні вкладення;

$T$  - термін служби системи приготування, ( $T_1 = 6$  років,  $T_2 = 7,78$  років)

$n$  - річний обсяг впровадження модернізації, приймаємо  $n = 1$ ;

$\Delta M$  - економія експлуатаційних витрат.

Розрахунок собівартості модернізованої системи приготування визначається за формулою:

$$C_{MT} = C_{AT} - C_{зам.} + C_{дод.} \quad (2.2)$$

$C_{AT}$  - вартість системи приготування-аналога;  $C_{AT} = 120000$  грн.;

$C_{зам.}$  - собівартість заміненого обладнання;

$C_{дод.}$  - собівартість доданого обладнання.

Таким чином :

$$C_{MT} = 120000 - 98500 + 106000 = 127500 \text{ грн.}$$

Розрахуємо коефіцієнт зростання продуктивності модернізованої системи приготування:

$$k_1 = \frac{T_p^M}{T_p^A}, \quad (2.3)$$

де  $T_p^M$  - річний фонд роботи модернізованої системи приготування;

$T_p^A$  - річний фонд роботи аналогової системи приготування.

Річний фонд роботи системи приготування визначаємо за формулою:

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

де  $T_\phi$  - річний фонд робочого часу,  $T_\phi = 365$  д;

$t_{3M}$  - тривалість зміни,  $t_{3M} = 8200$ ;

$k_{3M}$  - коефіцієнт змінності роботи системи приготування,  $k_{3M} = 3$ ;

$D_p$  - простої у всіх видах технічного обслуговування та ремонту.

Простої у всіх видах технічного обслуговування та ремонту визначаються:

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

де  $m$  - число різновидів технічних обслуговувань та ремонтів протягом міжремонтного циклу,  $m = 3$ ;

$a_i$  - кількість технічних обслуговувань та ремонтів в одному ремонтному циклі, приймаємо відповідно до таблиці 2.1;

$d_{pi}$  - тривалість одного технічного обслуговування та ремонту, приймаємо відповідно до таблиці 2.1;

$T_{\psi}$  - періодичність виконання технічного обслуговування та ремонтів, приймаємо відповідно до таблиці 2.1;

$d_{ni}$  - тривалість надання у ремонт або технічне обслуговування і повернення назад, при цьому для технічного обслуговування, оскільки воно виконується безпосередньо на місці роботи техніки, величина  $d_{ni}$  приймається рівною нулю; час у днях на доставку для поточного ремонту  $d_{ni} = 0$  днів, у капітальний ремонт і назад приймається  $d_{ni} = 10$  днів.

Підставивши дані у формулу 2.5 визначимо простої у всіх видах ТО та ремонту:

- для аналогової системи приготування:

$$D_p^{AT} = \frac{(1+0) \cdot 9 + (2+10) \cdot 1}{4000} = 0,0053 \frac{\text{маш.} - \text{днів}}{\text{маш.} - \text{год}};$$

- для модернізованої системи приготування:

$$D_p = \frac{(1+0) \cdot 9 + (2+10) \cdot 1}{5184} = 0,0041 \frac{\text{маш.} - \text{днів}}{\text{маш.} - \text{год}}$$

Підставивши у формулу 2.4 отримані дані розрахуємо річний фонд роботи системи приготування:

- для аналогової системи приготування:

$$T_p = \frac{365}{\frac{1}{8 \cdot 3} + 0,0053} = 7770,9 \text{ год};$$

- для модернізованої системи приготування:

$$T_p = \frac{365}{\frac{1}{8 \cdot 3} + 0,041} = 7974,7 \text{ год}.$$

Підставивши у формулу 2.3 отримані дані розрахуємо коефіцієнт зростання продуктивності системи приготування:

$$k_1 = \frac{7974,7}{7770,9} = 1,026.$$

Коефіцієнт зміни строків служби розраховуємо за формулою:

$$k_2 = \frac{P_1 + E_n}{P_2 + E_n}, \quad (2.6)$$

де  $P_1, P_2$  - частки відрахувань від балансової вартості на повне відновлення аналогового та модернізованого обладнання, розраховуються як величини, зворотні термінам служби обладнання ( $P_i = 1/T_i$ ),

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

$$P_1 = 1/6 = 0,167;$$

$$P_2 = 1/7,78 = 0,129.$$

$E_n$  – єдиний нормативний коефіцієнт економічної ефективності капітальних вкладень ( $E_n = 0,15$ ).

$$k_2 = \frac{0,167 + 0,15}{0,129 + 0,15} = 1,136$$

Через те, що модернізація не потребує додаткових супутніх капітальних вкладень, то  $K'_2 = K'_1$ , тоді  $K'_2 - K'_1 = 0$ .

Економію експлуатаційних витрат розраховуємо за формулою:

$$\Delta I = (S_1^A - S_1^M) \cdot T_p^M, [\text{грн}], \quad (2.7)$$

де  $S_1^A, S_1^M$  - вартість 1 маш.-год роботи аналогової та модернізованої системи приготування;

$T_p^M$  - річний фонд роботи модернізованої системи приготування.

Визначимо вартість 1 маш.-год роботи системи приготування:

$$S_1 = \frac{S}{T_p}, [\text{грн/маш.-год}], \quad (2.8)$$

де  $S$  - загальні поточні витрати підприємства, пов'язані з експлуатацією системи приготування.

Загальні поточні витрати підприємства визначаються за формулою:

$$S = S_{ЗП} + S_{КР} + S_{ТОВ} + S_{ТОМ}, [\text{грн}], \quad (2.9)$$

де  $S_{ЗП}$  - витрати на заробітну плату з нарахуваннями;

$S_{КР}$  - витрати на капітальний ремонт системи приготування;

$S_{ТОВ}$  - витрати на заробітну плату ремонтним робітникам із нарахуваннями;

$S_{ТОМ}$  - витрати на матеріали та запчастини для системи приготування.

Витрати на заробітну плату з нарахуваннями розраховуються за формулою:

$$S_{ЗП} = k_{вч} \cdot k_{нв} \cdot \lambda \cdot T_p \cdot \sum_{i=1}^B C_{ti} \cdot (1+H), \text{грн}, \quad (2.10)$$

де  $k_{вч}$  - коефіцієнт використання робочого часу (приймаємо рівним 0,3);

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

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

$B$  - число робітників у ланці, приймаємо 1 робітника IV розряду;

$C_{ti}$  - годинна тарифна ставка робітника  $i$ -го розряду, що входить до

складу ланки. Тарифна ставка приймається для робітника IV розряду  $C_p = 19,47$  грн, для робітника V розряду  $C_p = 22,50$  грн;

$H$  - норма нарахувань на заробітну плату,  $H = 22\%$ .

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

$$k_{нв} = 1 + \frac{H_{нв}}{100}, \quad (2.11)$$

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

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

Підставивши отримані дані у формулу 2.10 ми отримаємо:

- для аналогової системи приготування:

$$S_{зп} = 0,3 \cdot 1,3 \cdot 1,25 \cdot 7770,9 \cdot (19,47 + 22,5) \cdot (1 + 0,22) = 193974,54 \text{ грн};$$

- для модернізованої системи приготування:

$$S_{зп} = 0,3 \cdot 1,3 \cdot 1,25 \cdot 7974,7 \cdot (19,47 + 22,5) \cdot (1 + 0,22) = 199061,73 \text{ грн};$$

Визначаємо витрати на капітальний ремонт системи приготування:

$$S_{кр} = \frac{k_{нп} \cdot A_{кр} \cdot C_{AT(MT)}}{100}, [\text{грн}], \quad (11.15)$$

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

$A_{кр}$  - норма амортизаційних відрахувань на капітальний ремонт у відсотках від вартості системи приготування, приймаємо  $A_{кр} = 5\%$ .

Коефіцієнт, що враховує накладні витрати за всіма видами витрат, окрім заробітної плати, розраховується за формулою:

$$k_{нп} = 1 + \frac{H_{нп}}{100}, \quad (2.16)$$

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

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

Підставивши отримані дані у формулу 2.15 визначимо витрати на капітальний ремонт системи приготування:

$$S_{KP}^A = \frac{1,1 \cdot 5 \cdot 120000}{100} = 6600 \text{ грн.}$$

$$S_{KP}^M = \frac{1,1 \cdot 5 \cdot 127500}{100} = 5610 \text{ грн.}$$

Розрахуємо витрати на заробітну плату ремонтних робітників із нарахуваннями:

$$S_{тов} = \frac{T_{роб}}{T_{ц}} \cdot k_{нев} \cdot \lambda \cdot C_p \cdot \sum_{i=1}^n a_i r_i \cdot (1+H), \text{ грн.}, \quad (2.17)$$

де  $C_p$  - середня тарифна ставка ремонтного робітника, що обслуговує систему приготування, тарифна ставка приймається для робітника V розряду - 32,50 грн.;

$a_i$  - кількість ТО та ПР у ремонтному циклі, приймаємо відповідно до таблиці 2.1;

$r_i$  - трудомісткість ТО і ПР у ремонтному циклі, приймаємо відповідно до таблиці 2.1.

Підставивши всі дані у формулу 2.17 розрахуємо витрати на заробітну плату ремонтних робітників із нарахуваннями:

- для аналогової системи приготування:

$$S_{тов} = \frac{7770,9}{4000} \cdot 1,3 \cdot 1,25 \cdot 32,5 \cdot (28 \cdot 3 + 3 \cdot 20) \cdot (1 + 0,22) = 12478 \text{ грн.}$$

- для модернізованої системи приготування:

$$S_{тов} = \frac{7974,7}{5184} \cdot 1,3 \cdot 1,25 \cdot 32,5 \cdot (28 \cdot 3 + 3 \cdot 20) \cdot (1 + 0,22) = 9881 \text{ грн.}$$

Визначимо витрати на матеріали і запчастини:

$$S_{том} = k_{nn} \cdot \frac{S_{тов} \cdot (1-H)}{k_{нев}} \cdot k_{ep}, [\text{грн}], \quad (2.18)$$

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

Підставивши всі дані у формулу 2.18 розрахуємо витрати на матеріали і запчастини:

- для аналогової системи приготування:

$$S_{том} = 1,1 \cdot \frac{12478,71 \cdot (1 - 0,22)}{1,3} \cdot 1,25 = 10295 \text{ грн};$$

- для модернізованої системи приготування:

$$S_{том} = 1,1 \cdot \frac{9881,15 \cdot (1 - 0,22)}{1,3} \cdot 1,25 = 8152 \text{ грн}.$$

Підставивши всі отримані дані у формулу 2.9 визначимо загальні поточні витрати підприємства на експлуатацію системи приготування :

- для аналогової системи приготування:

$$S = 193974 + 6600 + 12478 + 10295 = 223348 \text{ грн};$$

- для модернізованої системи приготування:

$$S = 199061 + 5610 + 9881 + 8152 = 222704 \text{ грн}.$$

Визначаємо вартість роботи 1 маш.-год роботи системи приготування:

- для аналогової системи приготування:

$$S_1 = \frac{223348}{7770,9} = 28,742 \text{ грн / маш. - год};$$

- для модернізованої системи приготування:

$$S_1 = \frac{222704}{7974,7} = 27,926 \text{ грн / маш. - год}.$$

Економія експлуатаційних витрат складе:

$$\Delta И = (28,742 - 27,926) \cdot 7944,7 = 6479,78 \text{ грн}.$$

Тоді, економічна ефективність модернізації системи приготування складатиме:

$$E = \left[ 120000 \cdot 1,026 \cdot 1,136 + \frac{6479,78}{0,129 + 0,15} - 127500 \right] \cdot 1 = 420700 \text{ грн}.$$

## Висновки

Для задоволення зростаючих вимог до технології видобутку нафти необхідні всебічні рішення, які забезпечують безпечне та ефективне буріння з від'ємним диференційним тиском. Одним з таких рішень є буріння свердловин з використанням піни.

Проведений аналіз використовуваних схем розміщення і обв'язки обладнання показує, що для буріння свердловин з промиванням піною необхідно підбирати таку монтажну схему, яка не вимагає зміни (або зводить до мінімуму) перероблення стандартного обладнання. Тому створена така схема циркуляційної системи, яка забезпечує первинне розкриття продуктивних горизонтів з низькими тисками із невеликими витратами на її модернізацію. При цьому промивання свердловини можна буде здійснювати за допомогою промивальної рідини або піни.

Для отримання піни із невеликими затратами на модернізацію циркуляційної системи пропонується використання змішувача рідини з повітрям, встановлення якого в нагнітальній частині бурових насосів забезпечить якісне первинне розкриття продуктивних горизонтів з аномально низькими тисками з використанням піни.

Проведена модернізація буде прибутковою і матиме економічний ефект в розмірі 420700 грн. Отже, удосконалення є економічно доцільним.

### 3 ДОСЛІДНО-КОНСТРУКТОРСЬКА РОБОТА

#### 3.1 Дослідження ежекційного односоплового піногенеруючого пристрою

Досліджувався односопловий піногенеруючий пристрій при зміні діаметра сопла, зміні довжини його циліндричної частини, при використанні вхідної частини камери змішування циліндричної або конічної форми, при подовженні її за допомогою додаткових втулок, при зміні відстані між соплом та камерою змішування. Підбрано найбільш характерні для конкретного дослідження граничні умови роботи піногенеруючого пристрою.

Дослідження вхідної частини камери змішування для порівняння циліндричної і конусної її конфігурації проводились за таких граничних умов: подача рідини (води) на вході –  $0,004 \text{ м}^3/\text{с}$ ; тиск повітря на вході в підвідному патрубку – 10 МПа; тиск на виході з пристрою – 10 МПа.

Розподіл швидкості й тиску в поздовжньому перерізі пристрою із циліндричною та конічною вхідною частиною камери змішування:

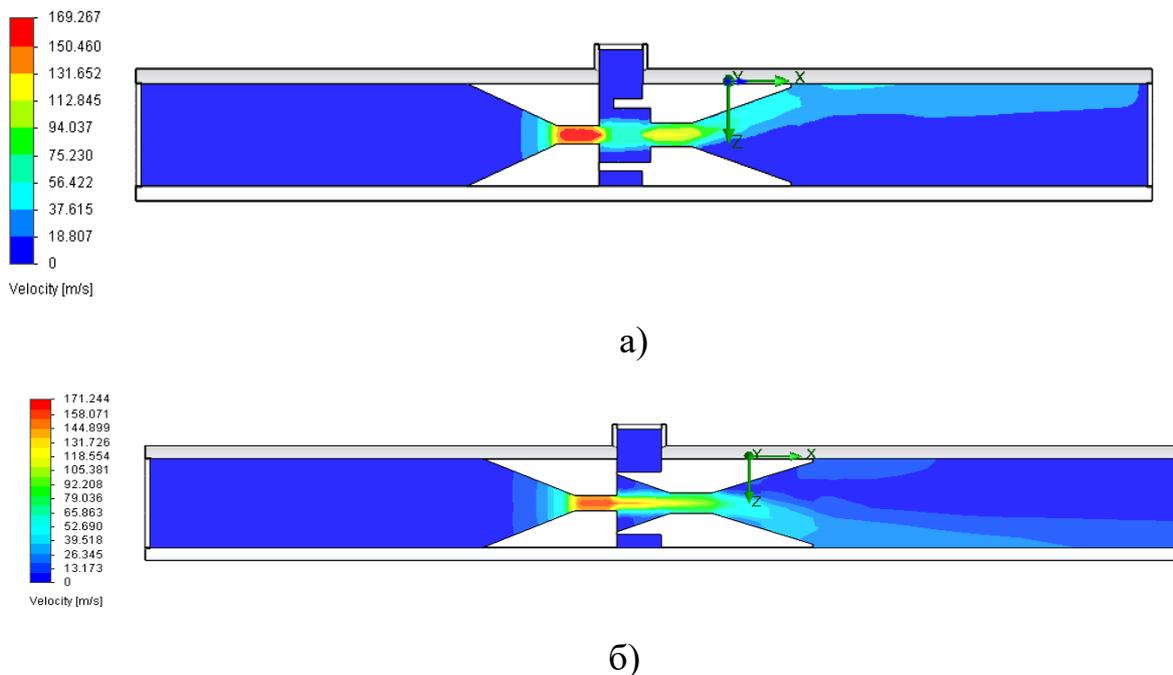
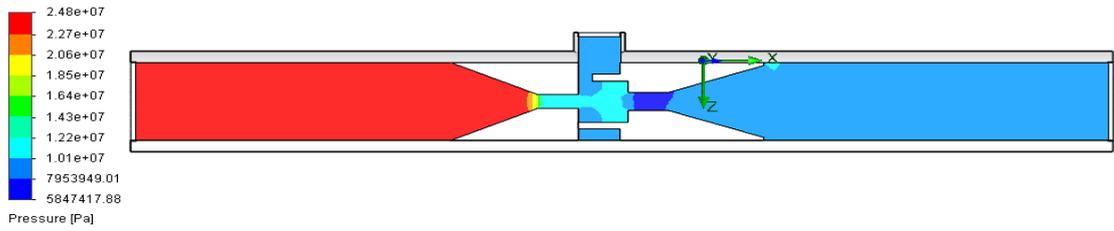


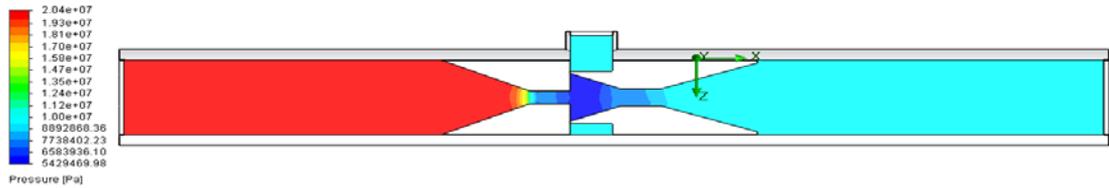
Рисунок 3.1 – Розподіл швидкості в поздовжньому перерізі пристрою:

а – камера змішування із циліндричною вхідною частиною;

б – камера змішування із конічною вхідною частиною



а)

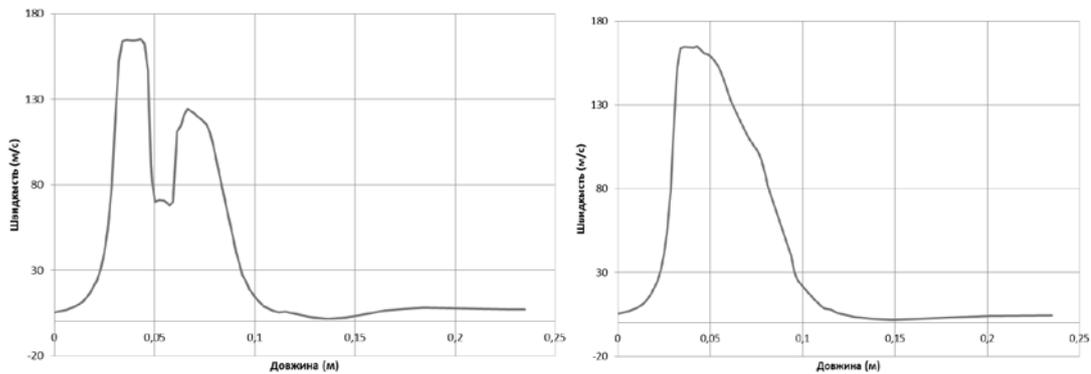


б)

Рисунок 3.2 – Розподіл тиску в поздовжньому перерізі пристрою:

а – камера змішування із циліндричною вхідною частиною;

б – камера змішування із конічною вхідною частиною



а)

б)

Рисунок 3.3 – Графічні залежності розподілу швидкості в поздовжньому перерізі пристрою:

а – камера змішування із циліндричною вхідною частиною;

б – камера змішування із конічною вхідною частиною

Розглянувши і проаналізувавши графічні залежності розподілу швидкості в поздовжньому перерізі пристрою (рис. 3.3) встановлено, що максимальна швидкість рідини в соплі у пристрої із конічною вхідною змішувальною камерою є дещо меншою (від 165 м/с до 162 м/с). В даному пристрої також менша швидкість піни на виході (4,6 м/с та 7,2 м/с), більш

полога крива швидкості в камері змішування (порівняно із стрибкоподібною зміною швидкості у пристрої із вхідною циліндричною частиною камери змішування).

При аналізі графічних залежностей розподілу тиску в поздовжньому перерізі пристрою (рис. 3.4) встановлено, що у випадку використання у піногенеруючому пристрої конічної вхідної частини камери змішування необхідний тиск рідини на вході для забезпечення заданих граничних умов знижується з 24,8 МПа до 20,4 МПа, при цьому також зменшується мінімальний тиск в камері змішування – з 7,2 МПа до 5,9 МПа, що дасть змогу зменшувати тиск повітря на вході у піногенеруючий пристрій.

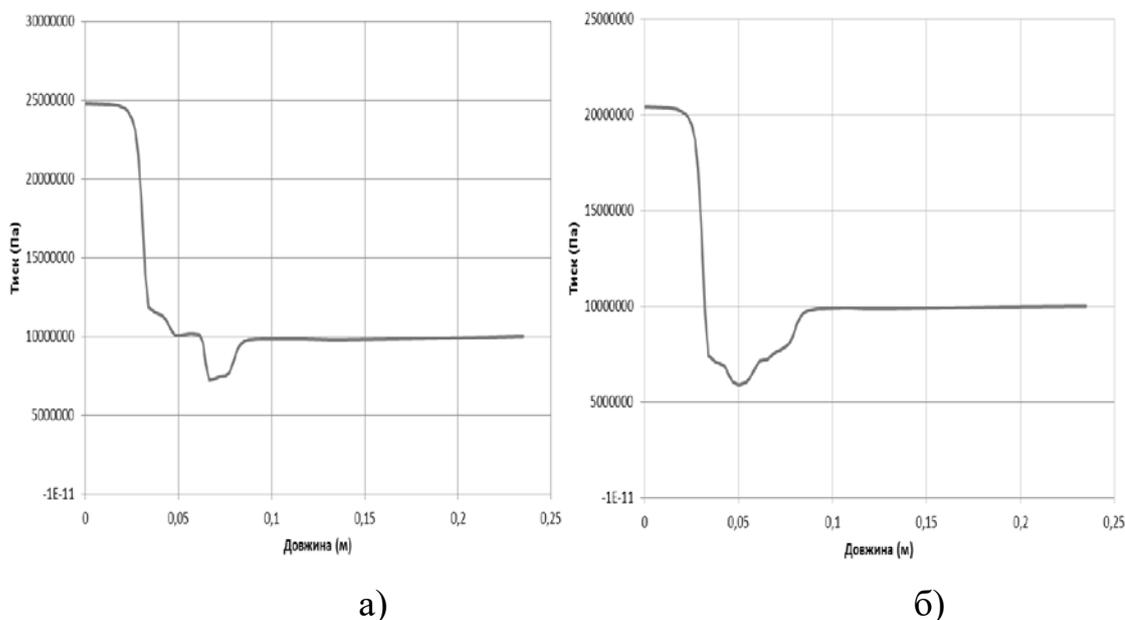


Рисунок 3.4 – Графічні залежності розподілу тиску в поздовжньому перерізі пристрою:

- а – камера змішування із циліндричною вхідною частиною;
- б – камера змішування із конічною вхідною частиною

На рис. 3.5 зображено траєкторії руху потоків рідини і повітря у конічній частині камери змішування піногенеруючого пристрою.

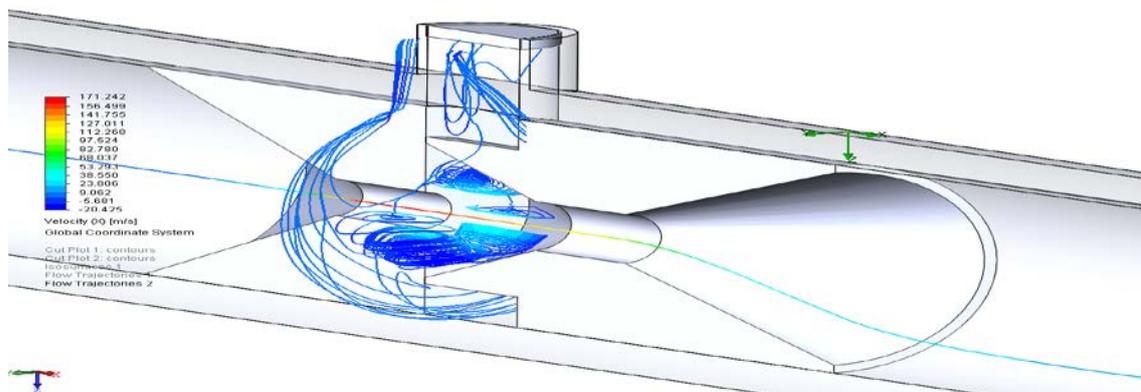
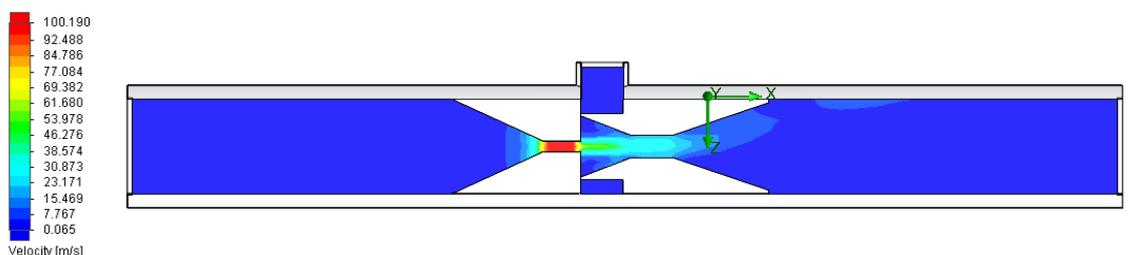


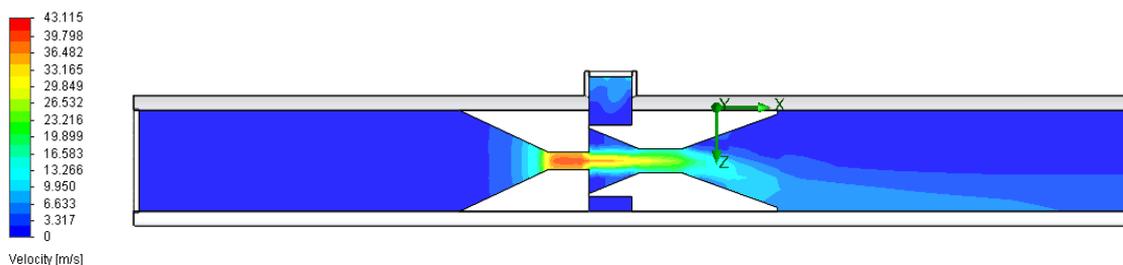
Рисунок 3.5 – Траєкторія руху потоків рідини і повітря у камері змішування

Згідно з проведеним порівнянням піногенеруючих пристроїв двох типів можна дати рекомендацію, що під час створення моделі п'ятисоплового піногенеруючого пристрою необхідно використовувати камери змішування із конічною вхідною частиною.

Дослідження піногенеруючого пристрою із різними діаметрами циліндричної частини сопла проводились за таких граничних умов: подача рідини (води) на вході –  $0,001 \text{ м}^3/\text{с}$ ; тиск повітря на вході в підвідному патрубку –  $0,75 \text{ МПа}$ ; тиск на виході з пристрою –  $0,75 \text{ МПа}$ .



а)



б)

Рисунок 3.6 – Розподіл швидкості в поздовжньому перерізі пристрою:

а – за діаметра циліндричної частини сопла 4 мм;

б – за діаметра циліндричної частини сопла 6 мм

Розподіл швидкості, тиску і температури в поздовжньому перерізі пристрою із соплами діаметром 4 і 6 мм відображений на рис. 3.6, 3.7.

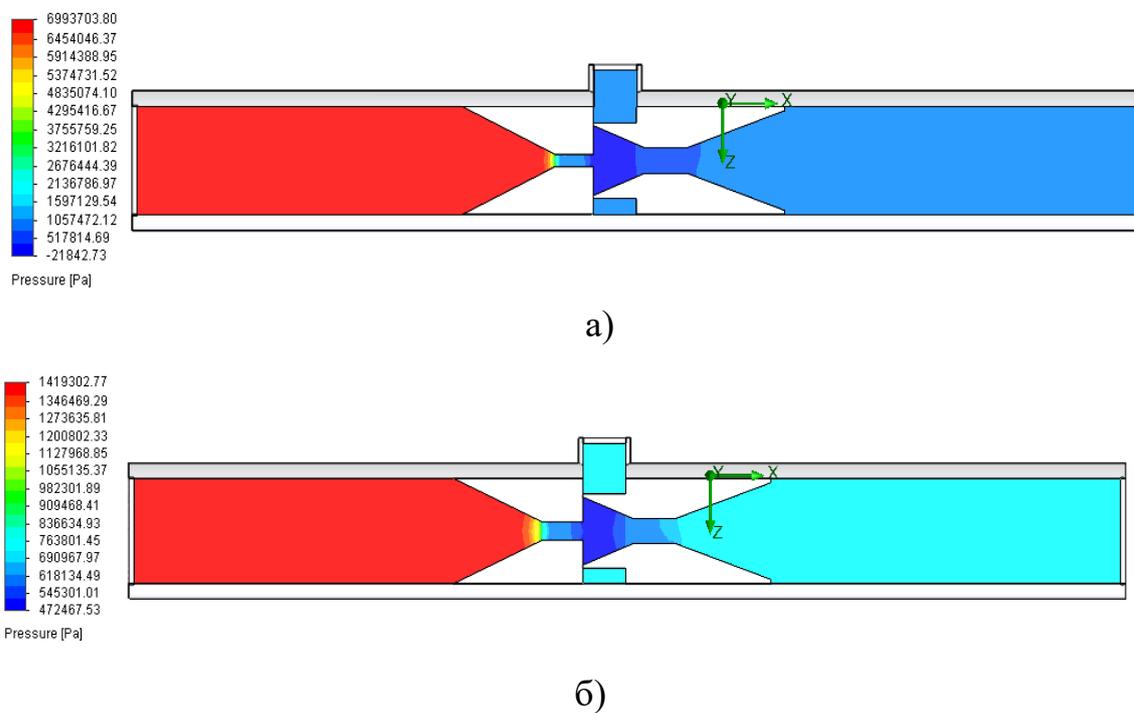


Рисунок 3.7 – Розподіл тиску в поздовжньому перерізі пристрою:

- а – за діаметра циліндричної частини сопла 4 мм;
- б – за діаметра циліндричної частини сопла 6 мм

Розглянувши і проаналізувавши графічні залежності розподілу швидкості в поздовжньому перерізі пристрою (рис. 3.8) встановлено, що найбільша швидкість – у перерізі сопла: зменшується від 98,7 м/с до 41,4 м/с, але при цьому швидкість на виході із піногенеруючого пристрою зростає від 1,26 м/с до 1,41 м/с, що приводить до збільшення продуктивності пристрою.

При аналізі графічних залежностей розподілу тиску в поздовжньому перерізі пристрою (рис. 3.9) встановлено, що із збільшенням діаметра сопла необхідні тиски рідини на вході для забезпечення заданих граничних умов знижуються із 7 МПа за діаметра сопла 4 мм до 1,4 МПа за діаметра сопла 6 мм. При цьому найменший тиск в камері змішування зростає із збільшенням діаметра сопла (відповідно 0,06 МПа і 0,5 МПа), що вказує на можливість

зменшення тиску повітря на вході у піногенеруючий пристрій із зменшенням діаметра сопла.

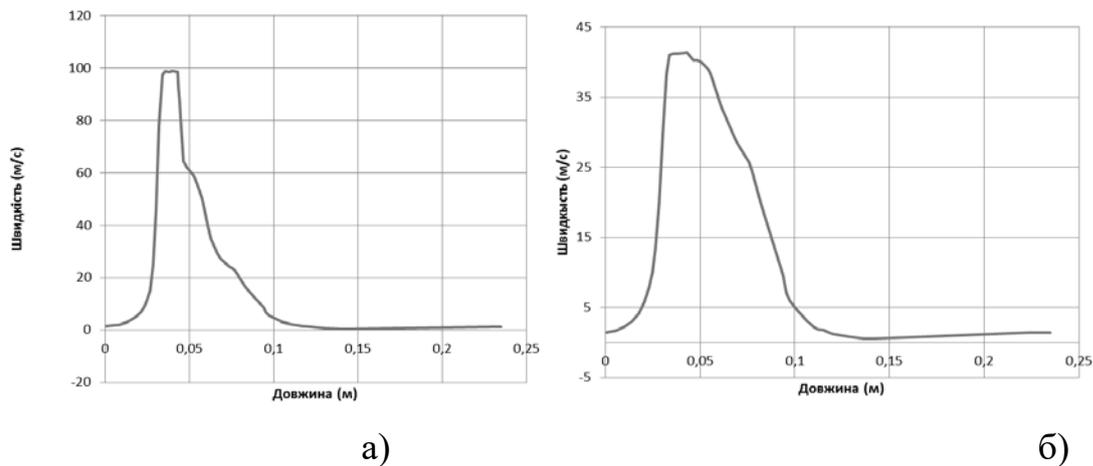


Рисунок 3.8 – Графічні залежності розподілу швидкості в поздовжньому перерізі пристрою:

- а – за діаметра циліндричної частини сопла 4 мм;
- б – за діаметра циліндричної частини сопла 6 мм

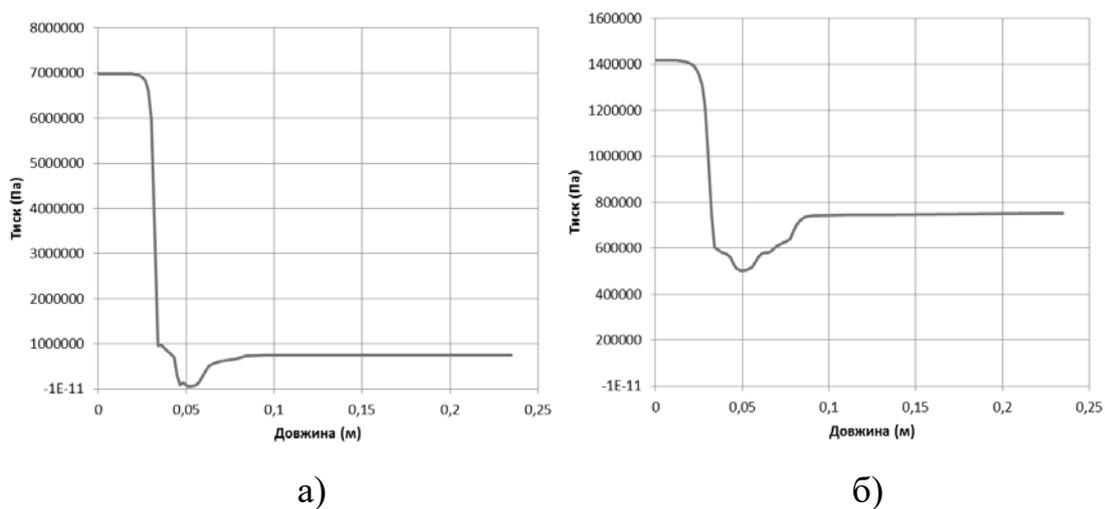


Рисунок 3.9 – Графічні залежності розподілу тиску в поздовжньому перерізі пристрою:

- а – за діаметра циліндричної частини сопла 4 мм;
- б – за діаметра циліндричної частини сопла 6 мм

Розглянувши і проаналізувавши графічні залежності (рис. 3.6...3.9),

робимо висновок, що для експлуатації в конкретних умовах придатні піногенеруючі пристрої з різними діаметрами сопел.

Подальші дослідження односоплового піногенеруючого пристрою проводились для найбільш характерних граничних умов: подача рідини (води) на вході –  $0,004 \text{ м}^3/\text{с}$ ; тиск повітря на вході в підвідному патрубку –  $10 \text{ МПа}$ ; тиск на виході з пристрою –  $10 \text{ МПа}$ .

Проводились дослідження піногенеруючого пристрою при зміні довжини камери змішування, для чого на виході з її циліндричної частини встановлювались додаткові кільця однакового і різного діаметру. Розподіл швидкості, тиску і температури в поздовжньому перерізі пристрою із камерою змішування без додаткових кілець та із трьома додатковими кільцями відображений на рис. 3.10, 3.11.

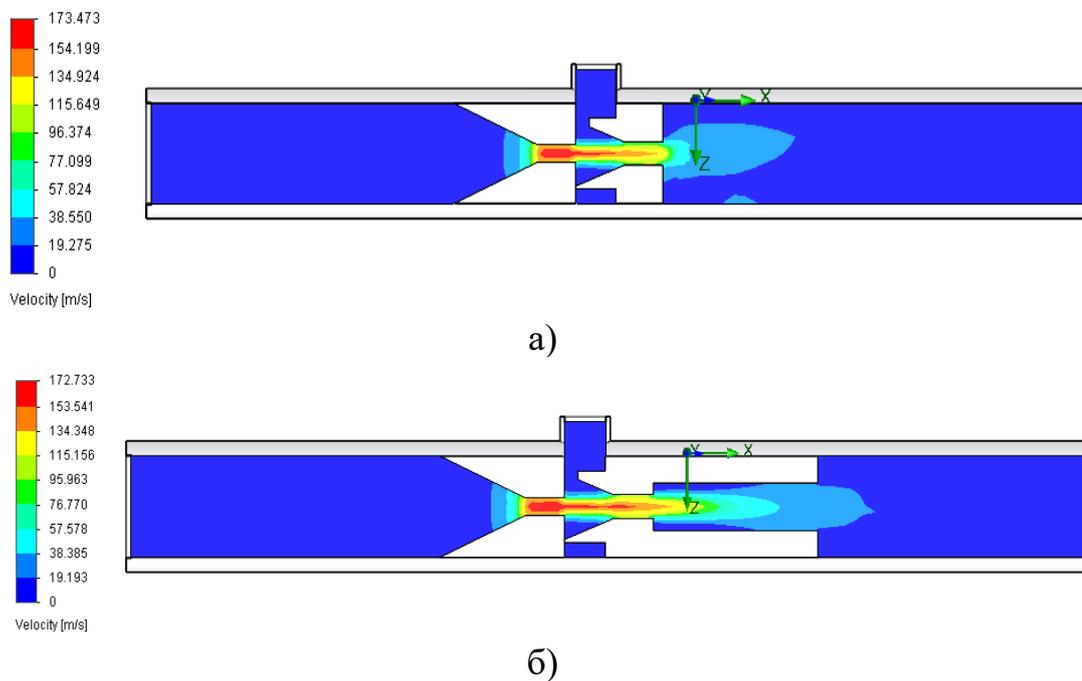
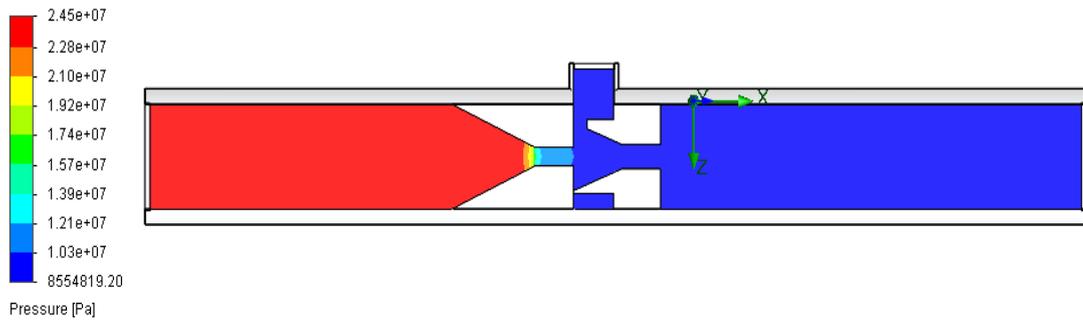


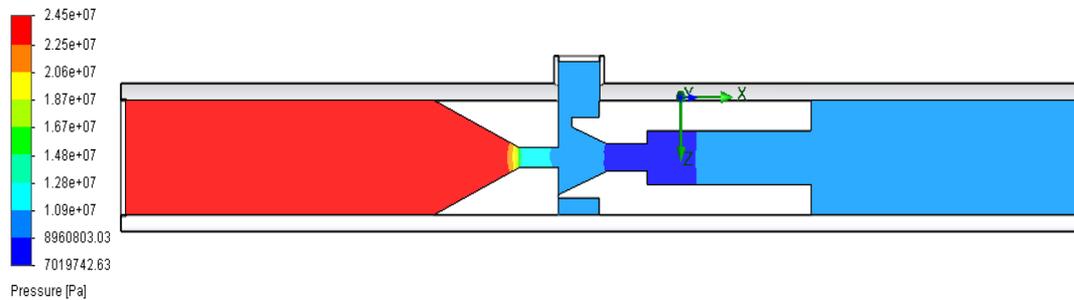
Рисунок 3.10 – Розподіл швидкості в поздовжньому перерізі пристрою:

а – камера змішування без додаткових кілець;

б – камера змішування з трьома додатковими кільцями



a)



б)

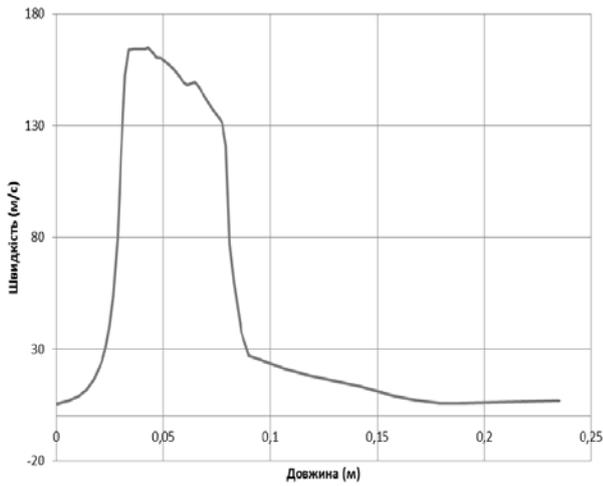
Рисунок 3.11 – Розподіл тиску в поздовжньому перерізі пристрою:

а – камера змішування без додаткових кілець;

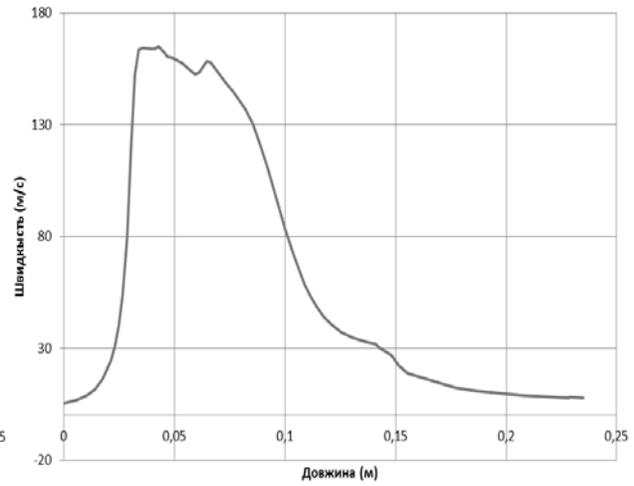
б – камера змішування з трьома додатковими кільцями

Аналізуючи графічні залежності розподілу швидкості в поздовжньому перерізі пристрою, зображеного на рис. 3.12, робимо висновок, що максимальна швидкість рідини при вході в сопло – незмінна, швидкість піни на виході більша у пристрою із трьома додатковими кільцями (відповідно 6,75 м/с та 7,72 м/с), у нього ж більш пологіше зменшення швидкості вздовж перерізу.

При аналізі графічних залежностей розподілу тиску в поздовжньому перерізі пристрою (рис. 3.13) встановлено, що необхідний тиск рідини на вході у піногенеруючий пристрій для забезпечення заданих граничних умов незмінний, у пристрої з трьома додатковими кільцями – мінімальний тиск менший (7,5 МПа та 9,4 МПа) і його тривалість вздовж перерізу пристрою довша.



а)

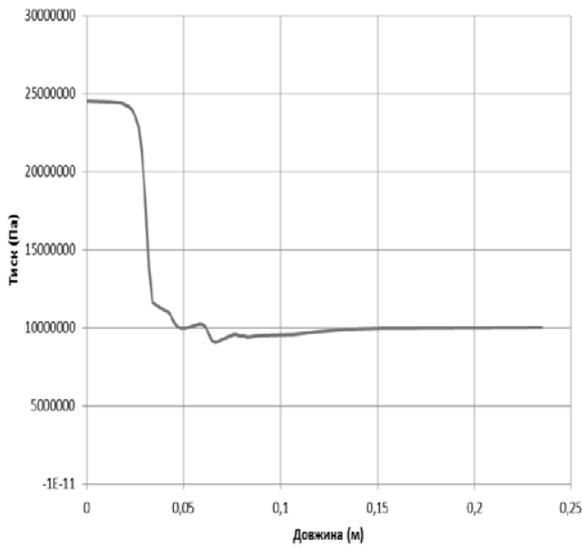


б)

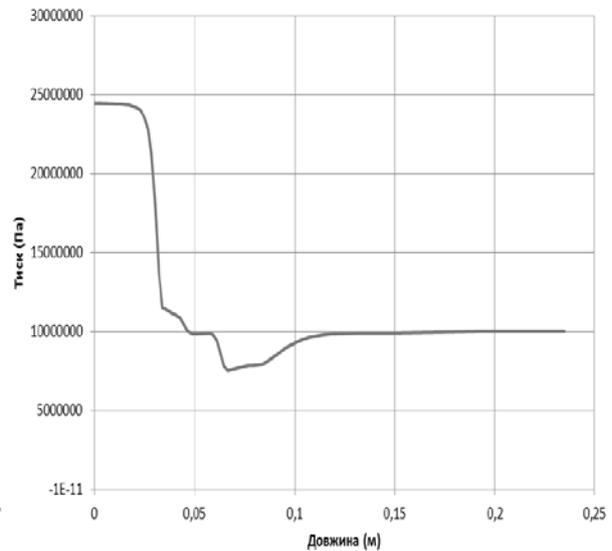
Рисунок 3.12 – Графічні залежності розподілу швидкості в поздовжньому перерізі пристрою:

а – камера змішування без додаткових кілець;

б – камера змішування з трьома додатковими кільцями



а)



б)

Рисунок 3.13 – Графічні залежності розподілу тиску в поздовжньому перерізі пристрою:

а – камера змішування без додаткових кілець;

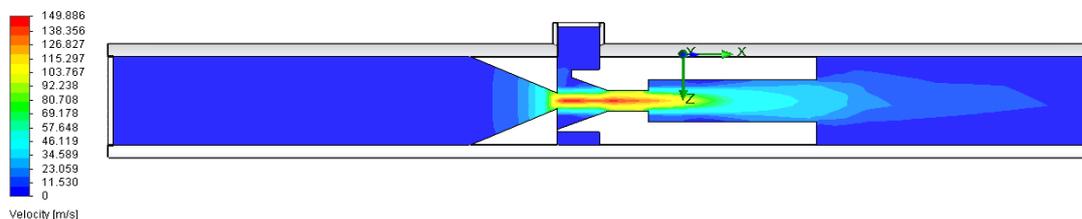
б – камера змішування з трьома додатковими кільцями

Розглянувши і проаналізувавши графічні залежності (рис. 3.10...3.13) зроблено висновок, що для експлуатації придатні піногенеруючі пристрої всіх

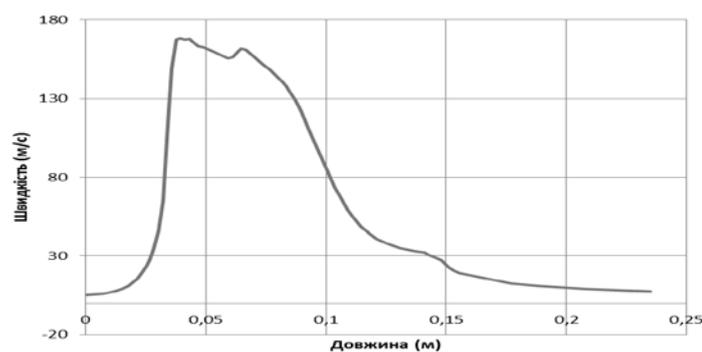
розглянутих конструкцій, які можуть бути використані для конкретних умов.

Проведено дослідження роботи піногенеруючого пристрою у випадку зміни довжини циліндричної частини сопла.

Проаналізувавши графічні залежності розподілу швидкості в поздовжньому перерізі пристрою, встановлено, що із збільшенням довжини циліндричної частини сопла від 0 мм до 15 мм швидкість у соплі зростає від 141,3 м/с до 168 м/с, але стрибок при зменненні швидкості більш плавний по довжині сопла. Швидкість піни на виході зростає від 7,05 м/с до 7,63 м/с, що підвищує продуктивність пристрою. Характер зміни швидкості у піногенеруючому пристрої без циліндричної частини сопла поданий на рис. 3.14.



а)



б)

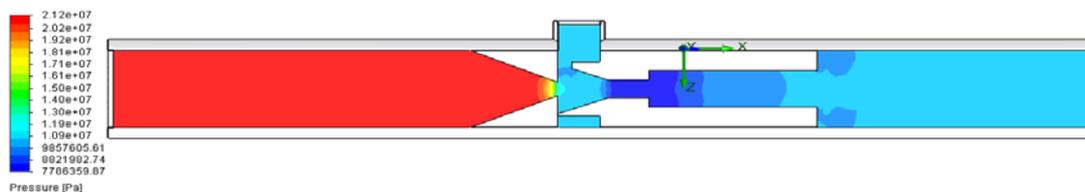
Рисунок 3.14 – Характер зміни швидкості у піногенеруючому пристрої без циліндричної частини сопла:

а – розподіл швидкості в поздовжньому перерізі пристрою;

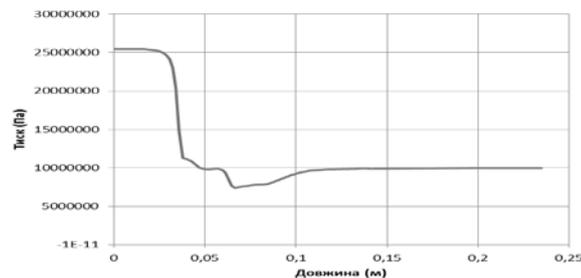
б – графічна залежність розподілу швидкості в поздовжньому перерізі пристрою

При аналізі графічних залежностей розподілу тиску в поздовжньому

перерізі пристрою встановлено, що із збільшенням довжини циліндричної частини сопла від 0 мм до 15 мм необхідні тиски рідини на вході для забезпечення заданих граничних умов зростають від 21,2 МПа до 25,4 МПа, проте мінімальні тиски в камері змішування зменшуються з 8,4 МПа до 7,4 МПа, що дає змогу зменшувати тиск повітря на вході в пристрій. Характер зміни тиску у піногенеруючому пристрої без циліндричної частини сопла поданий на рис. 3.15.



а)



б)

Рисунок 3.15 – Характер зміни тиску в піногенеруючому пристрої без циліндричної частини сопла:

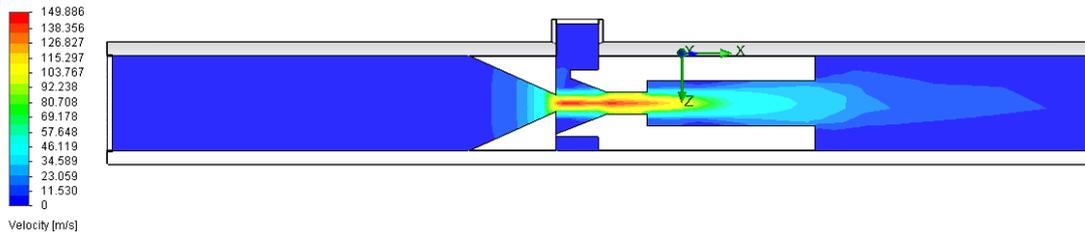
а – розподіл тиску в поздовжньому перерізі пристрою;

б – графічна залежність розподілу тиску в поздовжньому перерізі пристрою

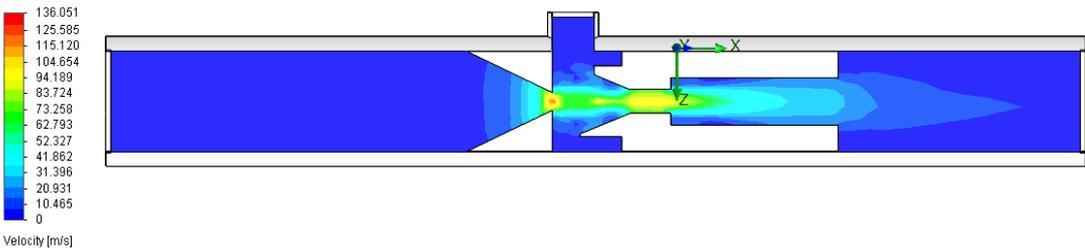
Згідно з результатами проведених досліджень комп'ютерного моделювання приймаємо довжину циліндричної частини сопла рівною 1...2 його діаметра.

Дослідження піногенеруючого пристрою проводились при зміні відстані між соплом і камерою змішування.

Розподіл швидкості, тиску і температури в поздовжньому перерізі пристрою при різній відстані між соплом і камерою змішування зображено на рис. 3.16, 3.17.



а)

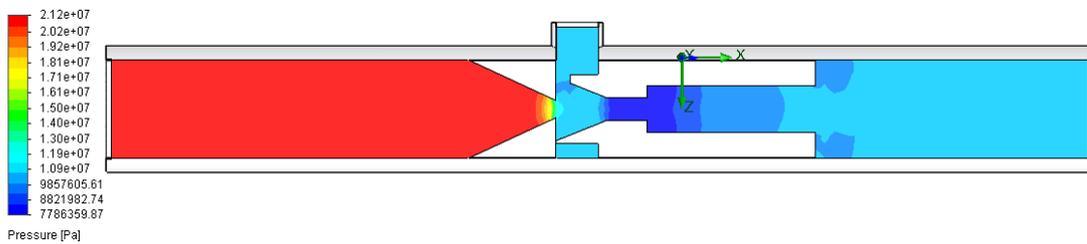


б)

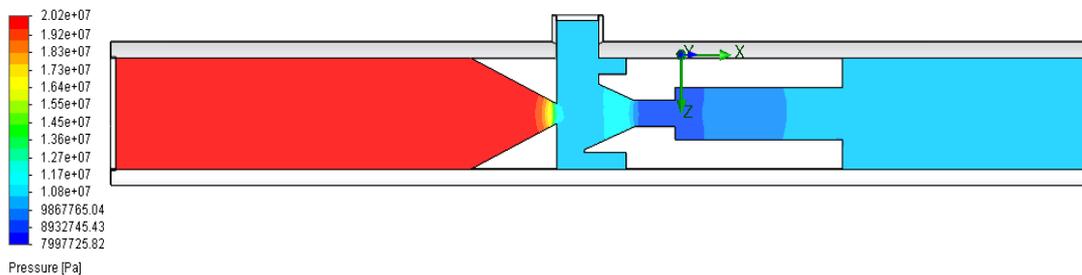
Рисунок 3.16 – Розподіл швидкості в поздовжньому перерізі пристрою:

а – при дотиканні сопла і камери змішування;

б – за відстані між соплом і камерою змішування 12 мм



а)



б)

Рисунок 3.17 – Розподіл тиску в поздовжньому перерізі пристрою:

а – при дотиканні сопла і камери змішування;

б – за відстані між соплом і камерою змішування 12 мм

Аналіз графічних залежностей розподілу швидкості в поздовжньому перерізі пристрою (рис. 3.18) вказує на те, що із зростанням відстані між

соплом і камерою змішування від 0 мм до 12 мм максимальне значення швидкості дещо зменшується – від 140,8 м/с до 122,4 м/с, але при цьому значно збільшуються коливання швидкості (особливо в перерізі між соплом і камерою змішування) і швидкість піни на виході із піногенеруючого пристрою зменшується із 7,05 м/с до 5,72 м/с, що вказує на зниження продуктивності пристрою.

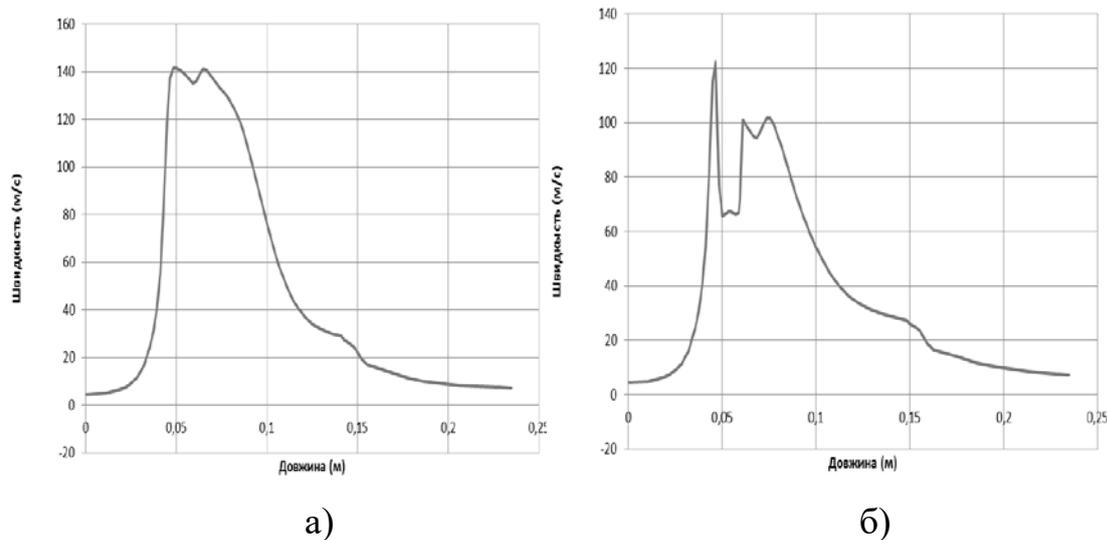


Рисунок 3.18 – Графічні залежності розподілу швидкості в поздовжньому перерізі пристрою:

а – при дотиканні сопла і камери змішування;

б – за відстані між соплом і камерою змішування 12 мм

За результатами аналізу графічних залежностей розподілу тиску в поздовжньому перерізі пристрою (рис. 3.19) встановлено, що із збільшенням відстані між соплом і камерою змішування необхідні тиски рідини на вході для забезпечення заданих граничних умов знижуються із 21,2 МПа при дотиканні сопла і камери змішування до 20,2 МПа при відстані між соплом і камерою змішування 12 мм; при цьому зростає найменший тиск в камері змішування (з 8,2 МПа до 8,93 МПа), що дещо погіршує умови для зниження тиску повітря на вході у піногенеруючий пристрій.

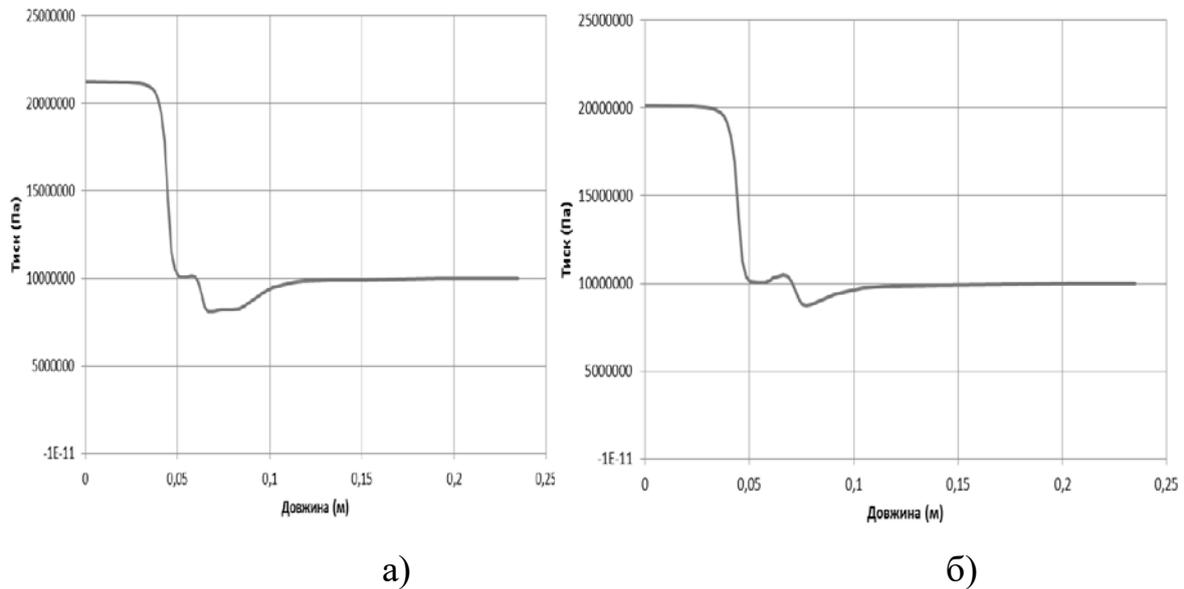


Рисунок 3.19 – Графічні залежності розподілу тиску в поздовжньому перерізі пристрою:

а – при дотиканні сопла і камери змішування;

б – за відстані між соплом і камерою змішування 12 мм

На рис. 3.20 зображено траєкторії руху потоків рідини, повітря та піни за відстані між соплом і камерою змішування 12 мм.

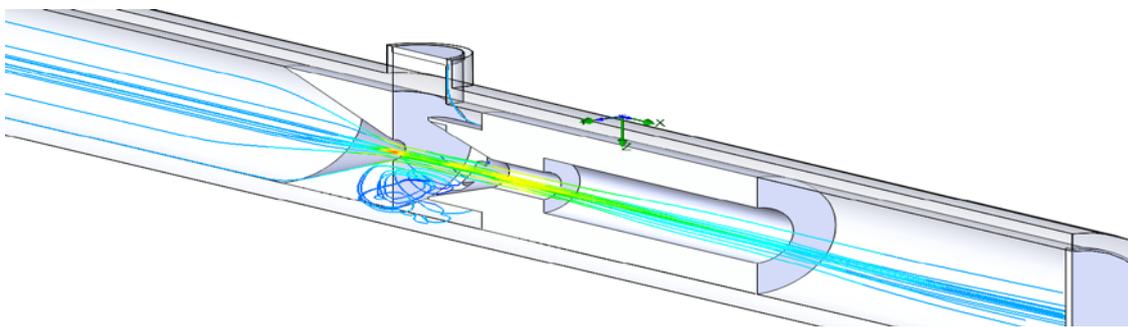


Рисунок 3.20 – Траєкторія руху потоків рідини, повітря та піни

Згідно з результатами проведених досліджень, враховуючи зниження мінімального тиску та температури на виході із пристрою, а також підвищення його продуктивності, рекомендується використовувати піногенеруючий пристрій, у якому сопло дотикається до камери змішування.

Проведено дослідження роботи піногенеруючого пристрою при зміні

довжини циліндричної частини камери змішування.

Розподіл швидкості, тиску і температури рідини в поздовжньому перерізі пристрою при зміні довжини циліндричної частини камери змішування зображено на рис. 3.21, 3.22.

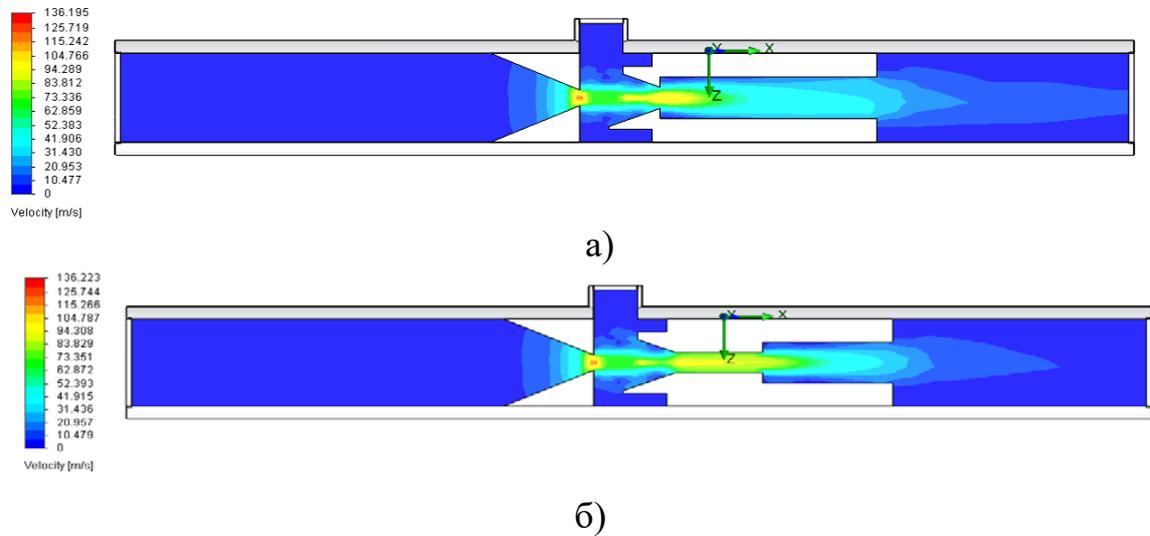


Рисунок 3.21 – Розподіл швидкості в поздовжньому перерізі пристрою:

а – камера змішування без циліндричної частини;

б – камера змішування з циліндричною частиною довжиною 30 мм

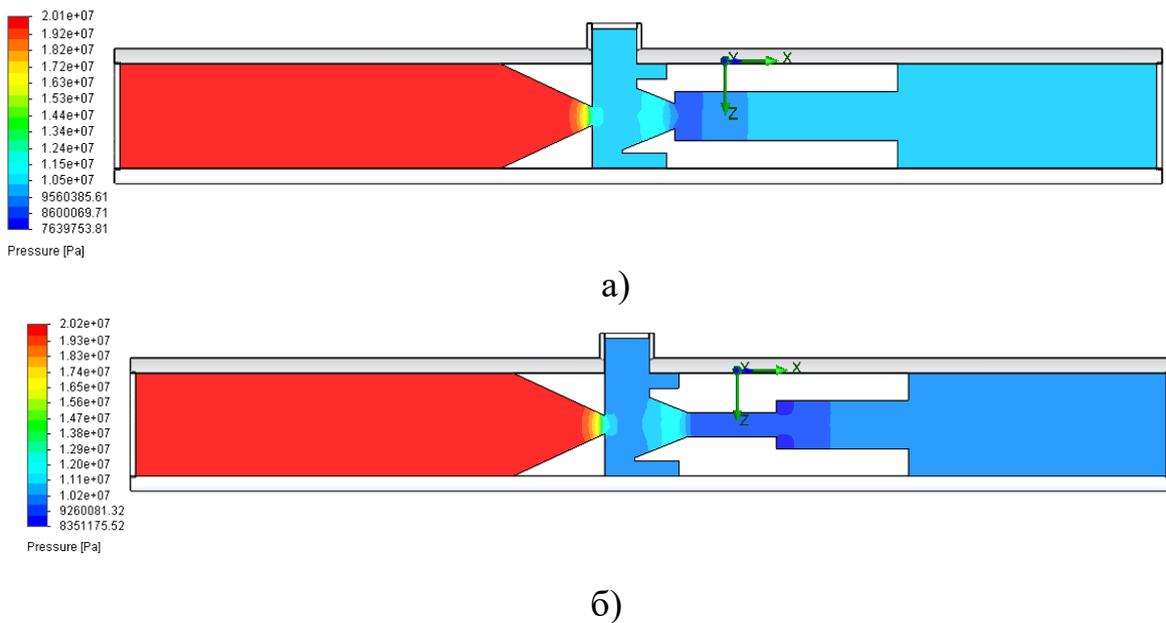


Рисунок 3.22 – Розподіл тиску в поздовжньому перерізі пристрою:

а – камера змішування без циліндричної частини;

б – камера змішування з циліндричною частиною довжиною 30 мм

Під час аналізу графічних залежностей розподілу швидкості в

поздовжньому перерізі пристрою (рис. 3.23) встановлено, що максимальна швидкість рідини при вході у сопло фактично однакова (122,4 – 122,6 м/с), але швидкість піни на виході із піногенеруючого пристрою зменшується від 7,24 м/с до 5,6 м/с, що вказує на нижчу продуктивність пристрою із довгою циліндричною камерою змішування.

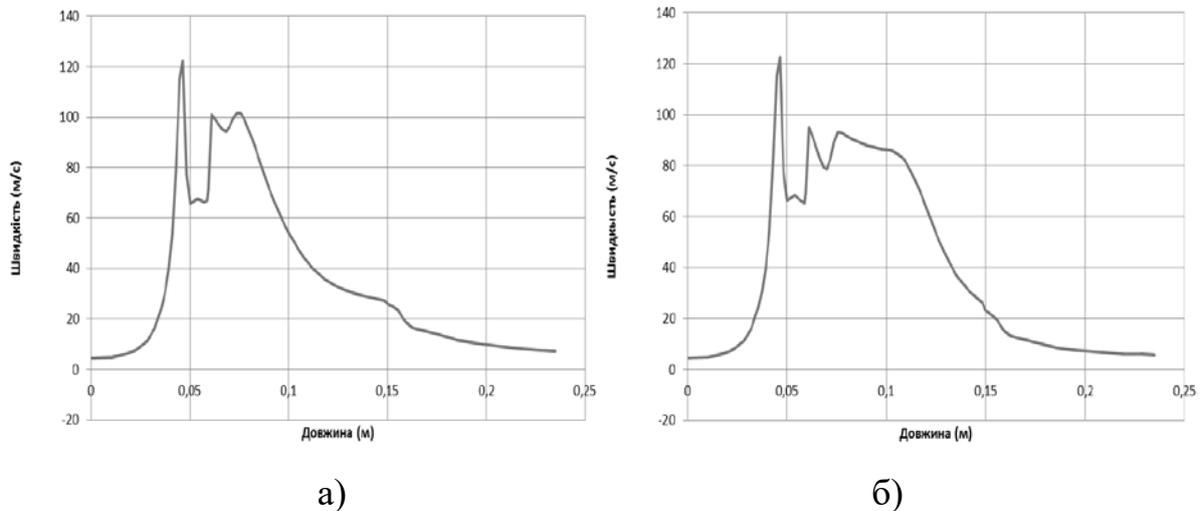


Рисунок 3.23 – Графічні залежності розподілу швидкості в поздовжньому перерізі пристрою:

а – камера змішування без циліндричної частини;

б – камера змішування з циліндричною частиною довжиною 30 мм

При аналізі графічних залежностей розподілу тиску в поздовжньому перерізі пристрою (рис. 3.24) встановлено, що у разі збільшення довжини циліндричної частини камери змішування необхідні тиски рідини на вході для забезпечення заданих граничних умов, а також мінімальні тиски в камері змішування, фактично не змінюються, але при цьому зростає тривалість найменшого тиску вздовж перерізу пристрою.

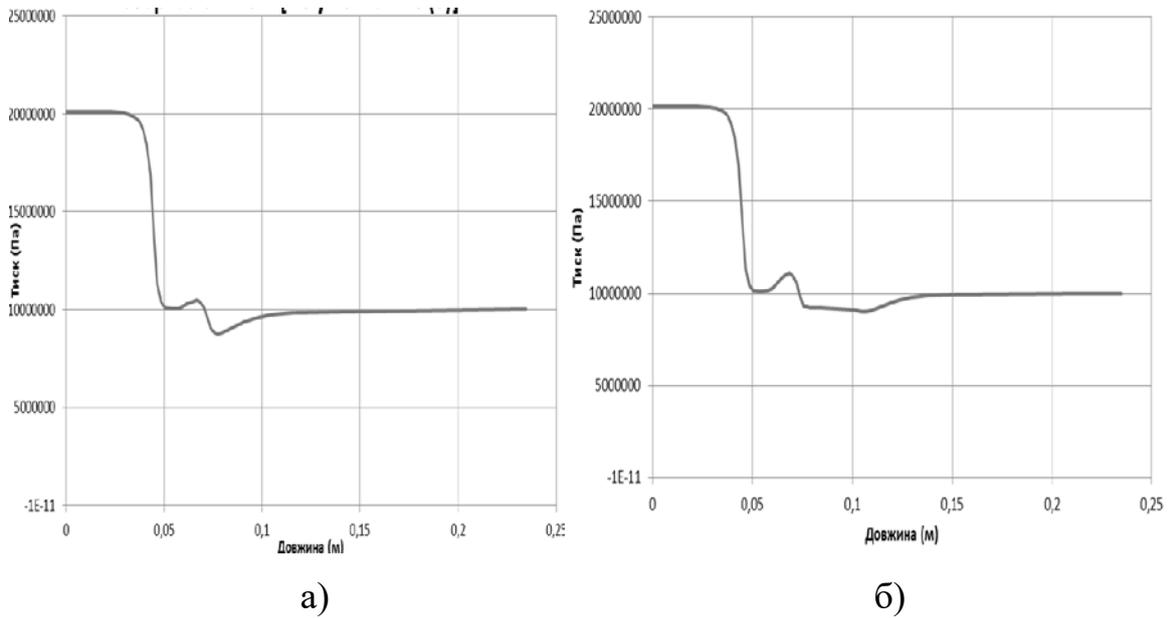


Рисунок 3.24 – Графічні залежності розподілу тиску в поздовжньому перерізі пристрою:

а – камера змішування без циліндричної частини;

б – камера змішування з циліндричною частиною довжиною 30 мм

На рис. 3.25 зображено траєкторії руху потоків рідини, повітря та піни у піногенеруючому пристрої із камерою змішування, довжина циліндричної частини якої складає 30 мм.

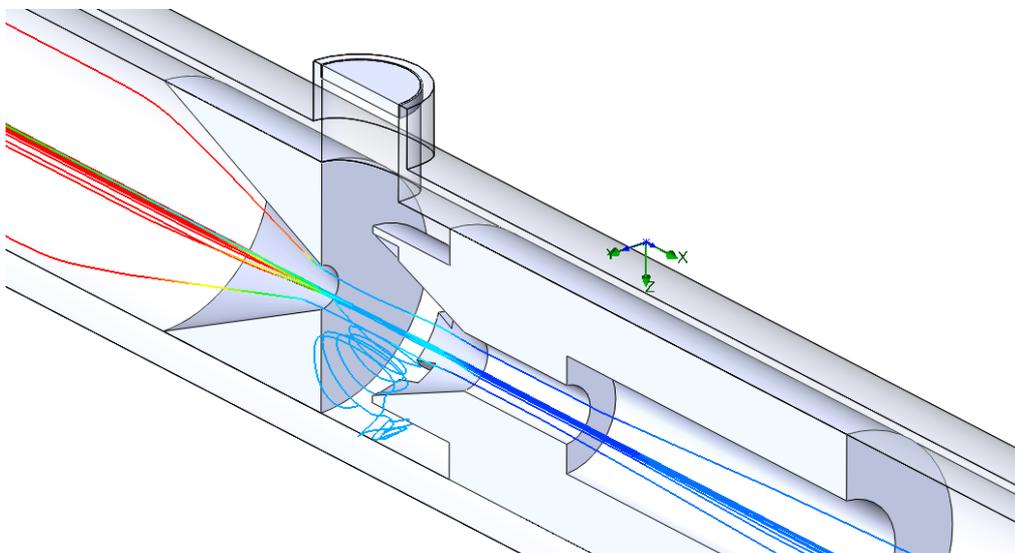


Рисунок 3.25 – Траєкторія руху потоків рідини, повітря та піни

Згідно з проведеним комп'ютерним дослідженням прийнято довжину циліндричної частини камери змішування рівною 1 – 1,5 її діаметра.

### 3.2 Аналіз результатів комп'ютерного дослідження піногенеруючого устаткування

При проведенні комп'ютерних досліджень піногенеруючих пристроїв, враховуючи різні режими їх експлуатації, отримано залежності необхідних тисків рідини на вході в пристрій залежно від тиску піни на виході. Отримані результати для невисоких тисків зведено в таблицю 3.1.

Таблиця 3.1 – Залежність необхідного тиску рідини на вході у піногенеруючий пристрій від тиску піни на виході, подачі рідини на вході та тиску газу на вході

Рп., МПа	Qр., м <sup>3</sup> /год	2		3		4	
	Рг., МПа	0,2	0,15	0,2	0,15	0,2	0,15
0,1	0,1	0,16	0,18	0,17	0,19	0,18	0,2
0,2	0,2	0,25	0,35	0,27	0,38	0,37	0,4
0,3	0,3	0,38	0,48	0,42	0,52	0,56	0,6
0,4	0,4	0,5	0,6	0,6	0,7	0,75	0,8
0,5	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	0,95	1
0,6	0,6	0,7	0,8	1	1,1	1,15	1,2
0,7	0,7	0,8	0,9	1,15	1,3	1,4	1,5
0,8	0,8	0,9	1,05	1,3	1,5	1,65	1,8
0,9	0,9	1	1,2	1,45	1,7	1,9	2,1
1,0	1,0	1,1	1,37	1,6	1,9	2,2	2,4
1,1	1,1	1,2	1,5	1,9	2,2	2,45	2,7
1,2	1,2	1,4	1,7	2,2	2,5	2,85	3,1
1,3	1,3	1,6	1,9	2,5	2,8	3,2	3,5
1,4	1,4	1,9	2,2	2,75	3,1	3,7	4
1,5	1,5	2,2	2,5	3,15	3,4	4,2	4,5

На основі таблиці 3.1 побудовані графічні залежності необхідного тиску

рідини на вході у піногенеруючий пристрій від тиску піни на виході при різних подачах рідини та тиску повітря на вході у піногенеруючий пристрій. Проаналізувавши графічні залежності встановлено, що тиск піни на виході зростатиме при зменшенні подачі рідини та збільшенні тиску рідини і газу на вході у піногенеруючий пристрій.

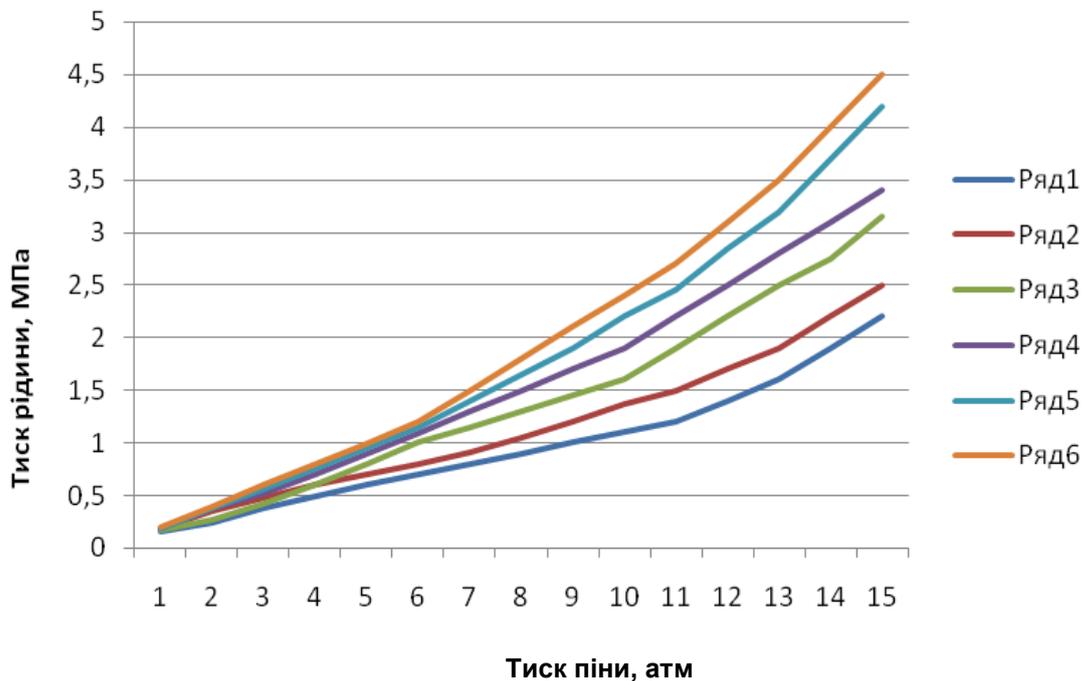


Рисунок 3.26 – Залежність необхідного тиску рідини на вході у піногенеруючий пристрій від тиску піни на виході:

- 1 – при подачі рідини 2 м<sup>3</sup>/год і тиску газу на вході 0,2 МПа;
- 2 – при подачі рідини 2 м<sup>3</sup>/год і тиску газу на вході 0,15 МПа;
- 3 – при подачі рідини 3 м<sup>3</sup>/год і тиску газу на вході 0,2 МПа;
- 4 – при подачі рідини 3 м<sup>3</sup>/год і тиску газу на вході 0,15 МПа;
- 5 – при подачі рідини 4 м<sup>3</sup>/год і тиску газу на вході 0,2 МПа;
- 6 – при подачі рідини 4 м<sup>3</sup>/год і тиску газу на вході 0,15 МПа

## Висновки

1 Вибрана і відпрацьована програма та методика дослідження піногенеруючого пристрою є працездатною, нею можна досліджувати траєкторії руху потоків рідини, повітря і суміші, визначати розподіл тиску, швидкості, температури по всій робочій довжині піногенеруючого пристрою.

2 Проведені комп'ютерні дослідження піногенеруючого пристрою підтвердили результати теоретичних досліджень.

3 Порівнюючи характеристики піногенеруючих пристроїв різних типів можна дати рекомендацію, що при створенні моделі піногенеруючого пристрою необхідно використовувати камери змішування із конічною вхідною частиною, різними довжинами камер змішування та довжиною циліндричної частини камери змішування рівною  $1 \dots 1,5$  її діаметра.

4 Піногенеруючі пристрої з можливістю заміни сопел різних діаметрів в межах 4..8 мм будуть високоефективними для певних конкретних умов їх застосування. Довжину циліндричної частини сопла рекомендується прийняти рівною  $1 \dots 2$  її діаметра.

5 Аналіз графічних залежностей розподілу тиску в поздовжньому перерізі пристрою показує, що при зміні граничних умов, тобто зменшенні тиску у підвідному патрубку до 7,5 МПа, тиск на виході з пристрою 10 МПа, і при збільшенні подачі рідини на вході до 0,02 м<sup>3</sup>/с, тиск та швидкість у пристрої після удосконалення конструкції камери змішування зменшився – з 27 до 18 МПа, з 177,7 м/с до 159 м/с. Останнє спричиняє менший тиск у підвідному патрубку.

## 4. РОЗРАХУНКИ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ

### 4.1 Розрахунок параметрів в камері змішування змішувача рідини з повітрям

Розглядаємо модель з центральним підведенням рідини, яка витікає з насадки (рисунок 4.1). При цьому струмінь інжектованого потоку (повітря) подається під тиском із бокових каналів прямокутного перерізу і в камері змішування приєднується до робочої рідини.

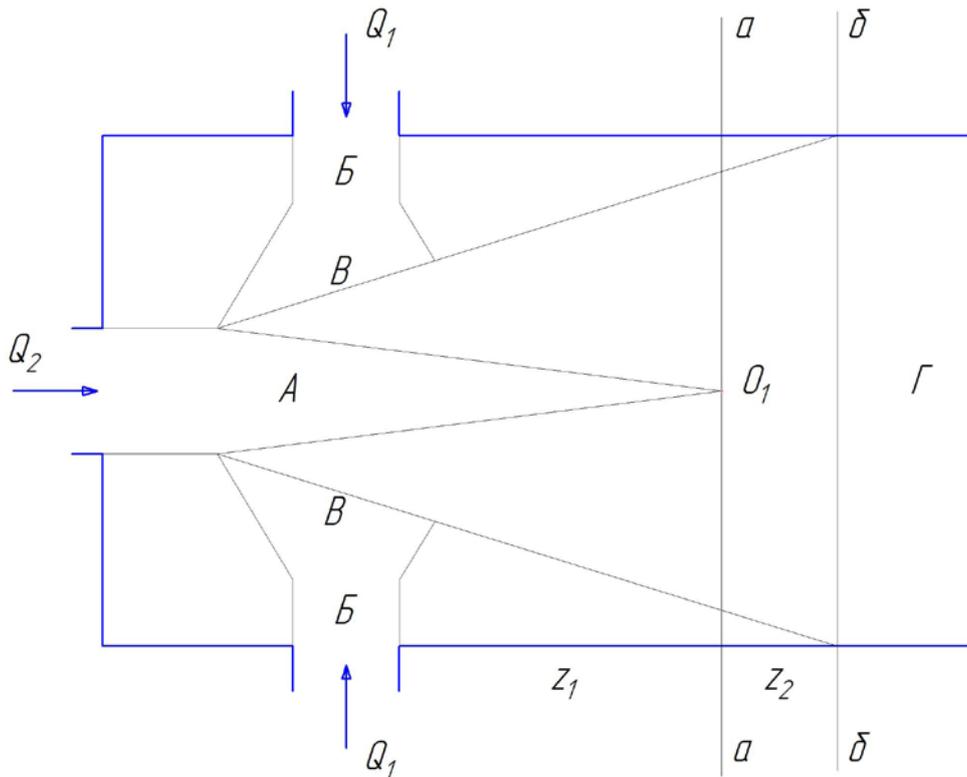


Рисунок 4.1 – Розрахункова схема процесу змішування потоків

Струмінь робочого потоку, що витікає із насадки, внаслідок приєднання повітря поступово розширюється і на певній відстані від вхідного перерізу камери змішування (переріз  $бб$ ) з'єднується з її стінками. Як показують дослідження, границі струменя окреслені прямими лініями, причому вони мають неоднаковий нахил до осі на ділянках камери змішування  $Z_1$  і  $Z_2$ . На початковій ділянці камери змішування в центральній частині струменя розміщене потенційне ядро  $A$ , ширина якого з постійною швидкістю

зменшується вздовж потоку і в т.О<sub>1</sub> приймає нульові значення. Повітряний потік, що рухається в камері (область Б) має форму кільцевого конфузора. Між областями А і Б утворюється область В, в якій відбувається змішування двох потоків. В області Г завершується процес змішування робочої рідини і повітря. Залежно від геометричних розмірів сопел для подачі рідини і каналу для подачі повітря т.О<sub>1</sub> може знаходитись (рисунок 4.1) праворуч від перерізу *бб*. В цьому випадку довжина ділянки між перерізами *аа* та *бб* становить  $Z_2=0$ .

Розрахунки параметрів в камері змішування пристрою будемо проводити при наступних граничних припущеннях:

- 1) Повітряний потік не містить вологи.
- 2) Потік рідини не містить повітряних бульбашок.
- 3) Втрати в граничному шарі на стінці нескінченно малі.
- 4) Довжини початкової і основної ділянок відомі і задаються експериментальними рівняннями.
- 5) Статичний тиск постійний в перетині камери змішування.

Для визначення тиску повітря і рідини на виході із початкової ділянки камери змішування (переріз *бб*) використаємо рівняння зміни кількості руху, яке має такий вигляд:

- для повітряної фази:

$$\rho_1 \varphi \vartheta_1 \frac{d\vartheta_1}{dz} = -F - \varphi \frac{dp_1}{dz}, \quad (4.1)$$

- для рідинної фази:

$$\rho_2 (1 - \varphi) \vartheta_2 \frac{d\vartheta_2}{dz} = F - (1 - \varphi) \frac{dp_2}{dz}, \quad (4.2)$$

де  $\rho_1, \rho_2$  – густина відповідно повітря і рідини;

$\varphi$  – об’ємна концентрація повітряної фази у суміші;

$\vartheta_1, \vartheta_2$  – швидкість відповідно повітря і газу;

$z$  – довжина камери змішування;

$p$  – тиск робочого середовища;

$F$  – сила тертя на поверхні розділу фаз відносно одиниці об’єму

двохфазної системи; визначаємо за формулою:

$$F = \frac{C_f \rho_1 (\vartheta_2 - \vartheta_1)^2 \sqrt{(1-\varphi)}}{R(z)}, \quad (4.3)$$

де  $C_f$  - коефіцієнт опору на границі розділу фаз;

$R(z)$  - радіус камери змішування в перерізі.

При обтіканні повітрям рідинного потоку поблизу зрізу сопел утворюється ламінарний граничний шар. Коефіцієнт опору в цій зоні визначається за формулою Блазіуса:

$$C_f = 1,328 \frac{1}{\sqrt{\text{Re}_z}}. \quad (4.4)$$

В даному випадку число Рейнольдса визначається за формулою:

$$\text{Re}_z = \frac{\rho_1 (\vartheta_2 - \vartheta_1) z}{\mu_1}. \quad (4.5)$$

При числах Рейнольдса більших  $5 \cdot 10^5$  граничний шар переходить в турбулентний, в якому коефіцієнт опору

$$C_f = 0,0576 \frac{1}{\sqrt[5]{\text{Re}_z}} \quad (4.6)$$

Диференціюючи рівняння (4.1) і (4.2) за допомогою програми “Maple 9,5” отримаємо рівняння, що визначають зв'язок тиску відповідно повітря і рідини на виході із початкової ділянки камери змішування з її довжиною  $l_1$

$$p_2(Z) = -C_2 e^{-\frac{[F - \rho_2 \vartheta_2 + \rho_2 \varphi \vartheta_2] l_1}{-1 + \varphi}}, \quad (4.7)$$

$$p_1(Z) = -C_1 e^{-\frac{[F + \rho_1 \varphi \vartheta_1] l_1}{\varphi}} \quad (4.8)$$

де  $l_1$  – довжина початкової ділянки камери змішування; визначається (рис.4.3) як сума ділянок камери змішування  $Z_1$  і  $Z_2$ .

Коефіцієнт  $C_1$  і  $C_2$  визначаємо з умови, що на вході у камеру змішування

піногенераторного пристрою  $l_1=0$ , а отже  $p_2(0)=-C_2$  і тому  $C_2=-p_2$ . Враховуючи, що на виході із початкової ділянки камери змішування  $p_1(Z) = p_2(Z) = p_{\text{сум.}}$ , поділимо рівняння (4.7) на (4.8) і отримаємо значення коефіцієнта  $C_1$

$$C_1 = C_2 e^{\left( \frac{\left[ \frac{F - \rho_2 g_2 + \rho_2 \varphi g_2}{-1 + \varphi} \right] l_1 - \left[ \frac{F + \rho_1 \varphi g_1}{\varphi} \right] l_1}{\varphi} \right)} \quad (4.9)$$

Тиски повітря  $p_1$  і рідини  $p_2$  на вході у змішувач рідини з повітрям визначаються за допомогою відомих рівнянь гідравліки і термодинаміки при заданих тисках на виході із бурового насоса та компресора.

Після змішування робочої рідини із повітрям за перетином основної камери (переріз *бб*) утворюється бульбашковий або пінний потік. Вхідними даними для аналізу цього потоку є величини, що отримані в результаті чисельного розрахунку рівнянь (4.7), (4.8).

Використовуємо рівняння збереження маси:

$$\frac{d\vartheta}{\vartheta} + \frac{dS}{S} + \frac{d\rho}{\rho} = 0 \quad (4.10)$$

де  $\vartheta$  – швидкість потоку суміші в перетині основної камери;

$S$  – площа поперечного перерізу камери змішування;

$\rho$  – густина двофазного потоку; визначається за перерізом *бб* для  $\frac{\rho_1}{\rho_2} \ll 1$  за формулою:

$$\rho = (1 - \varphi)\rho_2 \quad (4.11)$$

Диференціюючи рівняння (4.11)

$$\frac{d\rho}{\rho} = -\frac{d\varphi}{(1 - \varphi)} \quad (4.12)$$

і підставляючи отримане рівняння в рівняння (4.10), отримаємо:

$$\frac{d\vartheta}{\vartheta} = \frac{d\varphi}{(1 - \varphi)} - \frac{dS}{S} \quad (4.13)$$

Рівняння збереження імпульсу з врахуванням тертя на стінках каналу має вигляд:

$$dp = -\frac{(m_1 + m_2)}{S} d\vartheta - \tau_w \frac{\pi \cdot D}{S} dz, \quad (4.14)$$

де  $m_1, m_2$  – маса відповідно повітряної і газової фази;

$D$  – діаметр камери змішування;

$\tau_w$  – дотичне напруження на стінках, для бульбашкового двофазного повітряно-рідинного потоку малої швидкості:

$$\tau_w = \frac{0,085}{\sqrt[4]{\text{Re}}} \cdot \frac{\rho \vartheta^2}{2}, \quad (4.15)$$

де  $\text{Re}$  – число Рейнольдса, для даного випадку:

$$\text{Re} = \frac{4(m_1 + m_2)}{\pi \cdot D \cdot \mu_2}. \quad (4.16)$$

де  $\mu_2$  – динамічна в'язкість рідини.

Використовуючи рівняння (4.11) і (4.13) знаходимо:

$$\frac{dp}{dz} = -\frac{(m_1 + m_2)^2}{S^2(1-\varphi)\rho_2} \left\{ -\frac{1}{S} \frac{dS}{dz} + \frac{1}{1-\varphi} \frac{d\varphi}{dz} \right\} - \tau_w \frac{\pi \cdot D}{S}. \quad (4.17)$$

Для конусної камери змішування профіль каналу задається аналітично у вигляді функції від  $z$ :

$$S(z) = \pi(R_{cp} - z \cdot \text{tg}\beta)^2, \quad (4.18)$$

де  $\beta$  – кут напіврозкриття камери змішування;

$R_{cp}$  – радіус зрізу.

Тому отримаємо систему:

$$\begin{cases} \frac{1}{S} \cdot \frac{dS}{dz} = -\frac{\text{tg}\beta}{2(R_{cp} - z \cdot \text{tg}\beta)}; \\ \frac{dp}{dz} = -\frac{(m_1 + m_2)^2}{S^2(1-\varphi)\rho_2} \left\{ -\frac{\text{tg}\beta}{2(R_{cp} - z \cdot \text{tg}\beta)} + \frac{1}{1-\varphi} \cdot \frac{d\varphi}{dz} \right\} - \tau_w \frac{\pi \cdot D}{S} \end{cases}. \quad (4.19)$$

Додаткові рівняння зв'язку між тиском  $p$ , масовою концентрацією повітряної фази у суміші  $x$  і об'ємною концентрацією повітряної фази у

суміші  $\varphi$  знаходимо із співвідношення для густини речовини, а саме:

$$\begin{cases} \rho x = \rho_1 \varphi, \\ \rho(1-x) = \rho_2(1-\varphi) \end{cases} \quad (4.20)$$

Розділивши перше рівняння на друге, отримаємо:

$$\frac{x}{1-x} = \frac{\varphi}{1-\varphi} \cdot \frac{\rho_1}{\rho_2}. \quad (4.21)$$

Диференціюючи формулу (4.21) отримаємо:

$$\frac{dx}{x(1-x)} = \frac{d\varphi}{(1-\varphi)\varphi} + \frac{d\rho_1}{\rho_1}. \quad (4.22)$$

Використовуючи для повітряної фази рівняння політропи в диференційній формі:

$$\frac{dp}{np} = \frac{d\rho_1}{\rho_1}. \quad (4.23)$$

і підставляючи його в рівняння (4.22) отримаємо рівняння, що пов'язує  $p, x$  і  $\varphi$  в наступному вигляді:

$$\frac{dx}{x(1-x)} = \frac{d\varphi}{(1-\varphi)\varphi} + \frac{dp}{np}, \quad (4.24)$$

де  $n$  – показник політропи.

Ліва частина цього рівняння виражає швидкість відносної зміни повітряної фази і може бути визначена за допомогою рівняння теплового балансу:

$$\lambda dm_1 = -\alpha(T_1 - T_2)S \quad (4.25)$$

або

$$\lambda dx = -\frac{\alpha(T_1 - T_2)S}{m_1 + m_2}, \quad (4.26)$$

де  $\alpha$  – коефіцієнт тепловіддачі;

$\lambda$  – коефіцієнт теплопровідності рідини;

$T_1$  і  $T_2$  – відповідно термодинамічна температура повітря та рідини.

Вираз  $\frac{S}{m_1 + m_2}$ , провівши нескладні перетворення, виразимо через число

бульбашок, що знаходяться в даний момент в перетині :

$$\frac{S}{m_1 + m_2} = \frac{3x}{D/2} \frac{1}{\rho_1 g} dz \quad (4.27)$$

або

$$\frac{dx}{x} = -\frac{3\alpha(T_1 - T_2)}{\lambda(D/2)\rho_1 g} dz. \quad (4.28)$$

Виражаючи густину повітря із рівняння політропи і підставляючи (4.28) в (4.24) отримаємо:

$$\frac{dp}{np} = -\frac{d\varphi}{(1-\varphi)\varphi} - \frac{3\alpha(T_1 - T_2)}{\lambda(D/2)\rho_1 g} dz. \quad (4.29)$$

Рівняння (4.19) та (4.29) виражаємо залежність тиску від об'ємної концентрацією повітряної фази у суміші і прохідного каналу. Комбінуючи ці рівняння будемо мати:

$$\frac{dp}{dz} = -\frac{(m_1 + m_2)^2}{S^2(1-\varphi)\rho_2} \cdot \frac{1}{S} \frac{dS}{dz} + \frac{(m_1 + m_2)^2 \varphi}{S^2(1-\varphi)\rho_2 n} \cdot \frac{dp}{pdz} - L_Q \varphi - \tau_w \frac{D}{S} \cdot \frac{(m_1 + m_2)^2}{S^2(1-\varphi)\rho_2}, \quad (4.30)$$

де  $L_Q$  – тепловий множник; визначається за формулою:

$$L_Q = \frac{3\alpha(T_1 - T_2)}{\lambda(D/2)\rho_1 g}. \quad (4.31)$$

Тому отримаємо:

$$\frac{dp}{dz} = -\frac{\frac{(m_1 + m_2)^2}{S^2(1-\varphi)\rho_2} \left[ \frac{1}{S} \cdot \frac{dS}{dz} + L_Q - \tau_w \frac{\pi \cdot D}{S} \right]}{1 - \frac{(m_1 + m_2)^2 \varphi}{S^2(1-\varphi)\rho_2 np}}. \quad (4.32)$$

Швидкість звуку в двофазному бульбашковому середовищі при відсутності фазових змін має вигляд:

$$a = \left[ \frac{np}{\varphi(1-\varphi)\rho_2} \right]^{1/2} \quad (4.33)$$

Враховуючи число Маха, яке підраховане за швидкістю звуку для двофазного середовища, і визначається за формулою:

$$M = \frac{g}{\sqrt{\frac{np}{\varphi(1-\varphi)\rho_2}}} \quad (4.34)$$

і підставляючи в рівняння (4.32) отримаємо рівняння впливу на тиск у такому вигляді:

$$\frac{dp}{dz} = -\frac{\rho g^2 \left[ \frac{1}{S} \cdot \frac{dS}{dz} + L_Q - \tau_w \frac{\pi \cdot D}{S} \right]}{1 - M^2}. \quad (4.35)$$

Інтегруючи (4.35) за допомогою програми “Maple 9,5” отримаємо рівняння, що визначає зв'язок тиску суміші на виході із камери змішування з її довжиною

$$p(Z) = -C_3 e^{\frac{\rho g^2 \left[ 1 + L_Q S - \pi \cdot \tau_w D \right] l_2}{S(M-1)(M+1)}}. \quad (4.36)$$

де  $l_2$  – довжина основної ділянки камери змішування.

Коефіцієнт  $C_3$  визначаємо з умови, що на вході у камеру змішування змішувача рідини з повітрям  $l_2 = 0$ , а отже  $p(0) = -C_3$  і тому  $C_3 = -p_2(z)$ .

При визначеному коефіцієнті  $C_3$  рівняння (2.36) дає можливість на стадії попереднього розрахунку та підбору основного обладнання для буріння свердловин з використанням піною прогнозувати рівень тиску пінної суміші на виході із змішувача рідини з повітрям із певною довжиною камери змішування.

## 4.2 Розрахунок довжини камери змішування

Довжина камери змішування змішувача рідини з повітрям безпосередньо впливає на його параметри. Для довгої камери змішування поле швидкостей в потоці перед входом в дифузор має високий ступінь рівномірності, внаслідок чого перетворення кінетичної енергії в потенціальну супроводжується малими гідравлічними втратами. Однак при цьому зростають втрати на тертя в камері змішування. У випадку короткої камери процес змішування в ній не завершується і високий ступінь нерівномірності поля швидкостей в її вхідному перерізі викликає зростання гідравлічних втрат в дифузорі змішувача рідини з

повітрям. Таким чином, для отримання максимального ККД важливий раціональний вибір довжини камери змішування.

Довжина камери змішування визначається за формулою:

$$L_k = l_1 + l_2, \quad (4.37)$$

де  $l_1$  – довжина початкової ділянки камери змішування;

$l_2$  – довжина основної ділянки камери змішування.

Для визначення довжини початкової ділянки камери змішування використаємо формулу:

$$l_1 = Z_1 + Z_2. \quad (4.38)$$

Відносна довжина початкової ділянки робочого струменя в камері змішування змішувача рідини з повітрям визначається за формулою

$$Z_1/D = \frac{4,188}{K_{nn}^{0,5}} \left[ 1 - 0,379 \left( 1 - \frac{1,032u}{K_{nn} - 1} \right) \right], \quad (4.39)$$

де  $u$  – коефіцієнт ежекції;

$K_{nn}$  – геометричний параметр камери змішування змішувача рідини з повітрям, визначається за формулою:

$$K_{nn} = \frac{S}{S_2} \quad (4.40)$$

де  $S$  – площа поперечного перерізу камери змішування;

$S_2$  – площа поперечного перерізу сопла для подачі рідини.

Відносна довжина ділянки камери змішування, в кінцевому перерізі якої відбувається з'єднання границь робочого струменя з її стінками, визначається за формулою

$$Z_2/D = \frac{0,232(1 - 3,278K_{nn}^{-1}) \left[ 1 + 2,893u(K_{nn} - 1)^{-1} \ln(0,305K_{nn}^{0,5}) \right]}{K_{nn}^{0,5} \ln \left[ \frac{1+u}{0,257K_{nn}} - \frac{2,891u}{K_{nn} - 1} \right]^{-1}}. \quad (4.41)$$

Для відносної довжини основної ділянки краще співпадання з дослідними

даними дає експериментальна залежність :

$$l_2/D = 18,36 M_R^{-0,181}, \quad (4.42)$$

де  $M_R$  – відношення імпульсу повітря на виході із сопла до імпульсу рідини, визначаємо за формулою:

$$M_R = \frac{\rho_2 \mathcal{G}_2}{\rho_1 \mathcal{G}_1}. \quad (4.43)$$

Результати розрахунків для кожного режиму роботи бурового насоса та різної компоновки змішувача рідини з повітрям занесені в таблиці.

Таблиця 4.1 – Значення витрати повітря  $Q_1$ , м<sup>3</sup>/хв. при  $S_3=25 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$  ( $L=5 \cdot 5$ );  $S_4=12,6 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$  (**dc.=4мм**);  $\rho=1000 \text{ кг/м}^3$ ;  $D=0,016 \text{ м}$ ; **Z1=0,105м**.

Режим роботи – на найбільшу подачу (95 подвійних ходів вала за хвилину)

$P_2$ , МПа	$Q_2 \cdot 10^{-3}$ м <sup>3</sup> /с	Діаметр циліндрових втулок, мм	$p_1$ , МПа						
			0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
13	8,8	90	2,62	1,75	1,31	1,05	0,87	0,75	0,66
10	11,20	100	3,34	2,22	1,67	1,33	1,11	0,95	0,83
8	13,75	110	4,1	2,73	2,05	1,64	1,37	1,17	1,02
6	18,15	125	-	3,61	2,7	2,16	1,8	1,55	1,35

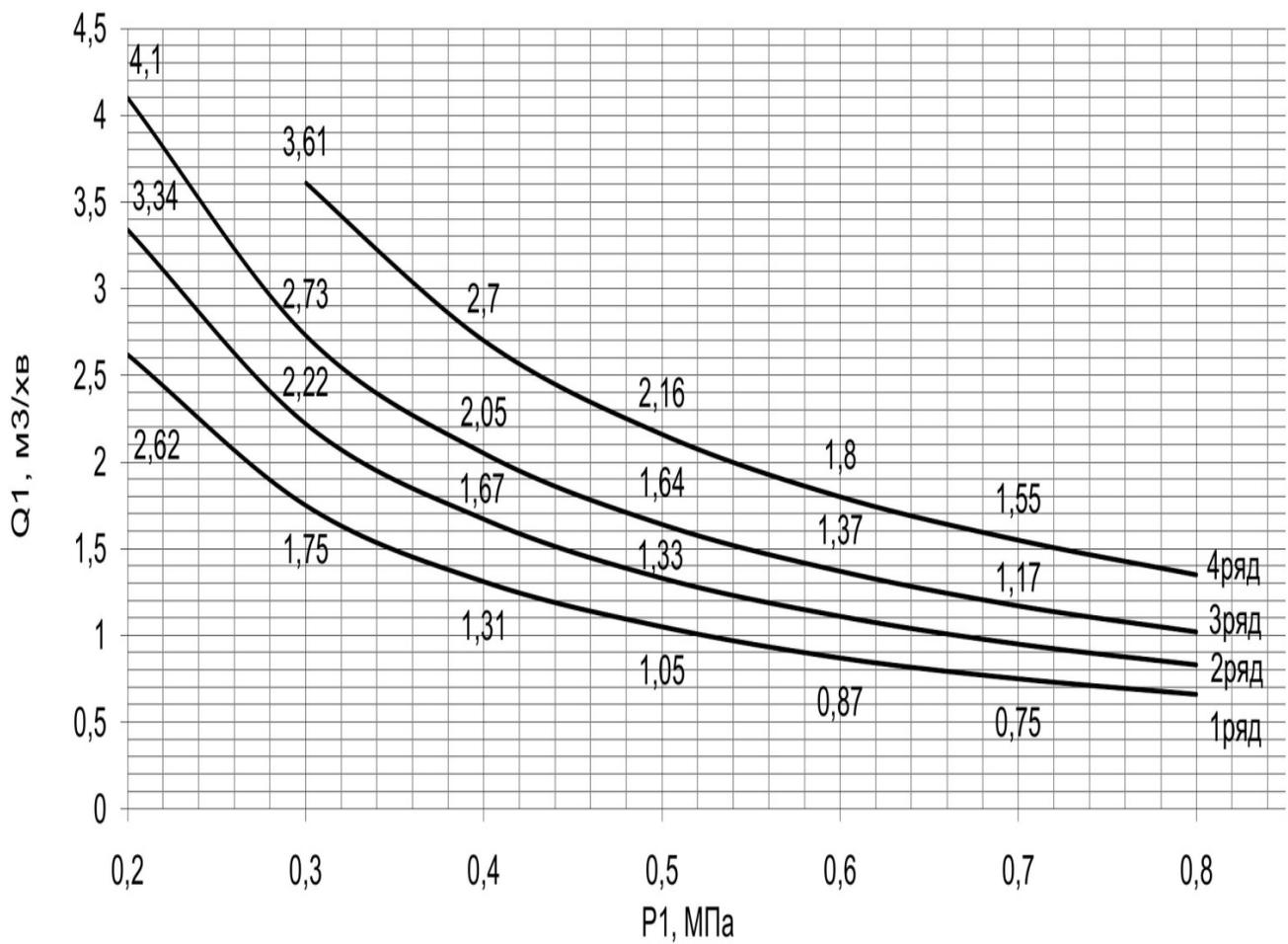


Рисунок 4.2 – Залежність витрати повітря від його тиску при  $S_4=12,6 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$  ( $d_c=4 \text{ мм}$ ) та режиму роботи на найбільшу подачу

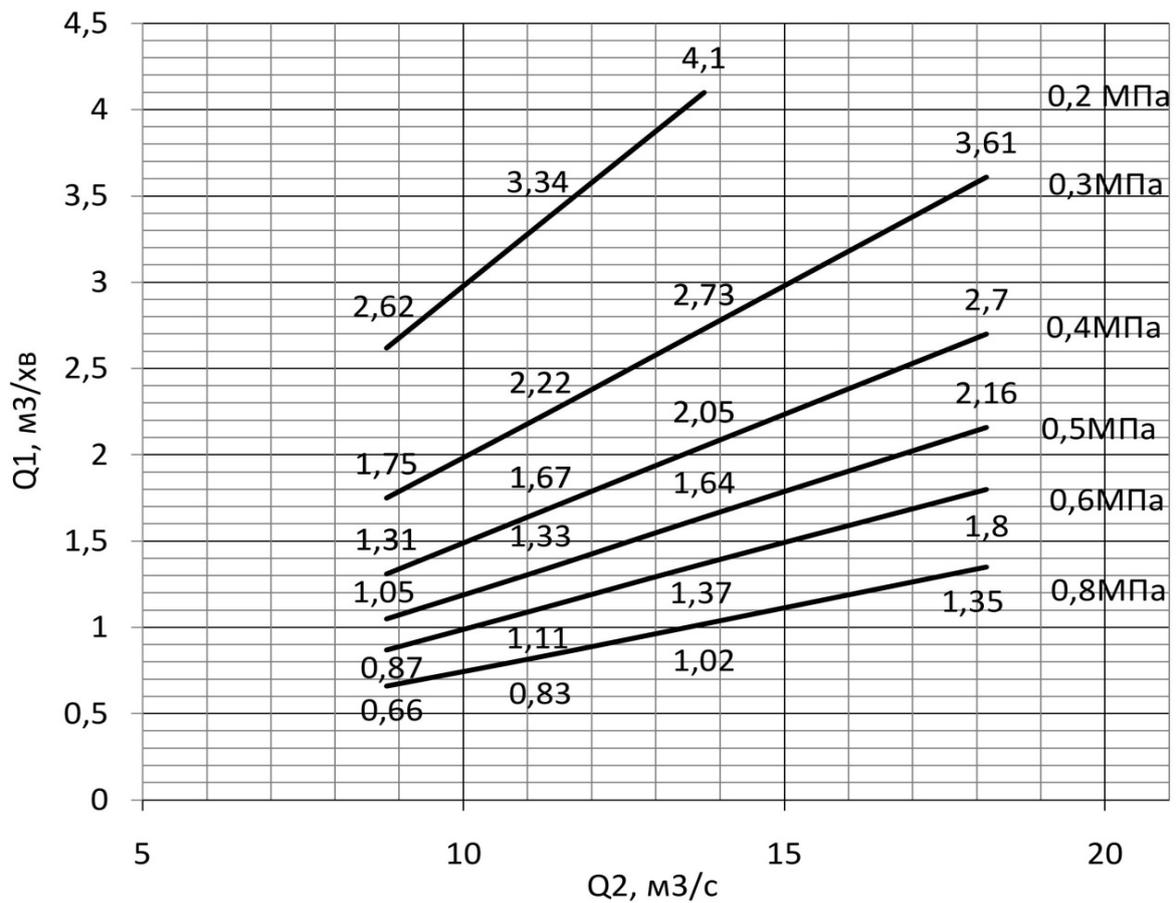


Рисунок 4.3 – Залежність витрати повітря від витрати рідини при  $S_4=12,6 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$  ( $d_c=4 \text{ мм}$ ) та режимі роботи – на найбільшу подачу

Таблиця 4.2 – Значення витрати повітря  $Q_1$ ,  $\text{м}^3/\text{хв.}$  при  $S_3=25 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$  ( $L=5 \cdot 5$ );  $S_4=12,6 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$  ( $d_c=4 \text{ мм}$ );  $\rho=1000 \text{ кг}/\text{м}^3$ ;  $D=0,016 \text{ м}$ ;  $Z_1=0,105 \text{ м}$   
 Режим роботи – на найбільший тиск (70 подвійних ходів вала за хвилину)

$P_2$ , МПа	$Q_2 \cdot 10^{-3}$ , $\text{м}^3/\text{с}$	Діаметр циліндрових втулок, мм	$p_1$ , МПа						
			0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
16	6,49	90	1,93	1,29	0,97	0,77	0,64	0,55	0,48
13	8,25	100	2,46	1,64	1,23	0,98	0,82	0,7	0,61
10	10,15	110	3,02	2,02	1,51	1,21	1,01	0,86	0,76
8	13,37	125	3,98	2,66	1,99	1,59	1,33	1,14	1

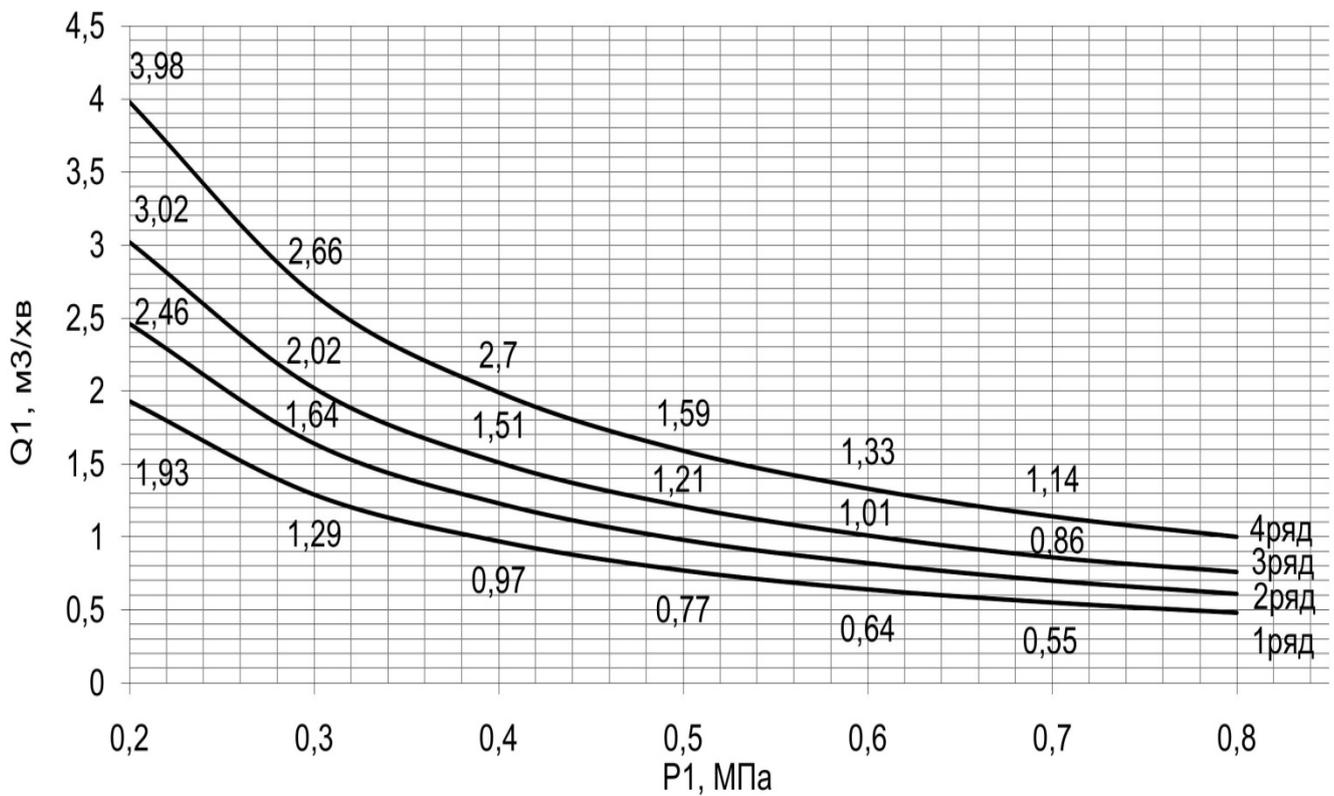


Рисунок 4.4 – Залежність витрати повітря від його тиску при  $S_4=12,6 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$  ( $d_c=4\text{мм}$ ) та режиму роботи на найбільший тиск

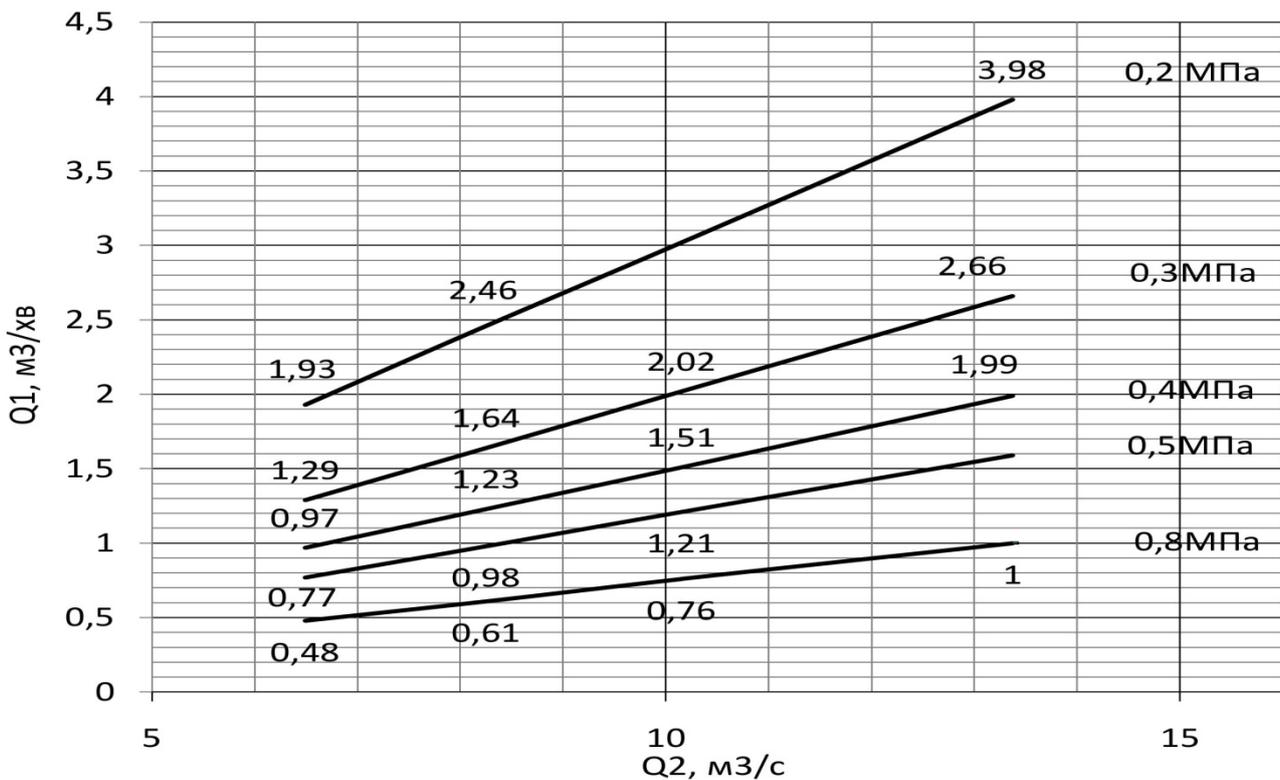


Рисунок 4.5 – Залежність витрати повітря від витрати рідини при  $S_4=12,6 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$  ( $d_c=4\text{мм}$ ) та режиму роботи на найбільший тиск

Таблиця 4.3 – Значення витрати повітря  $Q_1$ ,  $\text{м}^3/\text{хв.}$  при  $S_3=25 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$  ( $L=5 \cdot 5$ );

$S_4=12,6 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$  ( $d_c=6 \text{ мм}$ );  $\rho=1000 \text{ кг/м}^3$ ;  $D=0,016 \text{ м}$ ;  $Z_1=0,105 \text{ м}$ .

Режим роботи – на найбільшу подачу (95 подвійних ходів вала за хвилину)

$P_2$ , МПа	$Q_2 \cdot 10^{-4}$ $\text{м}^3/\text{с}$	Діаметр циліндрових втулок, мм	$p_1$ , МПа						
			0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
13	8,8	90	1,17	0,78	0,58	0,47	0,39	0,33	0,29
10	11,20	100	1,49	0,99	0,74	0,59	0,5	0,42	0,37
8	13,75	1,82	1,22	0,91	0,73	0,61	0,52	0,46	
6	18,15	125	2,41	1,61	1,2	0,96	0,8	0,69	0,6

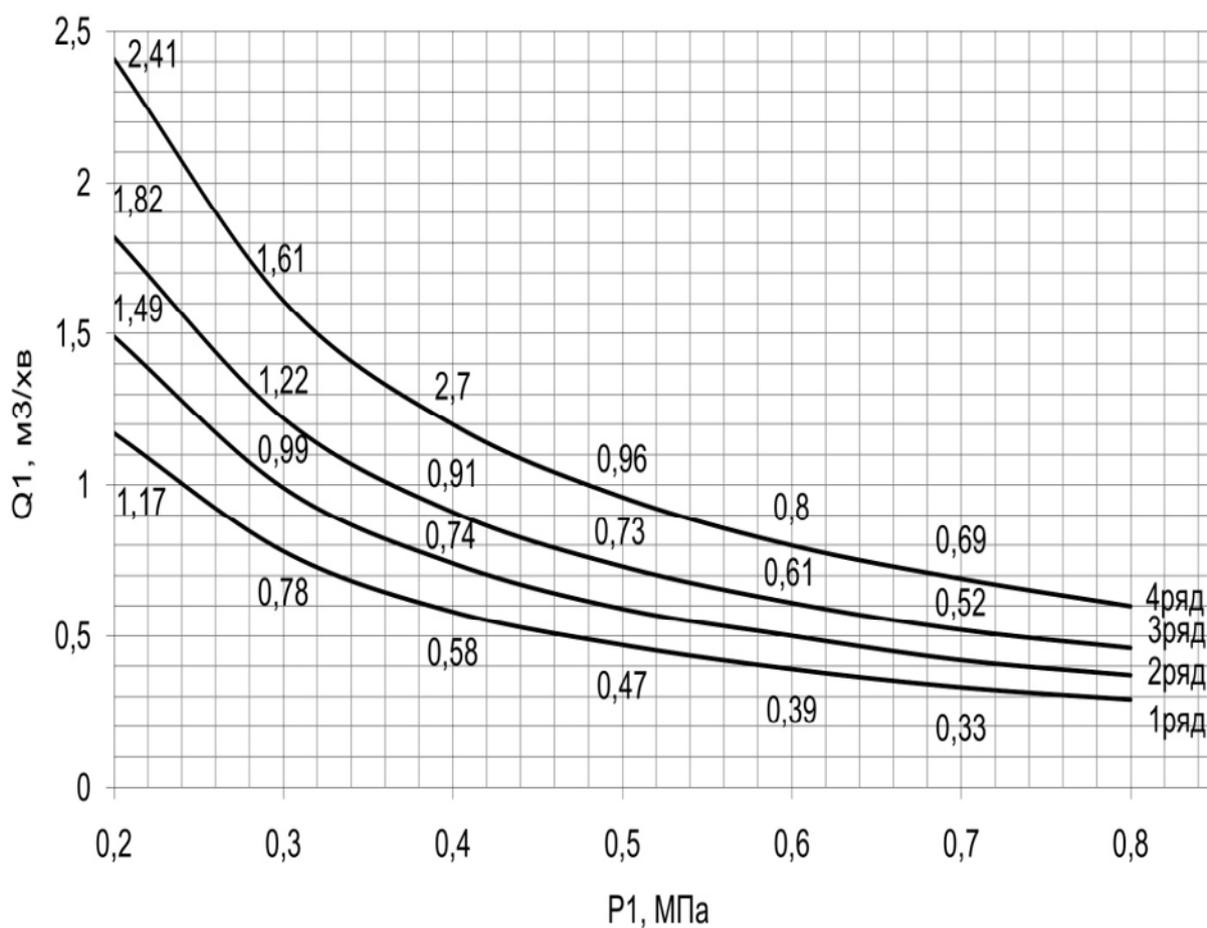


Рисунок 4.6 – Залежність витрати повітря від його тиску при  $S_4=12,6 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$  ( $d_c=6 \text{ мм}$ ) та режиму роботи на найбільшу подачу

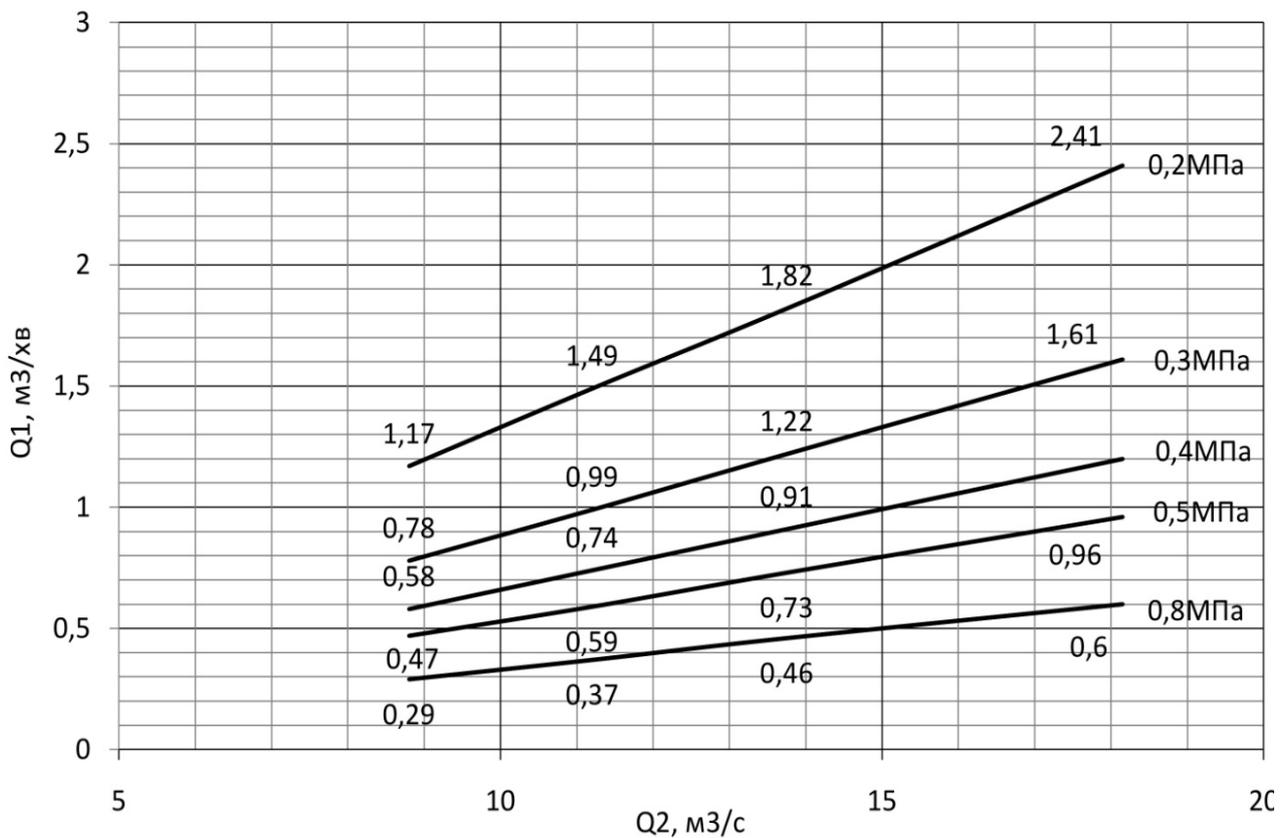


Рисунок 4.7 – Залежність витрати повітря від витрати рідини при  $S_4=12,6 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$  ( $d_c.=6\text{мм}$ ) та режиму роботи на найбільшу подачу

Таблиця 4.4 – Значення витрати повітря  $Q_1$ ,  $\text{м}^3/\text{хв.}$  при  $S_3=25 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$  ( $L=5 \cdot 5$ );  $S_4=12,6 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$  ( $d_c.=6\text{мм}$ );  $\rho=1000\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $D=0,016\text{м}$ ;  $Z_1=0,105\text{м}$ .

Режим роботи – на найбільший тиск (70 подвійних ходів вала за хвилину)

$P_2$ , МПа	$Q_2 \cdot 10^{-3}$ , $\text{м}^3/\text{с}$	Діаметр циліндрових втулок, мм	$p_1$ , МПа						
			0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
16	6,49	90	0,86	0,57	0,43	0,34	0,29	0,25	0,22
13	8,25	100	1,09	0,73	0,55	0,44	0,36	0,31	0,27
10	10,15	110	1,35	0,89	0,67	0,54	0,45	0,38	0,34
8	13,37	125	1,77	1,18	0,89	0,71	0,59	0,51	0,44

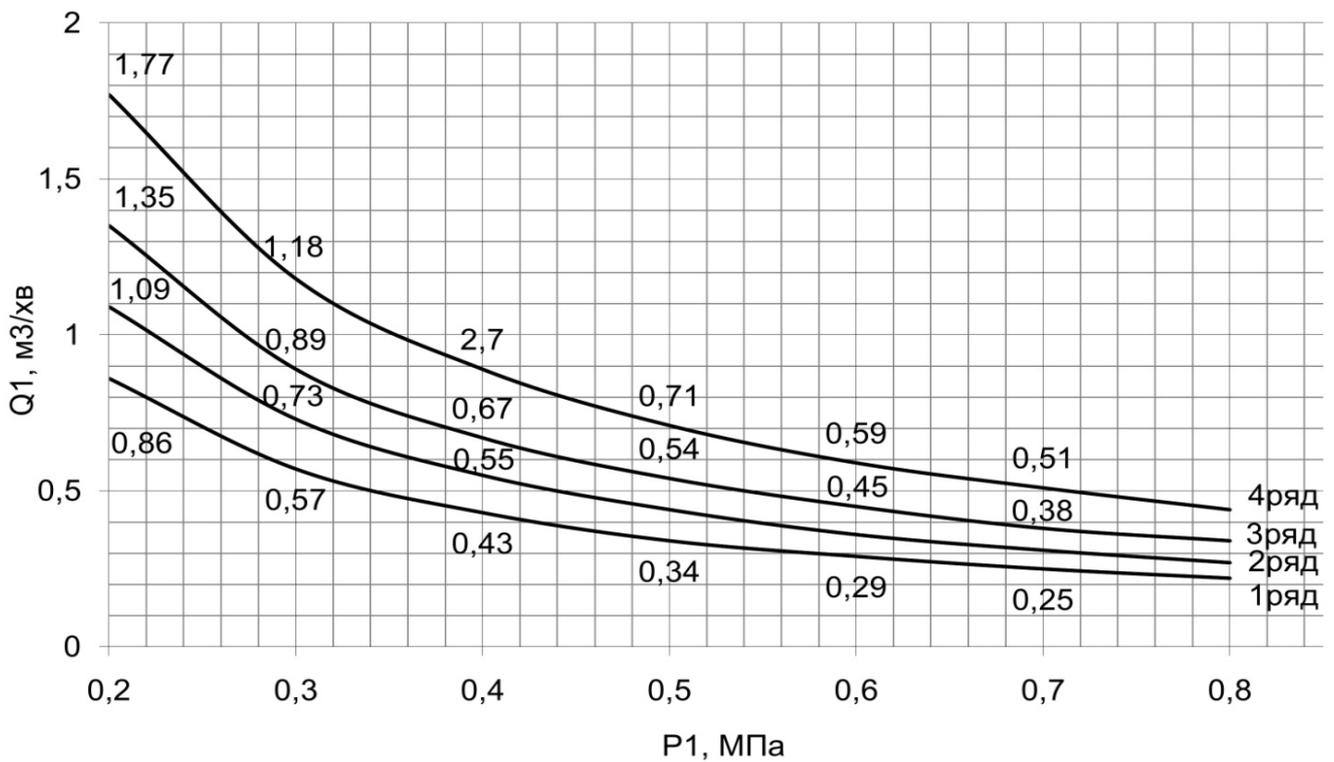


Рисунок 4.8 – Залежність витрати повітря від його тиску при  $S_4=12,6 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$  ( $d_c=6 \text{ мм}$ ) та режиму роботи на найбільший тиск

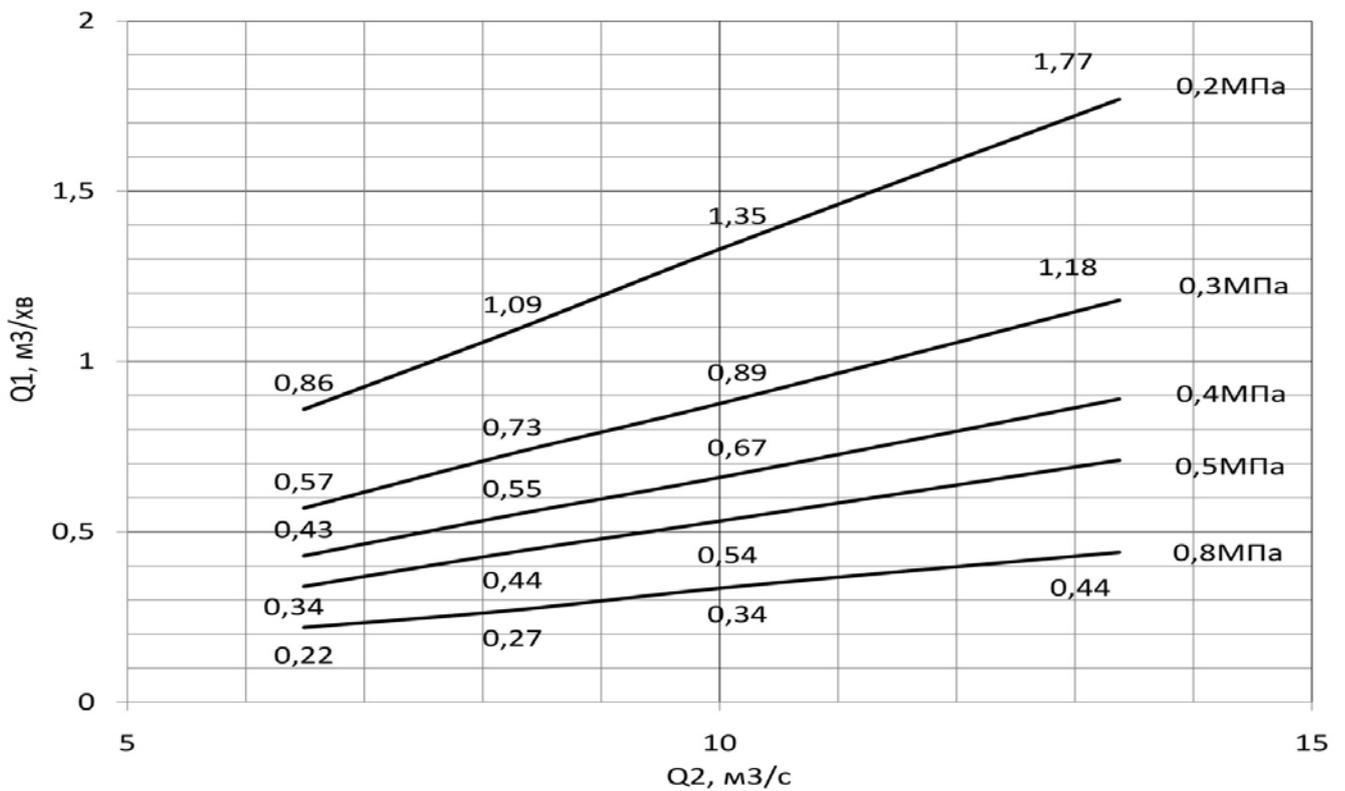


Рисунок 4.9 – Залежність витрати повітря від витрати рідини при  $S_4=12,6 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$  ( $d_c=6 \text{ мм}$ ) та режиму роботи на найбільший тиск

Для визначення тиску піни на виході із змішувача рідини з повітрям

використовуємо програму “Maple 9,5”.

Таблиця 4.5 – Значення тиску піни на виході із піногенеруючого пристрою для режиму роботи – на найбільшу подачу (95 подвійних ходів вала за хвилину)

$P_2$ , МПа	$Q_2 \cdot 10^{-3}$ м <sup>3</sup> /с	Діаметр циліндрових втулок, мм	$P_1$ , МПа						
			0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
13	8,8	90	8,79	9,21	9,43	9,55	9,65	9,7	9,74
10	11,20	100	6,69	7,02	7,18	7,29	7,35	7,4	7,44
8	13,75	110	5,29	5,55	5,69	5,77	5,82	5,86	5,89
6	18,15	125	3,89	4,1	4,19	4,25	4,29	4,3	4,34

$Q_2$ , м<sup>3</sup>/с і  $P_2$ , МПа – подача і тиск рідини відповідно;  $P_1$ , МПа – тиск повітря.

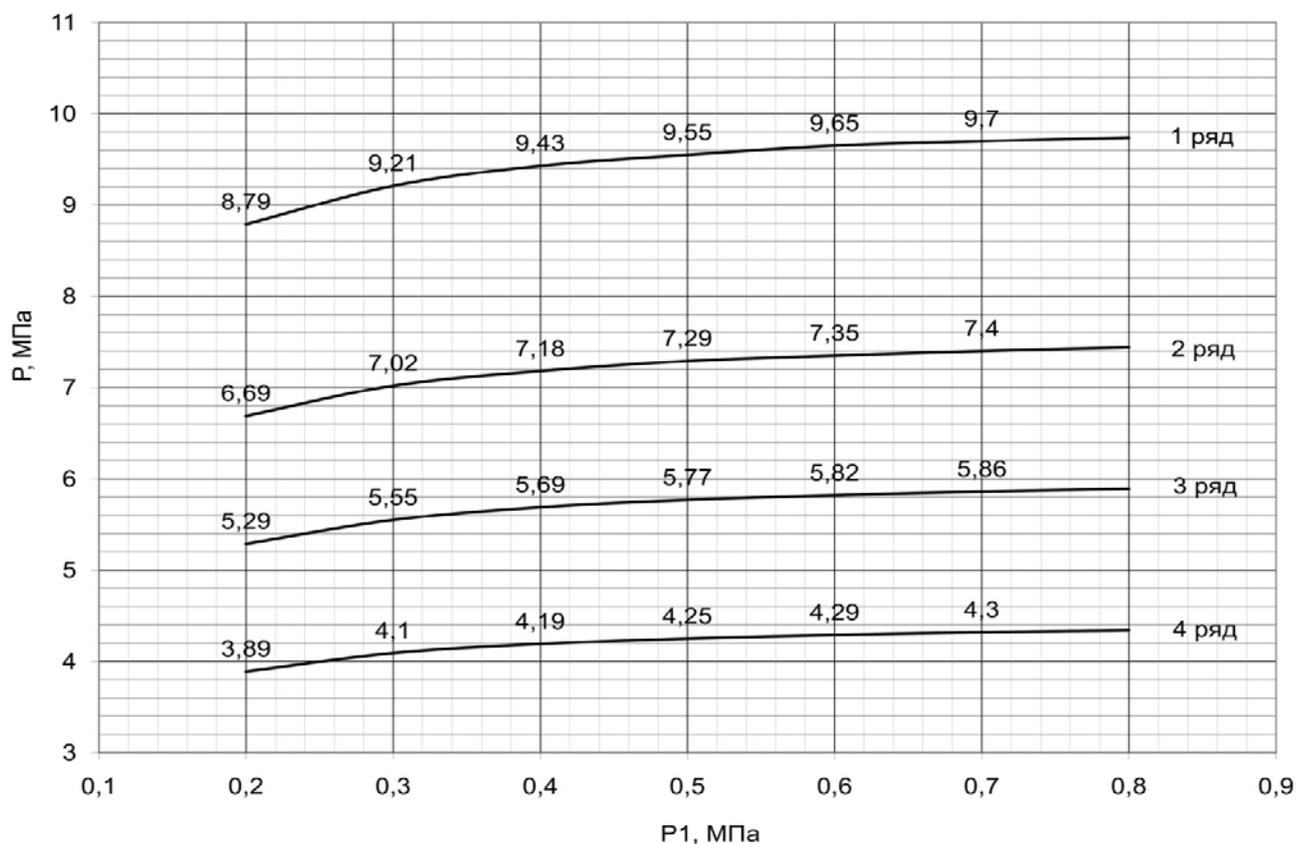


Рисунок 4.10 – Значення тиску піни на виході із піногенеруючого пристрою для режиму роботи насоса на найбільшу подачу

Таблиця 4.6 – Значення тиску піни на виході із піногенеруючого пристрою для режиму роботи – на найбільший тиск ( 70 подвійних ходів вала за хвилину)

$P_2$ , МПа	$Q_2 \cdot 10^{-3}$ м <sup>3</sup> /с	Діаметр циліндрових втулок, мм	$p_1$ , МПа						
			0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
16	6,49	90	10,88	11,4	11,66	11,84	11,95	12,02	12,08
13	8,25	100	8,79	9,21	9,42	9,56	9,64	9,71	9,76
10	10,15	110	6,69	7,01	7,18	7,28	7,35	7,4	7,43
8	13,37	125	5,29	5,6	5,69	5,77	5,82	5,9	5,89

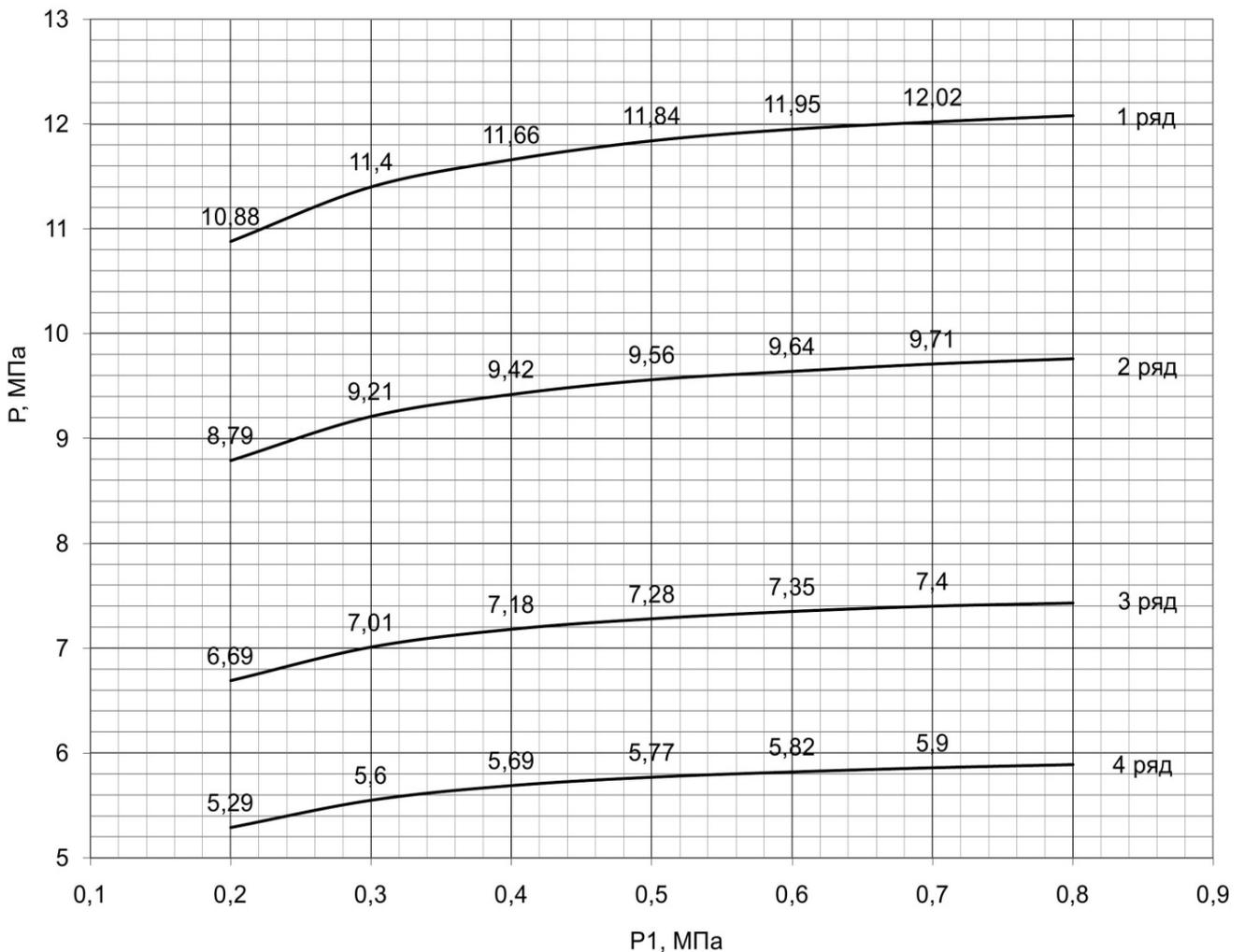


Рисунок 4.11 – Значення тиску піни на виході із піногенеруючого пристрою для режиму роботи насоса на найбільший тиск

### Висновки

Для визначення основних геометричних параметрів змішувача рідини з повітрям проведено розрахунки параметрів в камері його змішування при

наступних граничних припущеннях: повітряний потік не містить вологи; потік рідини не містить повітряних бульбашок; втрати в граничному шарі на стінці нескінченно малі; довжини початкової і основної ділянок відомі і задаються експериментальними рівняннями; статичний тиск постійний в перерізі камери змішування.

Проведені розрахунки довжини камери змішування змішувача рідини з повітрям, результати яких для кожного режиму роботи бурового насоса та різної компоновки змішувача занесені в таблиці та побудовані графічні залежності.

## **5. МОНТАЖ І ЕКСПЛУАТАЦІЯ ОБЛАДНАННЯ**

### **5.1 Організація робіт з монтажу насосно-циркуляційної системи бурової установки**

Циркуляційна система бурової установки (ЦС) служить для подачі бурового розчину від гирла свердловини до прийомних ємностей, очистки його від вибуреної породи, дегазації і знову подачі в свердловину.

Монтаж циркуляційної системи розпочинається з монтажу бурових насосів. На буровій установці переважно монтується два насоси. Для буріння глибоких свердловин монтується три і більше насосів. Але, враховуючи умови буріння, кількість насосів можна збільшити або зменшити. Додатковий насос монтується з індивідуальним приводом.

Насоси встановлюються на основі після монтажу їх привода (в БУ з груповим дизельним приводом) або монтуються на одній рамі з двигуном (при електроприводі) за допомогою кранів КП – 25М або КП – 40. У зв'язку з значною масою насоса немає необхідності в кріпленні його до основи.

Насоси встановлюються горизонтально по рівню як по довжині, так і по ширині. Ємності із розчином рекомендується розміщувати так, щоб рівень рідини в них був вище осі циліндрів насоса. В іншому випадку коефіцієнт наповненості насоса зменшується і знижується подача. У тих випадках, коли необхідно підвищити коефіцієнт наповненості, використовується підпорний електровідцентровий насос [11].

Монтаж насосів зводиться до установки їх на основу, надівання пасів на шківні трансмісії і центруванню їх по ведучому шківу привода. Привід бурових насосів здійснюється клинопасовими передачами з пасами профілю Д довжиною 10000 або 12500мм. Натяг паса здійснюється за допомогою гвинтових розпірок, встановлених між основою привода і насосом, або тракторами шляхом переміщення насоса в сторону від привода. Натяг клинових пасів перевіряється підвішуванням вантажу масою 10кг в середині одного паса, при цьому прогин паса повинен знаходитись в межах 130-140мм.

На нагнітальному колекторі бурових насосів встановлюються пневмокомпенсатори, які служать для вирівнювання пульсацій тиску і подачі промивної рідини. На компенсаторі встановлюються манометри для контролю тиску. Пневмокомпенсатори кріпляться до нагнітального колектора шпильками.

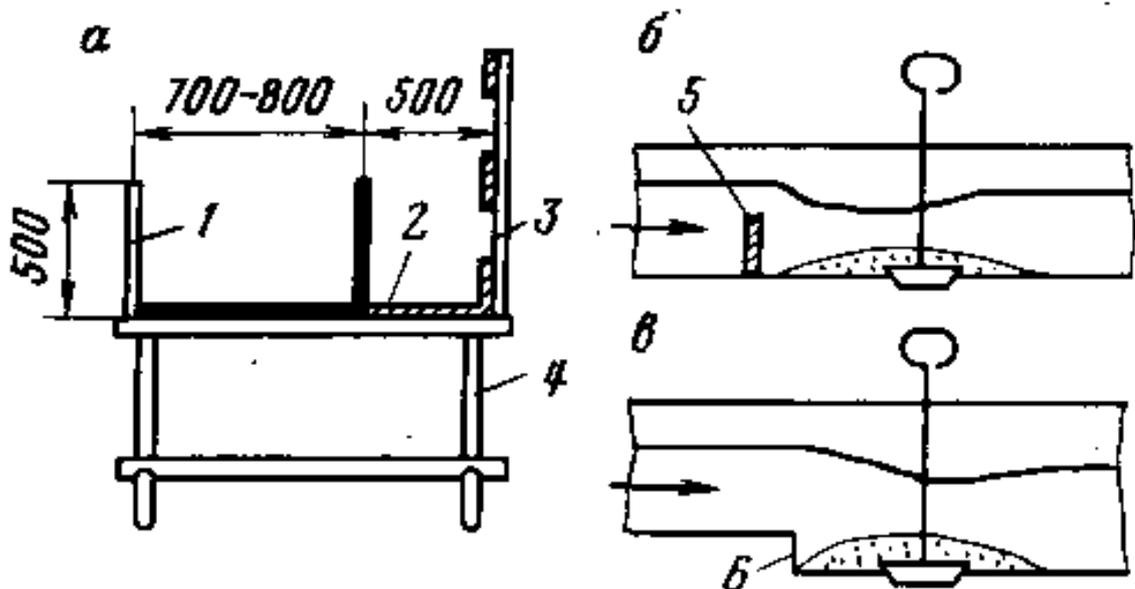


Рисунок 5.1 – Жолобна система:

а - поперечний розріз; б - ринва з перегородкою; в - ринва з переходом;  
1 - ринва; 2 - настил; 3 - поручні; 4- основа; 5 - перегородка; 6 - перепад

Для всмоктуючих трубопроводів в основному використовуються обсадні труби. Діаметр трубопроводів повинен відповідати діаметру прийомного патрубка насосів. Допоміжні трубопроводи можуть використовуватись меншого діаметра [11].

Для зменшення гідравлічних опорів основні всмоктуючі трубопроводи виконуються по можливості прямолінійними. З насосами і ємностями трубопроводи з'єднуються за допомогою фланців з гумовими прокладками. Допоміжні трубопроводи врізаються в основні і роз'єднуються між собою засувками клинового типу. Для цієї мети використовуються також поворотні

шибери, які мають порівняно невелику масу і прості при монтажі.

На швидкохідних насосах односторонньої дії з підпорними насосами біля всмоктуючого колектора встановлюється пневмокомпенсатор низького тиску. Він служить для вирівнювання швидкості потоку бурового розчину у всмоктуючому трубопроводі, зниження динамічних навантажень на робоче колесо підпорного насоса і покращення всмоктуючої характеристики насосів.

Допоміжні і основні трубопроводи обладнуються засувками або шиберами із заслонкою на випадок ремонту одного із насосів.

На кінцях всмоктуючих трубопроводів, які розміщені в ємностях, встановлюються металеві сітки-фільтри. Вони запобігають попаданню у насоси сторонніх предметів. Сумарна площа отворів фільтрів повинна перевищувати площу всмоктуючого трубопроводу.

В тому випадку, коли буровий насос змонтований на високому фундаменті і його всмоктуючі клапани знаходяться вище рівня розчину в прийомних ємностях, встановлюється підпорний відцентровий насос. Такий насос підвищує коефіцієнт наповнення бурового насоса і виключає можливість відриву рідини від поршня в момент всмоктування. Підпорний насос встановлюється біля прийомної ємності або на ній, всмоктуюча лінія з'єднується з ємністю, а нагнітальна – із всмоктуючим трубопроводом насоса.

Замість трубопроводу можуть використовуватись гнучкі гофровані шланги, які спрощують монтаж. Для запобігання замерзанню всмоктуючі трубопроводи поміщаються в дерев'яні коробки, в які насипаються опилки або інший термоізоляційний матеріал.

В сучасних бурових установках всмоктуючі трубопроводи із запірною арматурою входять в комплект циркуляційної системи.

Нагнітальні трубопроводи (маніфольди) служать для подачі бурового розчину від насосів в свердловину при бурінні або промивках. Нагнітальний трубопровід складається із вертикальної та горизонтальної частин.

Горизонтальна частина маніфольда монтується прямолінійною з нахилом в сторону насосів для можливого зливу розчину із труб самовитіканням при

зупинках роботи (особливо в зимовий час) [12].

Виготовляються маніфольди в заводських умовах із сталей 20. При відсутності заводських маніфольдів допускається їх виготовлення в польових умовах із бурильних труб групи міцності Д і Е діаметром 127 або 140мм з товщиною стінки 10 -11мм в залежності від робочого тиску в трубопроводі. На висоті 1,5 – 2м від підлоги бурової до стояка приварюється патрубок, на якому встановлюється манометр. Вище підлоги бурової на стояку монтується засувка високого тиску.

Установка змішувача рідини та повітря здійснюють на нагнітальному трубопроводі бурового насоса через систему байпас. Ця система дозволяє здійснювати буріння звичайним буровим розчином, а при розкритті продуктивного пласта можливе швидке переведення роботи насоса на буріння за допомогою пінного розчину. Змішувач рідини та повітря кріпиться до трубопроводу за допомогою швидкоз'ємного з'єднання, що дозволяє прискорити монтажні-демонтажні роботи. До змішувача рідини та повітря від ресивера прокладається повітропровід, на який встановлюється зворотній клапан для недопущення потрапляння бурового розчину в повітропровід.

Наступною складовою ЦС є жолобна система, яка складається із жолобу для руху розчину, настила біля жолоба для руху людей і очистки жолобів, перил і основи. Жолоби можуть бути дерев'яними або металевими. Ширина жолобів 700 – 800мм, а висота – 400 – 500мм. Використовуються жолоби прямокутного і напівкруглого профілю. В жолобах встановлюються перегородки і перепади висотою 15 – 18см. На дні жолоба встановлюються в цих місцях люки з клапанами, через які усувається осівша порода.

Монтується жолобна система з нахилом 1:100 – 1:150 в сторону руху промивної рідини. З гирлом свердловини жолобна система з'єднується трубою або жолобом меншого перерізу з більшим нахилом для збільшення швидкості руху розчину і зменшення в цьому місці випадання шламу. В більшості випадків ЦС монтується на металевих основах, які мають довжину 8 – 10м і висоту до 1м. Такі секції встановлюються на сталеві телескопічні стійки, які регулюють

висоту установки жолобів [15].

Для приготування, хімічної обробки і обваження бурових розчинів використовуються наступні механізми:

- 1) глиномішалки;
- 2) фрезерно-струменеві млини;
- 3) гідромішалки;
- 4) блок приготування розчину.

Глиномішалка монтується на металевій основі разом з приводом. Висота основи така ж, як і висота прийомних ємностей і жолобної системи. Для механічного завантаження глиномішалки глиною, хімічними реагентами, обважнювачами монтується завантажувач, який складається із візка, рейкового шляху, троса, привідного вала завантажувача, завантажувального люка. Глиномішалка монтується біля ЦС і обладнується зливним патрубком в прийомні ємності. До люка глиномішалки підводиться водопровід і встановлюється засувка.

Фрезерно-струменевий млин (ФСМ) монтується біля жолобної системи на основі разом із приводом. Для приготування розчину в ФСМ підводиться вода, монтується механічний завантажувач. ФСМ обладнується зливним патрубком.

Гідромішалки монтуються на вирівняній площадці по рівню на брусах біля запасних ємностей, ближче до насосів. До трубопроводу з гідромоніторними насадками приєднується нагнітальна лінія насоса, а до патрубка корпусу – всмоктуюча лінія [18].

Блок приготування розчину (БПР) монтується біля ємностей ЦС. Спочатку встановлюється БПР на фундамент, вирівнюється по рівню. При цьому площадка повинна забезпечити під'їзд до блоку транспорту для завантаження бункерів. Гідравлічний змішувач розміщується на одній із ємностей ЦС і закріплюється болтами. Верхній патрубок змішувача з'єднується шлангом з розвантажувальним пристроєм бункера. До нижнього патрубка із соплом підводиться нагнітальний трубопровід від маніфольда бурового насоса.

До ежектора розвантажувального пристрою бункера підключається трубопровід пневмосистеми бурової установки.

Для очистки бурового розчину використовуються:

- 1) вібросита;
- 2) гідроциклонні установки (піско- і намуловідділювачі);
- 3) вакуумні дегазатори.

Вібросита монтується на початку жолобної системи на першому блоці очистки. Вібросито з'єднується з гирлом свердловини жолобом. Відхилення станини від горизонтального положення допускається не більше 5мм. Біля вібросита монтується настил і площадки, встановлюються перила для обслуговування. Підводиться електроенергія до двигуна і заводяться клинові паси для приводу вібруючої рами.

Гідроциклонні установки монтується на другому блоці очистки спочатку жолобної системи. Монтується також відцентровий насос з приводом вертикального виконання. Він обв'язується з гідроциклонною установкою, підводиться електроенергія. Гідроциклонні установки кріпляться до блоків болтами.

Вакуумний дегазатор монтується поряд з приймальною ємністю на основі з таким розрахунком, щоб верхній край ємності дегазатора був вище максимального рівня промивної рідини в ємності ЦС на 150 – 200мм для забезпечення самотьоку дегазованого розчину в ємність. Зливна труба дегазатора похило виводиться в ємність під рівень рідини.

До прийомного патрубку ємності дегазатора підводиться жолоб від ЦС і обладнується заслінкою для зупинки подачі розчину в дегазатор після його відключення [20].

Після закінчення монтажу перед здаванням бурової установки в експлуатацію маніфольди піддаються гідравлічним випробуванням (опресовці) за допомогою цементувальних агрегатів на тиск, що в 1,5 рази перевищує найбільший робочий тиск. На випробування маніфольда складається акт.

Після монтажу змішувач рідини та повітря повинен бути опресований на півторакратний робочий тиск.

Чисельність основних робітників розраховують за професіями, виходячи з трудомісткості річної програми по видах робіт, за формулою:

$$R = \frac{\sum T}{F_{д.р.}}, \quad (5.1)$$

де  $\sum T$  — сумарна трудомісткість річної програми монтажу насосно-циркуляційної системи бурової установки, год; згідно даних Полтавського відділення бурових робіт для ЦС  $\sum T = 8700$  год;

$F_{д.р.}$  — дійсний фонд часу одного робітника, год;

При 41 робочій годині в тиждень, номінальному річному фонду 2070 год, відпустці 24 дня і втраті часу 12% дійсний фонд часу одного робітника буде складати 1720 год.

Отже, потрібно:

$$R = \frac{8700}{1720} = 6 \text{чол}$$

Професійно-кваліфікаційний склад робітників наступний:

1. Майстер
2. Слюсар бурового обладнання 4 розряду – 2чол.
3. Вишкомонтажник 4 розряду – 2чол.
4. Слюсар бурового обладнання 3 розряду – 1чол.

## 5.2 Експлуатація та ремонт обладнання

Довговічність установки або машини в значній мірі залежить від термінів служби її деталей. Найбільші зусилля деталі у процесі роботи сприймають своїми поверхневими шарами. Абразивний знос і корозія починаються з поверхні деталі. Втомне руйнування починається з появи тріщин у

поверхневому шарі деталі, що поступово поширюються всередину. При терті зношуванню піддаються також поверхневі шари деталі. Тому поверхнєве зміцнення деталей широко застосовується при виготовленні і ремонті бурового устаткування.

Одним з найефективніших методів поверхневого зміцнення є термічні і хіміко-термічні методи зміцнення деталей [80].

Термічна обробка виконується шляхом нагрівання, витримки й охолодження металевих деталей з метою одержання необхідної структури металу. Структура металу впливає на його механічні властивості: міцність, твердість, зносостійкість і оброблюваність. Термічній обробці піддаються залізовуглецеві сплави і деякі сплави кольорових металів. У машинобудуванні широко поширена термічна обробка сталі. Властивості металу залежать від режиму термічної обробки: температури і тривалості нагрівання, температури і тривалості витримки, швидкості і кінцевої температури охолодження.

Основними видами термічної обробки є: відпалювання, нормалізація, гартування і відпуск. При ремонті бурового устаткування широко застосовуються усі види термічної обробки, а останнім часом поверхнєве загартування, що є одним з ефективних методів поверхневого зміцнення.

Відпалювання являє собою операцію термічної обробки, що полягає в нагріванні деталі до визначеної температури, витримці при цій температурі наступному повільному охолодженні ( $2-3^{\circ}\text{C}$  в 1 хв).

Відпалювання використовується для зниження твердості, підвищення пластичності, зняття внутрішніх напружень, усунення структурної неоднорідності, поліпшення оброблюваності і підготовки деталі до наступної термічної обробки (загартуванню). Швидкість нагрівання залежить від хімічного складу, форми і розмірів деталі. Тривалість витримки при температурі нагрівання складає 20% часу нагрівання [80].

Нормалізація є різновидом повного відпалювання і відрізняється від нього тим, що охолодження оброблюваної деталі після витримки протягом 5-6 г при температурі нагрівання проводиться на повітрі. Метою нормалізації є

поліпшення мікроструктури металу, оброблюваності, усунення наклепу після обробки різанням і підготовка до наступної термічної обробки. Для низьковуглецевих сортів сталі нормалізація є остаточною операцією термообробки, тому що забезпечує високі механічні властивості - пластичність і ударна в'язкість.

Гартування – це термічна операція, що полягає в нагріванні оброблюваної деталі до визначеної температури, витримці при цій температурі і швидкому охолодженні у воді, маслі, водних розчинах солей і інших рідин. Метою гартування є одержання високої твердості, зносостійкості і міцності металу. Гартуванню піддаються сталі зі змістом вуглецю не менш 0,35%. Температура нагрівання при гартуванні залежить від марки сталі і знаходиться в межах 770-850° С. Тривалість витримки залежить від розмірів деталі, її поверхні і хімічного складу металу. Щоб уникнути появи тріщин і короблення для деталей складної конфігурації застосовується ступінчасте гартування, що полягає в охолодженні деталі спочатку у воді до 200-300° С, а потім - в маслі до температури навколишнього середовища. Загартовані деталі мають високу твердість (НВ500-600) і зносостійкість, але мають низьку в'язкість і пластичність. Для одержання деталей з високою твердістю (і зносостійкістю) поверхневого шару і в'язкою серцевиною застосовують поверхневе-гартування [80].

Відпуск – термічна операція, застосовувана після загартування для зниження внутрішніх напружень, крихкості і твердості. При відпуску деталей нагрівають до 150-650° С витримують при цій температурі протягом 1-2 г і охолоджують у воді. У залежності від температури нагрівання розрізняють: низький відпуск (150-200° С), середній (350-450° С) і високий (500-650° С). Низький відпуск знижує залишкові напруги і крихкість. Середній, підвищує в'язкість при збереженні достатньої твердості. Високий відпуск забезпечує найбільшу в'язкість швидкорізальної і поліпшеної конструкційної сталі.

Цементация полягає в насиченні поверхні деталі вуглецем для забезпечення можливості наступного загартування. Цементации піддаються сталі зі змістом вуглецю 0,1-0,2%, що у процесі роботи піддаються одночасно зносові

й ударним навантаженням, або коли потрібен поверхневий шар високої зносостійкості (циліндрові втулки бурових насосів). У залежності від характеру середовища (карбюратора) розрізняють цементацію у твердому середовищі - деревне вугілля з добавками соди і вуглекислого калію, у рідкому - розплавлені вуглекислі солі й у газоподібному - природний газ або продукти розкладання бензолу, гасу.

Азотування виконується аналогічно газової цементації. Через піч, нагріту до 500-600° С, пропускають аміачний газ. Азот, проникаючи в поверхневий шар деталі, утворює тверде з'єднання з залізом. Азотовані деталі мають високу твердість, зносостійкість і корозійну стійкість [80].

Алітування полягає в насиченні поверхні деталей алюмінієм для підвищення їхньої жаростійкості. Алітування виконується аналогічно цементації у твердому карбюраторі.

Ефективним методом поверхневого зміцнення деталей є наплавлення твердих сплавів. Тверді сплави містять карбіди хрому, ванадію, титана й інших металів і характеризується високою твердістю, зносостійкістю, міцністю і стійкістю проти впливу кислот і лугів. У залежності від способу виробництва тверді сплави поділяються на чотири групи: порошкоподібні, литі, електродні і металокерамічні.

Отримання пін у виробничих умовах здійснюється в спеціальних змішувачах повітря та рідини за рахунок інтенсивного сумісного диспергування піноутворюючого розчину і повітря. Ефект диспергування досягається:

- 1) при проходженні потоку газу через піноутворюючий розчин;
- 2) дією рухомих пристроїв на рідину в атмосфері повітря або ж дією рухомої рідини на будь-яку перешкоду;
- 3) ежектуванням повітря рухомим потоком розчину.

Процес піноутворення складний через сумісний вплив багаточисельних фізико-хімічних, фізико-технічних і інших факторів. В наш час піну, яка використовується при бурінні як очисний агент, отримують тільки диспергаційним способом в спеціальних піногенераторах. При попередньому

отриманні піни можна регулювати її кратність, дозуючи витрату піноутворюючого розчину і повітря, а у випадку необхідності – змінюючи конструктивні параметри піногенераторів.

По конструкції піногенератори можна поділити на наступні основні типи:

- 1) з піноутворенням внаслідок багаторазових ударів повітря і розчину піноутворювача;
- 2) з піноутворенням при барботуванні повітря і розчину піноутворювача;
- 3) з піноутворенням під тиском через розпилювач на сітку;
- 4) піногенератори, в яких потоки повітря і розчину піноутворювача переміщуються обертальними лопатками-турбінами, які приводяться в рух автоматичним приводом або поступаючим в піногенератор стиснутим повітрям.

На даний час розроблено багато різних конструкцій піногенераторних пристроїв.

### **5.3 Охорона праці при монтажі та експлуатації обладнання**

Розкриття продуктивного горизонту під час буріння свердловин із аномально низькими пластовими тисками необхідно проводити за допомогою промивального агента із невеликою густиною. Для цього потрібно використовувати газорідинні або пінні суміші, переваги яких описано в розділі 1 даного дипломного проекту. Використання піни зменшує проникнення промивальної рідини та вибуреної породи у продуктивний пласт, в результаті чого – фільтраційна характеристика колекторів не погіршується та не відбувається зниження продуктивності свердловини.

Розкриття продуктивного горизонту будемо проводити за допомогою змішувача повітря та рідини, який призначений для приготування та закачування рідинно-газових сумішей або пін високого тиску заданої кратності з розчину ПАР та повітря (газу) низького тиску. Модернізований змішувач вводиться в циркуляційну систему вибраної бурової установки. Крім того, при

бурінні свердловин з використанням піни додатково вмонтовується спеціальне устаткування: компресорна станція, дозуючий насос, пристрій для руйнування піни, що виходить з свердловини.

Різде підвищення тиску в нагнітальній лінії бурових насосів, що призводить до аварійних і травмонебезпечних ситуацій, може бути наслідком багатьох факторів: пуску насоса при закритих пускових або прохідних засувках: несвоєчасного закриття пускової засувки або пуску другого насоса до відновлення циркуляції в системі насос-свердловина; відмова запобіжного пристрою, який встановлюється на нагнітальній лінії насоса: перекриття каналів, по яких циркулює промивна рідина тощо.

При експлуатації циркуляційної системи із знову введеним додатковим обладнанням для буріння з використанням піни виникають небезпеки, пов'язані із великим тиском (до 25МПа) подачі рідини для змішування із повітрям, вібрація під час роботи компресорної станції та установки змішування рідини і газу та інші.

Основною специфікою при бурінні свердловин з піною також є використання ПАР. Існує декілька класифікацій ПАР. За походженням розрізняють дві групи: біологічні ПАР, які утворюються в живих об'єктах і беруть участь у виконанні клітками і організмом різних функцій, і синтезовані. З синтезованих ПАР широке розповсюдження в побуті і виробництві мають аніонні ПАР, представниками яких є, зокрема, алкілсульфати, алкілсульфанати і алкілбензолсульфанати.

Більшість ПАР всіх класів проявляє місцеву дратівливу дію. Воно найбільш виражене у катіонних ПАР, менш — у аніонних і значно менше — у неіоногенних, тому вони більше використовуються у бурінні.

До неіоногенних піноутворювачів відносяться реагенти ОП-7, ОП-10. Ці реагенти представляють собою маслянисті в'язкі рідини або легкоплавкі пасти. При попаданні в рот 50%-го водного розчину відчувається різке паління протягом декількох годин. Багатократна дія на шкіру не дає ніякого негативного ефекту.

До аніоноактивних піноутворювачів відносяться сульфоноли НП-1, НП. При тривалій роботі (більше 6 міс) з порошкоподібним сульфонолом спостерігається сухість шкіри, тонкопластинчасте лущення відкритих її ділянок. При щоденному попаданні сульфонола на шкіру можливий розвиток дерматиту.

Для надання певних якостей промивній рідині в її склад вводять такі хімічні реагенти як каустична сода, вапняк та ін.

Каустична сода (NaOH) сильний луг. Це біла речовина у вигляді кусків неправильної форми або паличок. Потрапляючи на шкіру вона викликає опіки. при тривалому використанні - екземи; нігті стають матовими і ламкими. Особливо небезпечним є потрапляння каустичної соди в очі. Вона швидко прониклі в глибок, пропалюючи рогівку, в результаті можлива втрата зору.

Негашене вапно (CaO) - біла речовина, добре з'єднується з водою з бурхливим виділенням великої кількості тепла. В зв'язку з цим при потраплянні на шкіру вапно, поглинаючи зі шкіри воду, викликає опік шкіри, шкірні захворювання (екземи, дерматити і т.д.). При потраплянні в очі вапно викликає склоподібний набряк, помутніння рогівки. Характеристики цих шкідливих речовин та їх дія на організм подані в табл. 5.2.

Таблиця 5.2 – Характеристика шкідливих речовин, що використовуються в даному технологічному процесі

Назва шкідливої речовини або матеріалу	ГДК даної речовини, мг/м <sup>3</sup>		Дія на організм. Перша допомога при отруєнні
	В робочій зоні	В атмосфері населеного пункту	
Негашене вапно	70	3	Зняти зі шкіри при допомозі вазеліну змити водою
Каустична сода	60	2	Вимити руки теплою водою з милом

Пристрої для приготування, транспортування і дозування хімічних реагентів виконані відповідно до правил використання токсичних хімічних

речовин.

Для полегшення умов праці в магістерській роботі передбачене механізоване завантаження початкових матеріалів в змішувачі. Для обслуговування вузлів механізмів по приготуванню і очищенню бурової промивальної рідини влаштовані майданчики шириною 65 см з поручнями заввишки 120 см і перехідними мостками. Уздовж циркуляційних жолобів знаходяться настили шириною 65 см з огорожею поручнями висотою 120 см, встановленими з протилежної від жолоба сторони. Для подачі хімреагентів до люка глиномішалки передбачений похилий трап шириною 1,5 м. Упоперек настилу трапа прибиті планки, розташовані паралельно одна одній і на відстані 25 см один від одної. Ухил трапу не перевищує 30°.

Організація раціонального освітлення робочих місць і майданчиків є одним з основних питань охорони праці. Від пристрою освітлення багато в чому залежить продуктивність і безпека праці, а також якість виконуваних робіт. Для освітлення використовують декілька видів джерел штучного світла: лампи розжарювання, люмінесцентні лампи, спеціальні лампи з підвищеною світловою віддачею (ртутні лампи, електричні дуги) і ін.

Для кращого розподілу світлового потоку джерела світла, захисту очей від надмірної його яскравості, оберігання від механічних пошкоджень і забруднень, а також для кріплення джерела світла і підведення до нього електричного струму застосовують освітлювальні прилади. Освітлювальні прилади підрозділяють на дві групи: освітлювальні прилади ближнього дії-світильники і освітлювальні прилади дальньої дії – прожектори [12]. По конструктивного виконання світильники підрозділяють на:

- відкриті світильники - лампа стикається безпосередньо із зовнішнім середовищем;
- захищені світильники - лампа відокремлена від зовнішнього середовища прозорою або розсіюючою оболонкою (куля молочного скла, «Універсаль»);

- вологозахищені світильники - корпус-патрон, відбивачі і інші деталі виготовлені з матеріалів, що протистоять дії вологи, або захищені спеціальними покриттями, які забезпечують необхідну ізоляцію проводів.

Вибір джерела світла і освітлювального приладу є основним питанням організації освітлення будівельного майданчика і робочих місць, від правильного рішення якого залежить економічність і надійність освітлення. При виборі освітлювального приладу слід керуватися умовами середовища, вимогами по світлорозподілу і міркувань економіки.

До обладнання циркуляційної системи та методам роботи із ним повинні висуватися особливі вимоги, для створення безпечних умов праці.

При раптовому підвищенні тиску в маніфольді може порватися нагнітальний шланг. Це може привести до травмування людей, що працюють на буровій. В цілях попередження таких випадків необхідно встановлювати на нагнітальній лінії запобіжний клапан, що дозволяє при підвищенні тиску на 25% вище за робочий скидати тиск.

При приготуванні піноутворюючого розчину з порошкових ПАР необхідно для захисту органів дихання використовувати індивідуальні засоби респіратори «Пелюстка» або «Астра», для захисту шкіри особи від пилу спеціальні прозорі маски з поліетилену або органічного скла, а також необхідно користуватися відповідним спецодягом (прогумованими рукавицями, фартухами, чобітьми). Використання ПАР вимагає організації періодичного прання спецодягу (не рідше за один раз в тиждень, а при необхідності і частіше).

Для запобігання появі можливого свербіння шкіри рекомендується використовувати захисні мазі і пасти. Паста наноситься на шкіру перед роботою з порошкоподібними піноутворювачами. У разі попадання розчинів піноутворювачів на слизисті оболонки очей слідує їх рясно промити 2%-м розчином борної кислоти або теплою чистою водою. Забруднені ділянки шкіри також повинні ретельно промиватися водою.

У тому випадку, коли розчин ПАР готується в приміщенні, необхідно

забезпечити його провітрювання. Ємності з розчином ПАР необхідно щільно закривати і при попаданні розчину на підлогу його необхідно промити теплою водою. Ці заходи запобігають можливому випаровуванню розчинів, пари яких несприятливо впливають на органи дихання.

Всі хімреагенти, що додаються до промивальної рідини, повинні зберігатися в тарі, що добре закривається: скляних банках, бідонах, фанерних барабанах і т.д.

Розвантажувати хімічні реагенти, що доставляються на бурову слід у відведеному для кожного матеріалу місці.

При підготовці хімічних реагентів робочі бурової бригади повинні дотримувати запобіжні засоби, унаслідок шкідливої дії хімічних реагентів на організм робітників. Каустична сода (NaOH) в сильній концентрації дає опіки всіх ступенів, а в помірних концентраціях знежирює шкіру. Тривала дія її викликає сухість шкіри, яка стає грубою, жорсткою, тріскається. Дія лугів іноді викликає дерматити. При роботі з їдким натром робочі не повинні допускати попадання його на відкриті частини тіла.

Буровий розчин слід обробляти поступово. Швидкість подачі реагенту необхідно визначати з урахуванням кількості промивальної рідини, що знаходиться в циркуляційній системі, розчинів, реагентів, що знаходяться в запасі на буровій, і тривалості одного обороту рідини в системі, а також залежно від умов буріння.

Хімічний реагент для обробки розчину подається з місткостей-мірників, які повинні бути встановлені вище за рівень жолобів. Подають реагент самопливом по спеціальному невеликому жолобу (або трубі діаметром 100-150 мм), що сполучає мірну місткість і жолобну систему бурової.

## Висновки

В даному розділі магістерської роботи розроблений комплекс робіт з підготовки до проведення монтажних робіт з обладнанням бурової установки НБО-Е, яка вибрана для спорудження свердловини глибиною 4700 м,

особливості проведення монтажу насосно-циркуляційної системи бурової установки, підготовчі роботи перед експлуатацією змішувача рідини з повітрям. Розрахована кількість робітників бригади для монтажу насосно-циркуляційної системи. Проведена робота дала можливість виявити типові види і причини спрацювання та відмов елементів обладнання, а також описана необхідність проведення поверхневого зміцнення деталей та його види.

Також описані шкідливі та небезпечні заходи, а саме: високий тиск нагнітання промивної рідини, підвищений рівень звукового тиску, попадання нафти і різних хімічних реагентів, які входять до складу промивної рідини, на шкіру робітників. Для усунення даних недоліків в роботі передбачене використання запобіжних кожухів та поясів, костюма, чоботів, рукавиць. Також в магістерській роботі вказано на необхідність виконання технічних вимог з експлуатації насосно-циркуляційних систем бурових установок. Проведено розрахунки освітлення робочої зони установки змішувача рідини та повітря, розроблені заходи з техніки безпеки при експлуатації обладнання.

## ВИСНОВКИ

В магістерській роботі на тему розроблені наступні розділи:

1. У розділі "Вибір та опис технологічного обладнання" за найбільшим навантаженням на гаку під час буріння свердловини глибиною 4700 м вибрана бурова установка НБО-Е, за допомогою якої будемо здійснювати технологічні операції в процесі спорудження даної свердловини. Встановлено необхідність в розробці обладнання для створення піни з необхідними параметрами та принципової схеми обв'язки свердловини, яка забезпечить первинне розкриття продуктивних горизонтів з АНПТ із невеликими затратами на модернізацію циркуляційної системи бурових установок.

2. В розділі "Опис технічної пропозиції" встановлено, що для задоволення зростаючих вимог до технології видобутку нафти необхідні всебічні рішення, які забезпечують безпеку та ефективне буріння з від'ємним диференціальним тиском. Одним з таких рішень є буріння свердловин з використанням піни. Проведений аналіз використовуваних схем розміщення і обв'язки обладнання показує, що для буріння свердловин з промиванням піною необхідно підбирати таку монтажну схему, яка не вимагає зміни (або зводить до мінімуму) перероблення стандартного обладнання. Тому створена така схема циркуляційної системи, яка забезпечує первинне розкриття продуктивних горизонтів з низькими тисками із невеликими витратами на її модернізацію. При цьому промивання свердловини можна буде здійснювати за допомогою промивальної рідини або піни. Для отримання піни із невеликими затратами на модернізацію циркуляційної системи пропонується використання змішувача рідини з повітрям, встановлення якого в нагнітальній частині бурових насосів забезпечить якісне первинне розкриття продуктивних горизонтів з аномально низькими тисками з використанням піни. Проведена модернізація буде прибутковою і матиме економічний ефект в розмірі 42070 грн.. Отже, удосконалення є економічно доцільним.

3. В розділі "Дослідно-конструкторська робота" встановлено, що вибрана програма та методика дослідження піногенеруючого пристрою є

рацездатною, нею можна досліджувати траєкторії руху потоків рідини, повітря і суміші, визначати розподіл тиску, швидкості, температури по всій обочій довжині піногенеруючого пристрою. Порівнюючи характеристики піногенеруючих пристроїв різних типів рекомендовано при створенні моделі піногенеруючого пристрою використовувати камери змішування із конічною підною частиною, різними довжинами камер змішування та довжиною циліндричної частини камери змішування рівною  $1 \dots 1,5$  її діаметра. Піногенеруючі пристрої з можливістю заміни сопел різних діаметрів в межах  $0,5 \dots 0,8$  мм будуть високоефективними для певних конкретних умов їх застосування. Довжину циліндричної частини сопла рекомендується прийняти рівною  $1 \dots 2$  її діаметра. Аналіз графічних залежностей розподілу тиску в поперечному перерізі пристрою показує, що при зміні граничних умов, тобто зменшенні тиску у підвідному патрубку до 7,5 МПа, тиск на виході з пристрою 10 МПа, і при збільшенні подачі рідини на вході до 0,02 м<sup>3</sup>/с, тиск та швидкість у пристрої після удосконалення конструкції камери змішування зменшився – з 27 до 18 МПа, з 177,7 м/с до 159 м/с. Останнє спричиняє менший тиск у підвідному патрубку.

4. В розділі “Розрахунки працездатності” проведені розрахунки параметрів в камері змішування пристрою при наступних граничних припущеннях: повітряний потік не містить вологи; потік рідини не містить повітряних бульбашок; втрати в граничному шарі на стінці нескінченно малі; довжини початкової і основної ділянок відомі і задаються експериментальними рівняннями; статичний тиск постійний в перерізі камери змішування. Результати проведених розрахунків довжини камери змішування змішувача рідини з повітрям для кожного режиму роботи бурового насоса та різної компоновки змішувача занесені в таблиці та побудовані графічні залежності.

5. В розділі “Монтаж і експлуатація обладнання” розроблений комплекс робіт з підготовки до проведення монтажних робіт з обладнанням бурової установки НБО-Е, підготовчі роботи перед експлуатацією змішувача рідини з

повітрям. Розрахована кількість робітників бригади для монтажу насосно-циркуляційної системи. Виявлено типові види і причини спрацювання та відмов елементів обладнання, а також описана необхідність проведення поверхневого зміцнення деталей та його види. Описані шкідливі та небезпечні заходи, а саме: високий тиск нагнітання промивної рідини, підвищений рівень звукового тиску, попадання нафти і різних хімічних реагентів, які входять до складу промивної рідини, на шкіру робітників. Для усунення даних недоліків в роботі передбачене використання запобіжних кожухів та поясів, костюма, рукавиць. Також в магістерській роботі вказано на необхідність виконання технічних вимог з експлуатації насосно-циркуляційних систем бурових установок. Проведено розрахунки освітлення робочої зони установки змішувача рідини та повітря, розроблені заходи з техніки безпеки при експлуатації обладнання.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Артими В.І., Рачкевич Р.В., Гриців В.В., Гладкий С.І. Вплив локальних напружень на довговічність різьбових з'єднань бурильних труб. *Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ*, 2009. – № 1 (30). – С. 29 - 31.
2. Артими В.І. Підвищення експлуатаційної надійності трубних і штангових колон для буріння та видобування нафти і газу: автореф. дис. ... докт. техн. наук. Івано-Франківськ, 2010. – 36 с.
3. Бедрій Я.І. Охорона праці: Навчальний посібник / Я.І. Бедрій та ін. – Львів: ПТВФ «Афіша», 1997. – 258с.
4. Бойко В. С. Розробка та експлуатація нафтових родовищ / Бойко В.С.– Київ: Міжнародна економічна фундація, 2008. – 488 с.
5. Бойко В. С. Підземний ремонт свердловин : підручник для вищих навчальних закладів; у 4-х частинах. Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2002. Частина 1. 465 с.
6. Буняк Б.Т., Розенфельд І.М., Бубликова Н.Г., Коцаба В.І., Чепіль І.І. Нові регламенти з експлуатації бурильних і насосно-компресорних труб. *Нафтова і газова промисловість*. 2005. № 1. – С. 29 - 30.
7. Войтенко В.С. Технологія і техніка буріння: узагальнююча довідникова книга. – Львів: Центр Європи, 2012. – 708 с.
8. Vaisberg O., Vincke O., Perrin G. etc. Fatigue of drillstring: state of the art. *Oil & Gas Science and Technology*. 2002. № 1 (Vol. 57). P. 7 - 37.
9. Гандзюк М.П. Основи охорони праці – Київ: Основа, 2000. – 318 с.
10. Горбійчук М. І., Семенцов Г. Н. Оптимізації процесу буріння глибоких свердловин. Івано-Франківськ : Факел, 2003. 493 с.
11. Дейнега Р., Артими В., Рачкевич Р. та ін. Урахування корозійного чинника при розрахунку довговічності деталей машин. *Вісник Тернопільського Державного технічного університету*. 2009. № 4. – С. 12 - 18.

12. Економіка підприємства: Навчальний посібник / Я.С. Витвицький, У.Я. Витвицька, М.О. Данилюк, А.О. Устенко, І.І. Цигалик. За ред. Я.С. Витвицького – Івано-Франківськ: ІМЕ, 2002. – 318 с.

13. Жидецький В.Ц. Практикум з охорони праці: навчальний посібник / Жидецький В. Ц., Джигирей В. С., Сторожук В. М. – Львів: Афіша, 2000. – 352 с.

14. Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища». Закон від 25.06.1991 № 1264 – XII.

15. Злобін Ю. А. Основи екології. Підручник – К. Лібра, 1998 – 246 с.

16. Івасів В.М., Рачкевич Р.В., Юрич А.Р., Юрич Л.Р. Використання пружних елементів для реалізації параметрів проектного профілю свердловини. Вісник Національного технічного університету «ХПІ», 2006, № 10, с. 198-203.

17. Івасів В.М., Артимиш В.І., Гладун В.В., Дейнега Р.О. Модель багатоциклового корозійно-втомного пошкодження деталей машин. *Механічна втома металів: Праці колоквиуму*. Тернопіль, 2006. – С. 198 - 203.

18. Ісаєв І. А. Види негативного впливу на навколишнє середовище та заходи з охорони навколишнього середовища при будівництві (бурінні) нафтогазоконденсатних свердловин. *Молодий вчений*, 2014, № 10, С. 112-116.

19. Іщенко І. І. Оцінка економічної ефективності виробництва і затрат. Навч. посіб. / Іщенко І. І., Терещенко С. П. – К.: Вища шк., 1991.–173 с.

20. Карпаш О.М. Методи та засоби забезпечення роботоздатності трубних колон: автореф. дис. ... докт. техн. наук. Івано-Франківськ, 1996. – 47 с.

21. Копей В.Б. Підвищення ресурсу штангової колони при видобутку парафіністих нафт: дис. ... канд. техн. наук: 05.05.12 / Івано-Франківськ, 2004.

22. Копей Б.В. Розрахунок, монтаж і експлуатація бурового обладнання. ФДТУНГ, 2001 – 224 с.

23. Копей Б.В. Науково-технологічні методи комплексного підвищення ресурсу деталей нафтогазового обладнання: дис. ... д-ра техн. наук: 05.15.07 / Івано-Франківськ, 1996.

24. Костриба І.В. Основи конструювання нафтогазового обладнання: Навч. посібник. – Івано-Франківськ: Факел, 2007 – 256 с.

25. Коцкулич Я.С. Закінчування свердловин: підручник для студентів вищ. навч. закладів проф. спрямування "Буріння" / Я.С. Коцкулич, О.В. Тищенко. – К.: Інтерпрес ЛТД, 2004. – 366 с.

26. Крижанівський Є.І. Мобільні установки для буріння, ремонту і обслуговування свердловин. / Є.І. Крижанівський, Ю.В. Міронов, Л.І. Романишин. – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2003. – 209 с.

27. Крижанівський Є.І. Івасів В.М., Рачкевич Р.В. та ін. Втомна довговічність різьбових з'єднань насосно-компресорних труб в криволінійних ділянках свердловин. *Науковий вісник Національного гірничого університету*: 2015. № 5. – С. 14 - 21.

28. Лужаниця О.В. До питання удосконалення технології первинного розкриття продуктивних горизонтів з аномально низькими пластовими тисками / О.В. Лужаниця, Ю.О. Педенко, І.П. Долюк та ін. – Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2005. – №3 (16). – С. 9 – 14.

29. Марухняк В.М. Геологотехнологічні проблеми розкриття горизонтів з аномально низькими пластовими тисками та гранулярними колекторами в Західному регіоні України / В.М. Марухняк і ін. // *Мінеральні ресурси України* - 2005. – №1. – С. 35 – 37.

30. Мислюк М.А. Буріння свердловин: довідник : в 5 т. / М.А. Мислюк, А. Рибчич, Р.С. Яремійчук. – Київ: Інтерпрес ЛТД, 2002. Т. 2: Промивання свердловин. Відробка доліт – 2002. – 303 с.

31. Мислюк М.А. Буріння свердловин: довідник : в 5 т. / М.А. Мислюк, А. Рибчич, Р.С. Яремійчук. – Київ: Інтерпрес ЛТД, 2002. Т. 3: Вертикальне та кероване буріння – 2004. – 294 с.

32. Mitchell R.F. The effect of friction on initial buckling of tubing and flowlines. *SPE Drilling & Completion*. 2007. № 22 (2). – P. 112 - 118.

33. Miller T.J., Su T., Dussan E.B., Pabon J., Wicks N., Bertoldi K., Reis R.M. Buckling-induced lock-up of a slender rod injected into a horizontal cylinder. *International Journal of Solids and Structures*. 2015. vol. 72. – P. 153 - 164.
34. Мочернюк Д.Ю. – Моделювання фізичних процесів на основі визначальних рівнянь / Д.Ю. Мочернюк – Нафтова і газова промисловість – 2001. – №3. – С. 12 – 14.
35. Ніколаснко А.М. Мікропроцесорні та програмні засоби автоматизації: навчальний посібник / А.М. Ніколаєнко, Н.О. Міняйло. – Запоріжжя, ЗДІА, 2011. – 444 с.
36. НПАОП 11.1-1.01-08. Правила безпеки в нафтогазодобувній промисловості України.
37. Організація і планування операційної діяльності нафтогазових підприємств: Навч. посіб. / Я. С. Витвицький, І. В. Андрійчук, О. І. Лесюк, У. Я. Витвицька, В. М. Чарковський. За ред. М. О. Данилюк. – Івано-Франківськ, 2009. – 364 с.
38. Основи цивільного захисту: навчальний посібник / В. О. Васійчук, В. Є. Гончарук, С. І. Качан та ін. – Львів: Вид-во Львівської політехніки, 2010. – 384 с.
39. Охорона праці в нафтогазовій галузі: Навчальний посібник / За редакцією Г.М. Лисяного – Івано-Франківськ: Симфонія форте, 2015. – 304 с.
40. Пентюк Б.М. Основи патентознавства та інтелектуальної власності: навчальний посібник / Б.М. Пентюк, І.І. Назаренко, М.М. Вірник. – Вінниця: ВНГУ, 2007. – 195 с.
41. Писаренко Г.С. Опір матеріалів / Г.С. Писаренко, О.Л. Квітка, Е.С. Уманський. - К.: Вища школа, 2004. – 655 с.
42. Пістун І. П. Охорона праці (Законодавство. Організація роботи) : навчальний посібник / Пістун І. П., Березовецька О. Г., Трунова І. О. – Львів : Тріада плюс, 2010. – 648 с.

43. Проектування бурового і нафтогазопромислового обладнання: навчальний посібник / В.С. Білецький, В.Г. Вітрик, А.М. Матвієнко та ін. // Полтава, ПолтНТУ, 2015. – 196 с.
44. Поджаренко В.О. Опрацювання результатів вимірювань на основі концепції невизначеності: навч. посіб. / В.О. Поджаренко, О.М. Василевський, В.Ю. Кучерук. – Вінниця: ВНТУ, 2008. – 128 с.
45. Пушкар П.В. Оцінка довговічності насосних штанг з урахуванням експлуатаційних факторів: дис. ... канд. техн. наук: 05.05.12 / Івано-Франківськ, 2007.
46. Савула С.Ф., Колодій В.Г., Харченко Є.В. та ін. Оцінка впливу коливань колони насосно-компресорних труб на умови роботи різьових з'єднань. *Науковий вісник Національного Технічного Університету Нафти і Газу*. 2004. № 2 (8). – С. 116 - 125.
47. Свердан П.Л. Вища математика. Математичний аналіз і теорія ймовірностей: Підручник. Київ, 2008. 450 с.
48. Світлицький В. М, Синюк Б.Б., Троцький В. П. Техніка і технологія підземного ремонту свердловин. Харків, 2006. 235 с.
49. Типовий проект безпечної організації вишкомотажних робіт при монтажі, демонтажі бурової установки НБО-4Е. Загальні вимоги. – Чернігів, 2002. – 30 с.
50. Цивільна оборона / В.М. Шоботов: Навчальний посібник. – К.: Центр навч. л-ри, 2004. – 436 с.
51. Шкіца Л.С. Дослідження забруднення атмосфери випарами бурового розчину / Л.С. Шкіца, Т.М. Яцишин // III Всеукраїнський з'їзд екологів з міжнародною участю : збірник наукових статей. Том 2. – Вінниця : 2011 – С. 554 – 557.
52. Шкіца Л.Є. Забезпечення надійності труб при бурінні та експлуатації свердловин: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Івано-Франківськ, 1996. – 24 с.
53. Шаруда В.Г. Практикум з теорії автоматичного управління / В.Г. Шаруда. – Д.: Національний гірничий університет, 2002. – 414 с.

54. Яцишин Т.М. Дослідження впливу основних технологічних операцій процесу буріння нафтогазових свердловин на атмосферне повітря / Т.М. Яцишин, В.М. Савик // Інститут проблем моделювання в енергетиці : збірник наукових праць – Київ, 2012. – Вип. 62. – С. 54 – 59.
55. Boyun G. Petroleum Production Engineering / Boyun Guo, William C. Lyons, Ali Ghalambor // Gulf Professional Publishing, 2007. – P. 312.
56. Bennion D.B. Underbalanced operations offer pluses and minuses / D.B. Bennion // Oil and Gas J. – 1996, 1 – Vol. 94, № 1 – P. 33 – 40.
57. Golin B. Murch Underbalanced: An integrated approach / B. Golin // Drilling Contractor, 1998 – juli / august. – P. 52 – 55.
58. Walker M. Hopemann Underbalanced completion improve well softy and productivity / M. Walker // World Oil – 1995 – Vol. 216 – № 11.
59. Iskenderli I.N., Narimanov V.A. Chemical and Petroleum Engineering, 2017. 7. P. 46.
60. Tong Z., Liu H., Zhu F. Artificial Intelligence and Computational Intelligence, 2009. 5855. 215 p.
61. Fridman M.M., Galiullin A.A., Fomin G.D. Hydrotechnical Construction, 1978. 8. P. 14.
62. Mwachaka S.M., Wu A., Fu Q. Journal of Petroleum Exploration and Production Technology, 2018. 2. P. 1.
63. Kolesnikova S.I. Methods of analyzing the informativeness of various types of attributes Vestn. Tomsk State University: Management, Computer Science and Informatics, 2009. 1(6). P. 69-80.
64. Tu B., Li D., Lin E., Ji M. EURASIP Journal on Advances in Signal Processing, 2012. P. 182.
65. Kolesnikova S.I., Yankovskaya A.E. Estimation of significance of attributes for tests in intelligent systems RAS Theory and control systems, 2008. V. 6. P. 135-148.