

**Міністерство освіти і науки України
Івано-Франківський національний технічний університет
нафти і газу**

На правах рукопису

Савик Василь Миколайович

УДК 622.244

В. Савик

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПНОГЕНЕРУЮЧИХ
ПРИСТРОЇВ НАСОСНО-ЦИРКУЛЯЦІЙНИХ СИСТЕМ
БУРОВИХ УСТАНОВОК**

Спеціальність 05.05-12 - машини нафтової та газової промисловості

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

*Всі програмні дисертації
приняті до друку.
Відомо про науковця ступеня кандидата
технічних наук *Лях Михайло*
24.04.2013р.*

**Науковий керівник:
Лях Михайло Михайлович,
кандидат технічних наук,
доцент**



Івано-Франківськ - 2013

d490

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1	
СТАН ПРОБЛЕМИ. МЕТА І ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	11
1.1 Актуальність проблеми промивання свердловин пінистими розчинами.....	11
1.2 Аналіз роботи устаткування для промивання свердловин пінистими розчинами.....	19
1.2.1 Аналіз умов роботи циркуляційної системи бурової установки при використанні пінистого розчину	19
1.2.2 Аналіз основних вимог до роботи піногенеруючих пристроїв з врахуванням методик вибору параметрів процесу промивання.....	21
1.3 Аналітичний огляд конструктивних вирішень устаткування для промивання свердловин пінистими розчинами.....	28
1.3.1 Існуючі схеми циркуляційних систем бурових установок при використанні пінистого розчину.....	28
1.3.2 Аналіз конструкцій піногенеруючих пристроїв.....	31
1.4 Аналіз праць, пов'язаних з дослідженням устаткування для промивання свердловин пінистими розчинами.....	37
Мета і задачі досліджень.....	41
РОЗДІЛ 2	
ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ УСТАТКУВАННЯ ДЛЯ ПРОМИВАННЯ СВЕРДЛОВИН ПІНИСТИМИ РОЗЧИНАМИ.....	42
2.1 Дослідження руху потоків в піногенеруючих пристроях ежекційного типу.....	42
2.2 Дослідження процесу піноутворення в піногенеруючих пристроях ежекційного типу.....	46
2.3 Аналіз зміни властивостей піни в процесі її руху в циркуляційній системі під час буріння.....	72

2.4 Теоретичні засади раціонального підготування пінистого розчину для повторної подачі його у свердловину та вибір необхідного устаткування.....	75
2.5 Аналіз теоретичних досліджень та обґрунтування напрямків комп'ютерних експериментальних досліджень.....	77
Висновки до розділу	91
РОЗДІЛ 3	
КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПІНОГЕНЕРУЮЧОГО ПРИБОРУ ЕЖЕКЦІЙНОГО ТИПУ	
92	
3.1 Вибір моделей та параметрів для дослідження піногенеруючого пристрою	92
3.2 Дослідження односоплового ежекційного піногенеруючого пристрою.....	98
3.3 Дослідження багатосоплового ежекційного піногенеруючого пристрою	114
3.4 Аналіз результатів комп'ютерного дослідження піногенеруючого пристрою.....	120
Висновки до розділу	123
РОЗДІЛ 4	
ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ УСТАТКУВАННЯ ДЛЯ ПРОМИВАННЯ СВЕРДЛОВИНИ ПІНИСТИМИ РОЗЧИНАМИ.....	
124	
4.1 Задачі експериментальних досліджень	124
4.2 Конструктивне вирішення досліджуваного устаткування та експериментальної установки	124
4.3 Методика експериментальних досліджень	128
4.4 Експериментальні дослідження та їх результати	132
4.5 Аналіз результатів експериментальних досліджень	139
Висновки до розділу	144

РОЗДІЛ 5

ПРОМИСЛОВІ ВИПРОБУВАННЯ УСТАТКУВАННЯ ДЛЯ

ПРОМИВАННЯ СВЕРДЛОВИНИ ПІНИСТИМИ РОЗЧИНАМИ	145
5.1 Програма і методика промислових випробувань	145
5.2 Підготовка устаткування до промислових випробувань	145
5.3 Промислові дослідження і випробування устаткування для промивання свердловин пінистими розчинами	148
5.4 Аналіз результатів промислових випробувань та рекомендації щодо використання піногенеруючого пристрою	159
Висновки до розділу	163
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	164
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	166
ДОДАТКИ	179

ВСТУП

Актуальність теми. Буріння нафтогазових свердловин в пористих і нестійких породах 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.;

- розмивання буровим розчином нестійких порід, що не дозволяє отримати якісний керн для геологічних досліджень;

- виникнення в процесі буріння свердловин ускладнень, пов'язаних з розмиванням стінок свердловин, каверноутвореннями, накопиченням на вибої шламу, прихопленням і заклинюванням бурового інструменту та інше;

- при розкриванні нафтогазоносних горизонтів можливе закупорювання буровим розчином продуктивного пласта і неотримання очікуваного ефекту.

Запобігти 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.

Газорідні суміші є дисперсними системами, які складаються з двох компонентів – газоподібного та рідкого (суміш води і різноманітних хімічних реагентів: поверхнево-активні речовини, інгібітори, стабілізатори та ін.).

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 поглиннанню 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 [1 – 4].

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 [5 – 10].

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.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота є складовою частиною комплексу науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт, що проводяться Полтавським відділенням Українського державного геологорозвідувального інституту (ПВ УкрДГРІ) в галузі розробки нової техніки, яка направлена для ефективного розкриття, кріплення та випробування пластів з низькими пластовими тисками.

Мета і задачі дослідження. Метою даної роботи є підвищення ефективності піногенеруючих пристроїв насосно-циркуляційних систем бурових установок. Поставлена мета досягається через реалізацію наступних задач:

- проведення аналізу і селективного відбору теоретичних та експериментальних результатів, геометричних параметрів, режимів роботи піногенеруючих пристроїв;

- виконання теоретичних досліджень з виявлення та визначення впливу найбільш суттєвих факторів і вибір оптимальних геометричних параметрів та режимів роботи піногенеруючих пристроїв, які б забезпечили найвищу ефективність промивання свердловини пінами;

- проведення експериментальних досліджень для встановлення взаємозв'язку між геометричними формами, параметрами, режимами роботи піногенеруючих пристроїв та ефективністю піноутворення;

- розроблення та обґрунтування раціональної схеми обв'язки обладнання і пристроїв для промивання нафтогазових свердловин пінами.

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.

Методи дослідження. Методи дослідження представляють комплекс, який містить:

- аналіз умов та досвіду експлуатації різних конструктивних особливостей пристроїв та обладнання насосно-циркуляційних систем для промивання свердловини пінами;

- математичне моделювання піноутворення в піногенеруючому пристрої ежекційного типу з використанням законів балансу енергії, неперервності потоку, збереження кількості руху, а також використання критерію Лапласа, чисел Вебера та Маха, рівняння Лишевського;

- комп'ютерне моделювання піногенеруючого пристрою проводилось з метою оптимізації його внутрішніх конструктивних елементів;

- експериментальне визначення основних параметрів та режимів роботи з врахуванням зміни конструкції піногенеруючого пристрою;

- промислові випробування проводились з метою підтвердження роботоздатності та ефективності запропонованого піногенеруючого пристрою і обладнання насосно-циркуляційної системи.

Наукова новизна. Теоретичні та експериментальні дослідження протікання рідини, повітря і їх суміші через конструктивні елементи обладнання дозволяють встановлювати закономірності взаємозв'язку ефективності піноутворення від параметрів та режимів роботи піногенеруючих пристроїв.

При цьому:

- вперше визначено взаємозв'язок між якістю піноутворення і конструктивними особливостями окремих елементів піногенеруючого пристрою;

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

- вперше теоретично та експериментально обґрунтовано аналітичні залежності руху потоків рідини, повітря і піни та ефективності роботи піногенеруючих пристроїв від їх конструктивних особливостей;

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

Практичне значення отриманих результатів. На основі проведених теоретичних та експериментальних досліджень визначені раціональні геометричні форми та параметри, встановлені оптимальні режими роботи піногенеруючих пристроїв, які є основою для створення нових високоефективних піногенеруючих пристроїв. Запропоновано низку методів та засобів конструктивного і технологічного характеру для підвищення ефективності промивання свердловин пінистими розчинами. Результати дисертаційної роботи використані при вдосконаленні насосно-циркуляційної системи для промивання свердловин пінистими розчинами.

Розроблений піногенеруючий пристрій використовувався на свердловинах №201 Гадяцької площі та №172 Котелевської площі Полтавського ВБР БУ «Укрбургаз» і підтвердив очікувані результати.

Положення, що виносяться на захист.

1. Метод оцінки та визначення обмеження технічних характеристик піногенеруючих пристроїв для отримання максимальної ефективності піноутворення.

2. Метод визначення параметрів конструктивних елементів піногенеруючого пристрою, що дозволить забезпечити утворення високоякісної піни.

3. Метод забезпечення надійності та якості роботи насосно-циркуляційної системи при промиванні свердловин пінистими розчинами шляхом удосконалення пристроїв та самої схеми насосно-циркуляційної системи.

Особистий внесок здобувача. Основні наукові положення та результати, які становлять суть дисертації, отримані автором самостійно. У публікаціях, написаних у співавторстві, здобувачеві належить: [11 – 15] – аналіз актуальності проблеми піноутворення в циркуляційних системах бурових установок та встановлення напрямків їх вирішення; [16 – 20] – наукові ідеї щодо формування закономірностей взаємозв'язку ефективності піноутворення від конструкції та геометричних параметрів піногенеруючого пристрою; [21, 22] – встановлення обмежень параметрів та експлуатаційних режимів піногенеруючих пристроїв за умов найбільш ефективного піноутворення; [23, 24] – теоретичні дослідження особливостей процесу піноутворення при різних параметрах та режимах експлуатації піногенеруючих пристроїв ежекційного типу.

Апробація роботи. Основні положення дисертаційної роботи доповідались та обговорювались на:

- міжнародній науково-технічній конференції «GEOPETROL 2008» (м. Закопане, Польща) 18 – 21.09.2008 р.;

- міжнародній спеціалізованій виставці «Високі технології-2009» (м. Київ, Україна) 30.09 – 02.10.2009 р.;

- міжнародній науково-технічній конференції «Нафтогазова енергетика: проблеми та перспективи» (м. Івано-Франківськ, Україна) 20 – 23.10.2009 р.;

- міжнародній науково-технічній конференції «Нафтогазова енергетика – 2011» (м. Івано-Франківськ, Україна) 10 – 14.09.2011 р.;

- обласній виставці науково-технічних розробок, новітніх технологій та обладнання «Досягнення науки – виробництву» (м. Івано-Франківськ, Україна) 14 – 15.12.2011 р.;

- міжнародній науково-технічній конференції «Проблеми та перспективи розвитку нафтогазового комплексу» (м. Полтава, Україна) 26 – 28.09.2012 р.;

- науковому семінарі кафедри нафтогазового обладнання ІФНТУНГ, м. Івано-Франківськ, 02.11.2012 р.

Публікації.

За темою дисертації опубліковано 17 наукових праць, із них 6 у фахових виданнях, 3 патенти на корисну модель та 1 одноосібна стаття.

Структура й обсяг дисертації.

Дисертація складається із вступу, п'яти розділів, загальних висновків, списку використаних літературних джерел, який містить 120 найменувань, додатків. Основна частина дисертаційної роботи викладена на 165 сторінках комп'ютерного набору і містить 96 рисунків і 5 таблиць. Загальний обсяг дисертації становить 210 сторінок.

РОЗДІЛ 1

СТАН ПРОБЛЕМИ. МЕТА І ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 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 [25 – 27].

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 у продуктивний пласт, є надлишковий тиск у свердловині, необхідно при розкритті підтримувати рівновагу між тисками у свердловині і 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. Це ж стосується і свердловин із аномально низькими пластовими тисками (АНПТ), які пробурені на площах західної частини України та Дніпровсько-Донецької западини (ДДЗ).

Для вивчення геологічної будови на перспективних площах Західної України здійснено буріння пошуково-розвідувальних свердловин на Коломийській, Гуцулівській, Дебеславецькій і Старобогородчанській площах. Марухняком В.М. проведено аналіз результатів буріння, кріплення та випробування пластів на даних площах [28]. Ускладнення в процесі буріння, в основному, пов'язані з нестійкими відкладами непродуктивної (верхньої) частини розрізу та аномально низькими пластовими тисками в них, що приводить до обвалів стінок свердловин, утворенню каверн, водопроявів, поглинань та прихоплюванню інструменту внаслідок перепаду тиску.

Для покращення технології буріння необхідне удосконалення конструкції свердловин, а також в умовах, коли гідростатичний тиск менше або рівний пластовому, для запобігання виникненню таких типових ускладнень, як поглинання промивальної рідини, водопроявлення, прихоплювання інструменту внаслідок перепаду тиску, осипання порід і каверноутворення, необхідно першочергово використовувати ефективні промивальні рідини, які б відповідали вимогам технології буріння свердловин в таких складних гірничо-геологічних умовах спорудження свердловин.

Закінчення свердловин на всіх розглянутих площах здійснювалось з промивкою буровим розчином на водній основі. Глибина залягання пластів, пластовий тиск, густина та тиск стовпа бурового розчину при проходженні продуктивних пластів подані в табл.1.1. Перспективні горизонти залягають на невеликій глибині, вони високопроникні. Практично на кожній площі є свердловини, в розрізі яких трапляються горизонти з коефіцієнтом аномальності значно нижчим, ніж у середньому по регіону.

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

- зони розушільнення карбонатних порід у відкладах башкирського ярусу, пов'язаних 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;

Таблиця 1.1 – Продуктивні пласти у Більче-Волицькій зоні

Площа	Глибина свердловини, м	Пластовий тиск, МПа / на глибині, м	Густина бурового розчину, кг/м ³	Тиск стовпа бурового розчину, МПа
Коломийська св. №1	600	1,98/208	1100-1180	2,24 – 2,4
		2,2/350		3,78 – 4,1
св. №3	475	0,95/175	1100-1220	1,9 – 2,1
		2,2/313		3,38 – 3,75
Гуцулівська св. №1	1170	6,33/863,5	1020-1170	8,64 – 9,9
св. №11	812	6,11/700	1050-1200	7,2 – 8,24
Дебеславецька св. №1	377	1,7/205,5	1160	2,34
		2,14/256		2,9
св. №5	380	1,6/202,5	1120-1140	2,26 – 2,3
		1,83/266		2,92- 2,97
св. №6	351	1,76/200	1080-1100	2,12 – 2,16
		1,7/218,8		2,32 – 2,36
		2,03/253,5		2,7 – 2,74
		2,18/276,5		2,93 – 2,98
Старобогородчанська св. №2	1200	8,4/990	1150-1170	11,2 – 11,36

- 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 дренажу 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 Передкарпаття та Дніпровсько-Донецької западини розкривалась із значною репресією на пласт [28]. 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 [29, 30].

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 розкриванні 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 [4]. 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 [31, 32].

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 [33].

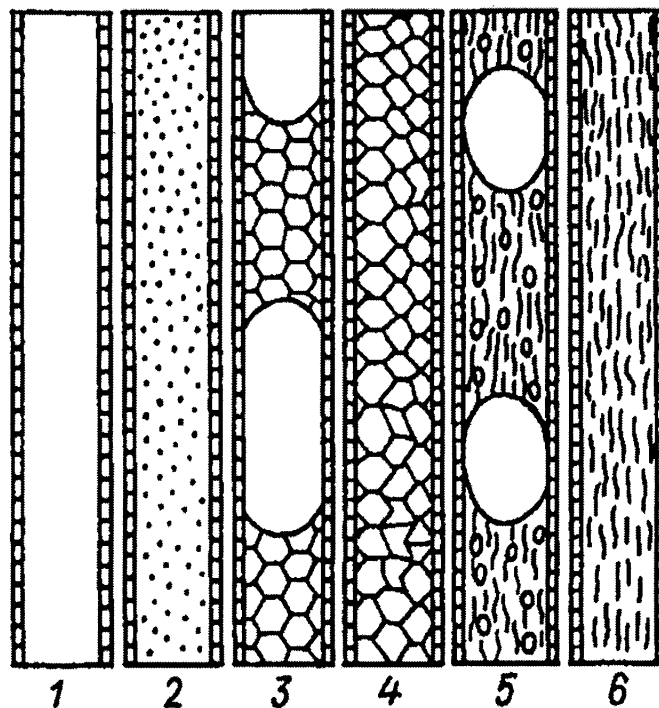
Аерованими називають промивальні рідини, в які введено газовий компонент, що надає їм нові властивості. Аерується розчин механічним шляхом – насиченням вихідного розчину повітрям або хімічним шляхом – обробкою розчину піноутворюючими ПАР.

Однак аеровані рідини та пінні розчини є одними з найбільших забруднювачів доквілля, тому що перед повторним закачуванням

промивальної суміші у свердловину проводиться повна дегазація з виділенням великої кількості газів і парів хімічних речовин із рідини [15, 34].

Будь-яка аерація дозволяє в широких межах регулювати густину промивальної рідини і тим самим зменшувати або збільшувати гідростатичний тиск на вибій [35]. При механічній аерації за допомогою повітря або газу густина розчину може бути знижена до 100 кг/м^3 , а при хімічній – до 700 кг/м^3 . Якщо в аеровану рідину додають піноутворюючу ПАР (наприклад, оксиетілований 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) [36]. Основну частину об'єму піни (до 99%) складає газоподібна фаза. Структура очисних агентів в одно- і багатофазному потоці схематично показана на рисунку 1.1.



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

Рисунок 1.1 - Структура очисних агентів в одно- і багатофазному потоці

Для визначення стану фаз в газорідинній системі використовується показник ступені аерації рідини a , який представляє собою відношення об'ємних витрат газу Q_g і рідини Q_p при атмосферному тиску, тобто

$$u = \frac{Q_g}{Q_p}. \quad (1.1)$$

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

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

$$K_n = \frac{V_n}{V_p}. \quad (1.2)$$

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 розмерзанню порід та практично забезпечують номінальний діаметр свердловини [37 – 55].

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 [56]:

- 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-підймальних операцій за рахунок зміни ступені 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 ступені 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 свердловин;

- трьохфазна піна дозволяє зберегти стійкість стінок свердловини в процесі розкриття пластів з невеликими 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 [57]. На основі виконаної оцінки впливу гідравлічних особливостей первинного розкриття інтервалів продуктивних горизонтів на стан фільтраційної характеристика пластів дається порада для спорудження свердловин з АНПТ використовувати промивні рідини меншої густини (аеровані, інвертно-емульсійні).

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.

1.2 Аналіз роботи устаткування для промивання свердловин пінистими розчинами

1.2.1 Аналіз умов роботи циркуляційної системи бурової установки при використанні пінистого розчину

Одна із перших згадок про використання піни при бурінні свердловин відноситься до 50-х років минулого століття, коли в штаті Невада (США) була успішно пробурена свердловина великого діаметру в сухих слабостійких породах. В подальшому фірмою Standard Oil Co of California розроблена піна для закінчування експлуатаційних свердловин із низькими пластовими тисками. Піна, яка складалась із ПАР, прісної води, стиснутого газу і інших добавок, мала малі густину і в'язкість, володіла високою очисною і несучою здатністю. Спеціалістами фірми встановлено, що

консистенцію піни можна регулювати зміною подачі газу, витратою розчину ПАР і концентрацією піноутворювача в промивній рідині.

В Радянському Союзі вперше піни були використані при нафтовому бурінні на Миколаївському родовищі (Краснодарський край) на початку 60-х років. Піни використовувались для розкриття пластів з тиском, який рівний або менший гідростатичного. Відомий також успішний досвід використання пін в 60-х роках для промивання піщаних пробок при ремонтних роботах в свердловинах на нафту і газ.

Проведений аналіз літератури [58 – 77] вказує на доцільність використання піни при бурінні і освоєнні свердловин в різноманітних гірсько-геологічних умовах.

При бурінні у вічномерзлих породах для глибоких свердловин піну рекомендується готувати на основі водного розчину хлористого натрію при співвідношенні рідини і газу 1:150. Середня подача рідини – $0,14 \text{ м}^3/\text{с}$ при витраті розчину ПАР $(0,93-1,25) \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$.

Використання стабільної піни у важких природно-географічних і геологічних умовах Іранського Нагір'я дозволило успішно боротися з поглинанням промивальної рідини, прихватом бурового інструменту і іншими ускладненнями. Піну отримували, добавляючи до промивальної рідини стиснуте повітря і піноутворювач. Співвідношення повітря – рідина коливалось в межах від 100:1 до 300:1, концентрація ПАР складала 0,5 – 1%. Витрата повітря забезпечувала швидкість потоку піни, що виходить $1 - 1,5 \text{ м}/\text{с}$. Виносна здатність піни була у 7 – 8 раз вищою, ніж у води.

Під час буріння з використанням піни в Трінідаді, Лівії, північно-східній частині Іспанії, на півдні Мексики, в штатах Огайо і Техас (США) обладнання бурових установок працювало з наступними режимами.

Подача повітря для виготовлення піни становила $0,058 - 0,17 \text{ м}^3/\text{с}$, а подача рідини – $(0,9 - 1,25) \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$. Співвідношення рідкої і газоподібної

фаз змінювалось від 1:104 до 1: 165, густина – від 400 до 800 кг/м³. Тиск на гирлі свердловини змінювався від 0,02 до 2,0 МПа.

Встановлено, що швидкість потоку в затрубному просторі, яка необхідна для виносу вибуреної породи із свердловини, повинна знаходитись в діапазоні 0,25 – 0,51 м/с. Найкращі властивості піни спостерігаються при об'ємній концентрації рідини 2 – 10 %; якщо рідини більше, то піна розріджується, втрачаючи виносну здатність, а якщо її менше, то в пінному потоці утворюються газові порожнини з виносною здатністю, як у потоку газу.

Під час буріння з використанням піни на родовищах Краснодарського краю і Башкирії умови буріння були наступними.

Пластовий тиск при бурінні складав 3 – 3,3 МПа. Тиск на стояку при циркуляції піни складав 4,5 – 5,0 МПа. Ступінь аерації піни змінювалась в межах від 20 до 43. При цьому густина використовуваної піни складала від 500 до 650 кг/м³.

Приведений аналіз режимів та умов роботи обладнання при бурінні свердловин пінами вказує на необхідність створення пристрою для виготовлення піни (піногенеруючого пристрою), який би задовольняв поданим вище вимогам характеристики використовуваних при бурінні пін: подача повітря і рідини, їх співвідношення, тиск на гирлі свердловини, густина піни, ступінь її аерації, швидкість потоку піни в затрубному просторі.

1.2.2 Аналіз основних вимог до роботи піногенеруючих пристроїв з врахуванням методик вибору параметрів процесу промивання

Основні фактори, що впливають на ефективність роботи піногенеруючих пристроїв, це:

- склад і властивості рідини або розчину (вода, водна суміш глинопорошку і т.п.): в'язкість, густина та ін.;
- склад і властивості газу;
- властивості поверхнево-активних речовин;
- тиски рідини (розчину), газу (повітря) та піни на всіх ділянках їх руху в піногенеруючому пристрої;
- зміна швидкості руху в піногенеруючому пристрої;
- температура рідини (розчину) та газу (повітря) на вході в піногенеруючий пристрій;
- зміна температури потоків на різних ділянках їх руху в піногенеруючому пристрої;
- зміна тиску на виході з піногенеруючого пристрою та інші фактори.

Вплив деяких із перерахованих вище факторів на роботу піногенеруючих пристроїв досліджувався і вивчався цілим рядом авторів. Деякі елементи робіт наведені нижче.

Зокрема, в [78] вказано, що використання ежектора для приготування пін дозволяє використовувати компресори пневматичної системи бурових установок як джерело стиснутого повітря. Можуть використовуватися і пересувні компресори високого тиску. Основні чинники, що забезпечують умови безпечного ведення робіт при бурінні свердловин за допомогою промивання її рідинно-газовими сумішами в порівнянні з технологією промивання буровими розчинами з іншим складом, наступні:

- зменшення ймовірності поглинання бурових розчинів в зонах АНПТ свердловини внаслідок використання піни як робочого агента;
- використання стиснутого повітря низького тиску.

Для буріння свердловини в процесі промивання її пінистим буровим розчином необхідно наступне обладнання (гирло свердловини обладнане згідно проекту на її спорудження):

- компресори пневматичної системи бурової установки (КТ, КСЕ) або пересувний компресор (УКП, КПУ 16/100 і ін.);
- у зимовий період за відсутності котельної установки промислова парова пересувна установка ППУА;
- манометр показуючий класу 2,5 з межею вимірювань до 40 МПа по ГОСТ 2405-80;
- ежектор рідинно-газовий ЕЖГ.

Для приготування пінистих промивальних рідин необхідно використовувати наступні матеріали:

- 1) технічну воду;
- 2) поверхнево – активні речовини (ПАР) – сульфанол по ТУ 641-862-73; ОП-7, ОП-10 по ГОСТ 8433-81 і ін.

При використанні в якості джерела стиснутого газу пересувних компресорів залежно від значення тиску на вибої може бути виконаний повний цикл закачування піни з виходом її на гирлі через затрубний простір з подальшим самовиливом або частковий цикл з подальшим самовиливом.

У обох випадках процес закачування піни виконується при постійній ступені аерації, щоб забезпечити наперед певне початкове значення тиску піноутворюючої рідини, що подається в ежектор.

При використанні як джерела стислого повітря компресорів бурової установки залежно від значення тиску на вибої може бути виконаний повний або частковий цикл закачування піни в свердловину з подальшим самовиливом, а також два цикли закачування піни з самовиливом після кожного з них. В цьому випадку піна подається в свердловину при змінному ступені аерації, а заданий режим роботи ежектора забезпечується створенням повного початкового значення тиску p_p .

Для вибору p_p при використуванні пересувних компресорів необхідно за номограмою (рис. 1.2) визначити ступінь аерації, при якій для необхідної глибини спуску бурильних труб забезпечується задана величина

тиску на вибої p_3 , пізніше по цій номограмі залежно від знайденого ступеня аерації і типу (марки) компресора слід визначити p_p .

Якщо необхідна за номограмою (рис. 1.2) ступінь аерації через її невелике значення неможливо забезпечити при наявному компресорному обладнанні, то необхідно виконати частковий цикл закачування піни.

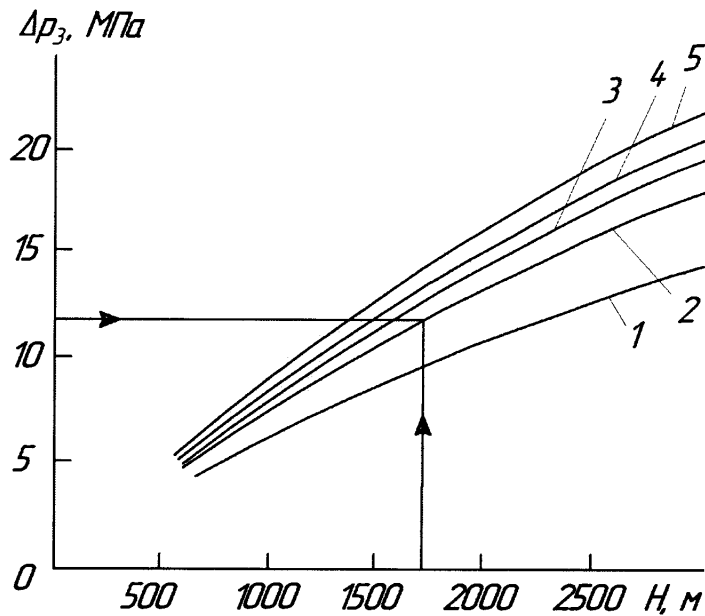
При проведенні часткового циклу необхідно вибрати максимальне значення ступеня аерації і відповідне їй значення для наявного типу компресора (рис. 1.3). Потім за номограмою (рис. 1.4) слід визначити глибину продавлювання h і відносний об'єм піноутворюючої рідини V_p/S , (де V_p – об'єм піноутворюючої рідини, m^3 ; S – площа поперечного перерізу міжтрубного простору або колони залежно від необхідної величини зміни пластового тиску Δp_3 і вибраної максимальної ступені аерації). По визначеному значенню V_p/S і площі S затрубного простору визначається необхідний об'єм піноутворюючої рідини V_p . Відносний об'єм піноутворюючої рідини V_p/S для проведення одного повного циклу визначається за номограмою (рис. 1.4). При цьому за глибину продавлювання h приймається глибина спуску труб H . За визначеними значеннями V_p/S і S колони визначається необхідний об'єм піноутворюючої рідини.

При використанні компресорів бурової установки слід за заданим значенням зміни вибійного тиску Δp_3 встановити необхідність проведення одного, двох або часткового циклів закачування піни. Для цього за номограмою (рис. 1.5) необхідно провести до перетину один з одним перпендикуляр з точок на осях, що відповідають значенням Δp_3 і H .

Якщо точка перетину перпендикулярів знаходиться в області, обмеженій кривими 1 і 2, то слід проводити процес заміщення рідин за один цикл закачування піни, а якщо точка знаходиться в області, обмеженій кривими 1 і 3, то за два цикли.

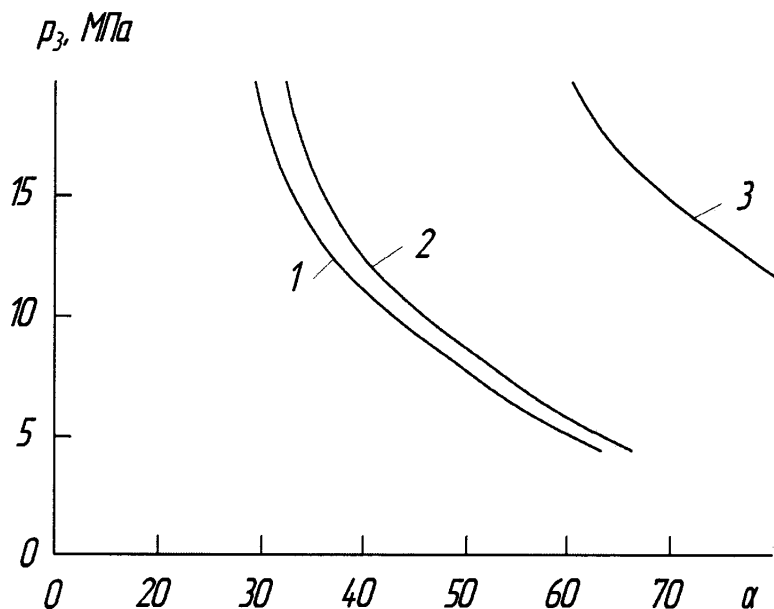
Якщо точка знаходиться нижче кривої 1, слід проводити частковий цикл закачування піни. Якщо визначена потреба проведення одного циклу

циркуляції пін за номограмою (рис. 1.5) залежно від заданих значень Δp_3 і H , то необхідно визначити значення p_p .



1, 2, 3, 4, 5 - при ступенях аерації відповідно 30, 40, 50, 60 і 70

Рисунок 1.2 – Номограма для визначення можливого зниження тиску на вибої свердловини Δp при різних ступенях аерації



1 - УКП; 2 - СД 9/101; 3 - КПУ16/100

Рисунок 1.3 – Номограма для визначення робочого тиску ежектора при різних ступенях аерації для різних компресорів

При необхідності проведення процесу в два цикли закачування піни тиск рідини p_p в першому циклі встановлюється рівним 15 МПа, а в другому циклі визначається з рис. 1.5 залежно від Δp_3 і H . При виконанні часткового циклу за заданим значенням Δp_3 за номограмою (рис. 1.4) визначаються глибина протискання піни h і відповідне їй значення V_p/S . При цьому значення p_p приймається рівним 15 МПа. За визначеним значенням V_p/S і фактичним значенням S трубного простору визначається необхідний об'єм піноутворюючої рідини.

Відносний об'єм піноутворюючої рідини V_p/S для проведення одного циклу визначається за номограмою (рис. 1.4), при цьому за глибину протискання h приймається глибина спуску бурильних труб H , а значення V_p/S визначається за глибиною протискання. За визначеним значенням V_p/S і фактичним значенням S колони визначається необхідний об'єм піноутворюючої рідини. При необхідності проведення другого циклу об'єм піноутворюючої рідини для нього складає 70 % від значення V_p для першого циклу.

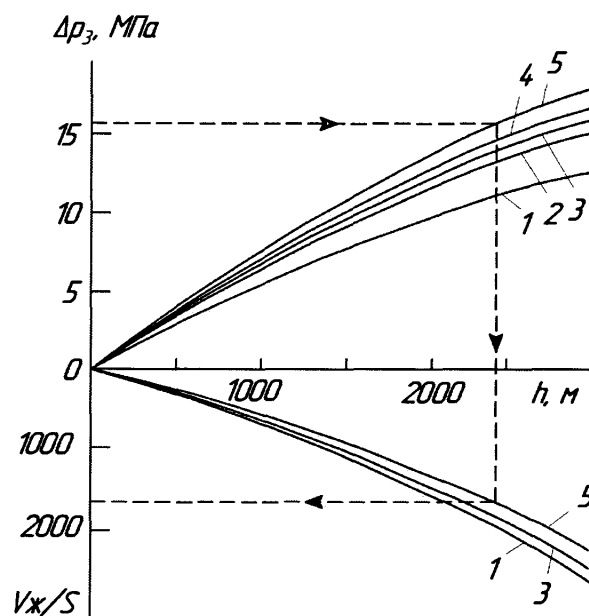
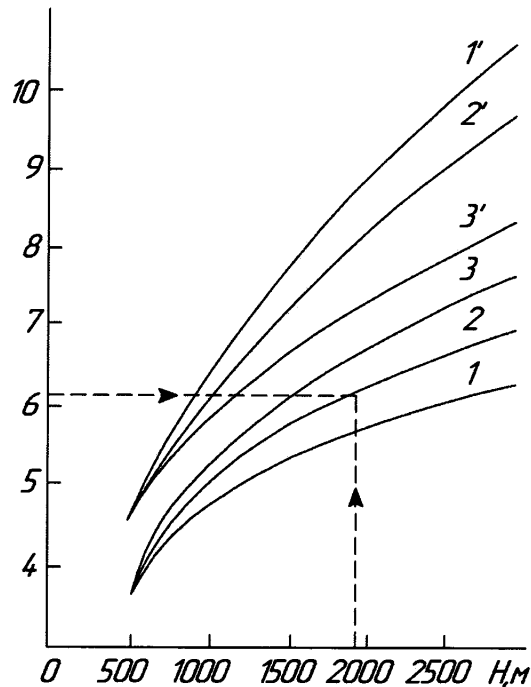


Рисунок 1.4 – Номограма для визначення глибини протискання h і відносного об'єму піноутворюючої рідини $V_{ж}/S$:

1, 2, 3, 4, 5 - при ступенях аерації відповідно 30, 40, 50, 60 і 70

Після спуску бурильної колони, монтажу наземного устаткування, обв'язування ежектора з компресором і цементуючим агрегатом трубопровідне наземне обладнання повинно бути гідравлічно опресоване на тиск 25 МПа. При цьому заздалегідь від'єднується повітропровід від бічного патрубка ежектора.



1, 2, 3 і 1', 2', 3 - 10, 15, 20 МПа при одному і двох циклах відповідно

Рисунок 1.5 – Номограма для визначення можливої депресії при одно- або двохцикловому закачуванні піни і при різному тиску піноутворюючої рідини на вході в ежектор

За допомогою насоса цементувального агрегату піноутворююча рідина подається в ежектор. Тиск подачі піноутворюючої рідини на початку процесу закачування піни в свердловину при використанні компресора бурової установки або пересувного компресора визначається способом, описаним вище. Після цього подається повітря в ежектор від компресора. При використанні компресорів бурової установки тиск повітря на вході в ежектор повинен знаходитися в межах від 0,7 до 0,8 МПа. При використанні пересувних компресорів тиск повітря на вході в ежектор встановлюється

довільний в межах 1 – 2 МПа на початку процесу закачування піни в свердловину і до 2 – 6 МПа в кінці процесу. Величина вказаного тиску повітря визначається величиною тиску закачування рідини і типами компресорів.

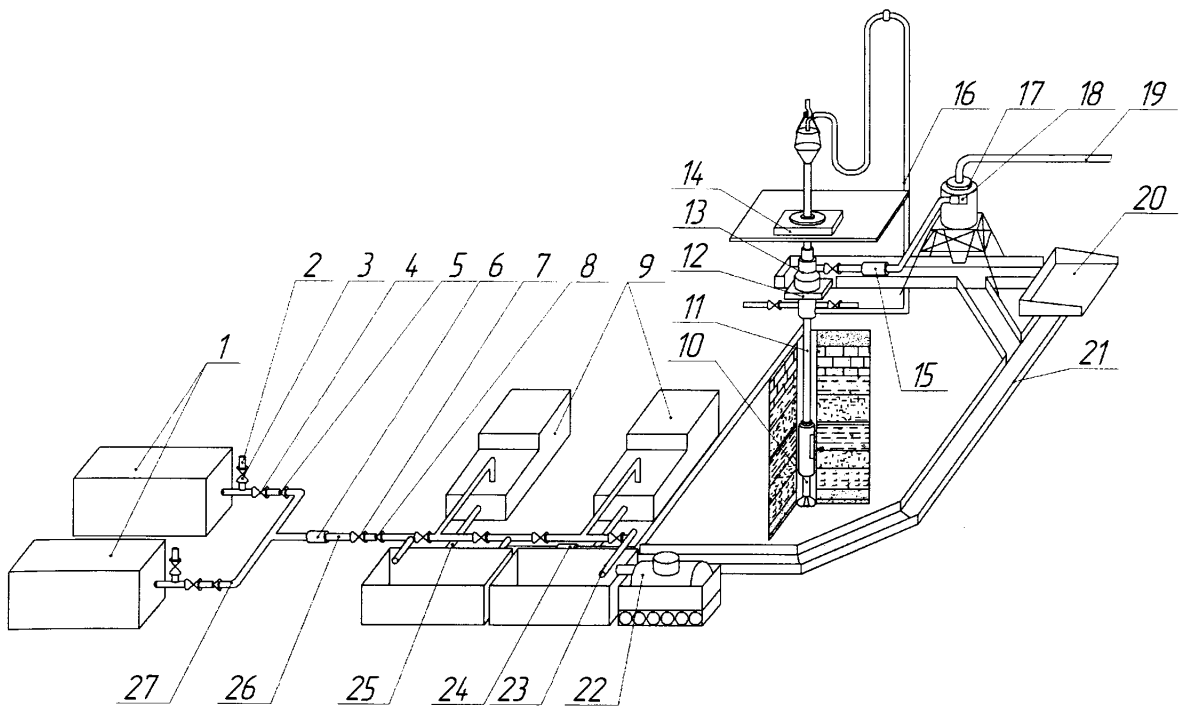
У разі використання компресорів бурової установки за відсутності притоку нафти і газу після виконання першого циклу закачування піни і її самовиливу протягом 1,5 год необхідно здійснити другий цикл закачування і самовилив піни до його закінчення.

1.3 Аналітичний огляд конструктивних вирішень устаткування для промивання свердловин пінистими розчинами

1.3.1 Існуючі схеми циркуляційних систем бурових установок при використанні пінистого розчину

Для буріння свердловин із промиванням піною використовуються різні схеми обв'язки обладнання [33]. По одній із них (рис.1.6) 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.

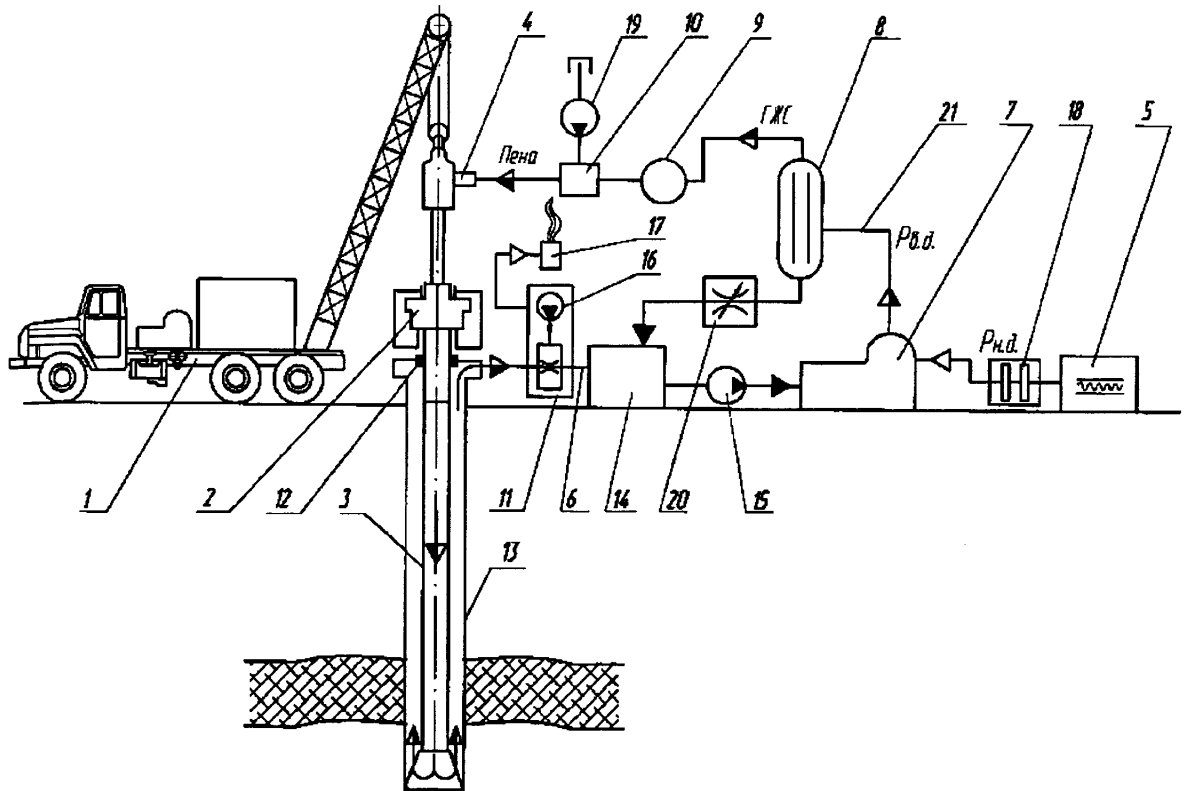


1 – компресорна група; 2 – пускова лінія; 3, 4, 7, 14 – засувки;
 5, 8, 10, 11 – зворотний клапан; 6 – витратомір повітря; 9 – насоси;
 12 – превентор; 13 – обертовий превентор; 15 – система протитиску;
 16 – скидна лінія; 17 – деаератор; 18 – викидна лінія; 19 – лінія;
 20 – очисна система; 21 – жолобна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

Рисунок 1.6 – Принципова схема обв'язки обладнання для буріння свердловин піною

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.

Принципова схема розташування комплексу обладнання [79] для очищення вибою експлуатаційної свердловини піною показана на рис.1.7.



- 1 – підйомний агрегат; 2 – пристрій для обертання бурильної колони;
 2 – 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 – газорозділяючий мембранний блок; 19 – пристрій для подачі емульгатора; 20 – регулюючий дросель; 21 – трубопровід

Рисунок 1.7 – Схема розташування комплексу обладнання для очищення вибою експлуатаційної свердловини піною

Приготування піни здійснюється наступним чином. Живильний насос 15 нагнітає в камеру стиску (компресійну камеру) дотискного компресора 7 рідину із шламівідділювача 14, утворюючи в камері стиску гідрозатвор. Від

повітряного компресора низького тиску 5 в камеру стиску дотискного компресора 7 подається під низьким тиском повітря, яке при роботі нагнітача 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).

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.

1.3.2 Аналіз конструкцій піногенеруючих пристроїв

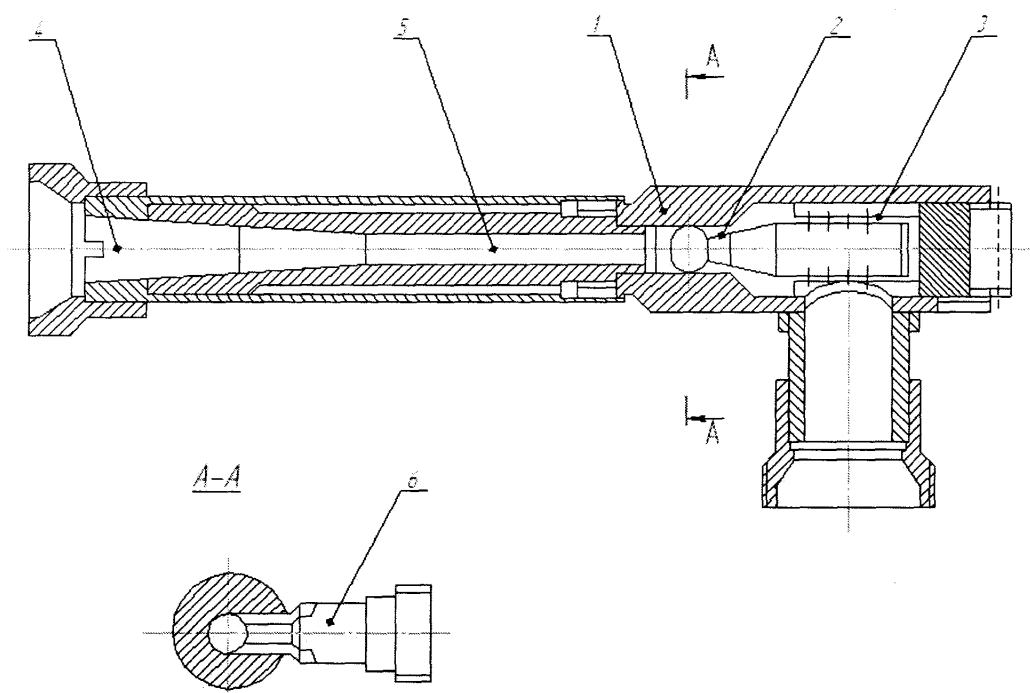
На даний час в практиці буріння нафтогазових свердловин з піною відсутнє обладнання, яке дозволяє формувати піну із певними заданими структурою і дисперсністю, що можна пояснити тим, що великі запаси потужності насосно-компресорного обладнання при бурінні дозволяють забезпечити задовільну очистку свердловини у дуже широкому діапазоні режимів циркуляції.

У праці [80] розглядаються три способи приготування пінистих розчинів: за допомогою глиномішалок; з використанням ультразвукового генератора; за допомогою пристрою ежекційного типу.

Найбільше застосування в нафтогазовій промисловості знайшли піногенеруючі пристрої, принцип дії яких побудований на ежекційному всмоктуванні повітря. У всіх типах існуючих піногенеруючих пристроїв рідина подається із більшим тиском порівняно з повітрям. Повітря, як правило, засмоктується до місця змішування. Повітря може подаватись під атмосферним тиском або під тиском компресора. Робоча рідина в піногенеруючому пристрої в основному використовується із домішками ПАР. Рідина подається в одно- або багатосоплову вставку. Змішування двох фаз може здійснюватись за рахунок насичення рідини повітрям (газом), або за рахунок відцентрових сил. Піноутворення може здійснюватись в камері змішування; на сітці (сітковому пакеті); в перфорованій трубці; в камері змішування і на сітках; у вихровій камері. Встановити піногенеруючий пристрій можна безпосередньо на маніфольді бурового насоса, або зробивши "байпас", що дасть можливість включати його при необхідності переходу на буріння з піною при розкритті продуктивних пластів.

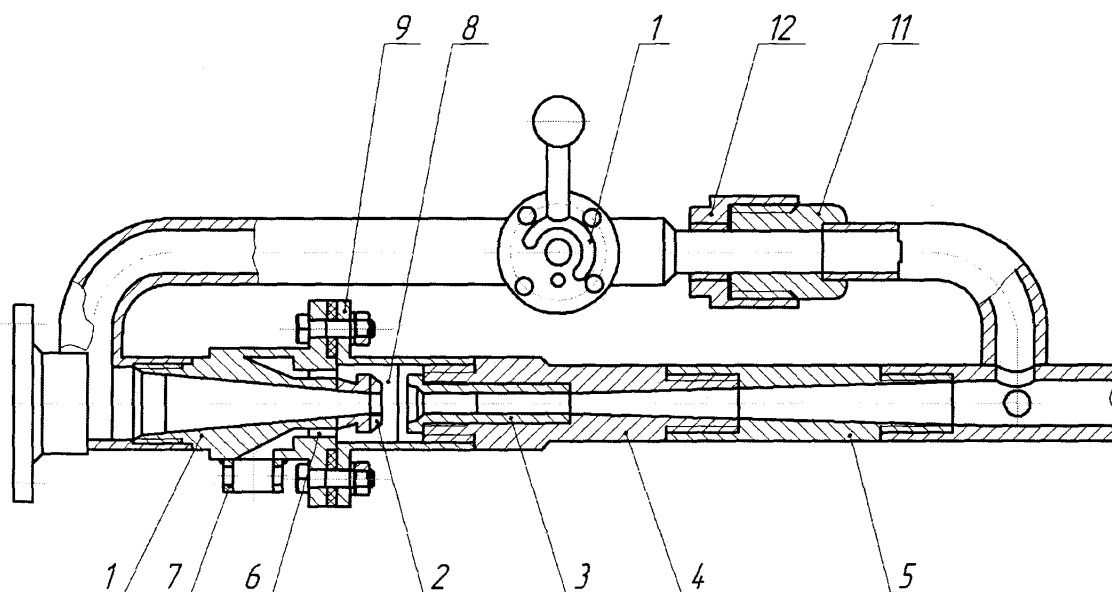
СевКавНИПИгазом розроблено кілька типорозмірів рідинно-газових ежекторів (піногенеруючих пристроїв ежекційного типу) із продуктивністю по робочій рідині від 3 до 30 л/с, які дозволяють проводити промивання свердловин пінами як в процесі буріння, так і при капітальному ремонті свердловин з робочим тиском до 40 МПа (рис. 1.8).

Змішувач для аерації промивальної рідини (рис.1.9) складається із двох каналів: основного, в якому проходить аерація бурового розчину, і обвідного, що забезпечує швидке відключення пристрою, коли необхідність в аерації відпадає [80].



1 – корпус; 2 – сопло; 3 – фільтр; 4 – дифузор; 5 – камера змішування;
6 – зворотній клапан

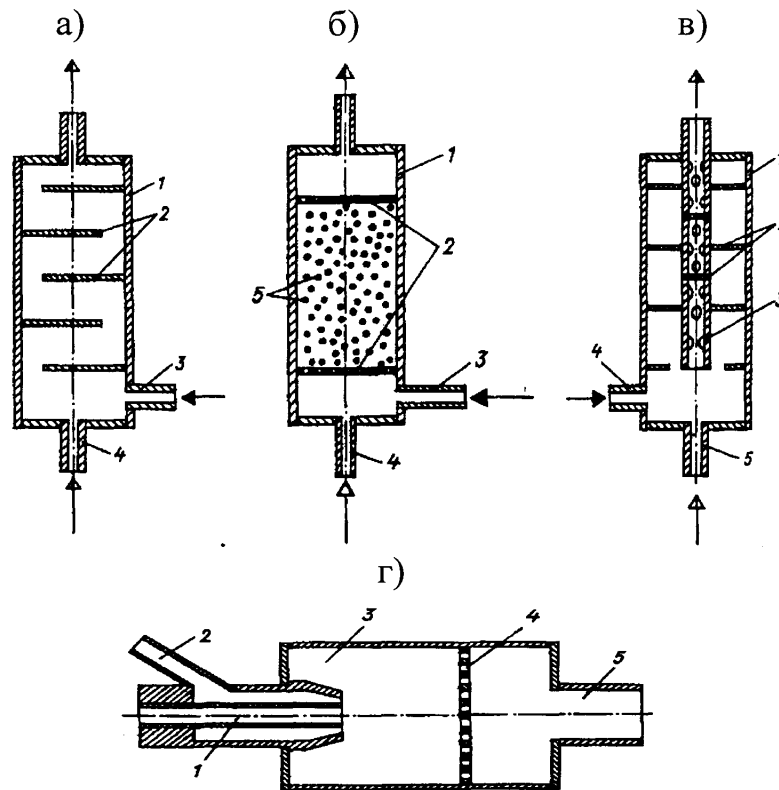
Рисунок 1.8 – Рідинно-газовий ежектор



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

Рисунок 1.9 – Змішувач для аерації промивальної рідини

Для буріння неглибоких свердловин використовується декілька варіантів піногенеруючих пристроїв [10], в яких піноутворення проходить на сітці або при попаданні суміші в перфоровану трубку (рис.1.10).



а) із змінним напрямком руху потоку: 1 – корпус; 2 – перегородка;

3, 4 – патрубки для підводу повітря і розчину ПАР;

б) сітчастий: 1 – корпус; 2 – сітки; 3, 4 – патрубки для підводу повітря і розчину ПАР; 5 – гранули поліетилену;

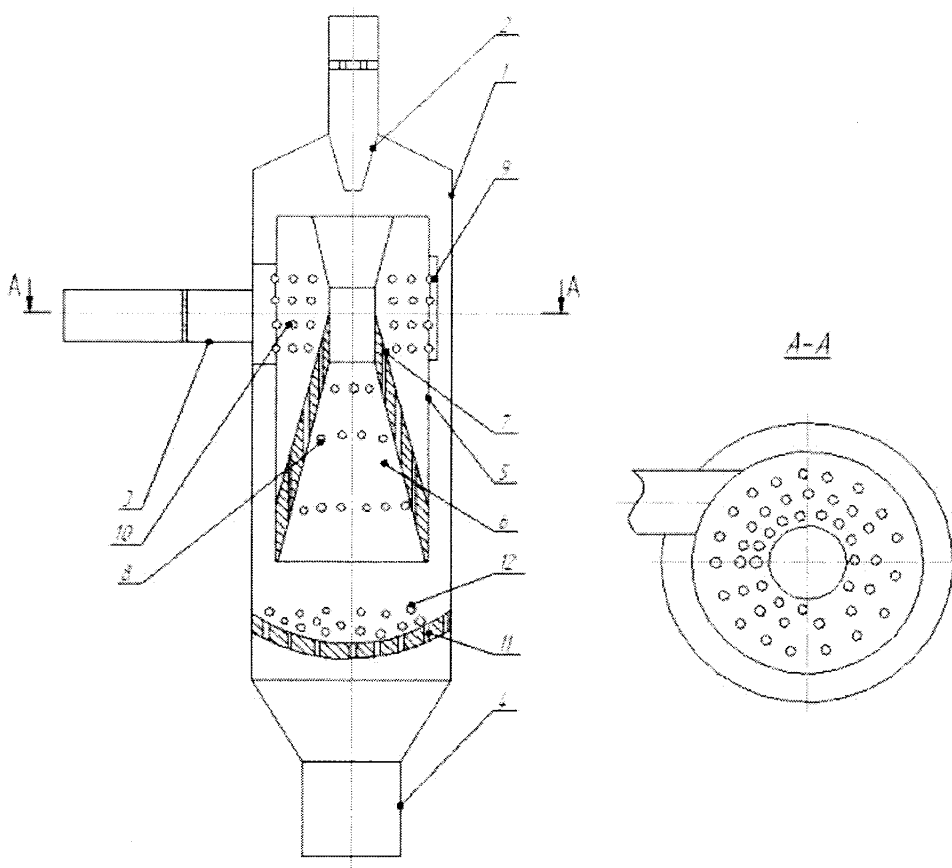
в) з внутрішньою перфорованою трубкою: 1 – корпус; 2 – перегородка; 3 – внутрішня трубка; 4,5 – патрубки для підводу повітря і розчину ПАР;

г) сітчастий: 1 – трубка для повітря; 2 – трубка для подачі розчину піноутворювача; 3 – камера змішування; 4 – металева сітка; 5 – вихідна труба.

Рисунок 1.10 – Схеми піногенеруючих пристроїв

Для підвищення якості піни при проведенні геологорозвідувальних робіт використовується піногенеруючий пристрій [8], в склад якого входить корпус 1 із патрубками 2 і 3 вводу рідинного та повітряного середовища,

патрубок 4 для відводу піни. В корпусі встановлена циліндрична вставка 5, яка має камеру 6 піноутворювача, і прикріплена до неї ежекційна вставка 7, в дифузори якої виконані отвори 8 (рис. 1.11).



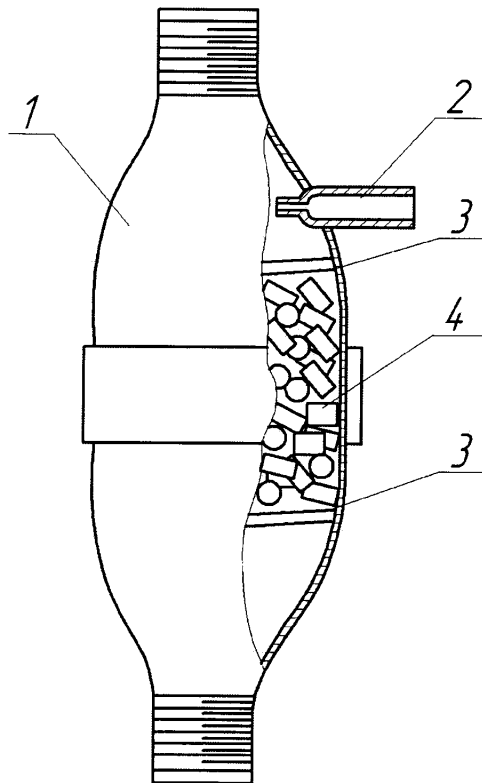
1 – корпус; 2 – патрубок вводу рідинного середовища; 3 – патрубок вводу повітряного середовища; 4 – патрубок відводу піни; 5 – циліндрична вставка; 6 – камера піноутворення; 7 – ежекційна вставка; 8 – дифузори у вставці з отворами; 9 – кільцева камера; 10 – отвори в циліндричній вставці; 11 – сітки; 12 – кульки

Рисунок 1.11 – Піногенеруючий пристрій

Таке конструктивне виконання піногенеруючого пристрою забезпечує подрібнення рідинного і повітряного середовища на першій стадії поступання в пристрій, а потім багаторазове їх подрібнення рухомими по замкнутих траєкторіях кульками, дією кавітаційних проявів і магнітних сил, перехід в поверхневу плівку мікрочастинок при зношенні даних кульок. Це

буде покращувати утворення дрібної, рівномірної по розміру бульбашок стабільної піни для підвищення ефективності очистки вибою і ствола свердловини від шламу.

Для буріння свердловин в США використовуються поверхневі піногенеруючі пристрої (рис. 1.12), які представляють собою корпус 1, заповнений піногенеруючими кільцями 4, що знаходяться між двома сітковими перегородками 3. На одному кінці циліндра є отвір для входу стиснутого повітря або газу, на другому – для виходу піни. Нижче отвору для подачі газу, на боковій стороні корпуса, знаходиться сопло 2 для нагнітання розчину ПАР. Розчин ПАР подається під прямим кутом до напрямку руху газового потоку з метою найкращого перемішування газу і рідини. Кінець трубки для підводу розчину ПАР робиться плоским, щоб проходило розширення в зоні змішування.



1 – корпус; 2 – сопло для нагнітання розчину ПАР; 3 – сіткові перегородки;
3 – піногенеруючі кільця

Рисунок 1.12 – Піногенеруючий пристрій

Проведений аналіз існуючих конструкцій піногенеруючих пристроїв вказує на їх основні недоліки:

- неможливість якісного насичення рідини повітрям при великих подачах рідини через обмежену площу контакту рідини з повітрям;

- неможливість отримання стійкої дрібнодисперсної піни внаслідок того, що у них використовується тільки одна камера змішування і немає можливості регулювання подачі рідини і повітря та зміни геометричних розмірів самого пристрою;

- низька ефективність пристроїв для роботи з в'язкими буровими розчинами;

- не дозволяють створювати піни, яка би зберігала свої властивості при промиванні свердловин великої глибини.

Тому існує необхідність в розробці універсального піногенеруючого пристрою, використання якого було б можливе в умовах бурової установки з найменшою модернізацією її циркуляційної системи. Проектований піногенеруючий пристрій буде використовуватись під час первинного розкриття продуктивних пластів, а буріння свердловин здійснюватиметься з використанням промивальної рідини.

1.4 Аналіз праць, пов'язаних з дослідженням устаткування для промивання свердловин пінистими розчинами

В наукових працях російських вчених [81, 82] розглядається все обладнання, що входить в склад циркуляційної системи для промивання свердловин пінами, а саме при бурінні напруженоскерованих (в т.ч. горизонтальних) свердловин. Основна увага звертається на блок приготування піни та блок очищення і руйнування піни.

Раніше досліджувалась конструкція багатосоплового ежектора, призначеного для аерації свердловинної рідини та визначались залежності

різниці відношення коефіцієнтів ежекції багатосоплового (від кількості сопел) та односоплового ежекторів [83, 84].

Значна увага приділяється дослідженню технології буріння з промиванням свердловин пінними розчинами у верхніх інтервалах, схильних до поглинання розчину. Аерація промивальних рідин досягається шляхом утворення суміші з промивального розчину і повітря ежекторним способом, тобто шляхом насичення промивальної рідини повітрям з атмосфери чи від компресорів низького тиску, які входять в комплект бурової установки. В ежекторі відбувається насичення повітрям промивального розчину, тобто активна гомогенізація газорідної суміші [81].

Також є роботи, які направлені на дослідження властивостей пінистих розчинів, а саме дослідження в'язкості пін, які отримуються при використанні різних піноутворювачів. Дослідження, проведені із застосуванням комп'ютерного моделювання, дозволили встановити, що при зіткненні повітряної бульбашки і мінеральної частинки тангенційна складова швидкості частинки зростає із збільшенням ексцентриситету між центром бульбашки і точкою зустрічі з частинкою [85, 86]. Саме ця складова швидкості при збільшенні до критичного значення викликає проковзування частинки відносно поверхні бульбашки і у результаті її відрив. Зниження швидкості частинки, що ковзає по поверхні адсорбційного шару повітряної бульбашки, забезпечується в основному за рахунок в'язкості цього шару, оскільки в'язкість має властивість чинити опір переміщенню однієї її частини відносно іншої. Дослідження властивостей поверхні одиничної бульбашки є досить складним, тому можна їх пов'язувати з властивостями двофазних пін як утворення суміші із значної кількості повітряних бульбашок в розчині піноутворювача.

Загальну в'язкість плівки піни можна розглядати як суму в'язкостей двох її адсорбційних шарів N_{ac} і середньої частини плівки N_{cp} :

$$N = N_{ac} + N_{cp} \quad (1.3)$$

За умови, що в'язкість середньої частини плівки невелика, її значенням можна знехтувати. Тоді в'язкість плівки піни приблизно дорівнюватиме подвоєній в'язкості адсорбційних шарів, що практично має місце в розчинах мила і синтетичних ПАР. У ряді випадків в'язкість середньої частини плівки може бути рівною або перевищувати в'язкість адсорбційних шарів. При цьому загальна в'язкість плівки піни збільшується.

Наявність в двофазних пінах тонкодисперсних повітряних бульбашок і солеватних шарів рідини сприяє складному характеру опору внутрішньому тертю при деформації такої гетерогенної системи. Завдяки об'ємній структурі в плівках значно підвищується стійкість пін, вони проявляють пружні властивості і підвищену в'язкість. Існування такої структури підтверджено дослідженнями неводних пін за допомогою електронної мікроскопії [87].

На параметри структурно-механічних властивостей пін істотно впливають ПАР. Дослідження в'язкості двофазних пін, отриманих з розчинів суміші спиртів С6-С7, піноутворювачів Т-66 і Т-80, виконувалося з використанням методики, наведеної в роботі [88].

Початковою інформацією для визначення в'язкості є віброграма затухаючих коливань. Попереднє тарування установки виконано водою, що має температуру 18⁰С, в'язкість якої відома. Всі експерименти дублювалися кілька разів, потім знаходилися середні значення переміщень.

Рух коливальної системи описується рівнянням другого порядку:

$$\frac{d(2x)}{dt_2} + \frac{2fdx}{dt} + p2x = 0. \quad (1.4)$$

де x – переміщення вантажу;

f – декремент коливань;

p – власна частота незгасаючих коливань.

Крім того, приблизно можна вважати, що декремент коливань пропорційний динамічній в'язкості двофазної піни і може бути визначений з виразу:

$$f = k \cdot N, \quad (1.5)$$

де k – постійна вимірювального приладу, $\text{м}^2/(\text{Нс})$;

N – в'язкість досліджуваного середовища, $\text{Нс}/\text{м}^2$.

Згідно проведених досліджень встановлено, що процес диспергування залежить від турбулентності змішуваних потоків. Чим більша швидкість взаємного переміщення потоків повітря і води, яка на поверхнях поділу фаз викликає утворення маси невеликих вихрів, тим вище диспергування потоку.

Подальші дослідження можуть бути направлені на вивчення такої структурно-механічної характеристики піни, як густина. Іншими важливими параметрами, що визначають властивості двофазних пін та мають значення для утворення флотаційного комплексу «мінеральна частинка – бульбашка повітря», як елементарного акту флотаційного збагачення, є їх дисперсність, швидкість коалесценції бульбашок, обводненість, час і швидкість руйнування.

В роботах недостатньо широко розглядається вплив конструкції та параметрів рідинного і газового середовищ на ефективність роботи піногенеруючих пристроїв. Тому доцільно провести теоретичні, комп'ютерні та експериментальні дослідження з метою встановлення оптимальних параметрів і режимів роботи обладнання для промивання свердловин пінистими розчинами (пінами). Для цього необхідно визначити взаємозв'язок між якістю піноутворення і конструктивними особливостями окремих частин піногенеруючого пристрою.

Мета і задачі досліджень

Метою даної роботи є підвищення ефективності піногенеруючих пристроїв насосно-циркуляційних систем бурових установок. Поставлена мета досягається через реалізацію наступних задач:

- проведення аналізу і селективного відбору теоретичних та експериментальних результатів, геометричних параметрів, режимів роботи піногенеруючих пристроїв;

- виконання теоретичних досліджень з виявлення та визначення впливу найбільш суттєвих факторів і вибір оптимальних геометричних параметрів та режимів роботи піногенеруючих пристроїв, які б забезпечили найвищу ефективність промивання свердловин пінами;

- проведення експериментальних досліджень для встановлення взаємозв'язку між геометричними формами, параметрами, режимами роботи піногенеруючих пристроїв та ефективністю піноутворення;

- розроблення та обґрунтування раціональної схеми обв'язки обладнання і пристроїв для промивання нафтогазових свердловин пінами.

В результаті чого буде можливість зменшення вмісту поверхнево-активних речовин (ПАР) для виготовлення пінистих розчинів. При цьому буде забезпечена стійкість піни під час циркуляції в глибоких свердловинах. Під час руйнування піни не потрібно використання піногасників, що дає можливість додатково зменшити вміст ПАР, а це, в свою чергу дозволить мінімізувати поступання шкідливих речовин в атмосферу. Отримання ефекту можливе за умови розроблення оптимальної конструкції та вибору правильних режимів роботи піногенеруючого пристрою.

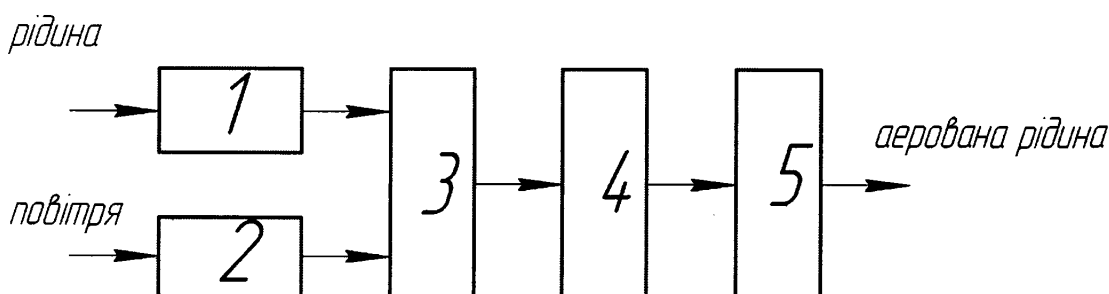
РОЗДІЛ 2

ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ УСТАТКУВАННЯ ДЛЯ ПРОМИВАННЯ СВЕРДЛОВИН ПІНИСТИМИ РОЗЧИНАМИ

2.1 Дослідження руху потоків в піногенеруючих пристроях ежекційного типу

Як уже відмічалось раніше (п. 1.3.2), на даний час розроблено багато різних конструкцій піногенеруючих пристроїв. Для аналізу процесів руху потоків рідини, газу (повітря) та піни розробимо структурні схеми деяких із них [19].

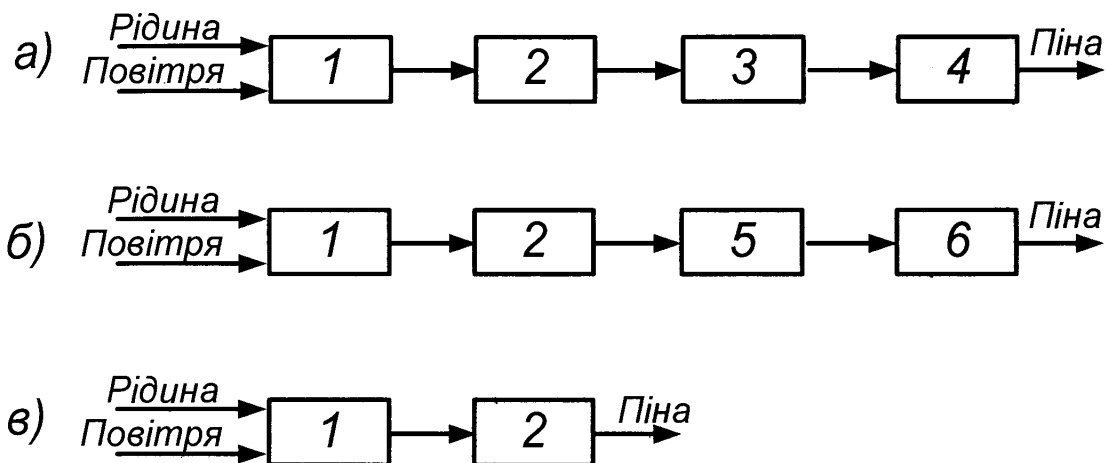
Змішувач для аерації промивальної рідини і виготовлення піни (рис. 1.9) буде мати наступну структурну схему (рис. 2.1). У приймальну камеру 3 через сопло із насадкою 1 подається рідина, яка через отвори в соплі 3 засмоктує повітря із атмосфери. У камері змішування 4 проходить перемішування потоків рідини і повітря і аерована рідина (піна) виходить через дифузор 5.



1 – сопло із насадкою; 2 – отвори в соплі; 3 – приймальна камера;
4 – камера змішування; 5 – дифузор

Рисунок 2.1 – Структурна схема змішувача для аерації промивальної рідини

У розглянутих типових конструкціях (рис. 1.10) піна утворюється на сітці або при попаданні суміші в перфоровану трубку. Структурні схеми таких піногенеруючих пристроїв зображені на рис. 2.2.

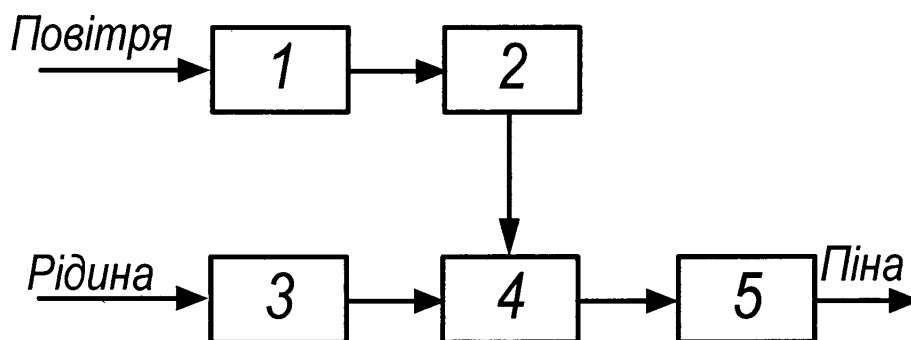


1 – камера змішування; 2, 4 – сітка; 3 – легкий сипкий матеріал;

5 – отвори трубки; 6 – перфорована трубка

Рисунок 2.2 – Структурні схеми піногенеруючих пристроїв:

Конструктивною особливістю піногенеруючого пристрою (рис. 1.11) є те, що на виході із камери піноутворення встановлені сітки з розміщеними в них кульками. Під час ударів до сферичної сітки кульками, підхоплені потоком, будуть здійснювати рух по замкнутому просторі, ударяючись між собою, до стінок ежекційної вставки і сферичної сітки. Відділені від кульок мікрочастинки переходять в пінну суміш, підвищуючи якість утворення піни. Структурна схема піногенеруючого пристрою зображена на рис. 2.3.

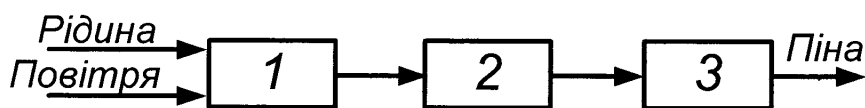


1 – циліндрична вставка; 2 – отвори дифузора; 3 – ежекційна вставка;

4 – камера змішування; 5 – сітки

Рисунок 2.3 – Структурна схема піногенеруючого пристрою

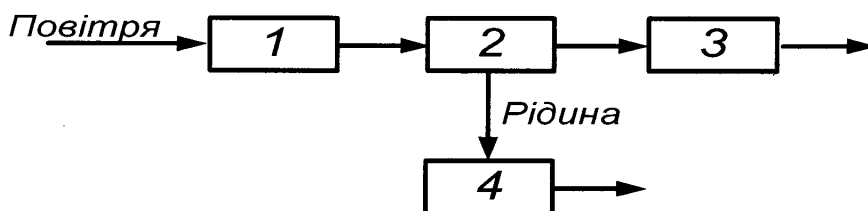
Піногенеруючий пристрій для приготування технічної піни, який описаний в [7], має камеру диспергування, яка виконана у вигляді зрізаного конуса і розширюється в напрямі ходу піни, має встановлений по її осі глухий циліндр, що з'єднаний із стінками камери гвинтовою перегородкою. Наповнювач виготовлений із волокнистого пружного матеріалу, а патрубки для повітря і рідини сходяться у форсунці, яка встановлена на вході в камеру диспергування. На виході із цієї камери встановлена решітка і видаючий пінопровід. Структурна схема даного пристрою показана на рис. 2.4.



1 – форсунка; 2 – камера диспергування; 3 – решітка

Рисунок 2.4 – Структурна схема піногенеруючого пристрою для технічної піни

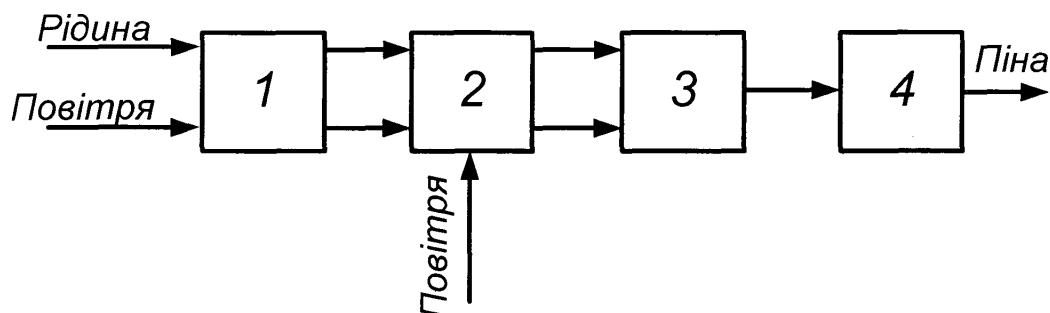
Особливістю піногенеруючого пристрою для освоєння свердловин [89] є те, що суміш рідини з газом подається по тангенційно виконаному каналу у вихрову камеру. Під дією відцентрових сил суміш розділяється на рідину біля стінок, яка виділяється з піногенеруючого пристрою через відповідний канал, і піну, яка проходить через калібруючі сітки і подається через вихідну трубу. Структурна схема такого піногенеруючого пристрою подана на рис. 2.5.



1 – ежектор; 2 – вихрова камера; 3 – калібруючі сітки; 4 – відповідний канал

Рисунок 2.5 – Структурна схема піногенеруючого пристрою для освоєння свердловин

Провівши структурний аналіз [19], можна прийти до висновку, що для проектного піногенеруючого пристрою доцільно підібрати структурну схему, зображену на рис. 2.6.



1 – багатосоплова вставка; 2 – камера попереднього змішування;
3 – камера кінцевого змішування; 4 – дифузор

Рисунок 2.6 – Структурна схема проектного піногенеруючого пристрою

Запропонований піногенеруючий пристрій буде найбільш близьким до пристрою для насичення рідини повітрям або газом [7], під час роботи якого промивальна рідина подається до соплової вставки. Внаслідок великих швидкостей витікання рідини із сопла у камері змішування утворюється розрідження і повітря із атмосфери поступає в цю ж камеру, де проходить процес змішування рідини з повітрям.

При великих подачах рідини односопловий пристрій є неефективним внаслідок незначної площі контакту рідини з повітрям. Наявність тільки однієї ступені насичення рідини повітрям дає низьку якість насичення рідини повітрям або газом. Тому в'язка промивна рідина в даному пристрої не буде проходити належного перемішування і диспергування суміші до піноутворення. Для підвищення ефективності піноутворення нами пропонується вдосконалити піногенеруючий пристрій шляхом збільшення ступенів насичення рідини повітрям (газом) та збільшення площі контакту із струменями рідини за рахунок належного перемішування і диспергування суміші. Для цього камера змішування поділена на декілька ежекційних камер

попереднього змішування, кожна з яких містить сопло і канал підводу повітря (газу), додатково введено камеру кінцевого змішування струменів, що виходять із камер попереднього змішування. Стабілізація потоку піни здійснюється в дифузорі, де зменшується швидкість руху потоку рідини і зростає тиск.

2.2 Дослідження процесу піноутворення в піногенеруючих пристроях ежекційного типу

Як вже раніше відмічалось, найкращі умови для приготування піни тоді, коли використовується змішувач рідини і газу в нагнітальній лінії насосно-циркуляційної системи біля бурового насоса. При цьому консистенцію піни можна регулювати зміною подачі повітря, витрати рідини і концентрації піноутворювача в промивальній рідині. Як відомо, піною називають двохфазну структуру, що складається із трьохвимірних утворень – тонких плівок рідини, в яких міститься газ. В таких термодинамічно нестійких системах розподіл фаз (утворення термодинамічно стійкої системи) може відбуватися із скінченною швидкістю, тобто піна – відносно стійка система, причому її стійкість залежить передусім від міцності рідинних плівок. Подібна властивість піни робить можливим її використання для піднімання на денну поверхню вибуреної породи. Іншою важливою властивістю піни є їх дисперсність, яку можна оцінити середнім діаметром бульбашок, питомою поверхнею розділу “рідина – газ” або розподілом бульбашок за розмірами. Чим менший середній радіус бульбашок, тим більша ступінь монодисперсності піни і тим більша її стійкість [90]. На дисперсність пін, крім фізико-хімічних властивостей (поверхневий натяг, в’язкість, концентрація поверхнево-активної речовини і т.д.), істотний вплив створює спосіб змішування фаз, конструкція піногенеруючого пристрою, а також режими ведення технологічного процесу [91, 92].

Задача визначення закономірностей, які пов'язують процеси піноутворення з властивостями рідини і повітря, параметрами їх руху, а також геометричними розмірами піногенеруючих пристроїв, досить складна. Тому, на основі дещо спрощеної моделі пропонується простий метод підбору параметрів потоків робочої рідини і ежектованого повітря, при яких можна було б досягти найбільшої ефективності в процесі піноутворення.

У багатосопловому піногенеруючому пристрої з п'ятисопловою вставкою і окремим каналом для кожного сопла втрати напору на вході в порівнянні з односопловим збільшаться, проте стабільність роботи, однорідність і ступінь монодисперсності утвореної піни підвищаться. Очевидно, що основні процеси утворення піни будуть відбуватися в камері змішування кожного каналу, а їх кількість визначає в основному лише продуктивність піногенеруючого пристрою. Тому обмежимося розглядом робочого процесу утворення піни, який відбувається в одному із каналів піногенеруючого пристрою. Аналіз будемо проводити на основі спрощеної схеми пристрою ежекційного типу і розрахункової схеми розподілу статичного тиску по довжині пристрою приведеній на рис. 2.7. В цій схемі прийнято, що на зрізі сопла статичний тиск зменшується від початкового p_1 до p_2 постійного аж до зони стиснення. Факт пониження тиску в зоні змішування виразно спостерігався в багатьох експериментах [93]. Це пониження можна пояснити рухом повітряної фази, що захоплюється струминою робочої рідини. Його величина наближено рівна величині динамічного тиску рухомого повітря.

Розрахунки параметрів в камері змішування піногенеруючого пристрою будемо проводити при наступних припущеннях: повітряний потік не містить вологи, а потік рідини не містить бульбашок; довжина початкової і основної ділянок відомі; статичний тиск постійний в кожній точці перетину; стрибок ущільнення відбувається в камері змішування; параметри суміші в будь-якому перетині до і після стрибка ущільнення підчиняються рівнянню

імпульсів; стиск газу в стрибку ізотермічний; процес змішування до стрибка ущільнення ізобаричний і статичний тиск обумовлений лише газовою фазою; теплообмін з навколишнім середовищем відсутній; рідина нестискувана і газ в ній нерозчинний.

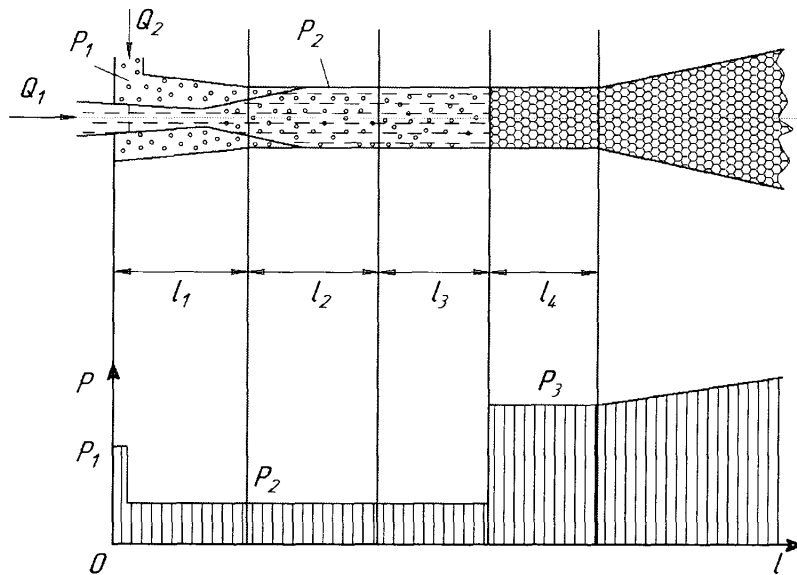


Рис. 2.7 – Схеми пристрою ежекційного типу і розподілу статичного тиску по його довжині

Введемо наступні позначення:

де Q_1 і Q_2 – об'ємні витрати рідини і повітря відповідно;

u – ступінь аерації рівна Q_2 / Q_1 ;

v_p – швидкість рідини на виході сопла;

v_2 і v_3 – швидкості суміші до і після стрибка ущільнення відповідно;

p_1 , p_2 і p_3 – статичні тиски поблизу сопла, до і після стрибка ущільнення відповідно;

p_0 – атмосферний тиск;

P_1 – повний тиск рідини перед соплом;

ΔP_1 – перепад тиску на соплі рівний $P_1 - p_1$;

Γ – геометричний параметр, рівний F_3 / F ;

де F_3 і F – площі перетинів камери змішування і рідинного сопла;

φ – коефіцієнт швидкості сопла.

При розрахунку пристрою ежекційного типу будемо виходити з балансу енергії і враховувати всі істотні втрати в пристрої, які відповідають кожній його ділянці:

ΔP_{mp1} – втрата тиску на тертя на початковій ділянці l_1 ;

ΔP_{mp2} – втрата тиску на тертя на основній ділянці l_2 ;

ΔP_{mp3} – втрата тиску на тертя на ділянці l_3 до стрибка;

ΔP_{mp4} – втрата тиску на тертя на ділянці l_4 після стрибка;

ΔE_2 – енергія, яка витрачається на утворення крапель із одиниці об'єму рідини на основній ділянці;

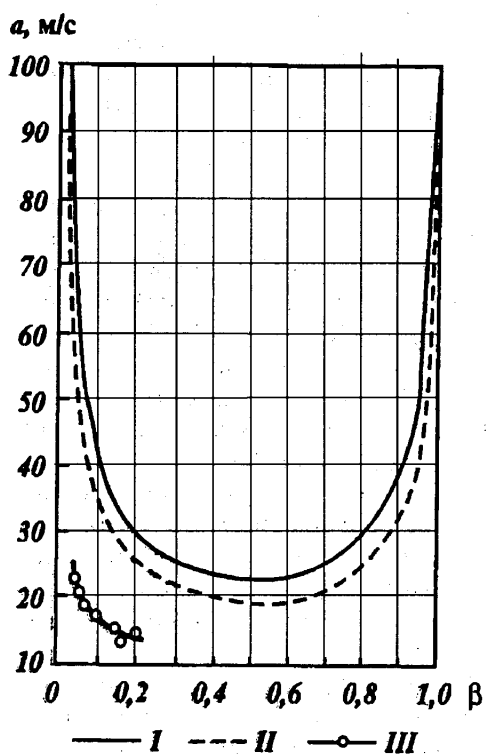
ΔE_3 – енергія, яка витрачається на створення вільної поверхні рідини при утворенні бульбашок в зоні стрибка або безпосередньо після нього.

Із аналізу великої кількості експериментальних даних, наведених в роботах [94 – 106], течію в пристрої ежекційного типу можна розбити на чотири ділянки. На початковій ділянці l_1 зберігається суцільність струмینی робочого рідинного потоку. В цій зоні відбувається роздільна течія рідинної і газової фаз. Швидкість рідини в ядрі постійна і рівна швидкості витікання із сопла. Але поступово, за рахунок турбулентних поперечних пульсацій швидкості, які викликають розсіювання рідини в поперечному напрямку і аерації струмینی повітрям, відбувається її розпад на повітряно-крапельну суміш. В кінці початкової ділянки ядро постійної швидкості зникає і розширення струмینی супроводжується падінням швидкості на осі ежектора. В цьому місці починається основна ділянка l_2 . Вздовж цієї ділянки відбувається формування повітряно-крапельного однорідного потоку. Течія вільної струмینی на початковій і основній ділянках відбувається при сталому статичному тиску як вздовж течії, так і в її поперечних перерізах.

Третя ділянка l_3 починається від місця завершення формування повітряно-крапельної однорідної суміші до стрибка ущільнення, який

супроводжується перетворенням повітряно-крапельної суміші в емульсійну, при якій бульбашки повітря мають приблизно однаковий діаметр і розділені плівками рідини. Стрибок ущільнення характеризується різким підвищенням тиску. Далі двофазний потік буде рухатися у вигляді пінної структури. Для отримання стрибка ущільнення необхідно, щоб швидкість повітряно-крапельного потоку перевищувала швидкість звуку в ньому. На четвертій ділянці l_4 , яка починається за стрибком ущільнення, суміш рухається як двофазний однорідний бульбашково-пінний потік.

Дослідження швидкості звуку в водоповітряній суміші проводились залежно від вмісту повітря [107]. Зокрема, наведено графік (рис. 2.8), в якому проілюстрована якісна картина зміни швидкості звуку у водоповітряній суміші залежно від вмісту газу.



I – розрахункові значення при адіабатному процесі; *II* – розрахункові значення при ізотермічному процесі; *III* – експериментальні значення на дрібнодисперсних сумішах

Рисунок 2.8 – Швидкість звуку у водоповітряній суміші

Із графіка видно, що швидкість звуку в суміші найсильніше змінюється при вмісті газу 0 – 20% і 80 – 100%. При вмісті газу 20 – 80% значення швидкості звуку міняються незначно, а мінімум швидкості звуку знаходиться при вмісті газу 50% і складає 20,1 м/с.

Проведені експериментальні дослідження на дрібнодисперсних сумішах [107] вказують на зменшення швидкості звуку в них (крива III). Тому важливе значення в подальших дослідженнях матиме визначення швидкості в місці стрибка ущільнення і порівняння отриманих даних з наведеними вище.

Довжина початкової ділянки в загальному випадку визначається трьома основними критеріями: числом Вебера, знайденим по відносній швидкості фаз, початковому діаметру рідинної струмини і густині газу, критерієм Лапласа, який характеризує в'язкість і поверхневий натяг рідини, і відношенням густини газу до густини рідини. В літературі приводиться велика кількість експериментальних залежностей для відносної початкової ділянки, але найкраще співпадання з дослідними даними дає рівняння Лишевського [108]:

$$\frac{l}{d} = 50,3 \cdot We^{-0,83} \cdot \left(\frac{\rho_z}{\rho_p} \right)^{0,5} \cdot Lp^{-0,096}, \quad (2.1)$$

де $We = \frac{\rho_z \cdot d \cdot \left(v_p - v_z \right)^2}{\sigma}$ – число Вебера;

$Lp = \frac{\rho_p \cdot d \cdot \sigma}{\mu_p^2}$ – критерій Лапласа;

d – діаметр ежекційної камери;

ρ_p, ρ_z – відповідно густина рідини та повітря;

σ, μ_p – поверхневий натяг і в'язкість рідини.

Відносна довжина основної ділянки за даними [123] можна визначити з експериментальної залежності:

$$\frac{l}{D} = 18,36 \cdot M_R^{-0,181}, \quad (2.2)$$

$$\text{де } M_R = \frac{\rho_p \cdot v_p}{\rho_z \cdot v_z};$$

D – діаметр камери змішування.

Рівняння балансу енергії для i -го перерізу пристрою ежекційного типу буде мати вигляд:

$$\frac{\rho_p \cdot v_p^2}{2} + p_1 = \frac{\rho_i \cdot v_i^2}{2} + p_i + u \cdot p_1 \cdot \tau \cdot \ln \frac{p_i}{p_2} + \Delta P_{mpi} + \Delta E_i, \quad (2.3)$$

де v_i , ρ_i , p_i – швидкість, густина, статичний тиск суміші в i -му перерізі;

τ – відношення абсолютної температури газу в зоні стрибка T_2 до температури його в приймальній камері T_1 , яке характеризує ізобаричну зміну температури газу до стрибка ущільнення.

Швидкість суміші при відсутності ковзання фаз і з врахуванням того, що стиск ізотермічний, можна вивести із рівняння об'ємної витрати:

$$v_i = \frac{Q_1 + \frac{p_1}{p_i} \cdot Q_2}{F_3}. \quad (2.4)$$

Оскільки $Q_1 = Q_2 / u = v_p F$, то після нескладних перетворень отримаємо:

$$v_i = \left(1 + \frac{p_1}{p_i} \cdot u \right) \cdot \frac{v_p}{\Gamma}. \quad (2.5)$$

Швидкість v_p на виході сопла можна визначити через перепад тиску на соплі ΔP_1 і коефіцієнт швидкості сопла φ із рівняння:

$$\frac{\rho_p \cdot v_p^2}{2} = \varphi^2 \cdot \Delta P_1. \quad (2.6)$$

Середню густину суміші можна виразити як функцію від об'ємної газомісткості α , або як функцію від масової газомісткості x . Для однорідного стаціонарного потоку при рівності швидкостей фаз об'ємна і масова газомісткість відповідно рівні:

$$\alpha = \frac{Q_2}{Q_1 + Q_2} = \frac{Q_2}{Q}, \quad x = \frac{W_2}{W_1 + W_2} = \frac{W_2}{W}, \quad (2.7)$$

де Q_1, Q_2, Q – об'ємні витрати рідини, газу і суміші;

W_1, W_2, W – масові витрати рідини, газу і суміші в деякому перерізі потоку.

Тоді середня густина суміші в цьому перерізі як функція об'ємної газомісткості запишеться у вигляді:

$$\rho = \frac{W}{Q} = \alpha \cdot \rho_2 + (1 - \alpha) \cdot \rho_p. \quad (2.8)$$

а, як функція від масової газомісткості, буде задовольняти рівнянню:

$$\frac{1}{\rho} = \frac{x}{\rho_2} + \frac{1-x}{\rho_p}, \quad (2.9)$$

де ρ_p, ρ_2 – густина рідинної і газової фаз в заданому перерізі.

Із рівнянь (2.8) і (2.9) можна встановити зв'язок між масовим і об'ємним вмістом газу в суміші:

$$x = \frac{\alpha \cdot \rho_2}{\alpha \cdot \rho_2 + (1 - \alpha) \cdot \rho_p}. \quad (2.10)$$

В рівнянні балансу (2.3) невідомими є статичний тиск p_3 , а також швидкість суміші v_3 і об'ємна газомісткість α_2 після стрибка ущільнення. Для знаходження цих параметрів використаємо рівняння неперервності, яке в нашому випадку має вигляд:

$$\rho_1 \cdot v_2 = \rho_2 \cdot v_3, \quad (2.11)$$

рівняння збереження кількості руху:

$$\rho_1 \cdot v_2^2 + p_2 = \rho_2 \cdot v_3^2 + p_3, \quad (2.12)$$

і рівняння збереження енергії:

$$\left(i_{p1} + \frac{v_2^2}{2} \right) \cdot (1-x) + \left(i_{e1} + \frac{v_2^2}{2} \right) \cdot x = \left(i_{p2} + \frac{v_3^2}{2} \right) \cdot (1-x) + \left(i_{e2} + \frac{v_3^2}{2} \right) \cdot x, \quad (2.13)$$

де ρ_1, v_2, p_2 – густина, швидкість і статичний тиск крапельної суміші перед стрибком ущільнення;

ρ_2, v_3, p_3 – густина, швидкість і статичний тиск бульбашкової суміші за стрибком ущільнення;

i_{p1}, i_{e1} – ентальпії рідини і газу перед стрибком ущільнення;

i_{p2}, i_{e2} – ентальпії рідини і газу за стрибком ущільнення.

З достатньою мірою точності припустивши, що ентальпія рідини в стрибку не міняється ($i_{p1} = i_{p2}$) і використавши вираз для ентальпії газу:

$$i_e = \frac{\gamma}{\gamma-1} \cdot \frac{p}{\rho_e}. \quad (2.14)$$

приведемо рівняння енергії до вигляду:

$$\frac{\gamma}{\gamma-1} \cdot \frac{p_2}{\rho_{e2}} \cdot x + \frac{v_2^2}{2} = \frac{\gamma}{\gamma-1} \cdot \frac{p_3}{\rho_{e3}} \cdot x + \frac{v_3^2}{2}. \quad (2.15)$$

Розв'язавши сумісно систему рівнянь (2.11), (2.12) і (2.15) з врахуванням того, що згідно рівнянь (2.8) і (2.9):

$$\rho_1 = \rho_p \cdot \frac{1-\alpha_1}{1-x}, \quad \rho_2 = \rho_p \cdot \frac{1-\alpha_2}{1-x}, \quad \rho_{e2} = \left(\frac{1}{\alpha_1} - 1 \right) \cdot \rho_p \cdot \frac{x}{1-x} \quad \text{і} \quad \rho_{e3} = \left(\frac{1}{\alpha_2} - 1 \right) \cdot \rho_p \cdot \frac{x}{1-x},$$

отримаємо вирази для параметрів потоку за стрибком ущільнення через параметри потоку перед ним:

$$p_3 = p_2 + (1 - \alpha_1) \cdot \rho_p \cdot v_2^2 \cdot \left(1 - \frac{\xi^{-1} + (1 - \alpha_1) \cdot \left(\frac{2 \cdot \gamma \cdot \alpha_1}{\gamma - 1} - 1 \right)}{\alpha_1 \cdot \left(\frac{2 \cdot \gamma}{\gamma - 1} - 1 \right)} \right), \quad (2.16)$$

$$v_3 = v_2 \cdot \frac{\xi^{-1} + (1 - \alpha_1) \cdot \left(\frac{2 \cdot \gamma \cdot \alpha_1}{\gamma - 1} - 1 \right)}{\alpha_1 \cdot \left(\frac{2 \cdot \gamma}{\gamma - 1} - 1 \right)}, \quad (2.17)$$

$$\alpha_2 = \frac{1 - \xi \cdot (1 - \alpha_1)^2}{1 + \xi \cdot (1 - \alpha_1) \cdot \left(\frac{2 \cdot \gamma \cdot \alpha_1}{\gamma - 1} - 1 \right)}, \quad (2.18)$$

де

$$\xi = \left(1 + \frac{1}{v_2^2} \cdot \frac{2 \cdot \gamma}{\gamma - 1} \cdot \frac{p_2 \cdot \alpha_1}{(1 - \gamma) \cdot \rho_p} \right)^{-1}. \quad (2.19)$$

Використавши відомий вираз для швидкості звуку в двофазному середовищі при відсутності фазових змін:

$$a = \left(\frac{n \cdot p}{\alpha \cdot (1 - \alpha) \cdot \rho_p} \right)^{0.5}, \quad (2.20)$$

запишемо формулу для числа Маха набігаючого крапельного потоку перед стрибком ущільнення:

$$M_1 = v_2 \cdot \left(\frac{n \cdot p_2}{\alpha_1 \cdot (1 - \alpha_1) \cdot \rho_p} \right)^{-0.5}. \quad (2.21)$$

Врахувавши рівняння (2.21), систему рівнянь (2.16) – (2.19) можна привести до безрозмірної системи для визначення відносних змін параметрів руху:

$$\frac{p_3}{p_2} = 1 + \frac{M_1^2 \cdot n}{\alpha_1} \cdot \left(1 - \frac{\xi^{-1} + (1 - \alpha_1) \cdot \left(\frac{2 \cdot \gamma \cdot \alpha_1}{\gamma - 1} - 1 \right)}{\alpha_1 \cdot \left(\frac{2 \cdot \gamma}{\gamma - 1} - 1 \right)} \right), \quad (2.22)$$

$$\frac{v_3}{v_2} = \frac{\xi^{-1} + (1 - \alpha_1) \cdot \left(\frac{2 \cdot \gamma \cdot \alpha_1}{\gamma - 1} - 1 \right)}{\alpha_1 \cdot \left(\frac{2 \cdot \gamma}{\gamma - 1} - 1 \right)}, \quad (2.23)$$

$$\frac{\alpha_2}{\alpha_1} = \frac{1 - \xi \cdot (1 - \alpha_1)^2}{\alpha_1 + \xi \cdot \alpha_1 \cdot (1 - \alpha_1) \cdot \left(\frac{2 \cdot \gamma \cdot \alpha_1}{\gamma - 1} - 1 \right)}, \quad (2.24)$$

де

$$\xi = \left(1 + \frac{2 \cdot \gamma}{\gamma - 1} \cdot \frac{\alpha_1^2}{n \cdot M_1^2} \right)^{-1}, \quad (2.25)$$

де n – показник політропи, який визначає теплообмін між фазами. Якщо вміст газової фази в потоці і швидкість потоку великі, то показник політропи потрібно брати рівним показнику адиабати $n = \gamma$. Якщо вміст газової фази невеликий, а теплообмін між фазами настільки великий, що газ знаходиться в тепловій рівновазі з рідиною, то $n = 1$.

Як видно із рівнянь (2.22) – (2.25), відносна зміна параметрів потоку за стрибком ущільнення залежить тільки від об'ємної газомісткості газу перед стрибком α_1 та числа Маха M_1 набігаючого потоку.

Для того, щоб можна було проводити розрахунки за наведеними вище рівняннями необхідно доповнити їх рівняннями для визначення параметрів руху перед стрибком:

$$\alpha_1 = \frac{u}{\frac{p_2}{p_1} + u}; \quad v_2 = \left(1 + \frac{p_1}{p_2} \cdot u \right) \cdot \frac{v_p}{\Gamma}. \quad (2.26)$$

В цих рівняннях p_2 можна визначити із тих міркувань, що пониження статичного тиску $\Delta p = p_1 - p_2$ обумовлено рухом газу (повітря), захопленого струминою рідини і приблизно рівне величині його динамічного тиску:

$$\Delta p = \frac{\rho_2 \cdot v_2^2}{2}, \quad (2.27)$$

де швидкість газу

$$v_2 = \frac{Q_2}{F_3 - F} = \frac{u \cdot v_p}{\Gamma - 1}. \quad (2.28)$$

Виразивши густину газу, що поступає в приймальну камеру, через тиск p_1 і температуру T_1 згідно рівняння:

$$\rho_2 = \frac{p_1}{R \cdot T_1}, \quad (2.29)$$

для статичного тиску p_2 в камері змішування до стрибка отримаємо вираз:

$$p_2 = p_1 \cdot \left(1 - \frac{u^2 \cdot v_p^2}{R \cdot T_1 \cdot (\Gamma - 1)^2} \right), \quad (2.30)$$

де R – газова стала для повітря.

Оцінимо величину енергії ΔE_2 , яку необхідно затратити для того, щоб розділити одиницю об'єму рідини на N однакових крапель радіусом r_k :

$$\Delta E_2 = N \cdot 4\pi \cdot r_k^2 \cdot \sigma, \quad (2.31)$$

але

$$N = \frac{1}{\frac{4}{3}\pi r_k^3}, \quad (2.32)$$

тоді

$$\Delta E_2 = \frac{3 \cdot \sigma}{r_k}. \quad (2.33)$$

Аналогічно можна оцінити енергію ΔE_3 , яка необхідна для створення N однакових бульбашок радіусом r_b в одиниці об'єму робочої рідини:

$$\Delta E_3 = \frac{3 \cdot \sigma}{r_b} \cdot \frac{\alpha_2}{1 - \alpha_2}, \quad (2.34)$$

де α_2 – об’ємна газомісткість суміші за стрибком;

σ – поверхневий натяг робочої рідини.

Отже із формул (2.33) і (2.34) видно, що для створення дрібнодисперсних повітряно-крапельних і рідинно-бульбашкових сумішей необхідна енергія, величина якої обернено-пропорційна середньому радіусу краплі чи бульбашки. Причому, енергія на створення бульбашкового потоку при великих значеннях об’ємної газомісткості може бути набагато більшою від енергії на створення крапельного потоку.

На початковій ділянці, довжина якої l_1 визначається експериментальним рівнянням (2.1), потік рідини і охоплюючий його потік повітря рухаються з різними швидкостями. Швидкість рідини на всій ділянці стала і рівна швидкості на виході сопла v_p , а швидкість інжектваного газу (повітря) v_z можна вважати наближено сталою і визначати за формулою (2.28).

Силу тертя на поверхні розділу фаз відносно одиниці об’єму рідини будемо обчислювати за формулою:

$$F_{mp} = \frac{2 \cdot C_{f1} \cdot \rho_z \cdot (v_p - v_z)^2}{d(z)}, \quad (2.35)$$

де $d(z)$ – діаметр струмینی рідини в залежності від відстані до сопла;

C_{f1} – коефіцієнт опору на границі розділу фаз.

Коефіцієнт опору в цій зоні залежить від числа Рейнольдса:

$$Re_1 = \frac{\rho_z \cdot (v_p - v_z) \cdot d(z)}{\mu_z}, \quad (2.36)$$

і при ламінарній течії ($Re_1 < 5 \times 10^5$) визначається за формулою Блазіуса:

$$C_{f1} = 1,328 \cdot Re_1^{-0,5}, \quad (2.37)$$

а при турбулентній течії ($Re_1 > 5 \times 10^5$) визначається за формулою:

$$C_{f1} = 0,0576 \cdot Re_1^{-0,2}. \quad (2.38)$$

Втратами при русі повітряного потоку на стінці нехтуємо, оскільки вони незначні.

Досліди показують, що динамічний тиск струмини рідини по мірі віддалення від сопла не міняється, але її діаметр зменшується. З іншої сторони, відносна швидкість фаз теж зменшується. Характер цих змін складно визначити, і тому при розрахунках будемо вважати, що на всій довжині зони діаметр струмини сталий $d(z) = d$, і відносна швидкість фаз теж не міняється.

Тоді втрату тиску на опір на початковій ділянці визначимо за формулою:

$$\Delta P_{mp1} = F_{mp} \cdot l_1. \quad (2.39)$$

На основній ділянці, довжина l_2 якої визначається за експериментальним рівнянням (2.2), внаслідок інтенсивного турбулентного перемішування фаз відбувається формування однорідного повітряно-крапельного потоку. На початку цієї ділянки газомісткість на осі ежектора близька до нуля, а поблизу стінки камери змішування близька до одиниці. По мірі віддалення по течії газомісткість поблизу стінки зменшується, а на осі збільшується, і в кінці ділянки вони зрівнюються, що свідчить про формування однорідного повітряно-крапельного потоку. Швидкості рідинної і газової фаз однакові. Основну частину втрат повного тиску тут складає втрата енергії на утворення крапель, яка набагато більша від втрат на тертя повітряної фази на стінці камери змішування і втрат на тертя між фазами, оскільки їх відносна швидкість незначна і прямує до нуля. Тому втратами тиску на тертя на основній ділянці камери змішування нехтуємо ($\Delta P_{mp2}=0$).

На ділянці довжиною l_3 до стрибка ущільнення і ділянці довжиною l_4 після стрибка двохкомпонентна рідинно-газова суміш рухається у вигляді однорідної крапельно-повітряної і рідинно-бульбашкової (пінної) суміші

відповідно. Тому, для визначення втрати тиску на тертя на цих ділянках застосуємо єдиний підхід з тією різницею, що при обчисленні коефіцієнта динамічної в'язкості суміші врахуємо, що крапельно-повітряна суміш ближче до газової фази, а пінна суміш ближча до рідинної фази.

Швидкість втрати тиску на тертя вздовж осі потоку рівна:

$$\left(\frac{dp}{dz}\right)_{mp} = \frac{\chi}{F_3} \cdot \tau, \quad (2.40)$$

де $\chi = \pi D$ – периметр камери змішування;

$F_3 = \frac{1}{4} \cdot \pi D^2$ – площа камери змішування;

τ – середня дотична напруга на стінці камери змішування, яку можна виразити через коефіцієнт тертя, густину і швидкість суміші згідно формули:

$$\tau = \frac{1}{2} \cdot C_f \cdot \rho \cdot v^2. \quad (2.41)$$

Підставивши (2.41) в (2.40), для градієнта тиску, обумовленого силами тертя, будемо мати:

$$\left(\frac{dp}{dz}\right)_{mp} = \frac{2 \cdot C_f \cdot G^2}{D \cdot \rho}, \quad (2.42)$$

де $G = \rho \cdot v$ – густина потоку суміші (масова швидкість).

Скориставшись формулою (2.9) густину суміші в (2.42) можна виразити через густини компонентів і масову газомісткість. Тоді отримаємо:

$$\left(\frac{dp}{dz}\right)_{mp} = \frac{2 \cdot C_f \cdot G^2}{D} \cdot \left(\frac{1}{\rho_p} + x \cdot \left(\frac{1}{\rho_g} - \frac{1}{\rho_p} \right) \right). \quad (2.43)$$

Оскільки детальна структура двохфазного потоку невідома і не можливо визначити ідеалізовану реологічну модель течії, багато авторів досліджень приймають деяке еквівалентне середнє значення динамічної

в'язкості, яке б задовільняло граничним випадкам, коли відсутня одна із фаз. Ми скористаємося співвідношенням, запропонованим Макадамсом [110]:

$$\frac{1}{\mu} = \frac{x}{\mu_z} + \frac{1-x}{\mu_p}. \quad (2.44)$$

Доцільно встановити співвідношення між в'язкістю, коефіцієнтом тертя і втратами тиску на тертя для двохфазного потоку і для однієї із розглядуваних фаз [110].

Якщо позначити індексом z випадок, коли по трубці тече газ з тією ж масовою швидкістю, що і при сумісній течії фаз, то із співвідношення:

$$\frac{\mu}{\mu_z} = \frac{C_f}{C_{fz}}, \quad (2.45)$$

і формули (2.44) для двохфазного потоку на ділянці l_3 отримаємо:

$$\left(\frac{dp}{dz}\right)_{mpz} = \Phi_z^2 \cdot \left(\frac{dp}{dz}\right)_{mpz} = \Phi_z^2 \cdot \frac{2 \cdot C_{fz} \cdot G^2}{D \cdot \rho_z}, \quad (2.46)$$

де C_{fz} – коефіцієнт тертя для газової фази;

$G = \rho_1 v_2$ – масова швидкість суміші;

Φ_z^2 – коефіцієнт двохфазності по відношенню до чисто газового потоку, який для ламінарної течії рівний:

$$\Phi_z^2 = \left(\frac{\mu_z}{\mu_p} + x \cdot \left(1 - \frac{\mu_z}{\mu_p} \right) \right) \cdot \left(\frac{\rho_z}{\rho_p} + x \cdot \left(1 - \frac{\rho_z}{\rho_p} \right) \right). \quad (2.47)$$

У випадку турбулентної течії, використавши співвідношення (2.44) для еквівалентної в'язкості повітряно-крапельної суміші, визначаємо число Рейнольдса:

$$Re = \frac{G \cdot D}{\mu}, \quad (2.48)$$

і, використовуючи рівняння Блаузіуса 1 роду для течії в гладких трубах, яке має вигляд:

$$C_f = 0,079 \cdot Re^{-0,25}, \quad (2.49)$$

отримаємо вираз для коефіцієнта двофазності:

$$\Phi_z^2 = \left(\frac{\mu_z}{\mu_p} + x \cdot \left(1 - \frac{\mu_z}{\mu_p} \right) \right)^{-0,25} \cdot \left(\frac{\rho_z}{\rho_p} + x \cdot \left(1 - \frac{\rho_z}{\rho_p} \right) \right). \quad (2.50)$$

В формулах (2.46) – (2.50) необхідно всі величини, які залежать від тиску, брати при тиску p_2 .

Для пінного потоку після стрибка ущільнення встановимо співвідношення між в'язкістю, коефіцієнтом тертя і втратами тиску на тертя по відношенню до рідинної фази. Тоді, по аналогії із попередніми розрахунками, позначивши індексом p випадок, коли по камері змішування тече рідина з тією ж масовою швидкістю, що і суміш, швидкість втрати тиску на тертя на ділянці l_4 після стрибка:

$$\left(\frac{dp}{dz} \right)_{mp4} = \Phi_p^2 \cdot \left(\frac{dp}{dz} \right)_{mpp} = \Phi_p^2 \cdot \frac{2 \cdot C_{fp} \cdot G^2}{D \cdot \rho_p}, \quad (2.51)$$

де коефіцієнт двофазності по відношенню до рідинного потоку для ламінарної течії:

$$\Phi_p^2 = \left(1 + x \cdot \left(\frac{\mu_p}{\mu_z} - 1 \right) \right) \cdot \left(1 + x \cdot \left(\frac{\rho_p}{\rho_z} - 1 \right) \right), \quad (2.52)$$

а для турбулентної течії:

$$\Phi_p^2 = \left(1 + x \cdot \left(\frac{\mu_p}{\mu_z} - 1 \right) \right)^{-0,25} \cdot \left(1 + x \cdot \left(\frac{\rho_p}{\rho_z} - 1 \right) \right), \quad (2.53)$$

Тут, у рівняннях (2.51) – (2.53) всі залежні від тиску величини потрібно брати при тиску p_3 .

Оскільки, як видно із аналізу вище формул, градієнти тиску стали на тих ділянках, для яких вони визначені, то втрати тиску на цих ділянках відповідно будуть рівні:

$$\Delta P_{mp3} = l_3 \cdot \left(\frac{dp}{dz} \right)_{mp3} \quad \text{і} \quad \Delta P_{mp4} = l_4 \cdot \left(\frac{dp}{dz} \right)_{mp4}. \quad (2.54)$$

Таким чином, розвинута вище теорія дозволяє розраховувати величини втрат енергії ΔE_2 і ΔE_3 робочого рідинного потоку на створення вільної поверхні розділу двох фаз при утворенні повітряно-крапельного і пінного потоків. Для цього необхідно знати місце розташування стрибка ущільнення в камері змішування пристрою ежекційного типу, яке можна встановити на основі експериментальних даних. Тоді із рівняння балансу енергії (2.3) будемо мати:

$$\Delta E_2 = \frac{\rho_p \cdot v_p^2}{2} - \frac{\rho_1 \cdot v_2^2}{2} + p_1 - p_2 - \Delta P_{mp1} - \Delta P_{mp3}, \quad (2.55)$$

$$\Delta E_3 = \frac{\rho_1 \cdot v_2^2}{2} - \frac{\rho_2 \cdot v_3^2}{2} + p_2 - p_3 - \Delta P_{mp4} - u \cdot p_0 \cdot \tau \cdot \ln \frac{p_3}{p_2}, \quad (2.56)$$

де всі величини розраховуються за приведеними вище рівняннями.

Крім цих рівнянь, для визначення можливих режимів руху газорідинного потоку, запишемо рівняння для обчислення зміни (втрати) потужності потоку ΔN на ділянці від сопла до місця перерізу потоку газорідинної суміші після стрибка ущільнення:

$$\Delta N = Q_1 \cdot \left(\frac{\rho_p \cdot v_p^2}{2} + p_1 + \frac{\gamma}{\gamma-1} \cdot u_0 \cdot p_0 \right) - W \cdot \left(\frac{v_3^2}{2} + \frac{p_3}{\rho_2} + \frac{\Delta P_{mp1} + \Delta P_{mp3} + \Delta P_{mp4}}{\rho_1} \right) - Q_1 \cdot p_0 \cdot u_0 \cdot \tau \cdot \ln \frac{p_3}{p_2}, \quad (2.57)$$

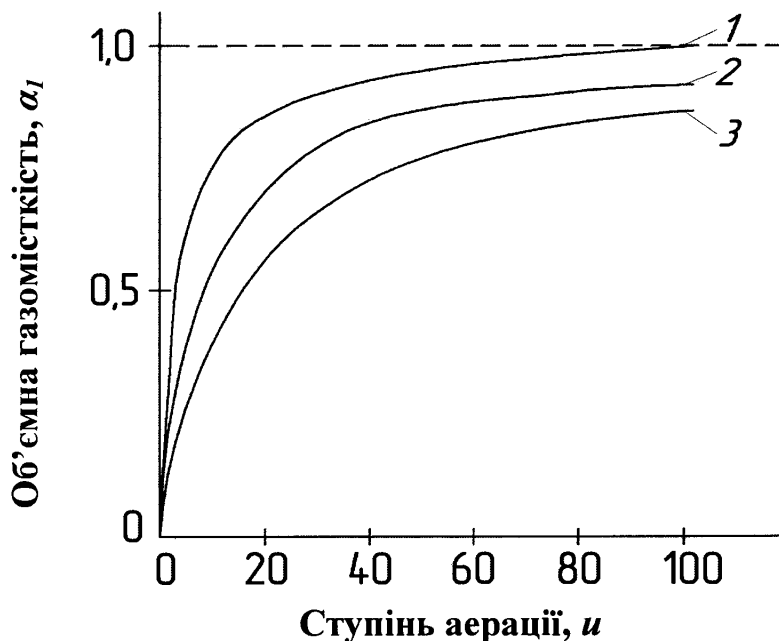
де $W = \rho_1 v_2 F_3 = \rho_2 v_3 F_3$ – масова витрата газорідинної суміші.

Рух газорідного потоку можливий тільки при тих значеннях параметрів, при яких втрата потужності ΔN приймає додатні значення.

Основне завдання тепер полягає в тому, щоб на основі рівнянь (2.55) – (2.57) підібрати такі параметри можливого руху потоків рідини і газу, при яких відбувалося б максимальне і рівномірне по всьому об'єму насичення рідини газом, що відповідає максимально можливим значенням ступені аерації u , а також величин ΔE_2 , ΔE_3 і ΔN .

Із рівнянь (2.22) – (2.25) видно, що відносні параметри потоку суміші за стрибком ущільнення залежать від числа Маха M_1 набігаючого потоку і об'ємної місткості газу α_1 перед стрибком, яка в свою чергу визначається ступенем аерації u .

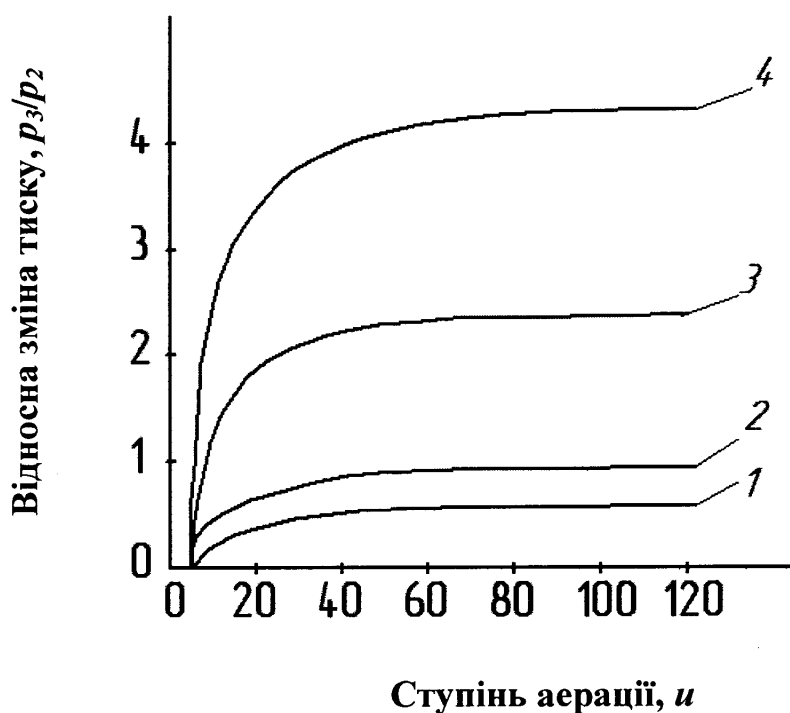
Криві залежності об'ємної газомісткості α_1 від ступені аерації u при різних значеннях тиску в приймальній камері p_1 (рис. 2.9) вказують на те, що із збільшенням ступені аерації u при зростанні тиску p_1 об'ємна газомісткість α_1 зростає повільніше.



1 – 0,3; 2 – 0,75; 3 – 1,4

Рисунок 2.9 – Залежність об'ємної газомісткості від ступені аерації при різних значеннях тиску в приймальній камері, МПа

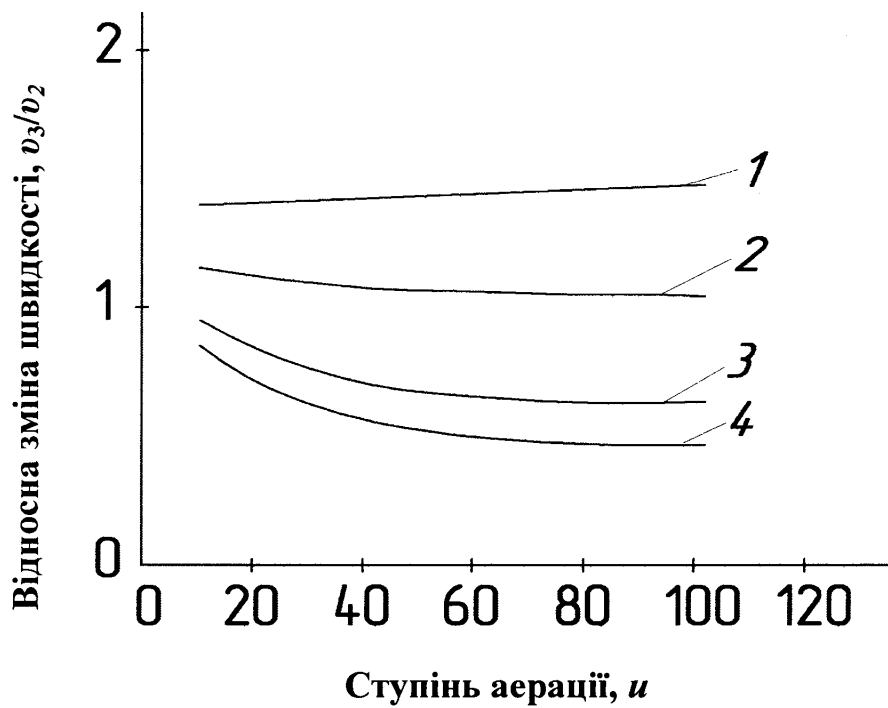
Залежності відносної зміни тиску p_3/p_2 , що відбувається в стрибку, від ступені аерації при різних значеннях числа Маха M_1 набігаючого потоку (рис. 2.10) показують, що при значеннях $M_1 > 1$ відносна зміна тиску $p_3/p_2 > 1$ і зростає при збільшенні u тим більше, чим більше M_1 , досягаючи при великих u граничних значень, тим більших, чим більші значення M_1 . При значеннях $M_1 < 1$ відносна зміна тиску $p_3/p_2 < 1$ і наближається до 1 із зростанням ступені аерації.



1 – 0,8; 2 – 1; 3 – 1,5; 4 – 2

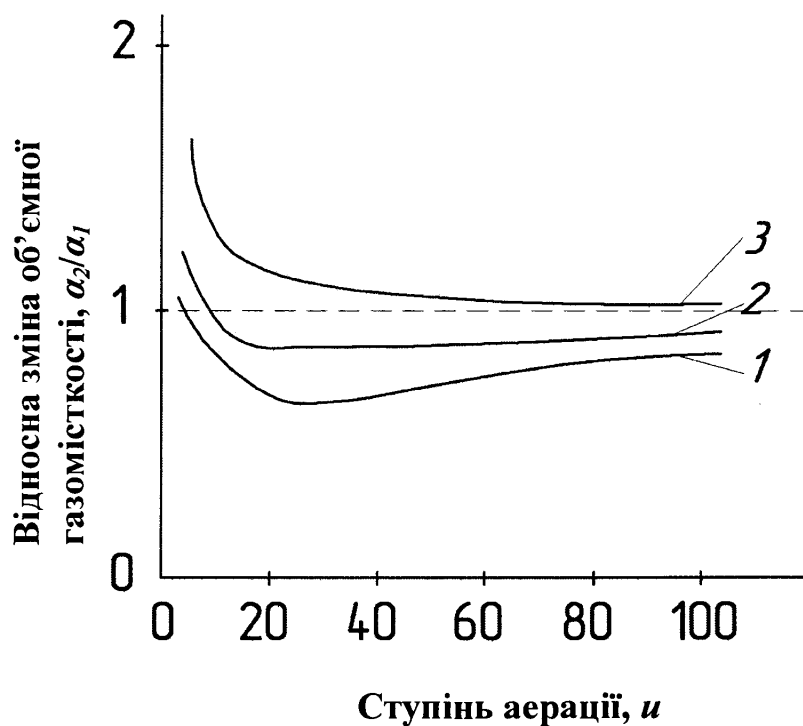
Рисунок 2.10 – Залежність відносної зміни тиску, що відбувається в стрибку, від ступені аерації при різних значеннях числа Маха набігаючого потоку

Із графічних залежностей відносних змін швидкості v_3/v_2 і об'ємної газомісткості α_2/α_1 від ступені аерації при різних значеннях числа Маха M_1 (рис. 2.11, 2.12) видно, що при $M_1 > 1$ швидкість потоку і газомісткість в стрибку зменшуються, а при $M_1 < 1$ — збільшуються.



1 – 0,8; 2 – 1; 3 – 1,5; 4 – 2

Рисунок 2.11 – Залежність відносної зміни швидкості, що відбувається в стрибку, від ступені аерації при різних значеннях числа Маха



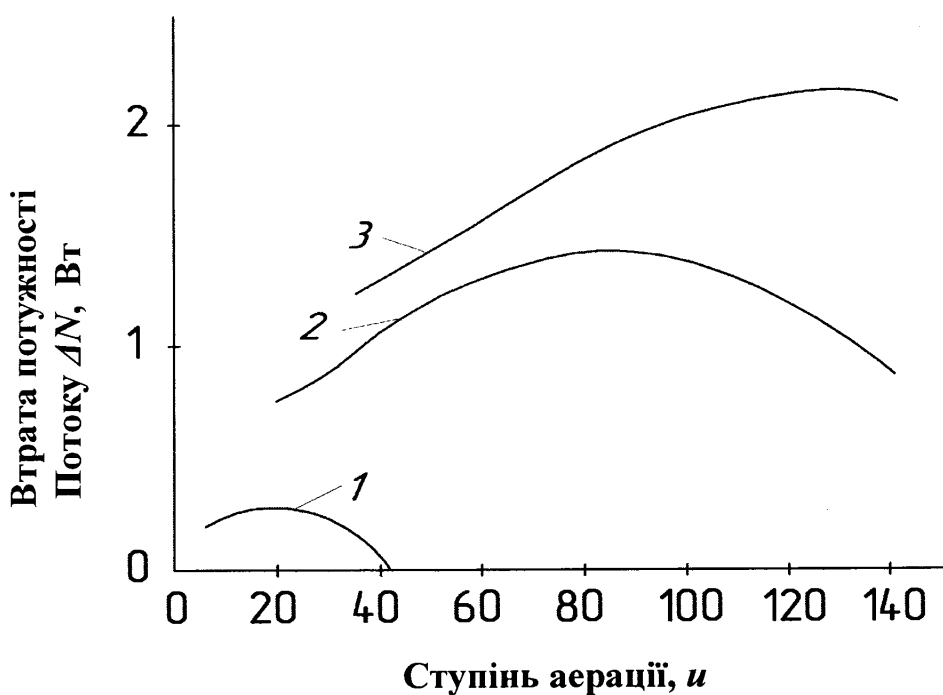
1 – 3; 2 – 1,5; 3 – 0,8

Рисунок 2.12 – Залежність відносної зміни об'ємної газомісткості, що відбувається в стрибку, від ступені аерації при різних значеннях числа Маха

Отже, із сказаного вище можна зробити висновок, що при параметрах руху газорідинного потоку, для яких $M_l > 1$, в камері змішування відбувається стрибок ущільнення, який характеризується стрибкоподібним збільшенням тиску і зменшенням швидкості потоку і об'ємної газомісткості, а при параметрах руху газорідинного потоку, для яких $M_l < 1$, в камері змішування відбувається стрибок розрідження, який характеризується стрибкоподібним зменшенням тиску і збільшенням швидкості потоку і об'ємної газомісткості.

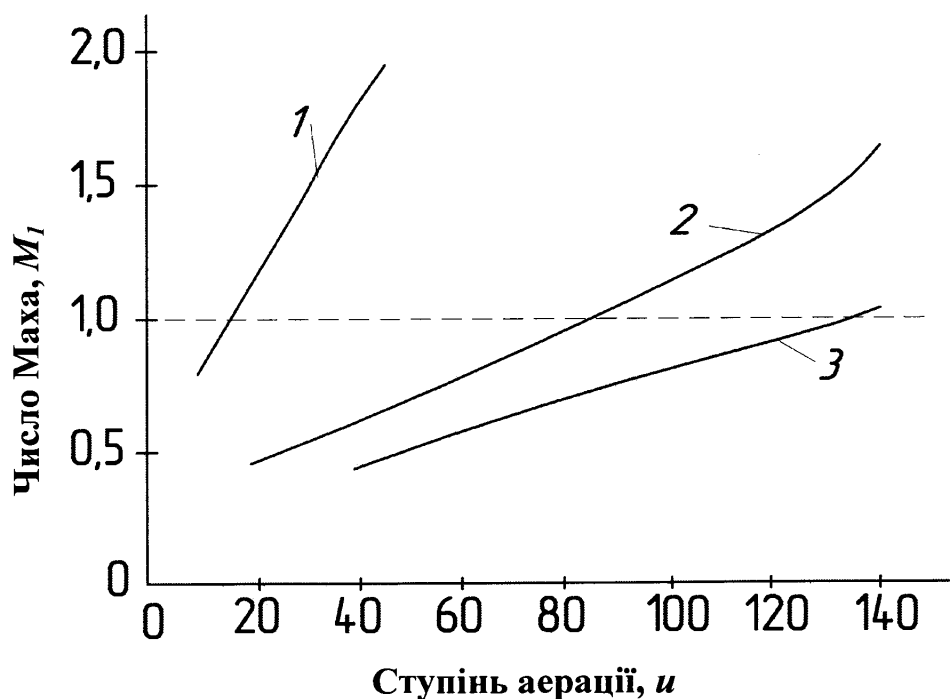
Оскільки енергетичні характеристики газорідинного потоку визначаються не тільки параметрами його руху, а і властивостями рідини і газу, то для проведення подальших розрахунків візьмемо в якості рідини воду, в яку додано поверхнево-активні речовини із наступними параметрами: густина – $\rho_p = 10^3$ кг/м³; коефіцієнт поверхневого натягу $\sigma = 0.05$ Н/м; коефіцієнт динамічної в'язкості $\mu_p = 10^{-3}$ Пас; температура $T = 300$ К. В якості газу – повітря, що подається компресором в приймальну камеру з навколишнього середовища при $p_0 = 10^5$ Па і $T = 300$ К. Коефіцієнт динамічної в'язкості повітря не залежить від тиску і при температурі $T = 300$ К рівний $\mu_p = 1,88 \times 10^{-5}$ Пас. Графічні залежності (рис. 2.13 – 2.16) побудовані для наступних геометричних розмірів пристрою ежекційного типу: діаметр ежекційної камери $d = 0,006$ м; діаметр камери змішування $D = 0,012$ м; витрата рідини $Q_l = 10^{-3}$ м³/с; тиск рідини $P_l = 1,4$ МПа.

Залежності втрат потужності потоку на створення водяно – повітряної суміші ΔN від ступені аерації при різних значеннях тиску в приймальній камері p_l показані на рис. 2.13, із якого видно, що з ростом p_l загальні втрати потужності ΔN на створення вільної водяної поверхні зростають. Всі три криві залежності ΔN від u мають максимуми при тих значеннях u , для яких число Маха M_l (рис. 2.14) дещо більше 1, що відповідає стрибку ущільнення.



1 – 0,3; 2 – 0,75; 3 – 1

Рисунок 2.13 – Залежність втрат потужності потоку від ступені аерації при різних значеннях тиску в приймальній камері, МПа:



1– 0,3; 2 – 0,75; 3 – 1

Рисунок 2.14 – Залежність числа Маха газорідного потоку від ступені аерації при різних значеннях тиску в приймальній камері, МПа:

На рис 2.15 дані залежності втрат об'ємної густини енергії на створення повітряно-крапельного потоку ΔE_2 та рідинно-бульбашкового потоку ΔE_3 від ступені аерації при тиску в приймальній камері $p_1=0,75$ МПа. Із графічної залежності видно, що із збільшенням u величини ΔE_2 і ΔE_3 зменшуються, і при значеннях u , для яких M_1 стає більшим 1, $\Delta E_3 < 0$. Це означає, що вся енергія потоку затрачається на роботу стиску суміші в стрибку ущільнення ($A=Q_1 u p_0 \ln(p_3/p_2)$) і бульбашки повітря в стрибку і безпосередньо після нього не утворюються.

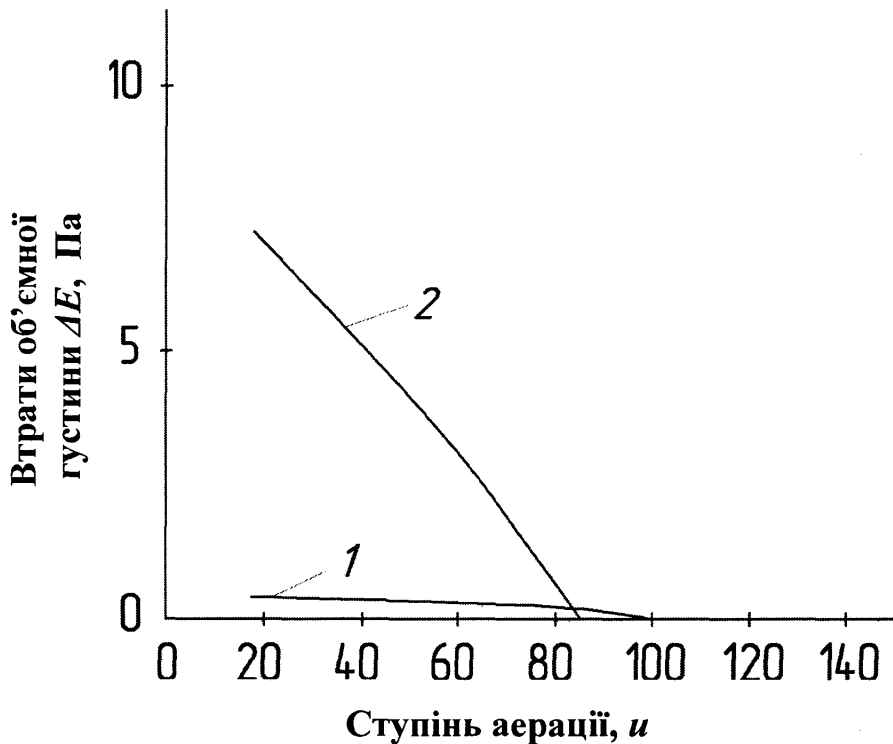


Рисунок 2.15 – Залежності втрат об'ємної густини енергії на створення повітряно-крапельного потоку ΔE_2 (крива 1) та рідинно-бульбашкового потоку ΔE_3 (крива 2) від ступені аерації при тиску в приймальній камері $p_1 = 0,75$ МПа

На рис. 2.16 представлена розрахункова схема розподілу статичного тиску на довжині пристрою ежекційного типу при тиску $p_1=0,75$ МПа в приймальній камері для оптимального значення ступені аерації $u=85$, при якому ΔN приймає максимальне значення. Розрахунки показують, що

довжина ділянки $l_1 \ll l_2 = 100-120$ мм, тому втрати тиску на тертя $\Delta P_1 \ll \Delta P_3, \Delta P_4$, а значення втрат тиску на 10 мм довжини ΔP_3 і ΔP_4 мають порядок $10^3 - 10^4$ Па, тобто є незначними в порівнянні з статичним тиском в пристрої. Розташування стрибка ущільнення в камері змішування наближено визначається довжиною ділянки l_2 , оскільки розвинута теорія не дає розрахунок місця його знаходження. Вона зростає із збільшенням тиску p_1 в приймальній камері. Процес закачування повітря і створення тиску в приймальній камері $p_1 = 0,75$ МПа вважається ізотермічним, пониження статичного тиску від p_1 до $p_2 = 0,66$ МПа обумовлене рухом повітряної фази, підвищення статичного тиску від p_2 до $p_3 = 0,75$ МПа в стрибку ущільнення ізотермічне.

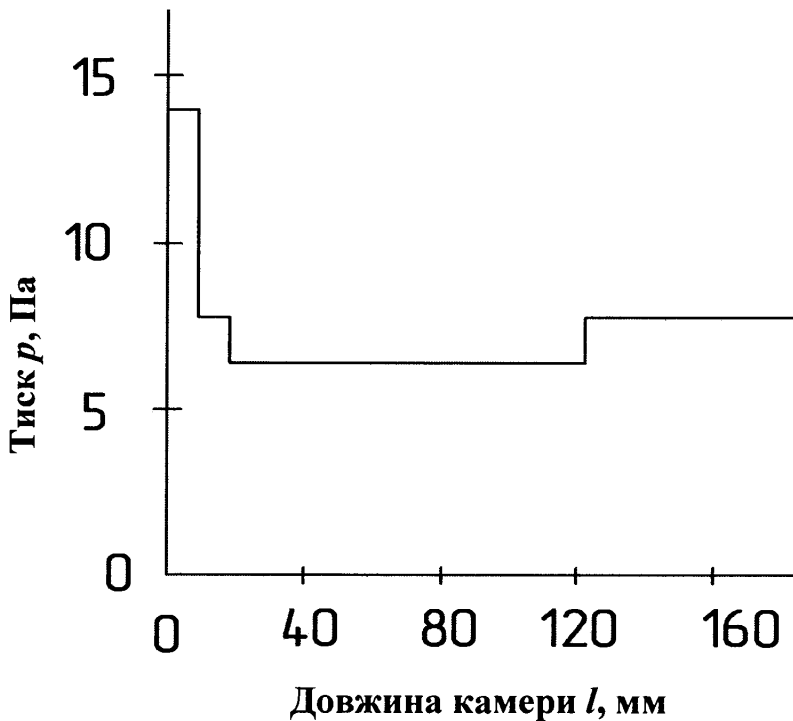


Рисунок 2.16 – Схема розподілу статичного тиску по довжині пристрою ежекційного типу при тиску $p_1 = 0,75$ МПа в приймальній камері для значення ступені аерації $u = 85$

На рис. 2.17 представлені залежності втрат потужності потоку на створення повітряно-рідинної суміші ΔN від ступені аерації при двох різних

діаметрах сопла і однакових значеннях витрати рідини $Q_l=10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$ і тиску в приймальній камері $p_l=0.75 \text{ МПа}$, згідно яких видно, що зменшення діаметра сопла приводить до збільшення втрат потужності на створення вільної поверхні і зміщення максимуму ΔN в сторону більших значень u . Це пояснюється збільшенням швидкості витікання рідинного потоку із сопла, що буде відбуватись при значно більшому початковому тиску в підвідному патрубку.

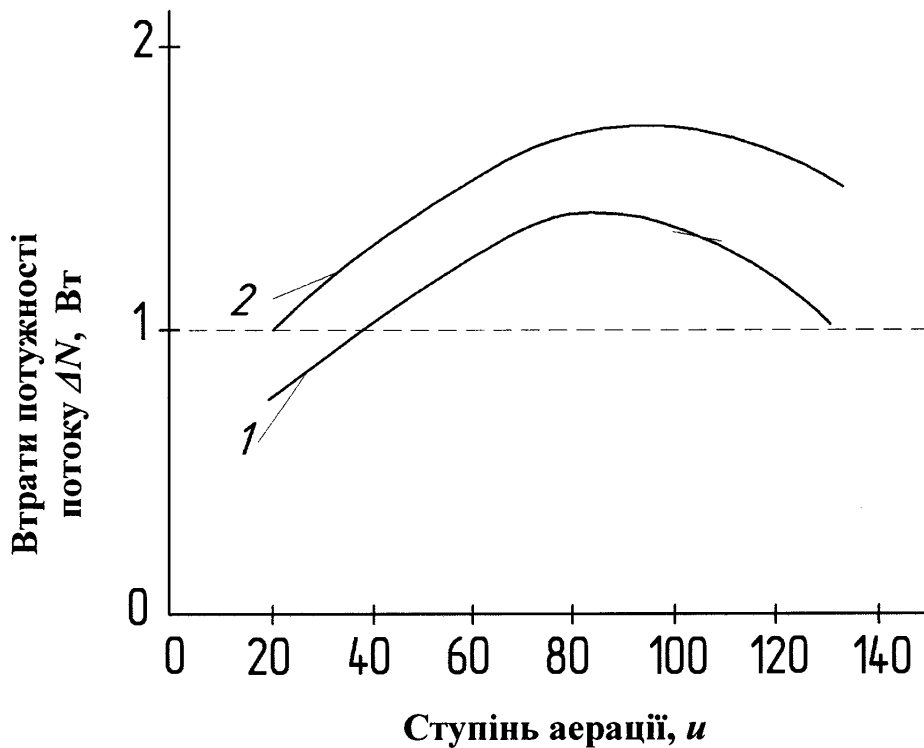


Рисунок 2.17 – Залежності втрат потужності потоку ΔN від ступені аерації при зміні діаметра сопла, м:

1 – 0,006; 2 – 0,004

Отже, із наведених вище залежностей можна зробити висновок, що найбільш ефективний режим руху газорідинного потоку в сенсі рівномірного насичення рідини газом з утворенням в подальшому дрібнодисперсного пінного потоку реалізується при тих значеннях ступені аерації та інших параметрах руху, при яких число Маха M_l газорідинного потоку більше одиниці, але близьке до неї. В цьому випадку загальні втрати потужності

поток ΔN на створення вільної поверхні максимальні, а в камері змішування відбувається стрибок ущільнення, необхідний для перетворення повітряно-рідинної суміші в рідинно-бульбашкову, хоча енергія потоку в стрибку витрачається на стиск суміші і в стрибку і безпосередньо після нього бульбашки не утворюються. Вони будуть утворюватися в тих місцях пристрою, де відбувається різке пониження статичного тиску в порівнянні з тиском p_3 в камері змішування за стрибком ущільнення за рахунок роботи розширення газової фази.

2.3 Аналіз зміни властивостей піни в процесі її руху в циркуляційній системі під час буріння

Піна є високопластичною пружною системою, яка сильно відрізняється від інших бурових розчинів. Тільки в процесі циркуляції в свердловині при заданих параметрах режиму і відомих умовах пінні системи мають відносно постійний характер. Після зупинки циркуляції (зупинка насоса і компресора), система стає нестійкою, проявляються пружні властивості, і проходить частковий поділ фаз, внаслідок чого тиск піни на вибої значно знижується з часом. У піні тривалий час будуть знаходитись частини вибуреної породи у зваженому стані внаслідок її структурно-механічних властивостей [90].

Внаслідок пружних властивостей рух потоку піни в кільцевому просторі після зупинки компресора і насоса продовжується. При цьому швидкість потоку підвищується від вибою до гирла свердловини, що пояснюється збільшенням діаметра бульбашок повітря по мірі зниження тиску. Присутність ПАР і бульбашок повітря покращує їх прилипання до частин вибуреної породи, що збільшує тривалість перебування частин в зваженому стані і прискорює їх винесення.

При розкритті продуктивних пластів з використанням піни в привибійній зоні та в стволі свердловини проходять складні явища, пов'язані з фізико-геологічними властивостями колектора і фізико-хімічною характеристикою рідин, які знаходяться в колекторі [111, 112].

Оскільки на протязі всього процесу розкриття існує гідродинамічний зв'язок між пластом і стволом свердловини, то явища, які проходять в пласті та в стволі свердловини взаємопов'язані. В промислових умовах при трактуванні тих або інших явищ приходиться користуватись сумарним ефектом, який є результатом взаємодії багаточисельних елементарних явищ.

Однією із цікавих для нас адсорбційних властивостей ПАР, які утворюються на поверхні розділу вода-повітря, є її стабілізуюча дія і пов'язане з цим підвищення часу існування бульбашок в піні, тобто її стійкість [113].

Робочим станом піни, використовуваним для розкриття пласта, є той стан, при якому зберігаються її структурно-механічні властивості. У зв'язку з цим нераціонально в цих умовах вводити у поняття стійкість піни повну тривалість її існування. Тому стійкість визначається по швидкості виділення із піни 50 % рідини, тобто коли ще зберігаються структурно-механічні властивості піни [56].

Середня швидкість виділення рідини визначається за формулою:

$$v_{сер} = \frac{0,5 \cdot V}{t}, \quad (2.58)$$

де V – об'єм піни, виділеної із заданого об'єму рідини;

t – час витікання 50 % рідини від заданого об'єму піноутворюючої рідини.

Чим менша швидкість виділення рідини, тим вища стійкість піни. У зв'язку з цим стійкість виражається величиною, оберненою швидкості виділення рідини:

$$C = \frac{1}{v_{сер}}. \quad (2.59)$$

Для того, щоб стійкість піни при русі в циркуляційній системі була достатньою для виносу на поверхню вибурених частинок породи, необхідно при її приготуванні добавляти кількість ПАР, яка надає їй максимальну швидкість. Наприклад, максимум стійкості піни в розчині ОП-10 становить 1 %, ДС-РАС – 0,6 %, сульфанола – 0,5 %. При подальшому підвищенні концентрації стійкість піни знижується. При цьому оптимальна концентрація відповідає недонасиченому адсорбційному шару. Пояснюється це гідратацією полярних груп молекул ПАР, які гальмують витікання рідини в плівці піни.

На шляху від гирла до вибою піна є пластично стискуваною рідиною при вмісті повітря 60 – 96%, а від вибою до гирла – розширюваною, внаслідок збільшення розмірів бульбашок при зниженні тиску і наступного збільшення свого об'єму. Одночасно виділяється частина розчиненого повітря, змінюється густина піни, швидкість струменя і структурна в'язкість, а концентрація піноутворювача за 1 цикл циркуляції складає 40 – 60% від початкової. Період існування піни повинен бути не менше часу, необхідного для підйому шлама від вибою свердловини до гирла. Із збільшенням глибини свердловини зростає тиск нагнітання і відповідно знижується об'єм суміші та швидкість її циркуляції. Тому в процесі виготовлення піни важливим фактором є її здатність зберігати свої властивості в процесі всього циклу руху в циркуляційній системі.

В той же час при виході з свердловини бажано швидке руйнування піни із мінімальними витратами піногасника та із затратою мінімальних матеріальних і трудових ресурсів для виготовлення піни для повторного її закачування у свердловину. Для отримання піною заданих властивостей необхідне використання високоефективного обладнання для її виготовлення.

2.4 Теоретичні засади раціонального підготування пінистого розчину для повторної подачі його у свердловину та вибір необхідного устаткування

При циркуляції піни кількість ПАР в ній зменшується внаслідок їх адсорбції на стінках свердловини і бурильних труб. Наступне зниження концентрації ПАР проходить за рахунок адсорбції на знову створеному стволі свердловини і вибуреній породі. Тому для підтримання заданої концентрації ПАР в процесі відкриття пласта потрібно періодично добавляти їх в розчин [114].

Для створення замкнутого циклу циркуляції необхідно руйнувати піну на виході із свердловини, тобто виділяти із неї повітря, очищати від шламу, а розчин піноутворювача використовувати повторно.

Для руйнування піни використовується один із відомих способів, які описані нижче [31, 115].

Розрідження в резервуарі для збирання піни – один із способів руйнування піни. При поступанні піни в резервуар бульбашки руйнуються під дією надлишкового тиску.

Наступним способом механічного руйнування піни є використання вакуумних дегазаторів, які по характеристиці робочого циклу діляться на працюючі з подачею рідини у вакуумний резервуар за допомогою нагнітального насоса і працюючі за рахунок рідини під дією вакууму, створеного вакуумним насосом. Вакуумний спосіб найпоширеніший для вирішення складної проблеми руйнування стійких пін. Але практична реалізація вакуумного принципу для руйнування потоку піни великого об'єму пов'язана з підвищеними енергозатратами у зв'язку з необхідністю використання вакуумних насосів великої продуктивності.

В основі термічного способу лежить випаровування рідини із оболонок бульбашок піни, що полегшує їх руйнування. Відомо також, що

неіоногенні ПАР типу ОП-7, ОП-10 втрачають піноутворюючу здатність при нагріві до 100°C і відновлюють її при охолодженні. Піну можна руйнувати перегрітою парою або дією на неї тепла, що випромінюється через нагріту поверхню.

При використанні акустичного способу піногасіння для руйнування піни використовуються ультразвукові піногасники, які володіють високою продуктивністю, ефективністю, простотою будови і експлуатації.

Для ліквідації піни не рекомендується використовувати хімічні речовини, оскільки при цьому різко збільшується об'єм використовуваних ПАР для повторного виготовлення піни, тому що потрібно також нейтралізувати дію хімічних елементів-піногасників. В кінцевому результаті характеристики піни непередбачувано можуть змінюватися.

Метод буріння свердловин із промивкою піною має свої специфічні особливості, які визначають необхідність використання спеціального і стандартного обладнання, бурильного інструменту і контрольно-вимірвальних пристроїв. Тому для отримання максимально можливого ефекту від використання методу необхідно вибрати обладнання, яке повністю відповідає вимогам, що ставляться до його технології, а також передбачити раціональну схему обв'язування обладнання.

Буріння з промиванням піною здійснюється за допомогою звичайних бурових установок, в комплект яких додатково до стандартного включається спеціальне обладнання (компресорні установки, обертові превентори, змішувач, деаератор або промисловий трап, гасник швидкості, система протитиску, додаткові ємності-акумулятори). Причому, метод із промиванням піною вимагає використання (частково або повністю) поряд із спеціальним наступного стандартного обладнання: бурових насосів, дегазатора системи протитиску і очистки розчину. Ефективність буріння залежить від правильного вибору співвідношення кількості повітря і рідини.

Тому встановлюються наступні прилади: витратоміри повітря і рідини, записуючі і показуючі манометри на стояку і гирлі свердловини.

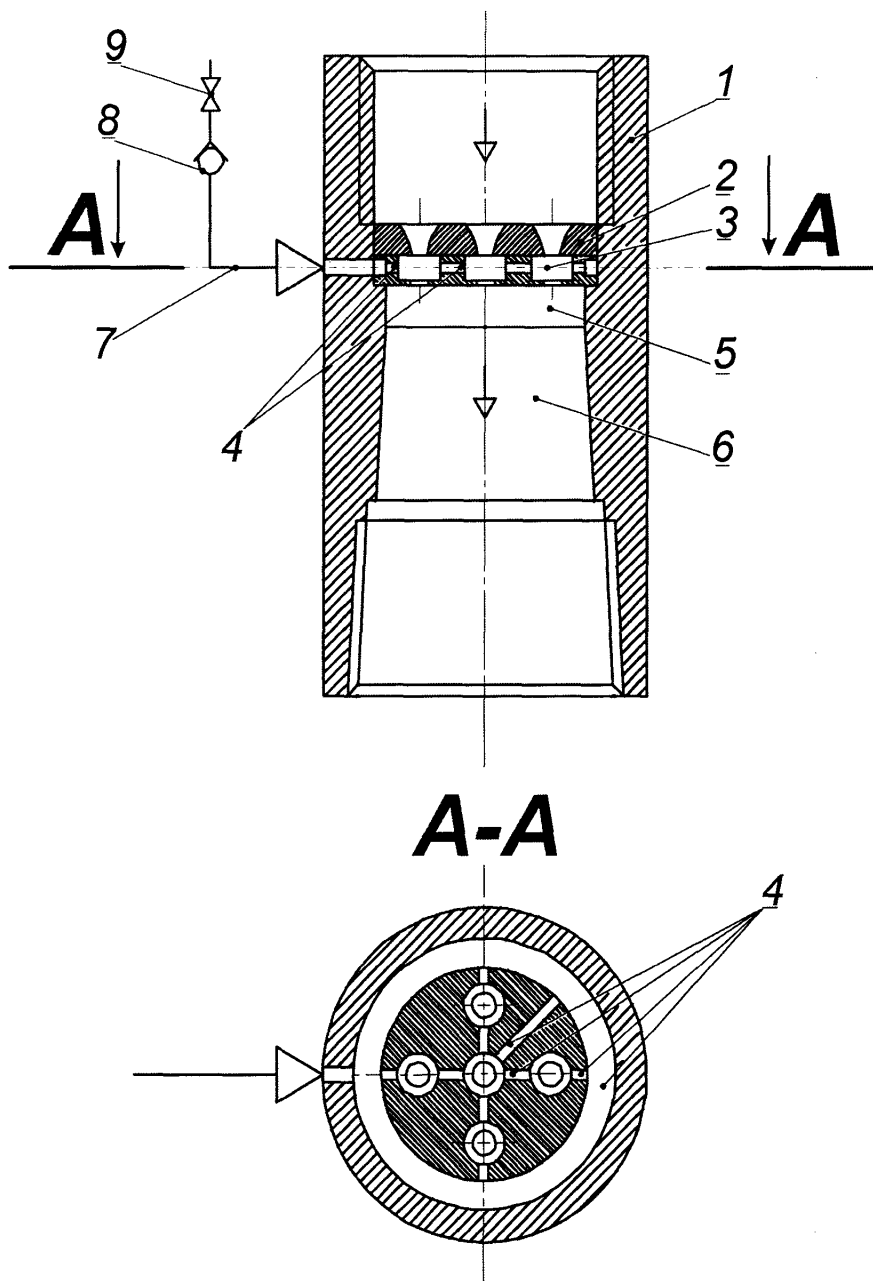
Під час буріння свердловини в стійких гірських породах, які необхідно перекрити за допомогою експлуатаційної колони, а в процесі їх розкриття не буде проявів нафти, газу і води, тоді ці породи можна розбурювати з використанням піни, призначеної для розкриття продуктивних горизонтів. Після чого експлуатаційну колону спускають до проектної глибини і цементують із підніманням тампонажного розчину на задану висоту.

Але у багатьох випадках важко або неможливо поєднати проведення ствола свердловини із розкриванням продуктивного пласта, тиск в якому набагато менший за гідростатичний. В такому випадку конструкція свердловини повинна повністю відповідати специфічним особливостям розкривання пласта із виконанням основної умови: збереження природньої проникності у привибійній зоні. Виходячи із цього, колону необхідно спускати до поверхні пласта і цементувати по прийнятій технології. При цьому ствол свердловини також буриться по прийнятій на даній площі технології із використанням рідинних бурових розчинів. При розкриванні продуктивного пласта використовують піну із заданими показниками, спускають експлуатаційну колону і цементують її піноцементним розчином.

2.5 Аналіз теоретичних досліджень та обґрунтування напрямків комп'ютерних експериментальних досліджень

На основі проведених теоретичних досліджень пропонується для подальших досліджень використовувати піногенеруючий пристрій (рис. 2.18) для насичення бурового розчину повітрям або газом з подальшим піноутворенням [18]. Робота пристрою проходить наступним чином. Буровий розчин поступає в корпус 1 пристрою і через багатосоплову вставку 2 в

камерах 3 попереднього змішування за рахунок ефекту ежекції, захоплює повітря, яке підводиться по каналах 4 і змішується з рідиною. Після цього суміш поступає в камеру кінцевого змішування 5, де проходить інтенсивне змішування та диспергування суміші із багатьох струменів.



- 1 – корпус; 2 – сопла; 3 – камери ежекційні попереднього змішування;
 4 – камери для повітря чи газу; 5 – камера кінцевого змішування;
 6 – дифузор; 7 – штуцер; 8 – зворотній клапан; 9 – запірнорегулюючий
 елемент

Рисунок 2.18 – Піногенеруючий пристрій

У дифузорі 6 проходить стабілізація отриманого потоку піни. 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 елементу 9 можна регулювати об'єм поступаючого повітря або газу, що дає можливість змінювати параметри пінистого розчину (його густину).

Теоретичні дослідження піногенеруючого пристрою дали можливість визначити ефективні режими його роботи, при яких газорідина суміш рухається зі швидкістю 30 – 60 м/с. Ці швидкості до кавітаційні [116, 117]. Такі режими роботи не приводять до пошкоджень робочих сопел і деталей піногенеруючого пристрою через кавітаційну (гідравлічну) ерозію. Цей висновок підтверджений після промислових випробувань протягом шести днів, на основі яких не було виявлено дефектів та пошкоджень. Даний факт підтверджено у актах промислових випробувань на свердловині № 201 Гадяцької площі та свердловині № 172 Котелевської площі (Додаток Д).

В моделі з центральним підведенням рідини вздовж осі тече двофазний бульбашковий потік, а в периферійних зонах – крапельний. Прийmemo в камері змішування на початковій і основній ділянках спрощену одновимірну схему двох супутніх течій: повітряна течія з однорідною швидкістю, температурою і густиною конденсується на течії рідини, яка також однорідна в перетині. Таким чином, швидкість, температура і густина повітря та рідини є функціями тільки повздовжньої координати.

Запишемо систему основних рівнянь.

Рівняння нерозривності струменя:

для повітря

$$\frac{d}{dz} \rho_1 \varphi_0 \vartheta_1 S_c = -\chi \varphi_{\max} S_k, \quad (2.60)$$

для рідини

$$\rho_2 \frac{d}{dz} (1 - \varphi_0) \vartheta_2 S_c = \chi (1 - \varphi_{\max}) S_k. \quad (2.61)$$

де $\chi = \frac{dm_1}{dt \cdot dV}$ – швидкість конденсації, тобто маса повітря, що сконденсувалась за одиницю часу в одиниці об'єму;

$$\chi = 2\alpha'' (T_n - T_2) \frac{\sqrt{1 - \varphi_{\max}}}{\lambda R(z)} \text{ – тут припускається, що повітряна фаза має}$$

температуру, яка рівна температурі насичення T_n при $p = const$;

α'' – коефіцієнт теплопередачі при конденсації;

φ_{\max} – максимальне значення паромісткості при виході із основної ділянки камери змішування;

φ_0 – значення паромісткості при виході із сопла при переході в основну ділянку камери змішування;

S_k – площа перетину камери змішування;

S_c – площі вхідних сопел.

На даний час немає достатньо надійних експериментальних залежностей для коефіцієнта тепловіддачі при конденсації при супутньому обтіканні насиченим повітряним паром рідинного струменя, найбільш прийнятими, ймовірно, є розрахункові залежності Хассона, Люсса і Пекка. Зокрема цими авторами для початкової ділянки струменя (для великих значень відношення d/z) запропонована залежність:

$$\alpha'' = Nu_z = \sqrt{\frac{Gz}{\pi}}, \quad (2.62)$$

де Gz – число Греца;

$$Gz = Re_d \cdot Pr \cdot \frac{d}{z}, \quad (2.63)$$

де d – діаметр струменя, $Re = (\vartheta_2 - \vartheta_1) d \rho_1 / \mu_1$;

$$\text{Pr} = \frac{c_p \mu_1}{\lambda_1} - \text{число Прандтля};$$

λ – коефіцієнт теплопровідності;

μ – коефіцієнт в'язкості;

c_p – теплоємність при сталому тиску.

Зміна кількості руху:

для повітряної фази

$$\rho_1 \varphi_0 \vartheta_1 \frac{d\vartheta_1}{dz} = -F - \varphi_{\max} \frac{dp}{dz} \quad (2.64)$$

для рідинної фази

$$\rho_2 (1 - \varphi_0) \vartheta_2 \frac{d\vartheta_2}{dz} + \chi (\vartheta_2 - \vartheta_1) = F - (1 - \varphi_{\max}) \frac{dp}{dz}. \quad (2.65)$$

де F – сила тертя на поверхні розділу фаз відносно одиниці об'єму двохфазної системи:

$$F = \frac{C_f \rho_1 (\vartheta_2 - \vartheta_1)^2 \sqrt{(1 - \varphi_{\max})}}{R(z)}, \quad (2.66)$$

$R(z)$ - радіус камери змішування;

C_f - коефіцієнт опору на границі розділу фаз.

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

$$C_f = 1,328 \frac{1}{\sqrt{\text{Re}_z}}, \quad (2.67)$$

$$\text{Re}_z = \frac{\rho_1 (\vartheta_2 - \vartheta_1) z}{\mu_1}, \quad (2.68)$$

де μ_1 – динамічна в'язкість повітря.

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

$$C_f = 0,0576 \frac{1}{\sqrt[5]{Re_z}}. \quad (2.69)$$

Рівняння збереження енергії для теплоізолюваної камери без врахування тертя на стінках:

для повітряної фази

$$\rho_1 \varphi_0 \mathcal{G}_1 \frac{di_{01}}{dz} - \chi T_n s''(p) = \mathcal{G}_1 \varphi_{\max} \frac{dp}{dz} - F \mathcal{G}_2 - q_1; \quad (2.70)$$

для рідинної фази

$$\rho_2 (1 - \varphi_0) \mathcal{G}_2 \frac{di_{02}}{dz} + \chi [i_{02} - i_{01} - T_n s'(p)] = \mathcal{G}_2 (1 - \varphi_{\max}) \frac{dp}{dz} + F \mathcal{G}_2 - \chi \lambda_1; \quad (2.71)$$

де q_1 – кількість тепла, що передається шляхом конвекції від повітря до рідини, по відношенню до одиниці об'єму;

i_{01} – ентальпія повного гальмування повітряної фази;

$$i_{01} = i_1 + \frac{g_1^2}{2}, \quad (2.72)$$

де i_{02} – ентальпія повного гальмування для рідини;

$$i_{02} = i_2 + \frac{g_2^2}{2}, \quad (2.73)$$

де T_n – температура насичення при даному тиску (залежить від z);

s'' , s' – ентропії насиченого повітря і рідини при даному тиску.

На початковій і основній ділянці камери q_1 може бути наближено визначено з врахуванням вимушеної конвекції на поздовжньо обтічному недеформованому циліндрі за формулою:

$$q_1 = \frac{\alpha'(T_n - T_2)\sqrt{(1 - \varphi_{\max})}}{R(z)}. \quad (2.74)$$

Тут припускається, що повітряна фаза має температуру, яка дорівнює температурі насичення при $p = const$, а температура рідини постійна в перетині А-А (рис. 2.18). В дійсності температура внутрішніх шарів рідини є нижчою, а на поверхні прямує до температури насичення, так, що конвективне перенесення тепла від повітря до рідини, яка блокується нагрітим поверхневим шаром на поверхні струменя, стане суттєво нижчою.

Конвективний коефіцієнт теплопередачі визначається на основі експериментальних залежностей для пластини при її поздовжньому обтіканні турбулентним потоком. Для чисел $Re \geq 5 \cdot 10^5$ місцеве значення числа Nu_z для вимушеної конвекції знаходиться як

$$\alpha' = Nu_z = 0,037 Re_z^{0,8} \cdot Pr^{0,33}. \quad (2.75)$$

Параметри повітряного потоку для чисельного розрахунку беруться із таблиць термодинамічних властивостей для стану насичення тобто $i_1 = i''$; $s_1 = s''$; $\rho_1 = \rho''$.

Система диференціальних рівнянь (2.60), (2.61), (2.64), (2.65), (2.70), (2.71) описує течію на початковій і основній ділянці камери змішування. Граничними умовами для системи є параметри повітря і рідини в перерізах рідинного і повітряного входів: $\rho_{01}, T_{01}, \rho_{02}, T_{02}$.

Об'ємна паромісткість φ_0 визначається як площа перетину камери змішування, що займає повітряна пара в перетині сопел при $z = 0$; профіль каналу задається аналітично у вигляді функції від z . Для конусної камери:

$$S(z) = \pi(R_{zp} - z \cdot \operatorname{tg}\beta)^2, \quad (2.76)$$

де β – кут напіврозкриття камери змішування;

R_{zp} – радіус зрізу.

Після подрібнення струменя рідини за перетином основної камери утворюється бульбашковий або пінний потік. Вхідними даними для аналізу цього потоку є величини, що отримані в результаті чисельного розрахунку системи рівнянь (2.76).

Припускається, що зміна структурного потоку не супроводжується інтенсивною конденсацією, тобто об'ємна паромісткість змінюється головним чином через зміну швидкості при переході через площину основної камери.

Для знаходження швидкості гомогенного потоку в площині основної камери використовують рівняння збереження імпульсу:

$$\mathcal{G}'' = x\mathcal{G}'_1 + (1-x)\mathcal{G}'_2, \quad (2.77)$$

де $\mathcal{G}'_1, \mathcal{G}'_2$ – швидкості повітряної і рідинної фаз в площині до розпаду струменя рідини.

Густина і ступінь сухості двохфазного потоку визначаються із рівнянь нерозривності:

$$\rho_{пер} = \frac{(m_1 + m_2)}{\mathcal{G}''_{пер} S_{пер}}; \quad x_{пер} = \frac{m_1}{(m_1 + m_2)}. \quad (2.78)$$

Початкова паромісткість φ_0 за перетином визначається для $\frac{\rho_1}{\rho_2} \leq 1$, як

$$\rho_{пер} = (1 - \varphi)\rho_2. \quad (2.79)$$

Ці рівняння дозволяють встановити швидкість, ступінь сухості і паромісткість на вході в гомогенну ділянку за площиною основної камери. Рівняння збереження маси, імпульсу і енергії для бульбашкового гомогенного потоку мають наступний вигляд.

Рівняння збереження маси:

$$\frac{d\vartheta}{\vartheta} + \frac{dS}{S} + \frac{d\rho}{\rho} = 0. \quad (2.80)$$

Диференціюючи рівняння (2.79)

$$\frac{d\rho}{\rho} = -\frac{d\varphi}{(1-\varphi)}. \quad (2.81)$$

і підставляючи дане рівняння в рівняння (2.80), отримаємо:

$$\frac{d\vartheta}{\vartheta} = \frac{d\varphi}{(1-\varphi)} - \frac{dS}{S}. \quad (2.82)$$

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

$$dp = -\frac{(m_1 + m_2)}{S} d\vartheta - \tau_w \frac{D}{S} dz, \quad (2.83)$$

де D – периметр каналу;

τ_w – дотичне напруження на стінках.

Використовуючи рівняння (2.79) і (2.81) знаходимо:

$$\frac{dp}{dz} = -\frac{(m_1 + m_2)^2}{S^2(1-\varphi)\rho_2} \left\{ -\frac{1}{S} \frac{dS}{dz} + \frac{1}{1-\varphi} \frac{d\varphi}{dz} \right\} - \tau_w \frac{D}{S}. \quad (2.84)$$

Для конусної камери змішування маємо систему:

$$\begin{cases} \frac{1}{S} \cdot \frac{dS}{dz} = -\frac{\operatorname{tg}\beta}{2(R_{cp} - z \cdot \operatorname{tg}\beta)}; \\ \frac{dp}{dz} = -\frac{(m_1 + m_2)^2}{S^2(1-\varphi)\rho_2} \left\{ -\frac{\operatorname{tg}\beta}{2(R_{cp} - z \cdot \operatorname{tg}\beta)} + \frac{1}{1-\varphi} \cdot \frac{d\varphi}{dz} \right\} - \tau_w \frac{D}{S} \end{cases} \quad (2.85)$$

Додаткові рівняння зв'язку між p, x і φ знаходимо із співвідношення для густини речовини, а саме:

$$\rho x = \rho_1 \varphi \quad \text{і} \quad \rho(1-x) = \rho_2(1-\varphi). \quad (2.86)$$

Розділивши перше рівняння на друге, отримаємо:

$$\frac{x}{1-x} = \frac{\varphi}{1-\varphi} \cdot \frac{\rho_1}{\rho_2}. \quad (2.87)$$

Диференціюючи (2.87) отримаємо:

$$\frac{dx}{x(1-x)} = \frac{d\varphi}{(1-\varphi)\varphi} + \frac{d\rho_1}{\rho_1}. \quad (2.88)$$

Використовуючи для парової фази рівняння політропи в диференційній формі:

$$\frac{dp}{np} = \frac{d\rho_1}{\rho_1}, \quad (2.89)$$

і, підставляючи його в рівняння (2.88), отримаємо рівняння, що пов'язує тиск, ступінь сухості і паромісткість в такому вигляді:

$$\frac{dx}{x(1-x)} = \frac{d\varphi}{(1-\varphi)\varphi} + \frac{dp}{np}. \quad (2.90)$$

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

$$\lambda dm_1 = -\alpha(T_1 - T_2)S, \quad (2.91)$$

або

$$\lambda dx = -\frac{\alpha(T_1 - T_2)S}{m_1 + m_2}, \quad (2.92)$$

де α – коефіцієнт тепловіддачі при конденсації;

$\frac{S}{m_1 + m_2}$ – поверхня бульбашок в даному перетині відносно масової

витрати двохфазного середовища.

Виразимо поверхню $\frac{S}{m_1 + m_2}$ через число бульбашок, що знаходяться в

даний момент в перетині:

$$\frac{S}{m_1 + m_2} = \frac{N\pi d^2}{m_1 + m_2} = \frac{6x}{\rho_1 d} \frac{dz}{g} = \frac{3x}{d/2} \frac{1}{\rho_1 g} dz, \quad (2.93)$$

або

$$\frac{dx}{x} = -\frac{3\alpha(T_1 - T_2)}{\lambda(d/2)\rho_1 g} dz. \quad (2.94)$$

Виражаючи густину повітря із рівняння політропи і підставляючи (2.94) в (2.90), отримаємо приблизно:

$$\frac{dp}{np} = -\frac{d\varphi}{(1-\varphi)\varphi} - \frac{3\alpha(T_1 - T_2)}{\lambda(d/2)\rho_{1nep} \left(\frac{p}{p_{nep}}\right)^{1/n} g} dz. \quad (2.95)$$

Рівняння (2.85) та (2.95) виражають залежність тиску від об'ємної паромісткості і прохідного каналу. Комбінуючи ці рівняння будемо мати:

$$\frac{dp}{dz} = -\frac{(m_1 + m_2)^2 \left[\frac{1}{S} \frac{dS}{dz} + L_Q - \tau_w \frac{D}{S} \right]}{1 - \frac{(m_1 + m_2)^2 \varphi}{S^2 (1-\varphi)\rho_2 np}} \quad (2.96)$$

де L_Q – тепловий множник, який визначається із залежності:

$$L_Q = \frac{3\alpha(T_1 - T_2)}{\lambda(d/2)\rho_{1nep} \left(\frac{p}{p_{nep}}\right)^{1/n} g}. \quad (2.97)$$

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

$$a = \left[\frac{np}{\varphi(1-\varphi)\rho_2} \right]^{1/2} \quad (2.98)$$

Тоді останнє рівняння впливу на тиск матиме вигляд:

$$\frac{dp}{dz} = - \frac{g^2 \rho \left[\frac{1}{S} \cdot \frac{dS}{dz} + L_Q - \tau_w \frac{D}{S} \right]}{1 - M^2}, \quad (2.99)$$

де M – число Маха, яке підраховане за швидкістю звуку для двохкомпонентного середовища.

Аналіз рівняння (2.99) показує, що при надзвуковому потоці і звужуючій частині камери змішування потік гальмується і статичний тиск зростає. Місцеве збільшення тиску тим більше, чим менше конденсаційний елемент L_Q . Диференціюючи дане рівняння за допомогою програми “Maple 9,5” отримана така формула:

$$P_z = P_2 \cdot e^{\left(\frac{v^2 \cdot \rho \cdot (1 + L_Q \cdot S_1 - \tau \cdot D) \cdot z_1}{S_2 (M-1) \cdot (M+1)} \right)}. \quad (2.100)$$

Формула для визначення тиску отриманої піни із врахуванням втрат в камері змішування п'яти потоків на виході із піногенеруючого пристрою [114]:

$$P_z = P_2 \cdot e^{\left(\frac{v^2 \cdot \rho \cdot (1 + L_Q \cdot S_1 - \tau \cdot D) \cdot z_1}{S_2 (M-1) \cdot (M+1)} \right)} \cdot \frac{g(\varphi \cdot \rho_1 + \rho_2 - \varphi \cdot \rho_2) \cdot z_2}{2 + \lambda_1 \cdot D_1 \cdot \varphi \cdot \rho_1 \cdot v^2 + \lambda_1 \cdot D_1 \cdot \rho_2 \cdot v^2 - \lambda_1 \cdot D_1 \cdot \varphi \cdot \rho_2 \cdot v^2}, \quad (2.101)$$

де λ_1 – коефіцієнт гідравлічного тертя;

ρ_1 і ρ_2 – густина повітря і рідини відповідно;

φ – об'ємна газомісткість двухфазного потоку;

D_1 – діаметр камери стабілізації піни;

v і ρ – швидкість і густина піни на виході відповідно;

S_1 і S_2 – площа поперечного перерізу каналу для подачі повітря і сопла для подачі рідини;

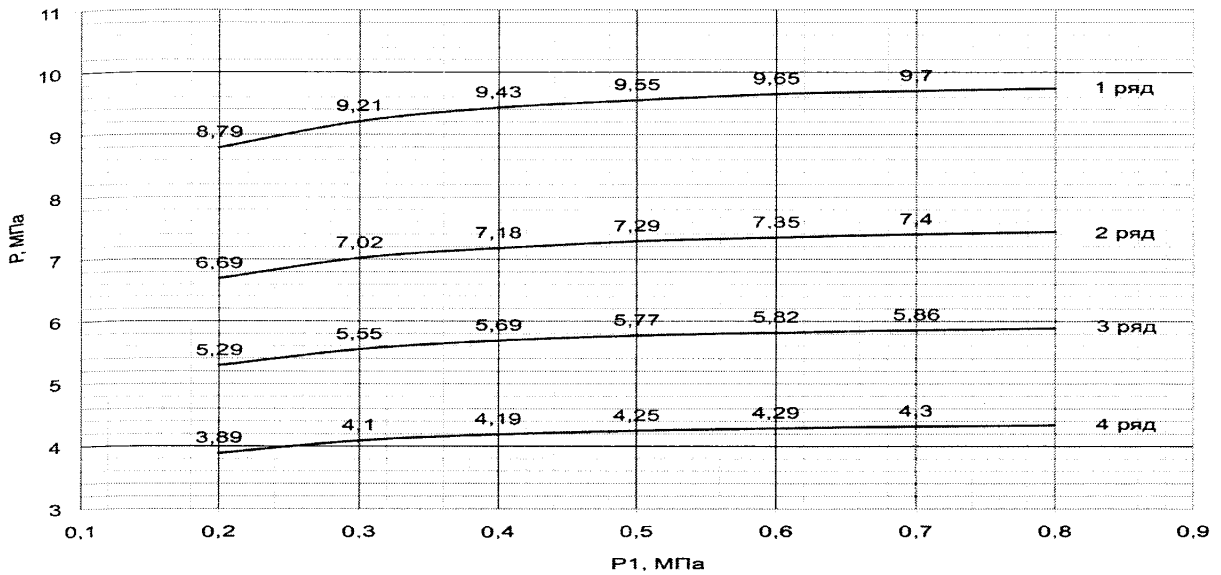
p_2 – тиск рідини на вході в піногенеруючий пристрій;

z_1 і z_2 – довжина камер утворення та стабілізації піни відповідно.

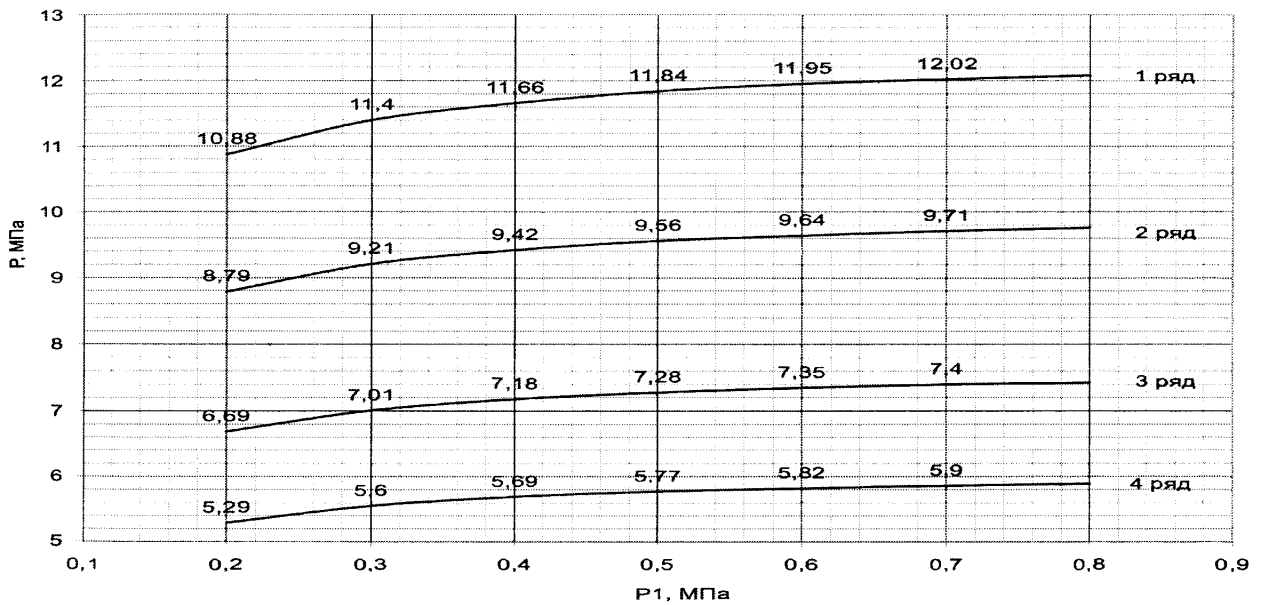
Для визначення прогнозованого значення тиску піни на виході із піногенеруючого пристрою використано програму “Maple 9,5”. Результати розрахунків для певної подачі рідини буровим насосом подані в таблиці 2.1 та рис. 2.19.

Таблиця 2.1 – Прогнозоване значення тиску піни на виході із піногенеруючого пристрою для певної подачі рідини буровим насосом

P_2 , МПа	$Q_2 \cdot 10^{-3}$ м ³ /с	Прогнозоване значення тиску піни на виході при тиску газу (повітря) P_1 , МПа						
		0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
16	6,49	10,88	11,4	11,66	11,84	11,95	12,02	12,08
13	8,8	8,79	9,21	9,43	9,55	9,65	9,7	9,74
13	8,25	8,79	9,21	9,42	9,56	9,64	9,71	9,76
10	11,20	6,69	7,02	7,18	7,29	7,35	7,4	7,44
10	10,15	6,69	7,01	7,18	7,28	7,35	7,4	7,43
8	13,75	5,29	5,55	5,69	5,77	5,82	5,86	5,89
8	13,37	5,29	5,6	5,69	5,77	5,82	5,9	5,89
6	18,15	3,89	4,1	4,19	4,25	4,29	4,3	4,34



а)



б)

Рисунок 2.19 – Прогнозоване значення тиску піни на виході із піногенеруючого пристрою для певної подачі рідини насосом:

- а) 1 – $Q_2 = 8,8 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$, $P_2 = 13 \text{ МПа}$; 2 – $Q_2 = 11,2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$, $P_2 = 10 \text{ МПа}$;
 3 – $Q_2 = 13,75 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$, $P_2 = 8 \text{ МПа}$; 4 – $Q_2 = 18,15 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$, $P_2 = 6 \text{ МПа}$;
 б) 1 – $Q_2 = 6,49 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$, $P_2 = 16 \text{ МПа}$; 2 – $Q_2 = 8,25 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$, $P_2 = 13 \text{ МПа}$;
 3 – $Q_2 = 10,15 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$, $P_2 = 6,69 \text{ МПа}$; 4 – $Q_2 = 13,37 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$, $P_2 = 8 \text{ МПа}$

Висновки до розділу

1 Механізм піноутворення та експлуатаційні характеристики, що розглядають потік рідини, яка поступає через сопло, і газу, який поступає з підвідної труби в піногенеруючий пристрій, показують, що за рахунок турбулентних поперечних пульсацій швидкості, які викликають розсіювання рідини в поперечному напрямку і аерації струмини повітрям, відбувається її розпад на повітряно-крапельну суміш, формування повітряно-крапельного однорідного потоку і рух його до стрибка ущільнення, який супроводжується перетворенням повітряно-крапельної суміші в емульсійну, при якій бульбашки повітря мають приблизно однаковий діаметр і розділені плівками рідини.

2 Стрибок ущільнення характеризується різким підвищенням тиску. Для отримання стрибка ущільнення необхідно, щоб швидкість повітряно-крапельного потоку перевищувала швидкість звуку в ньому. Враховуючи це, можна зробити припущення, що геометричні форми, розміри складових частин піногенеруючого пристрою, а також режими і параметри є визначальними в ефективності його роботи.

3 Теоретично встановлено, що при вмісті газу (повітря) 20% – 80% в рідині (воді) з поверхнево-активними речовинами, для створення дрібнодисперсної піни швидкість потоку суміші перед стрибком ущільнення повинна досягати 30 – 40 м/с, а при вмісті газу (повітря) 80% – 95% – 40 – 60 м/с. При збільшенні швидкості потоку рідини вище встановленої межі проходить падіння ефективності піноутворення, оскільки швидкість руху потоку перед стрибком ущільнення зростає і відповідно зростає число Маха.

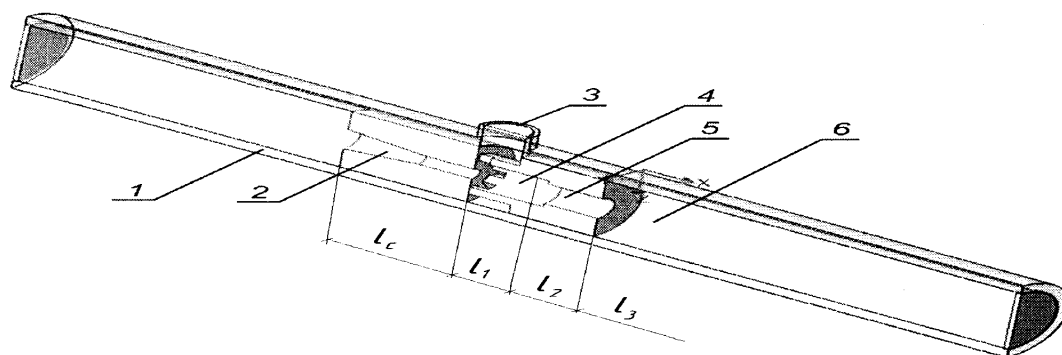
РОЗДІЛ 3

КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПІНОГЕНЕРУЮЧОГО ПРИСТРОЮ ЕЖЕКЦІЙНОГО ТИПУ

3.1 Вибір моделей та параметрів для дослідження піногенеруючого пристрою

Для продовження теоретичних досліджень процесу піноутворення вирішено провести комп'ютерні дослідження, так як з їх використанням можна дослідити процеси, які проходять під час руху потоків рідини, газу та газорідинної суміші вздовж піногенеруючого пристрою порівняно із експериментальними дослідженнями. Для досліджень підібрана комп'ютерна прикладна програма FlowSimulation, що є прикладним модулем SolidWorks, яка дає можливість проводити зміну вхідних параметрів рідини і повітря в широкому діапазоні та дає об'єктивну інформацію про необхідний параметр в будь-якій точці піногенеруючого пристрою. В даній програмі для чисельного вирішення задач використовується метод кінцевих об'ємів та нестационарних рівнянь Нав'є-Стокса і теплопередачі. Дискретизація рівнянь здійснюється в консервативній формі, часткові похідні апроксимуються із другим порядком точності, похідні по часу по неявній схемі Ейлера першого порядку. Отримані співпадання розрахункових і експериментальних даних, що вказують на можливість використання запропонованої програми для аналізу складних потоків [118].

Для зручності дослідження процесу піногенерування та відпрацювання всіх основних параметрів піногенеруючого пристрою при теоретичних та комп'ютерних дослідженнях вибрано односопловий пристрій ежекційного типу [22], за допомогою якого можна отримувати дрібнодисперсну піну необхідної консистенції. Тривимірною моделлю [119] односоплового піногенеруючого пристрою наведена на рис. 3.1.



1 – корпус; 2 – сопло; 3 – патрубок підводу повітря; 4 – камера ежекції;
5 – камера змішування; 6 – дифузор

Рисунок 3.1 – Тривимірна модель односоплового піногенеруючого пристрою

Для перевірки роботи програми для дослідження піногенеруючого пристрою першопочатковими граничними умовами є: подача рідини (води) на вході – $0,005 \text{ м}^3/\text{с}$; тиск повітря на вході в підвідному патрубку – $0,101 \text{ МПа}$; тиск на виході з пристрою – $0,101 \text{ МПа}$.

В результаті проведеного моделювання отримано:

- розподіл тиску в пристрої;
- розподіл швидкості;
- розподіл температури;
- траєкторія руху рідини, повітря та їх суміші.

Як видно з рис. 3.2, розподіл швидкості відбувається наступним чином: мінімальна швидкість спостерігається в найбільшій площині поперечного перерізу, а саме в корпусі пристрою перед соплом 2 і становить $1,583 \text{ м/с}$. Максимальна швидкість спостерігається в соплі (найменшій площі поперечного перерізу) і становить 280 м/с .

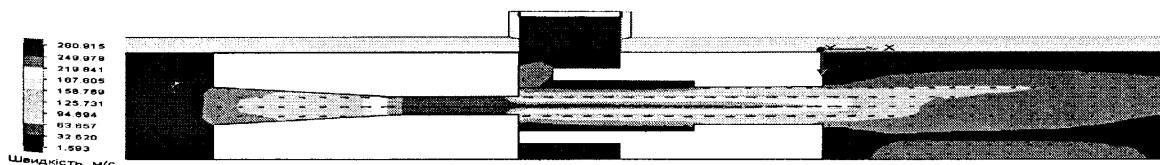


Рисунок 3.2 – Розподіл швидкості в поздовжньому перерізі пристрою

Щодо розподілу тиску в пристрої (рис. 3.3), то найбільше значення тиску є перед насадкою (0,178 МПа), а мінімальне – в патрубку підводу повітря (0,0944 МПа).

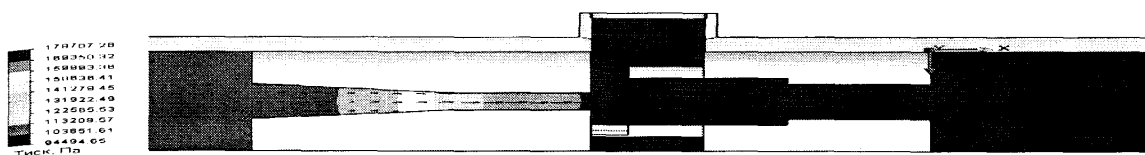


Рисунок 3.3 – Розподіл тиску в поздовжньому перерізі пристрою

Отже, при заданих граничних умовах, відповідно до отриманих результатів, робимо висновок, що відбувається самовсмоктування повітря через патрубок підводу і відповідно, програма FlowSimulation придатна до таких розрахунків.

На рис. 3.4 зображено траєкторії руху потоків рідини, повітря та їх суміші. Звідси аналогічно можна також зробити висновок, що при певних умовах відбувається самовсмоктування повітря через підвідний патрубок.

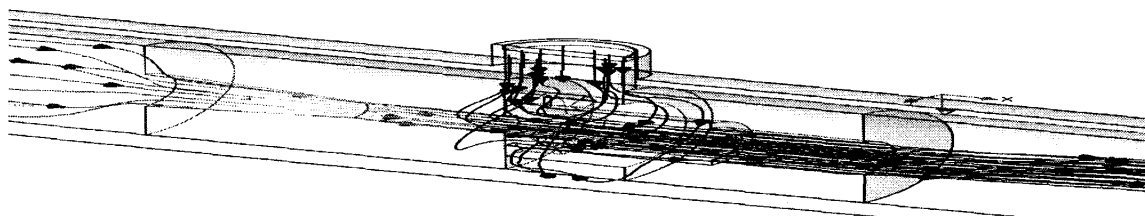
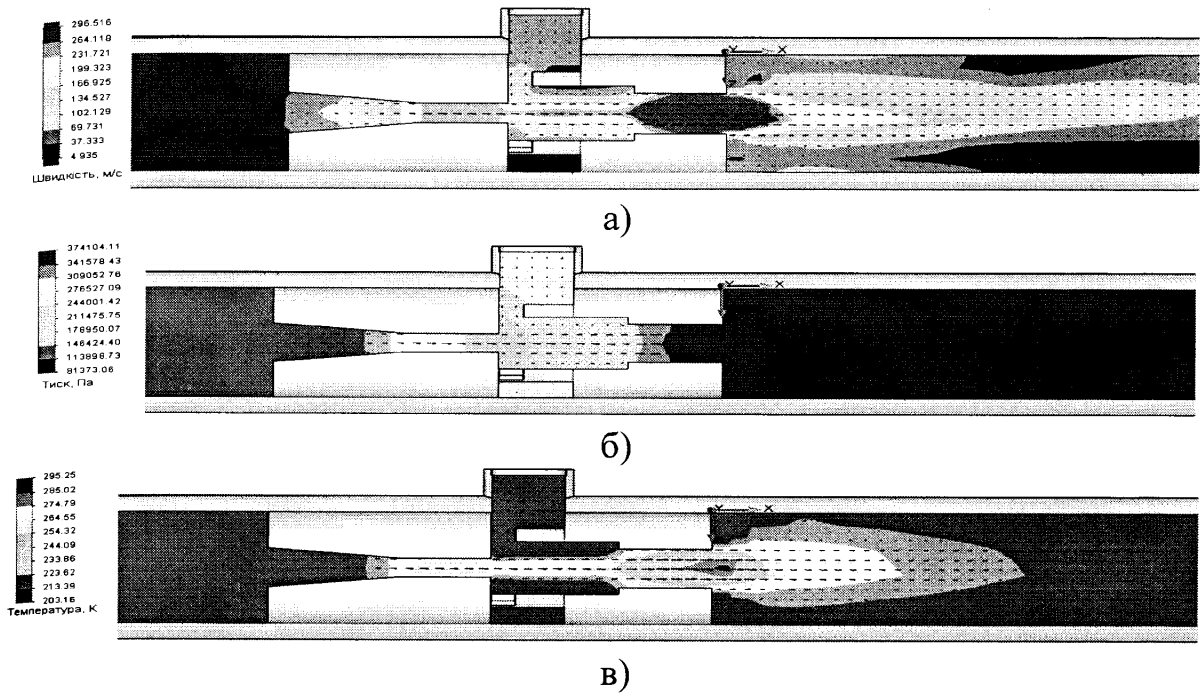


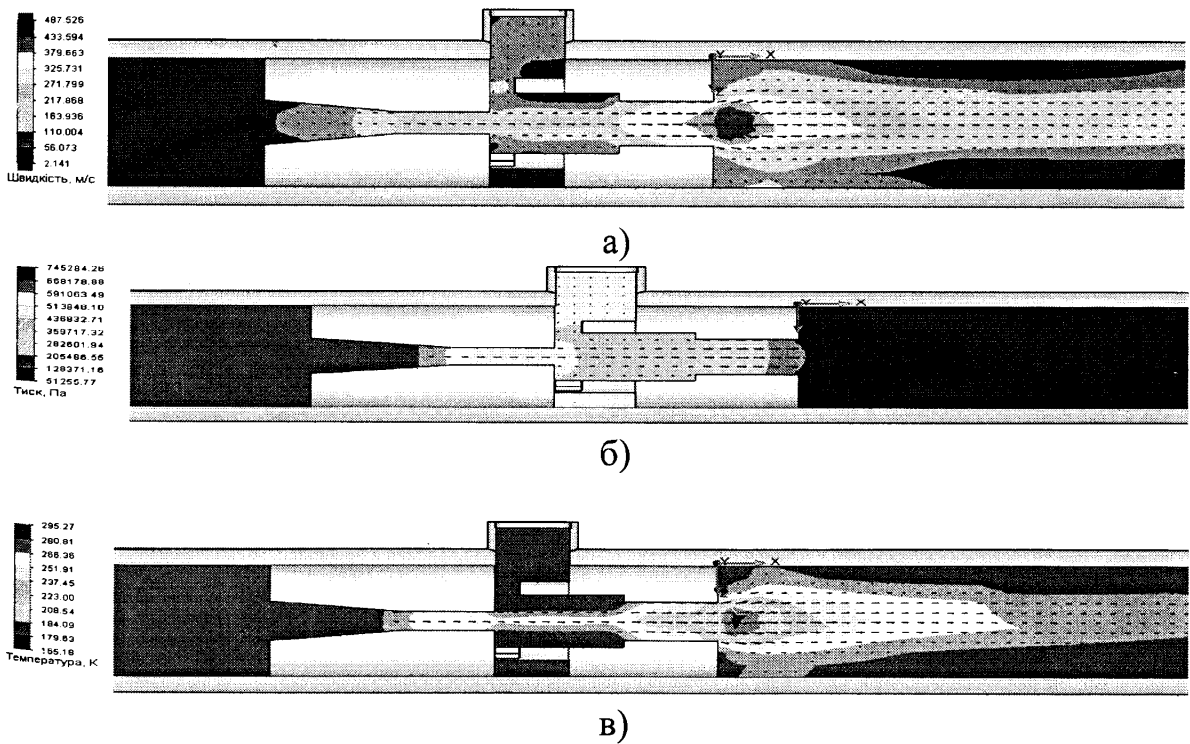
Рисунок 3.4 – Траєкторія руху потоків рідини, повітря та їх суміші

Дослідження пристрою при граничних умовах відмінних від вищенаведених, а саме при зміненому тиску на вході в патрубок підведення повітря, подані на рис. 3.5 ... 3.6. На рисунках 3.5а і 3.6а візуально можна спостерігати за розподілом швидкості потоку рідини, повітря і суміші по всіх складових частинах піногенеруючого пристрою від впливу зміни тиску (подачі) повітря. Основними зонами піноутворення є камера змішування та дифузор. Аналогічно на рис. 3.5б і 3.6б можна аналізувати розподіл тиску по всій робочій порожнині ежектора. А також на рис. 3.5в і 3.6в можна спостерігати за розподілом температури, а температура має вагомий вплив на піноутворення.



а – розподіл швидкості; б – розподіл тиску; в – розподіл температури

Рисунок 3.5 – Розподіл досліджуваних параметрів в поздовжньому перерізі пристрою при тиску в патрубку підведення повітря 0,25 МПа

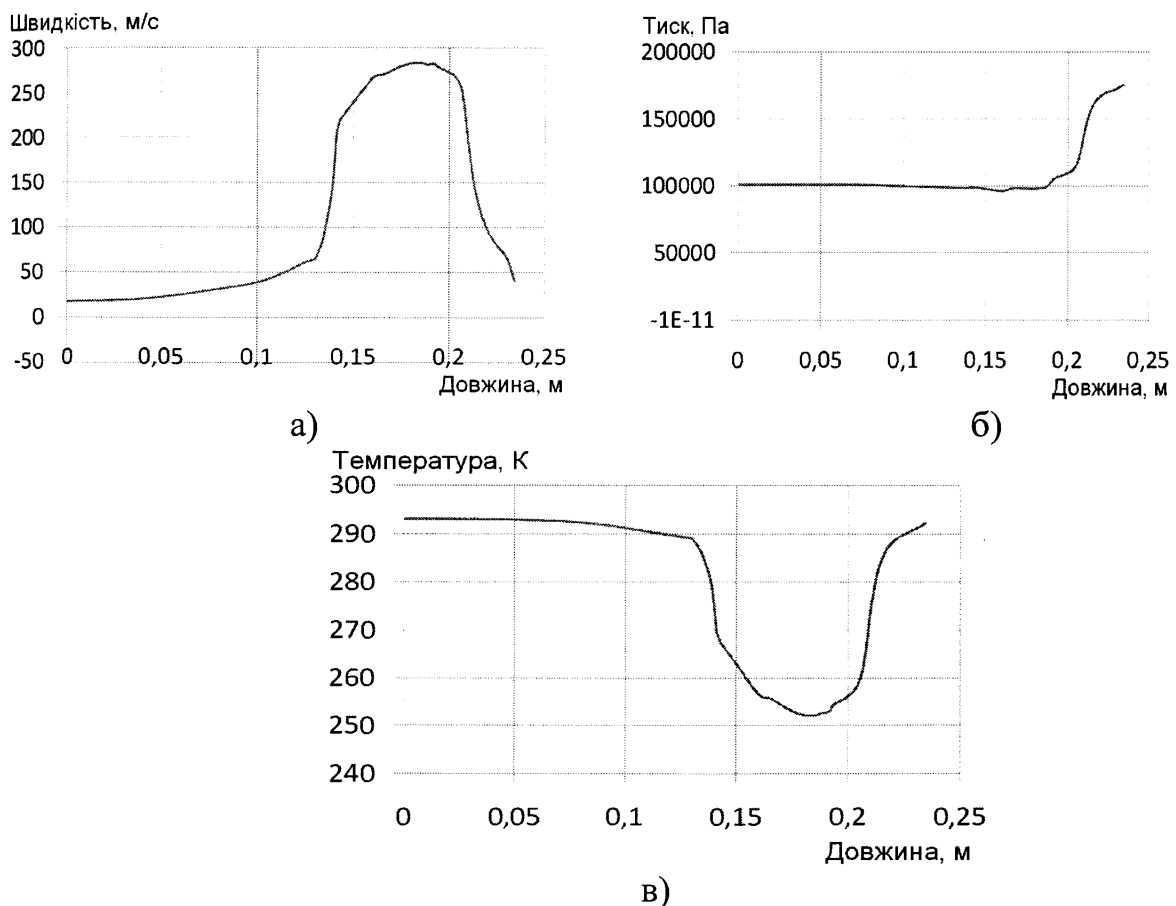


а – розподіл швидкості; б – розподіл тиску; в – розподіл температури

Рисунок 3.6 – Розподіл досліджуваних параметрів в поздовжньому перерізі пристрою при тиску в патрубку підведення повітря 0,5 МПа

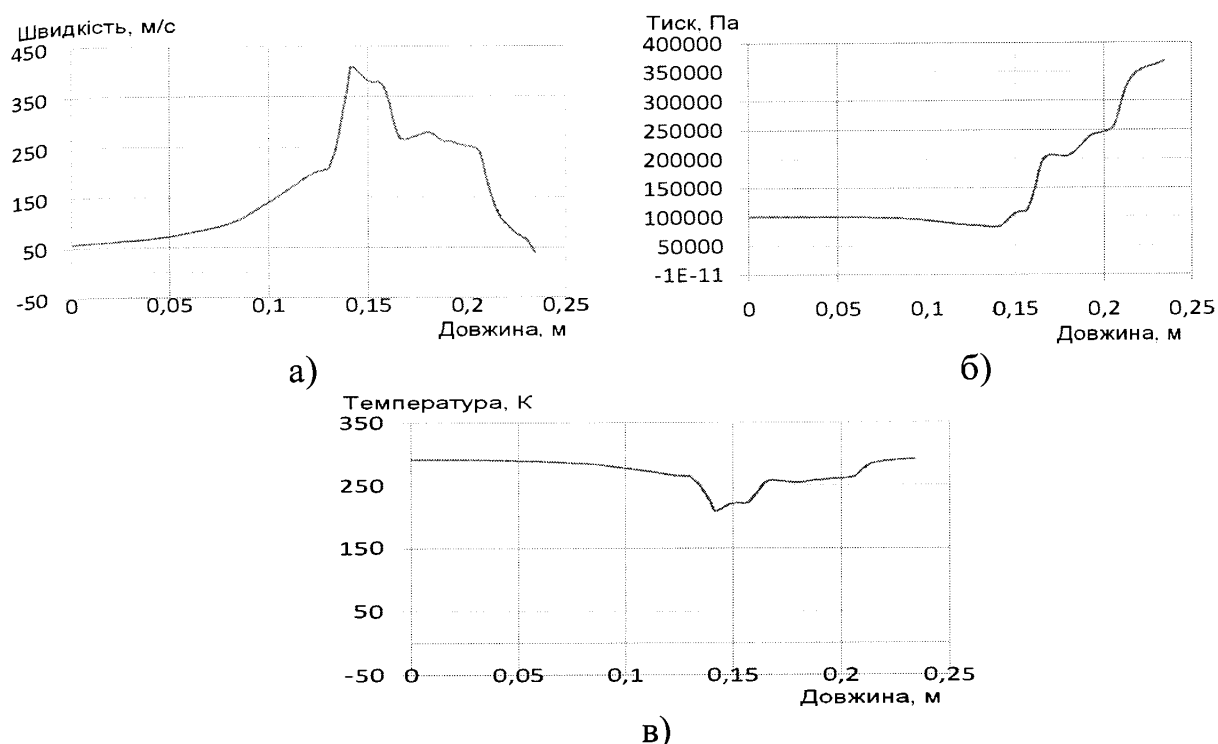
Дана програма дозволяє оперативно досліджувати вплив зміни форми та геометричних розмірів пристрою на розподіл швидкості тиску, температури та траєкторій руху потоків.

Для зручності проведення аналізу та можливості вибору оптимальних параметрів на рис. 3.7 ... 3.9 зображені графічні залежності зміни швидкості, тиску і температури вздовж осі пристрою від сопла до дифузора, розглянувши і проаналізувавши які при різних тисках підведення повітря, встановлено, що зміна швидкості (рис. 3.8а та рис. 3.9а), тиску (рис. 3.8б та рис. 3.9б) та температури (рис. 3.8в та рис. 3.9в) проходять подібно, але значно відрізняються від залежностей, наведених на рис 3.7 а,б,в. Ці графічні залежності встановлюють взаємозв'язок між досліджуваними параметрами.



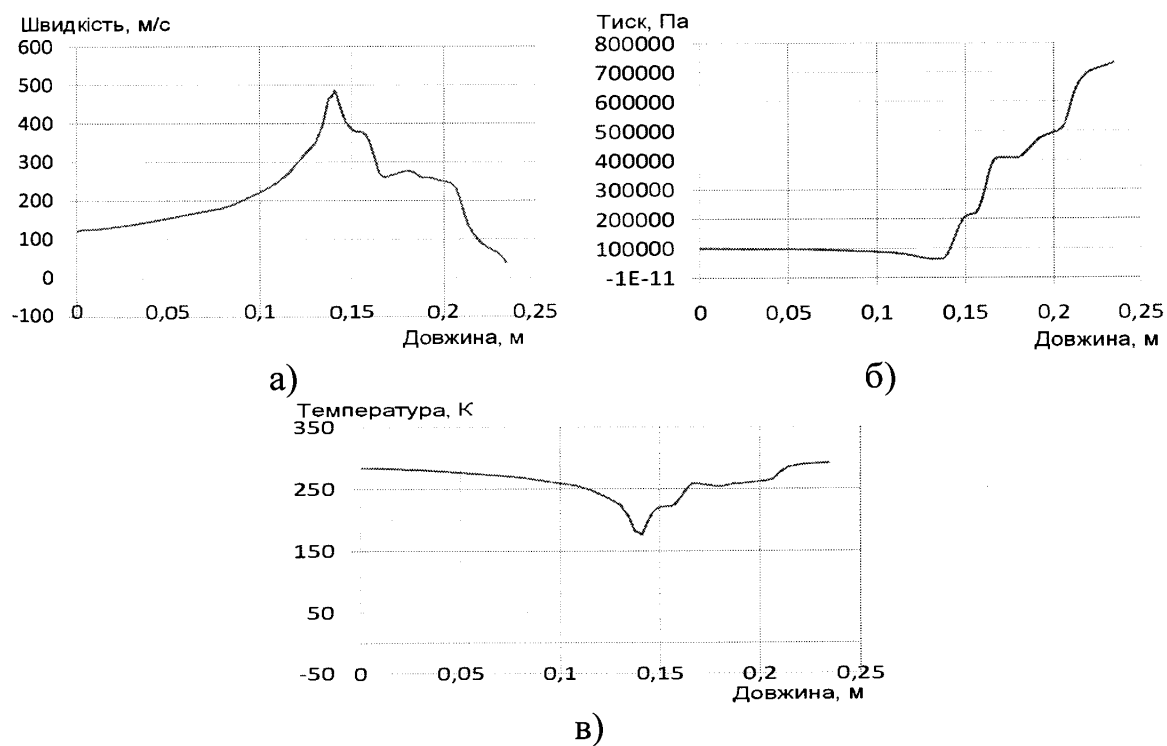
а – розподіл швидкості; б – розподіл тиску; в – розподіл температури

Рисунок 3.7 – Графічні залежності при тиску в патрубку підведення повітря
0,101 МПа



а – розподіл швидкості; б – розподіл тиску; в – розподіл температури

Рисунок 3.8 – Графічні залежності при тиску в патрубку підведення повітря
0,25 МПа



а – розподіл швидкості; б – розподіл тиску; в – розподіл температури

Рисунок 3.9 – Графічні залежності при тиску в патрубку підведення повітря
0,5 МПа

Програма FlowSimulation дає можливість також визначати в будь-якій точці піногенеруючого пристрою необхідний параметр. Дана програма дозволяє провести аналіз і дослідження конфігурації, геометричних параметрів та режимів роботи піногенеруючого пристрою, а також визначати та вибирати їх раціональні значення для заданих умов. На рис. 3.10 наведено приклад визначення тиску в різних точках піногенеруючого пристрою з більш обтічними його основними елементами.

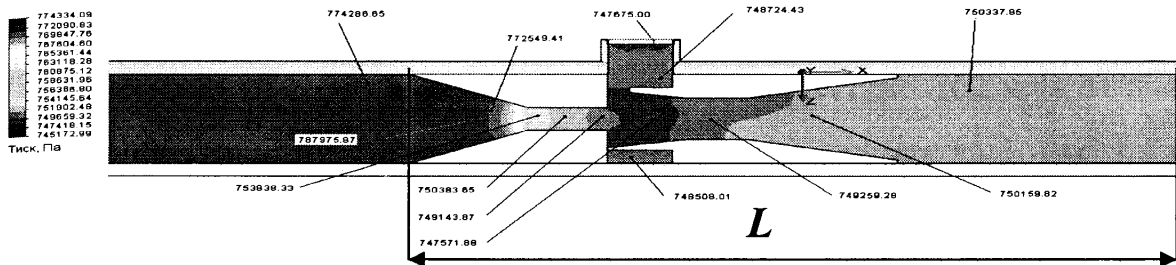


Рисунок 3.10 – Приклад визначення тиску в різних точках піногенеруючого пристрою з більш обтічними основними елементами

3.2 Дослідження односоплового ежекційного піногенеруючого пристрою

При дослідженнях односоплового піногенеруючого пристрою використовувались різні варіанти його геометричних параметрів для різних режимів роботи [120]. Пристрій досліджувався при зміні діаметра сопла, зміні довжини його циліндричної частини, при використанні приймальної частини камери змішування циліндричної або конічної форми, при подовженні її за допомогою додаткових втулок, при зміні відстані між соплом та камерою змішування. Підібрано найбільш характерні для конкретного дослідження граничні умови роботи піногенеруючого пристрою.

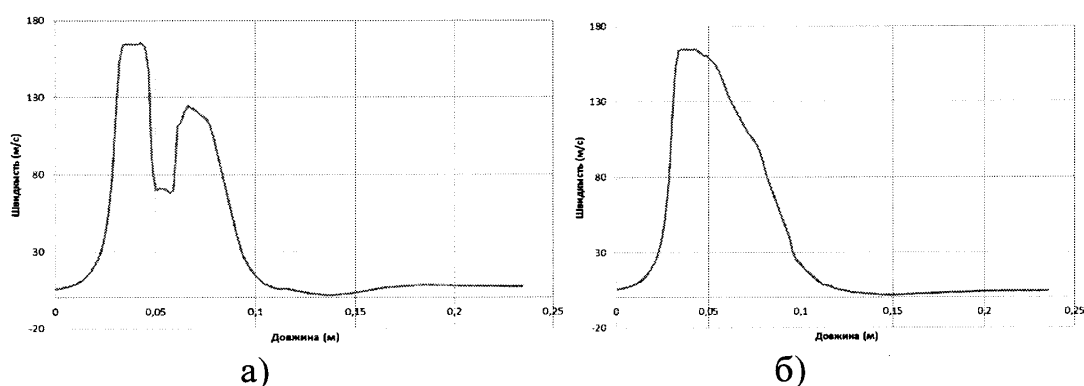
Подальші комп'ютерні дослідження односоплового піногенеруючого пристрою проводяться на ділянці L , показаній на рис. 3.10.

Дослідження приймальної частини камери змішування для порівняння циліндричної і конічної 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, тиску і температури в поздовжньому перерізі пристрою із циліндричною та конічною приймальною частиною камери змішування показаний на рис. 1...3 (додаток А).

Розглянувши і проаналізувавши графічні залежності розподілу швидкості в поздовжньому перерізі пристрою (рис. 3.11) встановлено, що максимальна швидкість рідини в соплі у пристрої із конічною приймальною змішувальною камерою є дещо меншою (від 165 м/с до 162 м/с). В даному пристрої також менша швидкість піни на виході ($4,6 \text{ м/с}$ та $7,2 \text{ м/с}$), більш полого крива швидкості в камері змішування (порівняно із стрибкоподібною зміною швидкості у пристрої із приймальною циліндричною частиною камери змішування).

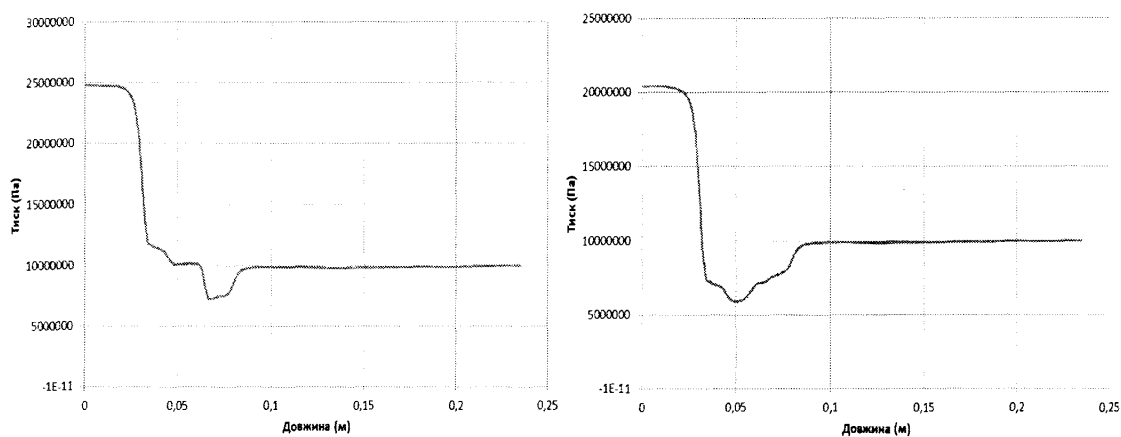


а – камера змішування із циліндричною приймальною частиною;

б – камера змішування із конічною приймальною частиною

Рисунок 3.11 – Графічні залежності розподілу швидкості в поздовжньому перерізі пристрою

При аналізі графічних залежностей розподілу тиску в поздовжньому перерізі пристрою (рис. 3.12) встановлено, що у випадку використання у піногенеруючому пристрої конічної приймальної частини камери змішування необхідний тиск рідини на вході для забезпечення заданих граничних умов знижується з $24,8 \text{ МПа}$ до $20,4 \text{ МПа}$, при цьому також зменшується мінімальний тиск в камері змішування – з $7,2 \text{ МПа}$ до $5,9 \text{ МПа}$.



а)

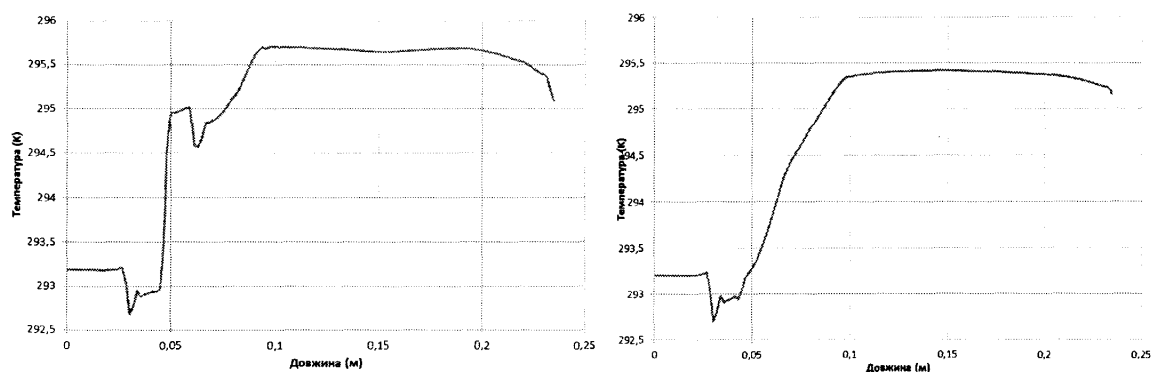
б)

а – камера змішування із циліндричною приймальною частиною;

б – камера змішування із конічною приймальною частиною

Рисунок 3.12 – Графічні залежності розподілу тиску в поздовжньому перерізі пристрою

Аналізуючи графічні залежності розподілу температури в оздовжньому перерізі пристрою (рис. 3.13) встановлено, що у пристрої із иліндричною приймальною частиною камери змішування температура грибокподібно зростає і спадає у вхідній частині камери, потім зростає до емператури, яка є вищою температури у пристрої з конічною приймальною астиною камери змішування.



а)

б)

а – камера змішування із циліндричною приймальною частиною;

б – камера змішування із конічною приймальною частиною

Рисунок 3.13 – Графічні залежності розподілу температури в поздовжньому перерізі пристрою

На рис. 3.14 зображено траєкторії руху потоків рідини і повітря у конічній частині камери змішування піногенеруючого пристрою.

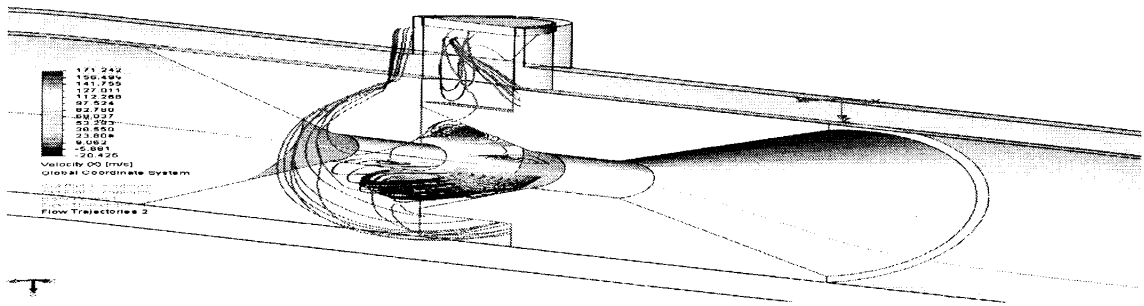


Рисунок 3.14 – Траєкторія руху потоків рідини і повітря у камері змішування

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 прийнятною частиною.

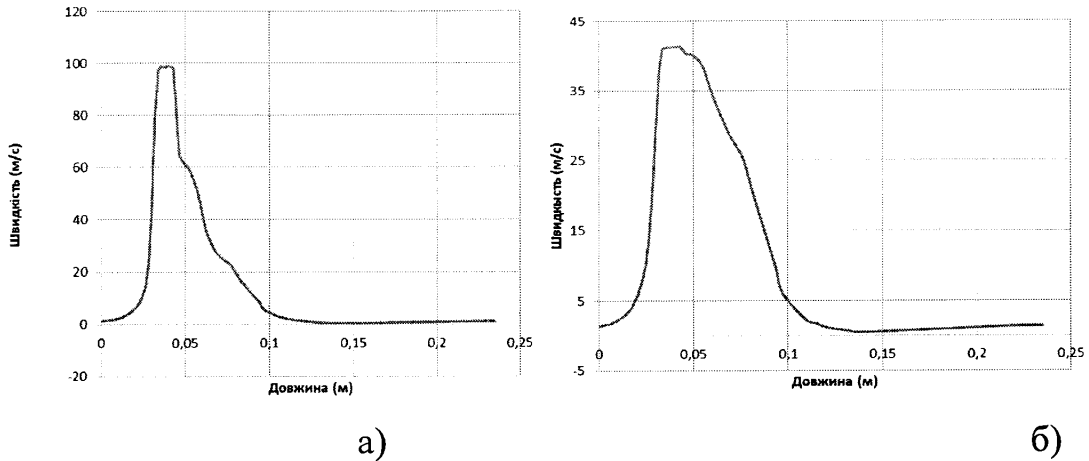
Дослідження піногенеруючого пристрою із різними діаметрами циліндричної частини сопла проводились за таких граничних умов: подача рідини (води) на вході – $0,001 \text{ м}^3/\text{с}$; тиск повітря на вході в підвідному патрубку – $0,75 \text{ МПа}$; тиск на виході з пристрою – $0,75 \text{ МПа}$.

Розподіл швидкості, тиску і температури в поздовжньому перерізі пристрою із соплами діаметром 4 і 6 мм зображений на рис. 4...6 (додаток А).

Розглянувши і проаналізувавши графічні залежності розподілу швидкості в поздовжньому перерізі пристрою (рис. 3.15) встановлено, що найбільша швидкість – у перерізі сопла: зменшується від $98,7 \text{ м/с}$ до $41,4 \text{ м/с}$, але при цьому швидкість на виході із піногенеруючого пристрою зростає від $1,26 \text{ м/с}$ до $1,41 \text{ м/с}$, що приводить до збільшення продуктивності пристрою.

При аналізі графічних залежностей розподілу тиску в поздовжньому перерізі пристрою (рис. 3.16) 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 $1,4 \text{ МПа}$ за діаметра сопла

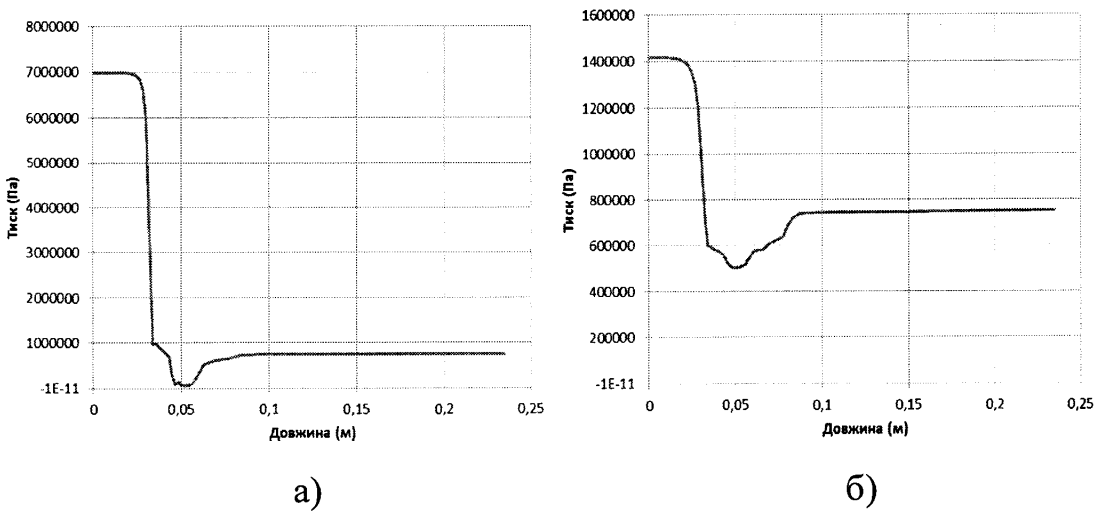
6 мм. При цьому найменший тиск в камері змішування зростає із збільшенням діаметра сопла (відповідно 0,06 МПа і 0,5 МПа), що вказує на можливість зменшення тиску повітря на вході у піногенеруючий пристрій із зменшенням діаметра сопла.



а – за діаметра циліндричної частини сопла 4 мм;

б – за діаметра циліндричної частини сопла 6 мм

Рисунок 3.15 – Графічні залежності розподілу швидкості в поздовжньому перерізі пристрою



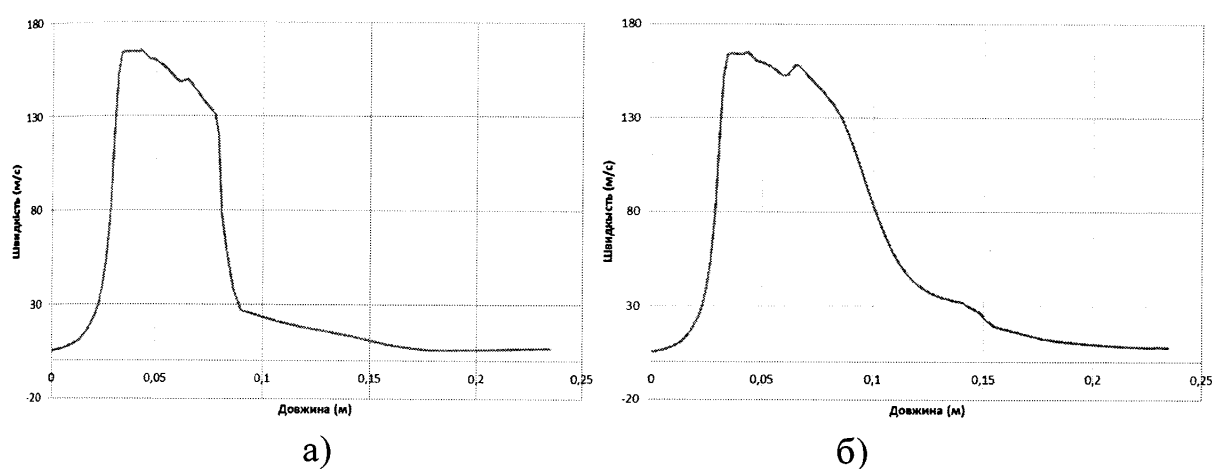
а – за діаметра циліндричної частини сопла 4 мм;

б – за діаметра циліндричної частини сопла 6 мм

Рисунок 3.16 – Графічні залежності розподілу тиску в поздовжньому перерізі пристрою

камерою змішування без додаткових кілець та із трьома додатковими кільцями відображений на рис. 7...9 (додаток А).

Аналізуючи графічні залежності розподілу швидкості в поздовжньому перерізі пристрою, зображеного на рис. 3.18, 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 значно плавніше зменшення швидкості вздовж перерізу.



а – камера змішування без додаткових кілець;

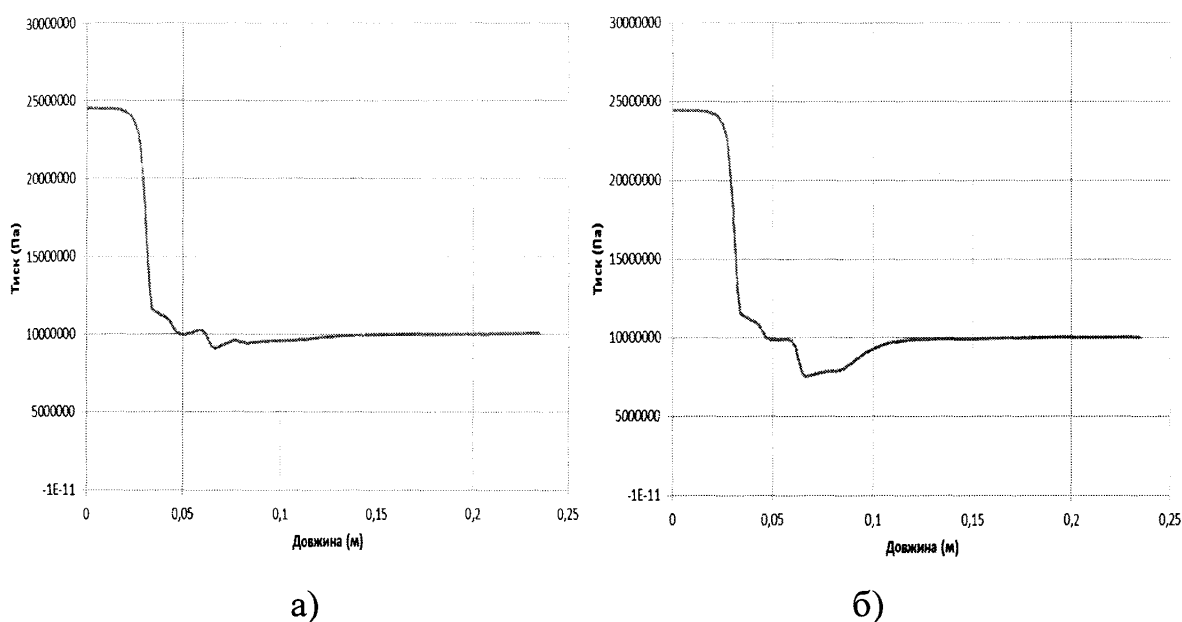
б – камера змішування з трьома додатковими кільцями

Рисунок 3.18 – Графічні залежності розподілу швидкості в поздовжньому перерізі пристрою

В процесі аналізу графічних залежностей розподілу тиску в поздовжньому перерізі пристрою (рис. 3.19) 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.

Аналізуючи графічні залежності розподілу температури в поздовжньому перерізі пристрою (рис. 3.20), встановлено, що температура

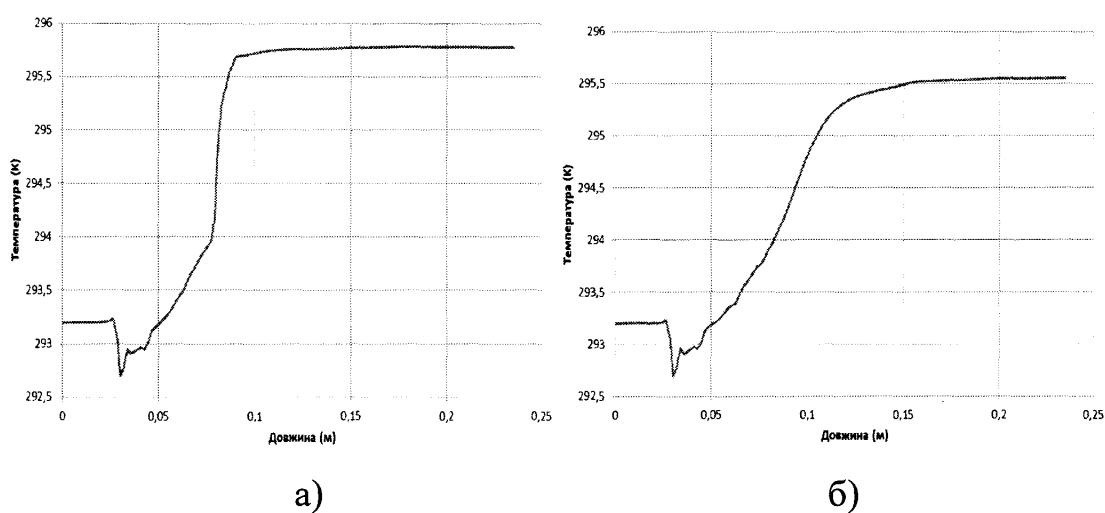
піни на виході в обох піногенеруючих пристроях практично однакова, спостерігається значно плавніший стрибок підвищення температури у пристрої із трьома додатковими кільцями.



а – камера змішування без додаткових кілець;

б – камера змішування з трьома додатковими кільцями

Рисунок 3.19 – Графічні залежності розподілу тиску в поздовжньому перерізі пристрою



а – камера змішування без додаткових кілець;

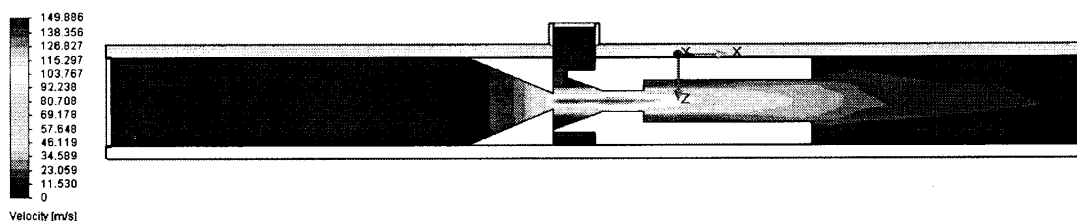
б – камера змішування з трьома додатковими кільцями

Рисунок 3.20 – Графічні залежності розподілу температури в поздовжньому перерізі пристрою

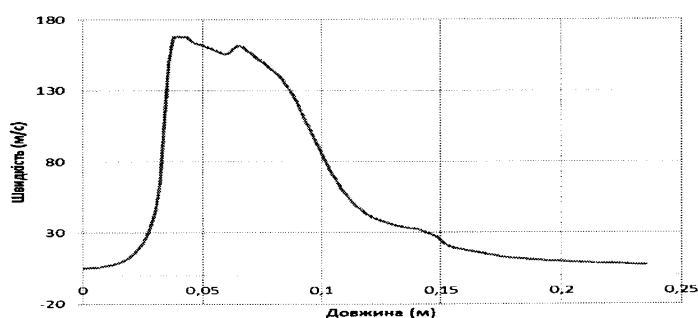
Розглянувши і проаналізувавши графічні залежності (рис. 3.18...3.20) зроблено висновок, що для експлуатації придатні піногенеруючі пристрої всіх розглянутих конструкцій, які можуть бути використані для конкретних умов експлуатації.

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 зменшенні 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 показано на рис. 3.21.



а)



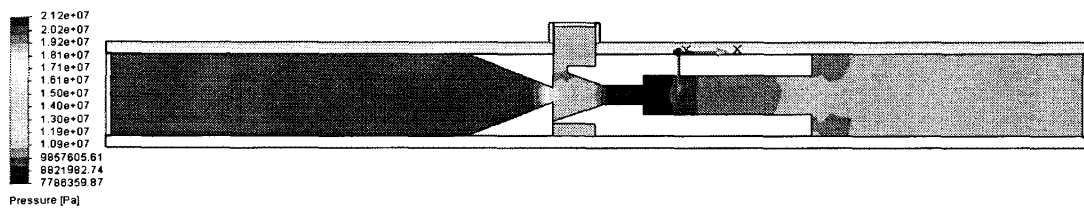
б)

а – розподіл швидкості в поздовжньому перерізі пристрою;

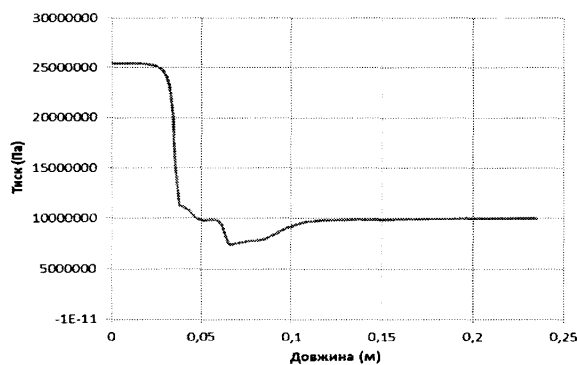
б – графічна залежність розподілу швидкості в поздовжньому перерізі пристрою

Рисунок 3.21 – Характер зміни швидкості у піногенеруючому пристрої без циліндричної частини сопла

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. 3.22.



а)



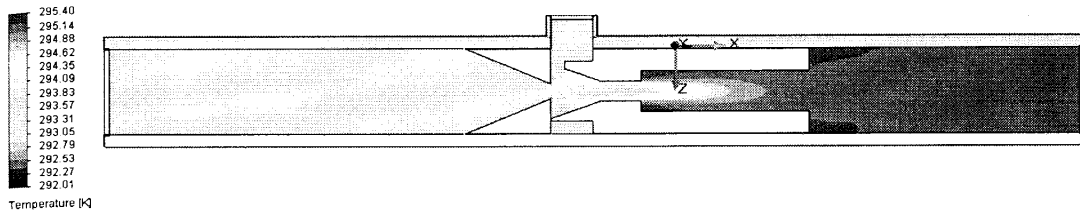
б)

а – розподіл тиску в поздовжньому перерізі пристрою;

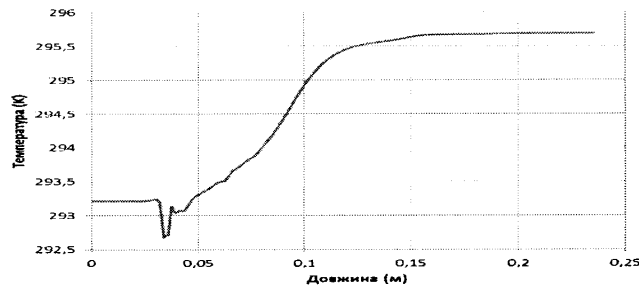
б – графічна залежність розподілу тиску в поздовжньому перерізі пристрою

Рисунок 3.22 – Характер зміни тиску в піногенеруючому пристрої без циліндричної частини сопла

Температура піни на виході із збільшенням довжини циліндричної частини сопла від 0 мм до 15 мм підвищується на 0,5 К, що суттєво не впливає на структуру піни. Характер зміни температури у піногенеруючому пристрої без циліндричної частини сопла поданий на рис. 3.23.



а)



б)

а – розподіл температури в поздовжньому перерізі пристрою;

б – графічна залежність розподілу температури в поздовжньому перерізі пристрою

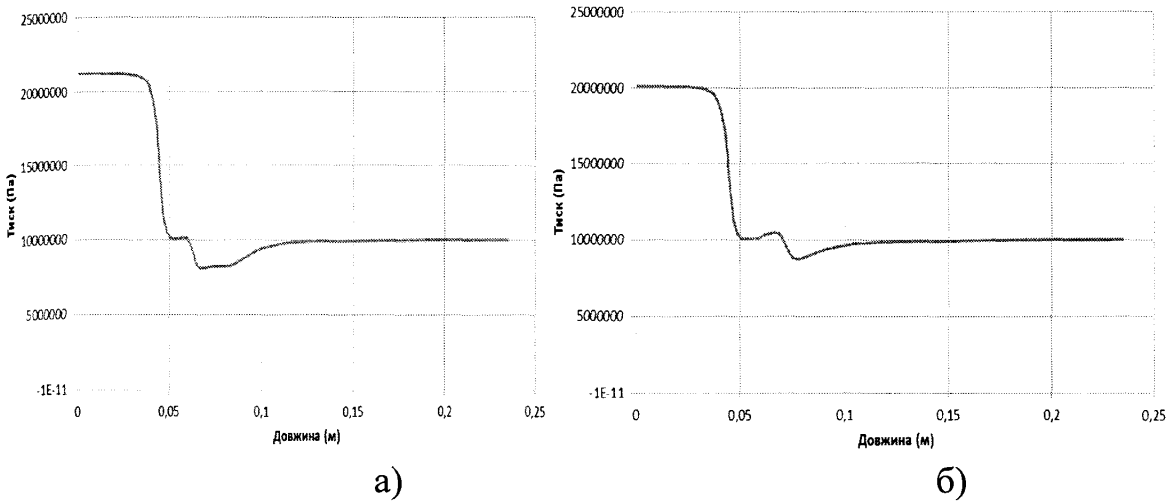
Рисунок 3.23 – Характер зміни температури в піногенеруючому пристрої без циліндричної частини сопла

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. 10...12 (додаток А).

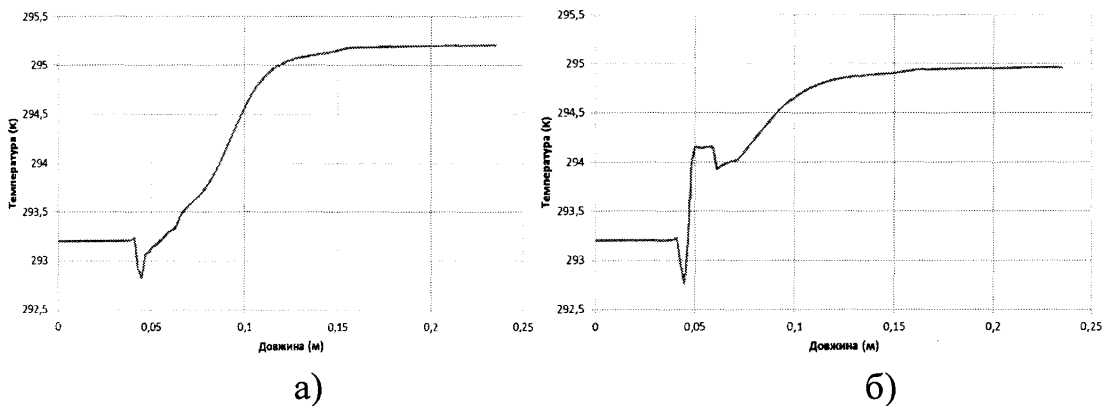
Аналіз графічних залежностей розподілу швидкості в поздовжньому перерізі пристрою (рис. 3.24) вказує на те, що із зростанням відстані між соплом і камерою змішування від 0 мм до 12 мм максимальне значення швидкості дещо зменшується – від 140,8 м/с до 122,4 м/с, але при цьому значно збільшуються коливання швидкості (особливо в перерізі між соплом і камерою змішування) і швидкість піни на виході із піногенеруючого



а – при дотиканні сопла і камери змішування;

б – за відстані між соплом і камерою змішування 12 мм

Рисунок 3.25 – 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

Рисунок 3.26 – Графічні залежності розподілу температури в поздовжньому перерізі пристрою

Траєкторії руху потоків рідини, повітря та піни за відстані між соплом і камерою змішування 12 мм зображені на рис. 1,а (додаток Б).

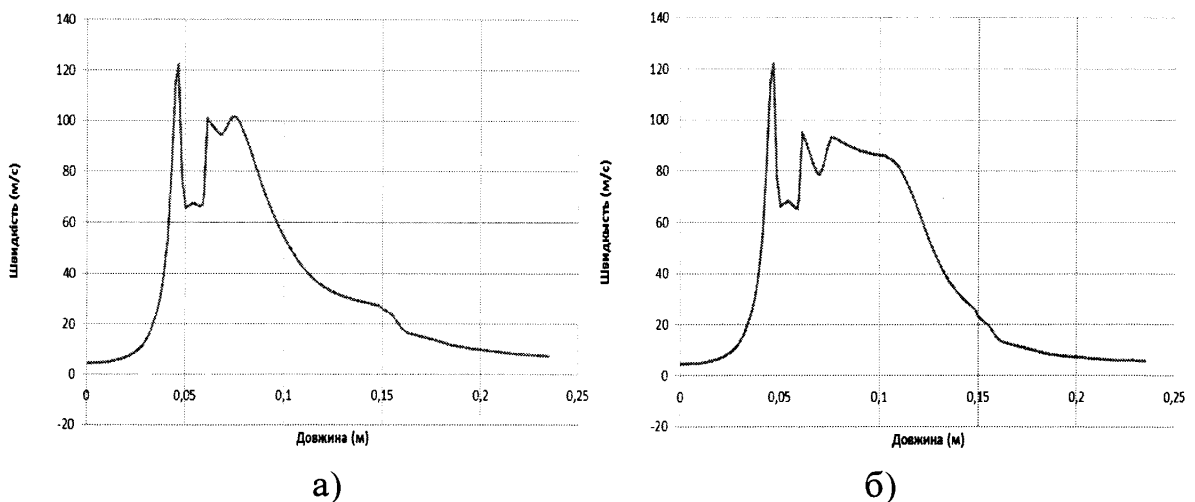
Згідно з результатами проведених досліджень, враховуючи зниження мінімального тиску та температури на виході із пристрою, а також підвищення його продуктивності, рекомендується використовувати піногенеруючий пристрій, у якому сопло дотикається до камери змішування.

Проведено дослідження роботи піногенеруючого пристрою при зміні довжини циліндричної частини камери змішування.

Розподіл швидкості, тиску і температури в поздовжньому перерізі пристрою при зміні довжини циліндричної частини камери змішування зображено на рис. 13...15 (додаток А).

Під час аналізу графічних залежностей розподілу швидкості в поздовжньому перерізі пристрою (рис. 3.27) 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.

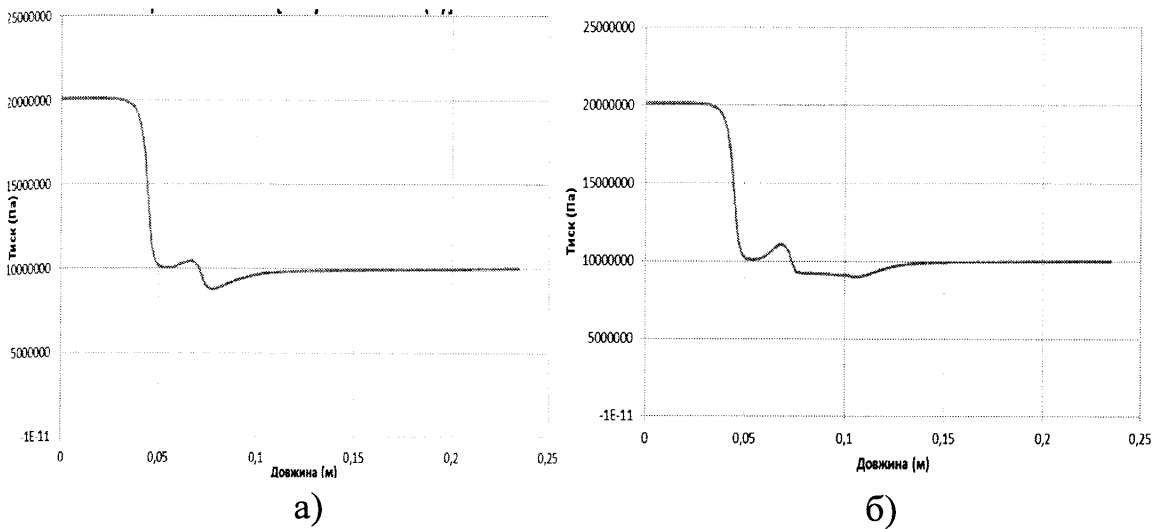
При аналізі графічних залежностей розподілу тиску в поздовжньому перерізі пристрою (рис. 3.28) встановлено, що у разі збільшення довжини циліндричної частини камери змішування необхідні тиски рідини на вході для забезпечення заданих граничних умов, а також мінімальні тиски в камері змішування, фактично не змінюються, але при цьому зростає тривалість найменшого тиску вздовж перерізу пристрою.



а) – камера змішування без циліндричної частини;

б) – камера змішування з циліндричною частиною довжиною 30 мм

Рисунок 3.27 – Графічні залежності розподілу швидкості в поздовжньому перерізі пристрою

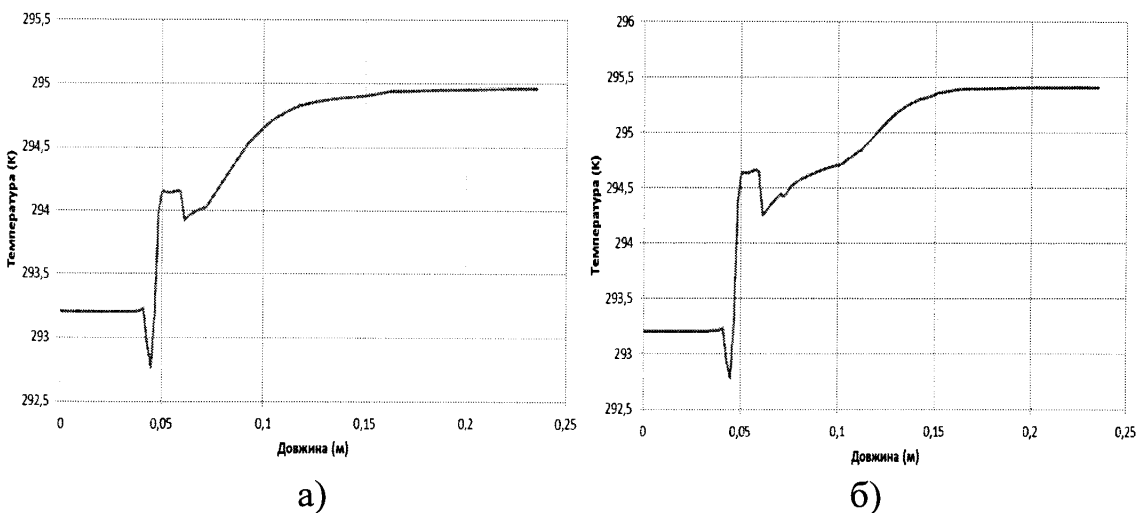


а – камера змішування без циліндричної частини;

б – камера змішування з циліндричною частиною довжиною 30 мм

Рисунок 3.28 – Графічні залежності розподілу тиску в поздовжньому перерізі пристрою

При збільшенні довжини циліндричної частини камери змішування температура піни на виході із пристрою зростає, що видно з аналізу графічних залежностей розподілу температури в поздовжньому перерізі пристрою (рис. 3.29).



а – камера змішування без циліндричної частини;

б – камера змішування з циліндричною частиною довжиною 30 мм

Рисунок 3.29 – Графічні залежності розподілу температури в поздовжньому перерізі пристрою

Траєкторії руху потоків рідини, повітря та піни у піногенеруючому пристрої із камерою змішування, довжина циліндричної частини якої складає 30 мм, зображені на рис. 1,б (додаток Б).

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

Як показали дослідження, при виборі оптимальних розмірів піногенеруючого пристрою та режимів руху рідини і повітря, за допомогою односоплового пристрою можна отримувати дрібнодисперсну піну належної консистенції. Однак, для різних параметрів промивального розчину мають обмеження геометричних розмірів піногенеруючого пристрою, що впливає на обмеження продукування піни.

Для промислових умов, а саме для буріння нафтогазових свердловин, необхідна продуктивність змінюється у досить широких межах залежно від діаметра свердловини. Тому для забезпечення належного промивання свердловин піною запропоновано багатосопповий піногенеруючий пристрій (рис. 2.18), який забезпечить виробничі вимоги промивання піною основну кількість свердловин, які буряться на нафту й газ. В кожному ежекторі пристрою зберігаються ті ж самі режими і параметри роботи, що і в односопловому піногенеруючому пристрої, завдяки збереженню пропорцій між подачами рідини і повітря.

П'ятисопловий піногенеруючий пристрій підібраний із таких міркувань. На даний час вважається, що при збільшенні сопел збільшується площа контакту змішуваних потоків і покращується енергоємність процесу. Але якщо стверджувати, що при збільшенні сопел витрата залишається та сама, можемо отримати результат, що швидкість буде зменшуватися для кожного сопла, а відповідно до рівняння Бернуллі зменшення швидкості дасть зростання тиску, таким чином буде менше всмоктуватися пінистої речовини і можна сказати, що існує якийсь оптимум, тобто спочатку процес піноутворення при збільшенні сопел буде покращуватись, а потім навпаки

буде знижуватись. Дослідження з оптимізації кількості сопел не проводились, так як це досить складні дослідження і вони не є темою дисертаційної роботи.

3.3 Дослідження багатосоплового ежекційного піногенеруючого пристрою

Створюючи тривимірну модель п'ятисоплового піногенеруючого пристрою (рис. 16 додатка А), його геометричні розміри вибираємо з врахуванням проведених комп'ютерних досліджень односоплового піногенеруючого пристрою. При цьому на виході кожного ежектора п'ятисоплового піногенеруючого пристрою утворюватиметься дрібнодисперсна піна необхідної консистенції і при змішуванні отриманих потоків не проходить якісної зміни піни.

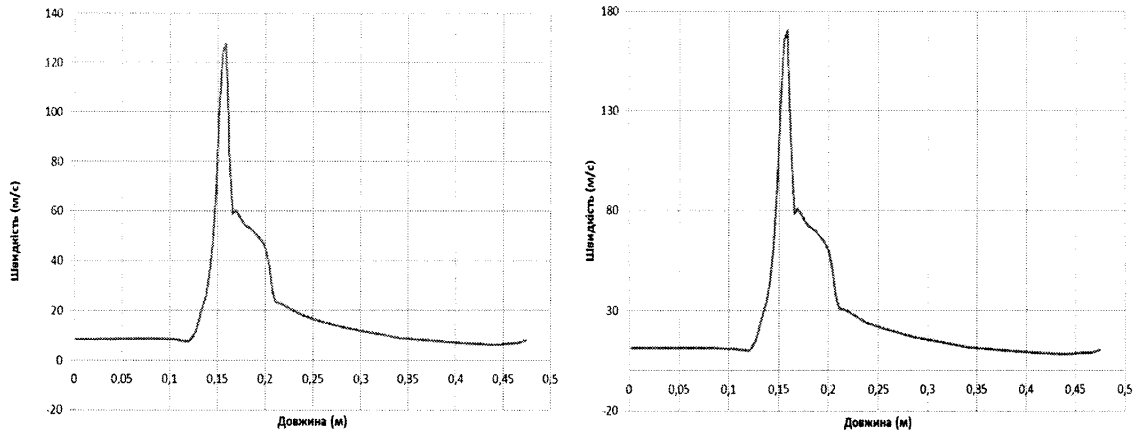
Проведено комп'ютерні дослідження п'ятисоплового піногенеруючого пристрою при зміні подачі рідини на вході, тиску повітря на вході у підвідному патрубку та тиску піни на виході із пристрою [23].

1. Під час дослідження п'ятисоплового піногенеруючого пристрою при зміні подачі рідини на вході $0,015 \text{ м}^3/\text{с}$ і $0,02 \text{ м}^3/\text{с}$ граничними умовами роботи піногенеруючого пристрою були: тиск повітря на вході в підвідному патрубку – 12 МПа; тиск піни на виході з пристрою – 12 МПа.

Розподіл швидкості, тиску і температури в поздовжньому перерізі пристрою при зміні подачі рідини на вході $0,015 \text{ м}^3/\text{с}$ і $0,02 \text{ м}^3/\text{с}$ зображено на рис. 19...21 (додаток А).

Аналіз графічних залежностей (рис. 3.31, 3.32) вказує на те, що зміна швидкості при різних подачах проходить подібно, при більшій подачі рідини максимальна швидкість рідини в соплі більша ($127,6 \text{ м/с}$ при $0,015 \text{ м}^3/\text{с}$ та $170,4 \text{ м/с}$ при $0,02 \text{ м}^3/\text{с}$) і більша продуктивність, т. як швидкість піни на виході зростає (з $7,96 \text{ м/с}$ до $10,15 \text{ м/с}$). При збільшенні подачі рідини на

вході необхідний її тиск для забезпечення заданих граничних умов збільшується із 21,8 МПа при $0,015 \text{ м}^3/\text{с}$ до 29,4 МПа при $0,02 \text{ м}^3/\text{с}$, а мінімальний тиск в камері змішування дещо зменшується (з 11,3 МПа до 10,7 МПа).

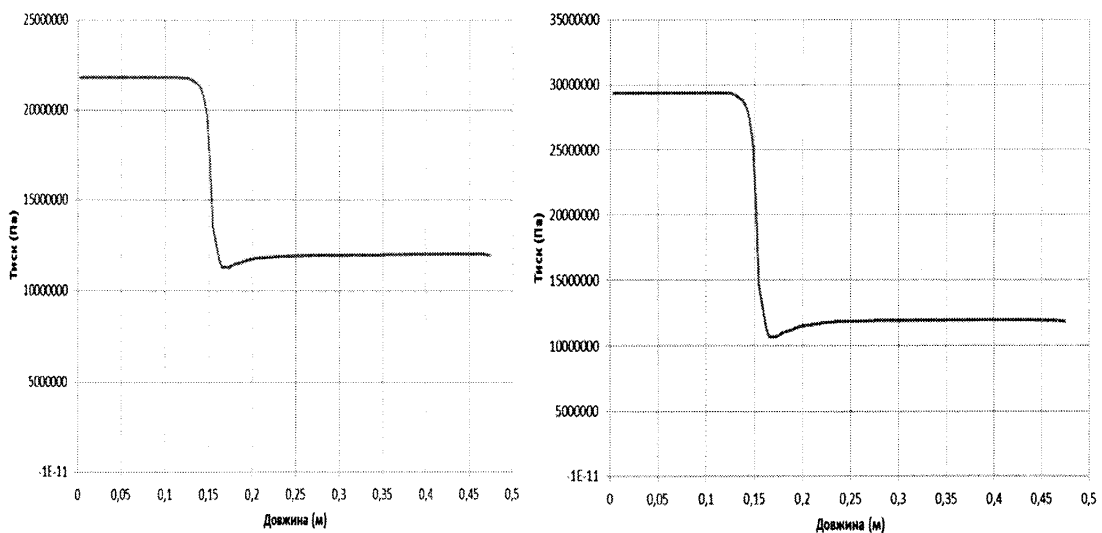


а)

б)

а – при подачі рідини на вході $0,015 \text{ м}^3/\text{с}$;б – при подачі рідини на вході $0,02 \text{ м}^3/\text{с}$

Рисунок 3.31 – Графічні залежності розподілу швидкості в поздовжньому перерізі пристрою



а)

б)

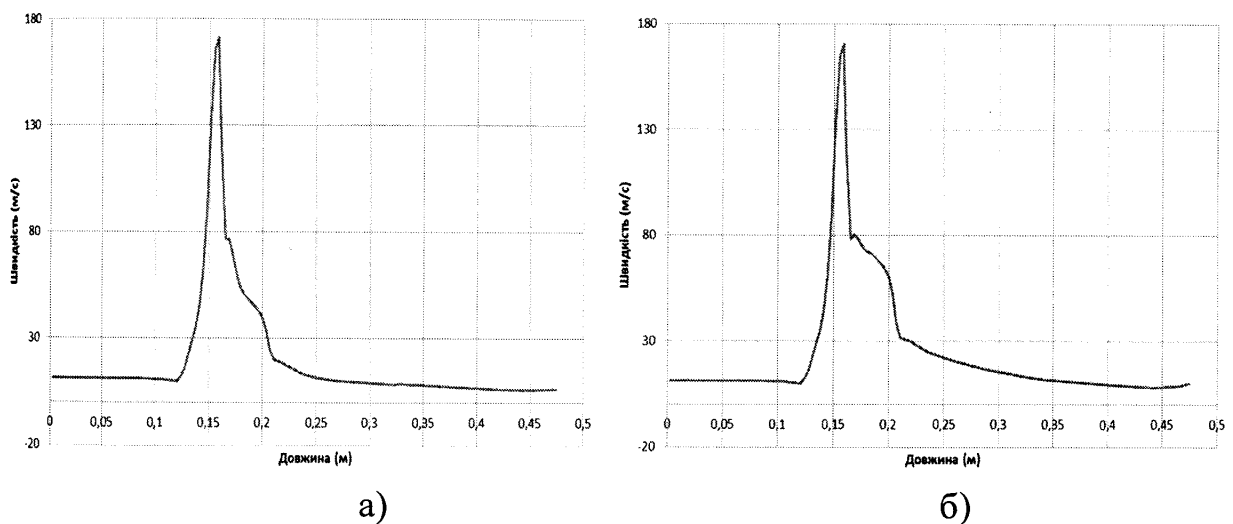
а – при подачі рідини на вході $0,015 \text{ м}^3/\text{с}$;б – при подачі рідини на вході $0,02 \text{ м}^3/\text{с}$

Рисунок 3.32 – Графічні залежності розподілу тиску в поздовжньому перерізі пристрою

2. Під час дослідження п'ятисоплового піногенеруючого пристрою при зміні тиску повітря на вході у підвідному патрубку 7,5 МПа і 10 МПа граничними умовами роботи піногенеруючого пристрою є: подача рідини на вході – $0,02 \text{ м}^3/\text{с}$; тиск піни на виході з пристрою – 10 МПа.

Розподіл швидкості, тиску і температури в поздовжньому перерізі пристрою при зміні тиску повітря на вході у підвідному патрубку 7,5 МПа і 10 МПа зображено на рис. 22...24 (додаток А).

При аналізі графічних залежностей розподілу швидкості в поздовжньому перерізі пристрою (рис. 3.33) встановлено, що зміна швидкості при різних тисках повітря на вході проходить подібно, але при більшому тиску газу на вході швидкість піни на виході зростає з $6,57 \text{ м/с}$ до $10,4 \text{ м/с}$.



а – при тиску газу на вході у підвідному патрубку 7,5 МПа;

б – при тиску газу на вході у підвідному патрубку 10 МПа

Рисунок 3.33 – Графічні залежності розподілу швидкості в поздовжньому перерізі пристрою

Розглянувши і проаналізувавши графічні залежності розподілу тиску в поздовжньому перерізі пристрою (рис. 3.34) встановлено, що при зниженні тиску повітря на вході при інших однакових умовах необхідний тиск рідини на вході для забезпечення граничних умов зменшується із 27,4 МПа до

26,6 МПа, також зменшується мінімальний тиск в камері змішування (з 8,7 МПа до 7,8 МПа).

Графік зміни температури вздовж перерізу пристрою проходить подібно (рис. 3.35), температура при різних тисках повітря на вході в підвідному патрубку за інших однакових умов фактично не змінюється.

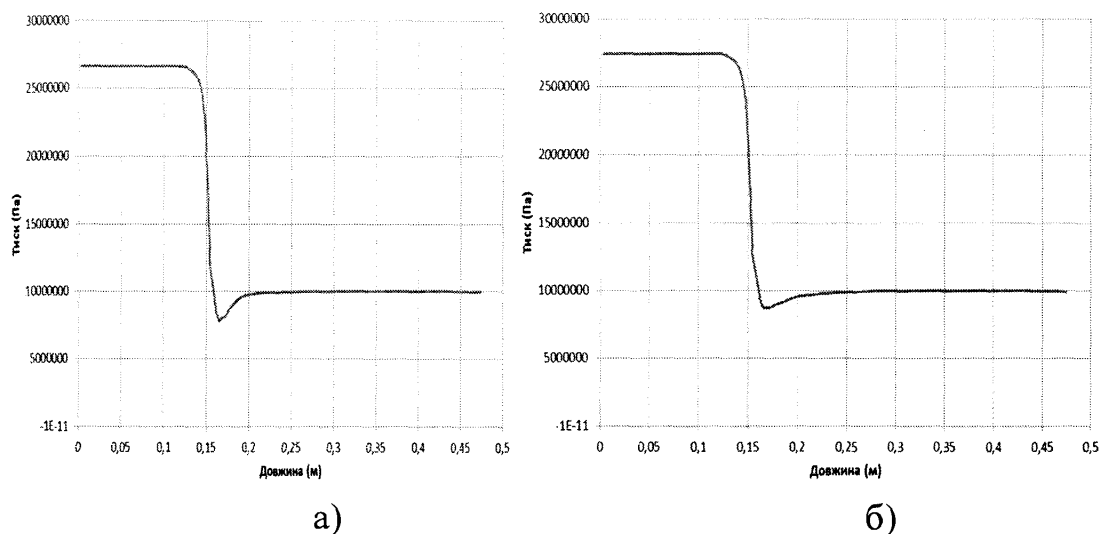


Рисунок 3.34 – Графічні залежності розподілу тиску в поздовжньому перерізі пристрою:

а – при тиску газу на вході у підвідному патрубку 7,5 МПа;

б – при тиску газу на вході у підвідному патрубку 10 МПа

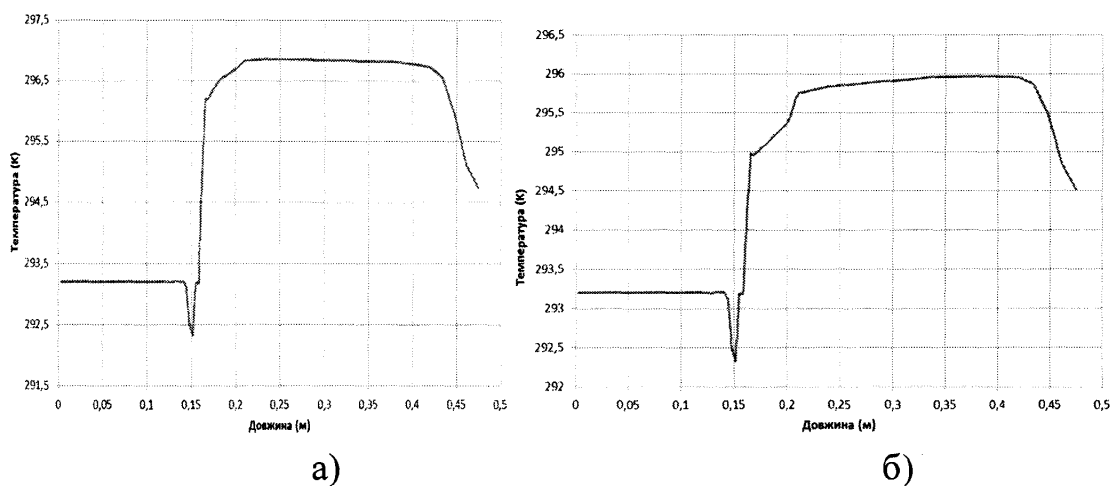


Рисунок 3.35 – Графічні залежності розподілу температури в поздовжньому перерізі пристрою:

а – при тиску газу на вході у підвідному патрубку 7,5 МПа;

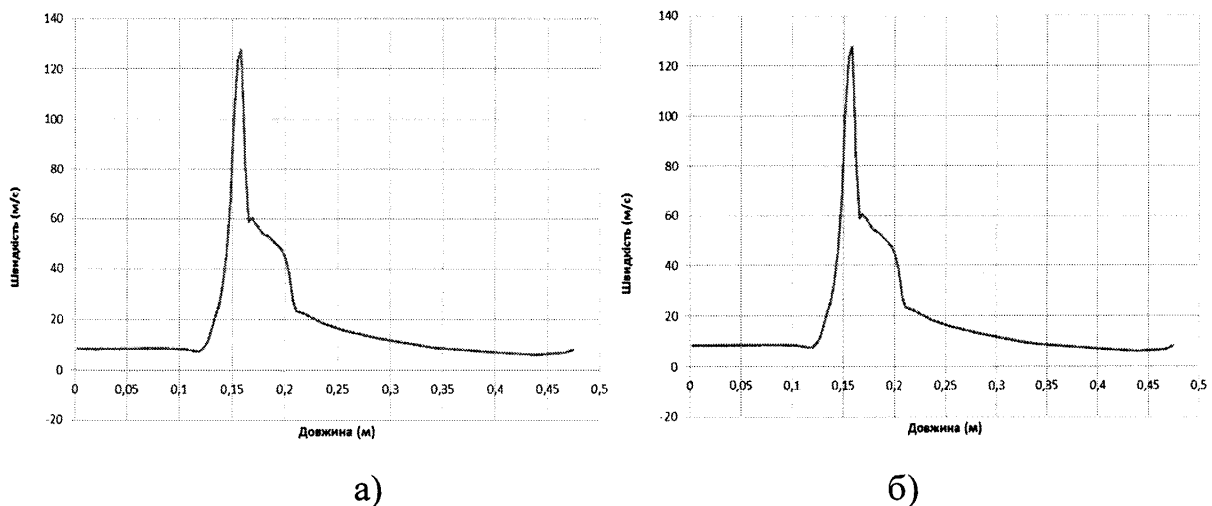
б – при тиску газу на вході у підвідному патрубку 10 МПа

Траєкторії руху потоків рідини, повітря та піни у п'ятисопловому піногенеруючому пристрої при подачі рідини на вході $0,02 \text{ м}^3/\text{с}$, тиску повітря на вході у підвідному патрубку $7,5 \text{ МПа}$, тиску піни на виході з пристрою 10 МПа . зображені на рис. 1,в (додаток Б).

3. Під час дослідження п'ятисоплового піногенеруючого пристрою при зміні тиску піни на виході із пристрою розглядались режими руху потоку при незмінній подачі рідини на вході $0,015 \text{ м}^3/\text{с}$ та змінному тиску повітря на вході у підвідному патрубку та піни на виході з п'ятисоплового пристрою із 12 МПа до 8 МПа .

Розподіл швидкості і тиску в поздовжньому перерізі пристрою при змінному тиску повітря на вході у підвідному патрубку та піни на виході з пристрою із 12 МПа до 8 МПа зображено на рис. 25...26 (додаток А).

Графічні залежності розподілу швидкості в поздовжньому перерізі пристрою незмінні, що показано на рис. 3.36.



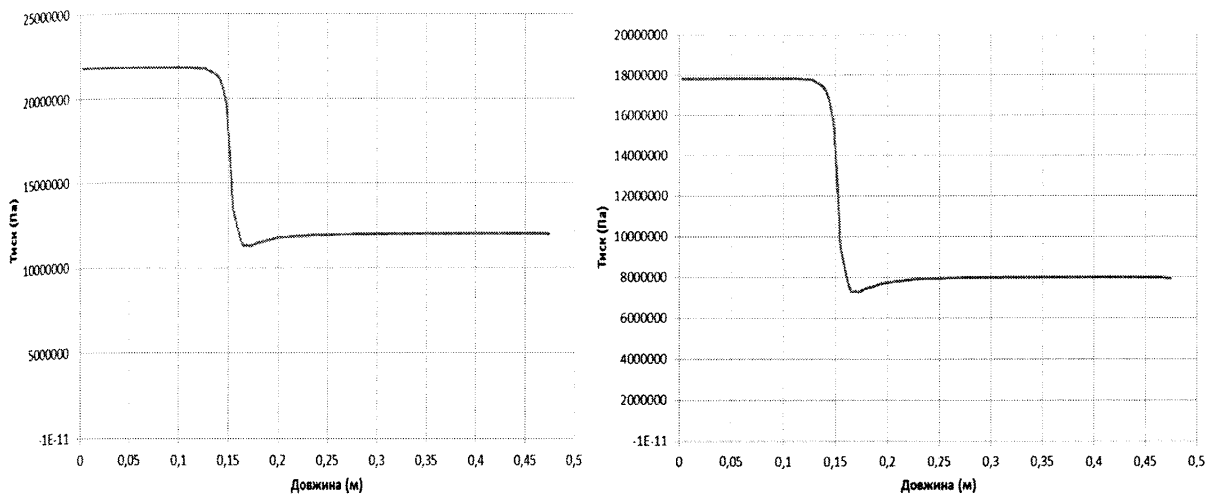
а) – при тиску повітря і піни 12 МПа ;

б) – при тиску повітря і піни 8 МПа

Рисунок 3.36 – Графічні залежності розподілу швидкості в поздовжньому перерізі пристрою

Аналіз графічних залежностей розподілу тиску в поздовжньому перерізі пристрою (рис. 3.37) вказує на те, що при зменшенні тиску повітря

на вході та піни на виході при інших однакових умовах характер зміни тиску вздовж перерізу незмінний, а необхідний тиск рідини на вході для забезпечення граничних умов зменшується із 21,8 МПа до 17,8 МПа.



а)

б)

а – при тиску повітря і піни 12 МПа;

б – при тиску повітря і піни 8 МПа

Рисунок 3.37 – Графічні залежності розподілу тиску в поздовжньому перерізі пристрою

На рис. 3.38 подана тривимірна модель п'ятисоплового піногенеруючого пристрою оптимальної конструкції та геометричних параметрів, які визначені при дослідженні одно- та п'ятисоплового пристроїв.

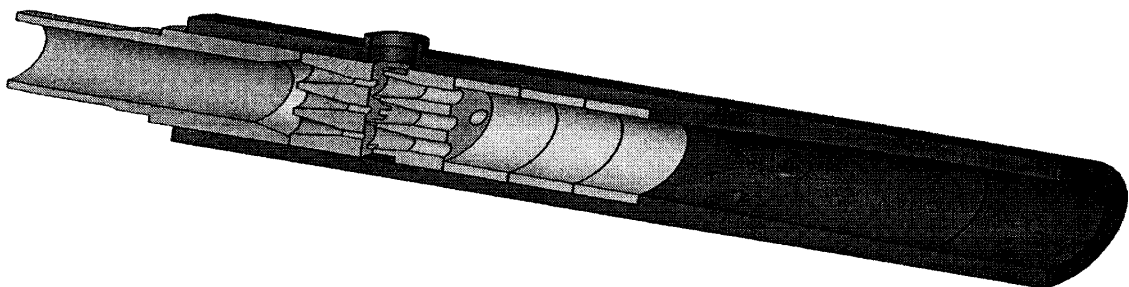


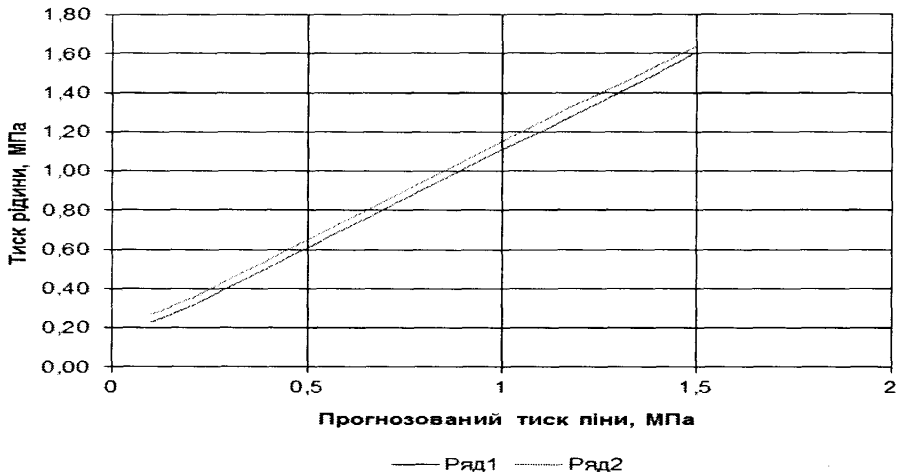
Рисунок 3.38 – П'ятисопловий піногенеруючий пристрій оптимальної конструкції

3.4 Аналіз результатів комп'ютерного дослідження піногенеруючого пристрою

При проведенні комп'ютерних досліджень піногенеруючих пристроїв, враховуючи різні режими їх експлуатації, отримано залежності необхідних тисків рідини на вході в пристрій залежно від прогнозованого значення тиску піни на виході. Отримані результати необхідного тиску рідини на вході у піногенеруючий пристрій від прогнозованого значення тиску піни на виході при різних подачах рідини та тиску повітря на вході зведено в таблиці, на основі якої побудовані графічні залежності (для невисоких тисків – табл. 3.1 і рис. 3.39, для високих тисків – табл. 3.2 і рис. 3.40, додаток Б).

Таблиця 3.1 – Залежність необхідного тиску рідини на вході у піногенеруючий пристрій від прогнозованого значення тиску піни на виході при різних подачах рідини на вході та тиску повітря на вході

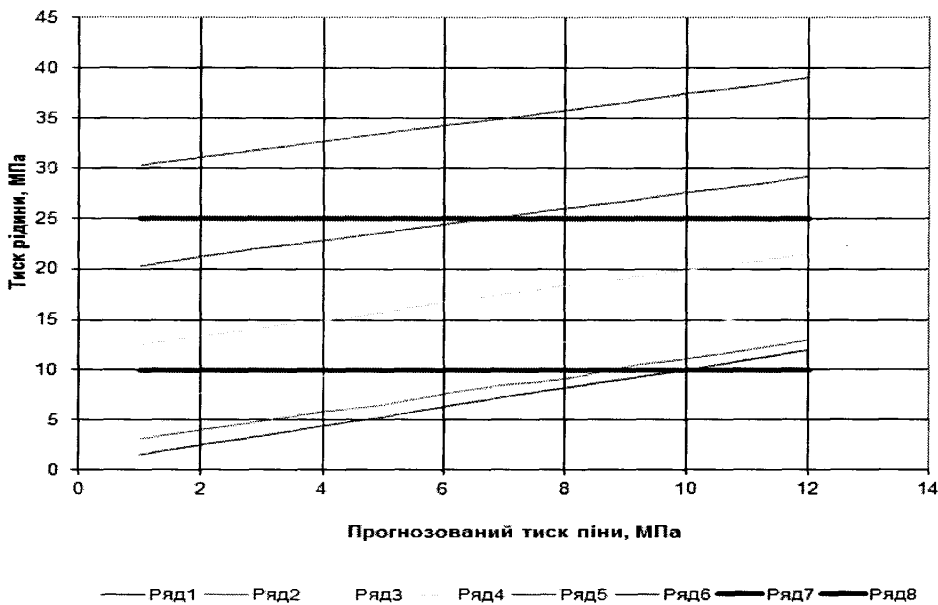
Прогнозований тиск піни P_n , МПа	Подача рідини $Q_p=0,00056 \text{ м}^3/\text{с}$ при тиску газу P_g , МПа		Подача рідини $Q_p=0,0011 \text{ м}^3/\text{с}$ при тиску газу P_g , МПа	
	0,2	0,15	0,2	0,15
0,1	0,23	0,22	0,27	0,25
0,2	0,31	0,31	0,35	0,35
0,3	0,41	0,41	0,45	0,45
0,4	0,51	0,51	0,55	0,55
0,5	0,61	0,61	0,65	0,65
0,6	0,71	0,71	0,75	0,75
0,7	0,81	0,81	0,85	0,85
0,8	0,91	0,91	0,95	0,95
0,9	1,01	1,01	1,05	1,05
1,0	1,11	1,11	1,15	1,15
1,1	1,20	1,20	1,25	1,24
1,2	1,30	1,30	1,35	1,34
1,3	1,40	1,40	1,44	1,44
1,4	1,50	1,50	1,54	1,54
1,5	1,61	1,60	1,64	1,64



Ряд 1 – при подачі рідини $0,00056 \text{ м}^3/\text{с}$ і тиску газу на вході $0,2 \text{ МПа}$;

Ряд 2 – при подачі рідини $0,0011 \text{ м}^3/\text{с}$ і тиску газу на вході $0,2 \text{ МПа}$

Рисунок 3.39 – Залежність необхідного тиску рідини на вході у піногенеруючий пристрій від тиску піни на виході



Ряд 1 – при подачі рідини $0,001 \text{ м}^3/\text{с}$; Ряд 2 – при подачі рідини $0,005 \text{ м}^3/\text{с}$;

Ряд 3 – при подачі рідини $0,01 \text{ м}^3/\text{с}$; Ряд 4 – при подачі рідини $0,015 \text{ м}^3/\text{с}$;

Ряд 5 – при подачі рідини $0,02 \text{ м}^3/\text{с}$; Ряд 6 – при подачі рідини $0,025 \text{ м}^3/\text{с}$;

Ряд 7, 8 – верхня і нижня лінії обмеження робочої характеристики пристрою

Рисунок 3.40 – Залежність необхідного тиску рідини на вході у піногенеруючий пристрій від прогнозованого значення тиску піни на виході при тиску газу на вході 10 МПа

Таблиця 3.2 – Залежність необхідного тиску рідини на вході у піногенеруючий пристрій від прогнозованого значення тиску піни на виході при різних подачах рідини на вході та тиску повітря на вході 10 МПа

Прогнозований тиск піни P_n , МПа	Подача рідини Q_p , м ³ /с					
	0,001	0,005	0,01	0,015	0,02	0,025
1	1,5	3,1	6,8	12,5	20,3	30,3
2	2,5	4	7,7	13,4	21,2	31,1
3	3,4	4,9	8,5	14,2	22,1	31,9
4	4,4	5,8	9,4	14,9	22,8	32,7
5	5,3	6,5	10,3	15,7	23,6	33,5
6	6,3	7,6	11,1	16,7	24,4	34,3
7	7,3	8,5	12	17,5	25,2	35
8	8,2	9,1	12,8	18,3	26	35,8
9	9,1	10,3	13,6	19,1	26,7	36,6
10	10	11,1	14,4	19,9	27,6	37,5
11	11	12	15,2	20,7	28,3	38,2
12	12	13	16,1	21,5	29,2	39,1

За допомогою отриманих графічних залежностей можна підбирати необхідні режими роботи насосного агрегату і компресора для одержання піни заданих параметрів.

Висновки до розділу

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 і лабораторних випробувань.

3 Порівнюючи характеристики піногенеруючих пристроїв різних типів рекомендовано при створенні багатосоплового піногенеруючого пристрою використовувати камери змішування із конічною приймальною 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 заданих умов їх застосування. Довжину циліндричної частини сопла рекомендується прийняти рівною $1 \dots 2$ його діаметра.

5 Отримані результати є основою для розроблення піногенеруючих пристроїв та проведення експериментальних і промислових їх досліджень.

РОЗДІЛ 4

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ УСТАТКУВАННЯ ДЛЯ ПРОМИВАННЯ СВЕРДЛОВИНИ ПІНИСТИМИ РОЗЧИНАМИ

4.1 Задачі експериментальних досліджень

З метою перевірки достовірності результатів теоретичних та комп'ютерних досліджень необхідно провести експериментальні дослідження.

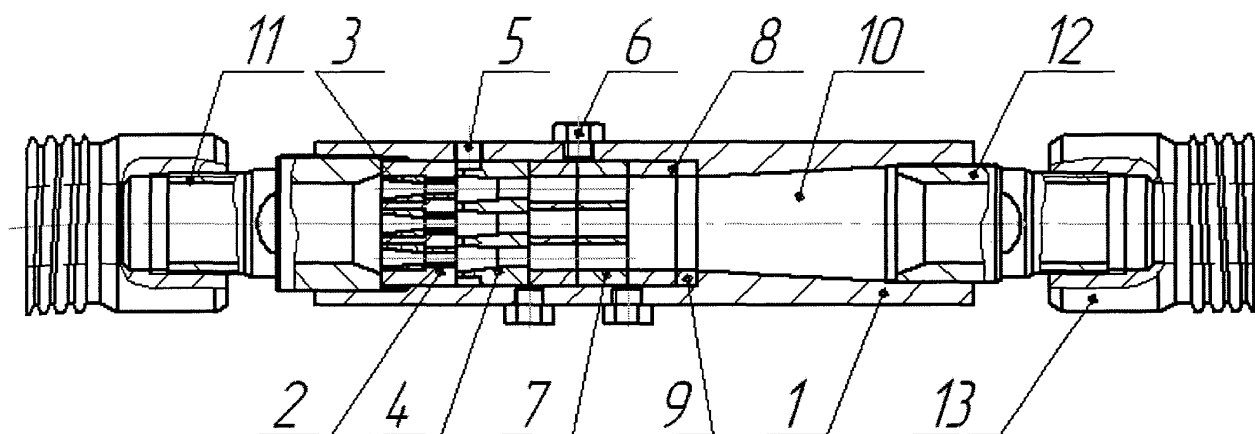
Для проведення всесторонніх експериментальних досліджень необхідно розробити і виготовити піногенеруючий пристрій ежекційного типу з можливістю зміни всіх його основних геометричних параметрів (форми та розмірів сопла, камери змішування, дифузора).

В лабораторно-експериментальній установці необхідно передбачити можливість зміни подачі рідини і газу (повітря), можливість зміни концентрації ПАР, контроль тиску і подачі рідини, повітря та піни, а також можливість відбору піни для її дослідження.

4.2 Конструктивне вирішення досліджуваного устаткування та експериментальної установки

Провівши аналіз конструкцій піногенеруючих пристроїв (п.1.3.2), структурний аналіз (п. 2.1), враховуючи результати теоретичних і комп'ютерних досліджень робимо висновок, що проєктований піногенеруючий пристрій буде мати таку конструкцію (рис. 4.1). В корпусі 1 циліндричної форми розміщено багатосоплову вставку 2 із змінними соплами 3, ежекційну вставку 4, канали 5 для підводу повітря або газу із заглушками 6, камери ежекційні попереднього змішування із дифузорних дисків 7 різної довжини, розташованих співвісно соплам, камера кавітаційна проміжного

змішування із розпірних кілець загального дифузора 8 різної довжини, завихрювач пінної суміші 9, дифузор 10 з камерою турбулентного змішування. За допомогою перевідників 11 і 12 та хвостовиків швидкозйомних 13 здійснюється монтаж пристрою в обв'язку бурового насоса чи насосного агрегату.



1 – корпус; 2 – багатосоплова вставка; 3 – змінні сопла; 4 – ежекційна вставка; 5 – канал підведення повітря; 6 – заглушки; 7 – дифузорний диск; 8 – розпірне кільце загального дифузора; 9 – завихрювач пінної суміші; 10 – дифузор; 11, 12 – перевідники; 13 – хвостовики швидкозйомні

Рисунок 4.1 – Піногенеруючий пристрій багатосопловий

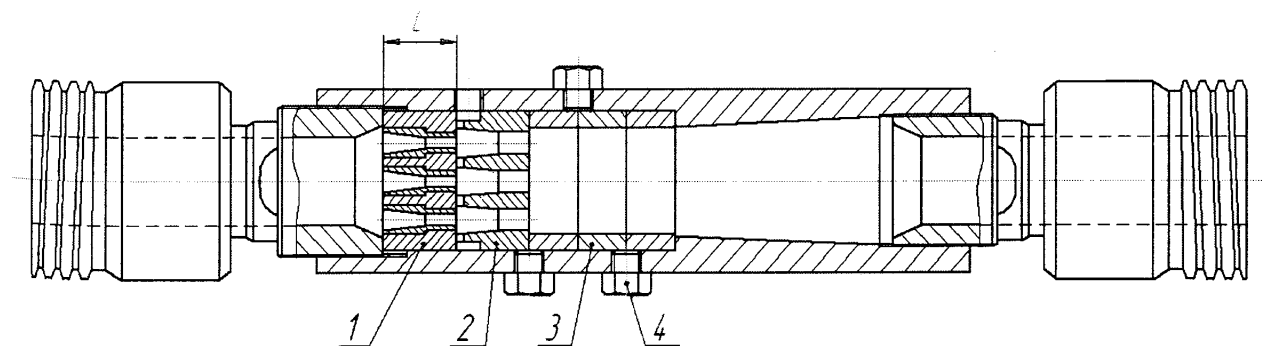
Піногенеруючий багатосопловий пристрій [20] працює наступним чином. Промивальна рідина поступає в корпус 1 пристрою і далі через вставку багатосоплову 2 із змінними соплами 3 в ежекційну вставку 4, де за рахунок ефекту ежекції захоплює повітря, яке підводиться по каналах 5, в камерах попереднього змішування із дифузорних дисків 7 різної довжини частково змішується повітря з рідиною, далі суміш поступає в камеру кавітаційного проміжного змішування із розпірних кілець загального дифузора 8 різної довжини, яка знаходиться на початку дифузора 10, де за рахунок змішування багатьох струменів утворюється кавітація, яка сприяє диспергуванню та інтенсивному перемішуванню повітря або газу з рідиною, далі проходить через завихрювач пінної суміші 9, який сприяє якісному

змішуванню і утворенню пінної суміші в камері змішування, яка розміщена в дифузорі 10, де рідина рухається у турбулентному режимі і закріплюється ефект насичення промивальної рідини газом та піноутворення.

Можлива різна компоновка пристрою за рахунок установки у його корпус різної кількості дифузорних дисків і розпірних кілець загального дифузора для зміни довжин камер змішування. Діаметри змінних сопел – 2, 3, 4, 5, 6, 8, 10, 15 і 20 мм. При використанні сопел діаметрами 2...8 мм застосовується п'ятисоплова вставка, при соплах діаметром 10 і 15 мм – трисоплова, а при діаметрі сопел 20 мм – двосоплова вставка.

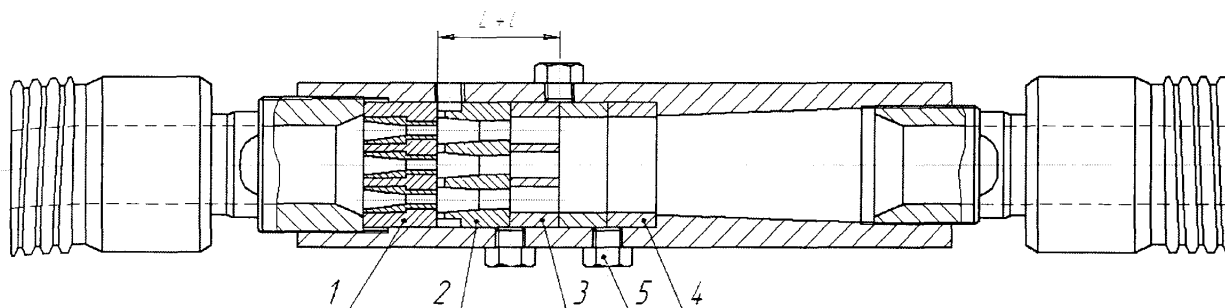
На рис. 4.2...4.5 показані компоновки пристрою із різними довжинами камер змішування, що дозволяє виготовляти високоякісну пінну суміш при всіх режимах роботи піногенеруючого пристрою залежно від умов експлуатації.

Запропонований піногенеруючий пристрій забезпечує високу ефективність піноутворення за рахунок поєднання декількох видів насичення рідини повітрям або газом – ефект ежекції, кавітації, змішування утвореним турбулентним потоком. Перевагою піногенеруючого пристрою є також можливість насичувати повітрям в'язкі розчини, утворюючи пінну суміш, та можливість регулювання насичення повітрям або газом даної суміші.



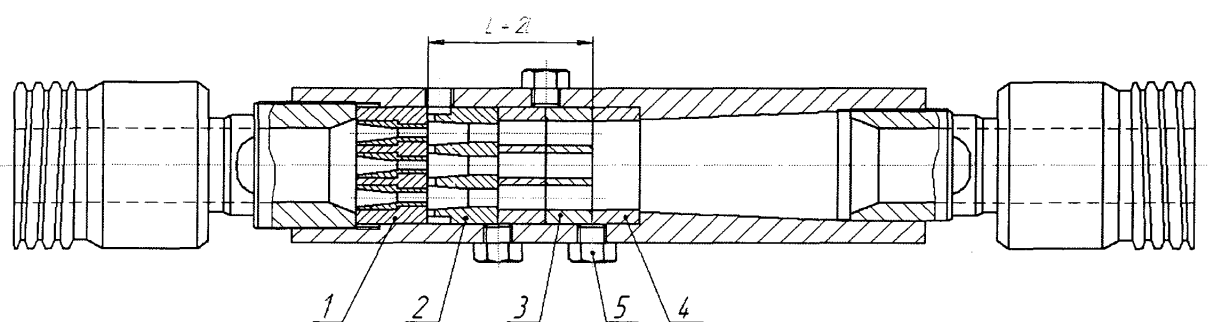
1 – соплова вставка; 2 – ежекційна вставка; 3 – розпірне кільце загального дифузора; 4 – заглушка

Рисунок 4.2 – Виконання піногенеруючого пристрою без дифузорних дисків



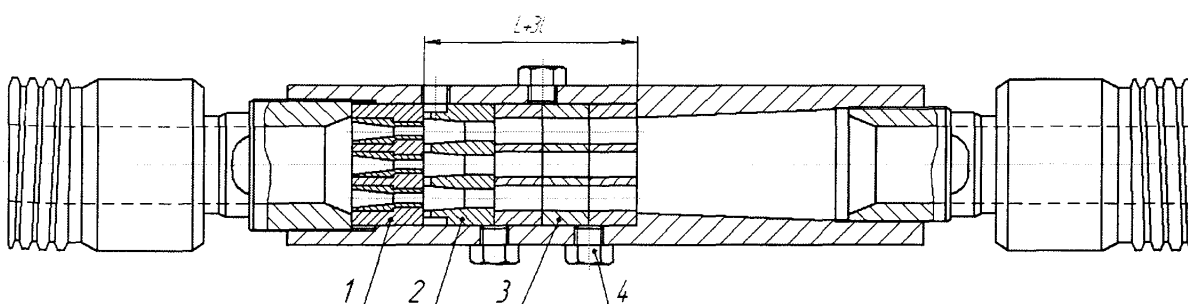
1 – соплова вставка; 2 – ежекційна вставка; 3 – дифузорний диск; 4 – розпірне кільце загального дифузора; 5 – заглушка

Рисунок 4.3 – Виконання піногенеруючого пристрою із одним дифузорним диском



1 – соплова вставка; 2 – ежекційна вставка; 3 – дифузорний диск; 4 – розпірне кільце загального дифузора; 5 – заглушка

Рисунок 4.4 – Виконання піногенеруючого пристрою із 2-ма дифузорними дисками



1 – соплова вставка; 2 – ежекційна вставка; 3 – дифузорний диск; 4 – заглушка

Рисунок 4.5 – Виконання піногенеруючого пристрою із 3-ма дифузорними дисками

Для виконання поставленої задачі у п. 4.1, використовуючи результати теоретичних і комп'ютерних досліджень, в Полтавському ВБР ДП Укрбургаз виготовлено лабораторно-експериментально-промисловий взірець піногенеруючого пристрою, який показаний на рис. 4.6.

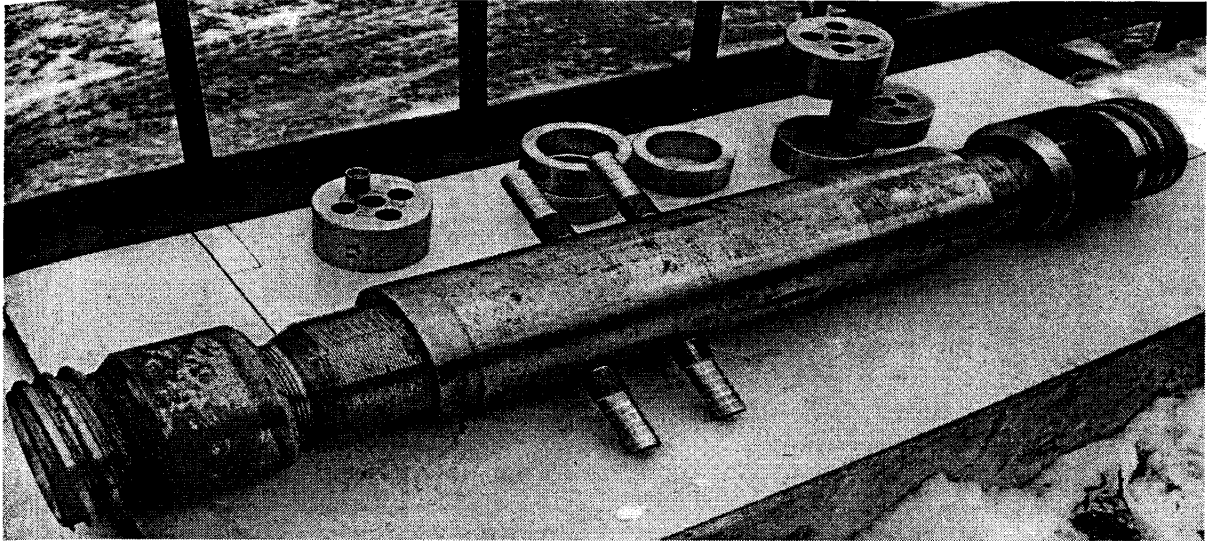


Рисунок 4.6 – Лабораторно-експериментально-промисловий взірець піногенеруючого пристрою ПГП-100х25-5

4.3 Методика експериментальних досліджень

4.3.1 Мета досліджень

Визначення працездатності піногенеруючих пристроїв ежекційного типу, встановлення найбільш раціональних геометричних параметрів і режимів роботи, збір даних для порівняння і аналізу експериментальних та комп'ютерних досліджень.

4.3.2 Місце проведення досліджень

Лабораторія кафедри будівельних машин Полтавського національного технічного університету імені Ю. Кондратюка.

4.3.3 Номенклатура технічних показників, які необхідно визначити в процесі експериментальних досліджень

В ході експериментальних досліджень піногенеруючого пристрою

контролюватимуться: тиск повітря, рідини і піни; подача повітря, рідини і піни; густина піни; ступінь аерації піни.

4.3.4 Кількість взірців для досліджень

Один комплект корпусних елементів піногенеруючого пристрою;
 ежекційна вставка – 3 шт. (п'ятисоплова, трисоплова і двосоплова);
 сопла діаметрами 2, 3, 4, 5, 6 і 8 мм – по 5шт.;
 сопла діаметрами 10 і 15 мм – по 3 шт.;
 сопла діаметром 20 мм – 2 шт.;
 дифузорний диск (продовження камери змішування) – 3 шт.;
 розпірне кільце загального дифузора (продовження дифузора) – 3 шт.

4.3.5 Схема і принцип роботи пристрою

Схема експериментальної установки для дослідження піногенеруючого пристрою в лабораторних умовах зображена на рис.4.7. Дана схема працює наступним чином.

Для створення піни необхідно відкрити запірні елементи 8, 9 і 17. Потім запускають насос 2 і компресор 3 та ведеться спостереження за показами манометрів 10, 11 і 15. При цьому крани 12, 13 і 16 повинні бути відкриті.

Рідина і повітря проходять через піногенеруючий пристрій 1, утворюючи піну, яка подається в ємність для її накопичення, після чого проводиться дослідження піни. В процесі експериментальних досліджень можна змінювати тиски та подачу рідини і газу (повітря).

При необхідності зміни параметрів піногенеруючого пристрою після зупинки насоса 2 і компресора 3 стравлюють тиски в системі (контроль ведеться за показами манометрів 10, 11, 15). Переконавшись у відсутності тиску в системі, демонтують піногенеруючий пристрій 1. Розібравши пристрій, можна змінити соплові вставки, встановити сопла інших діаметрів, а також можна змінити по осі довжину камери змішування та дифузора.

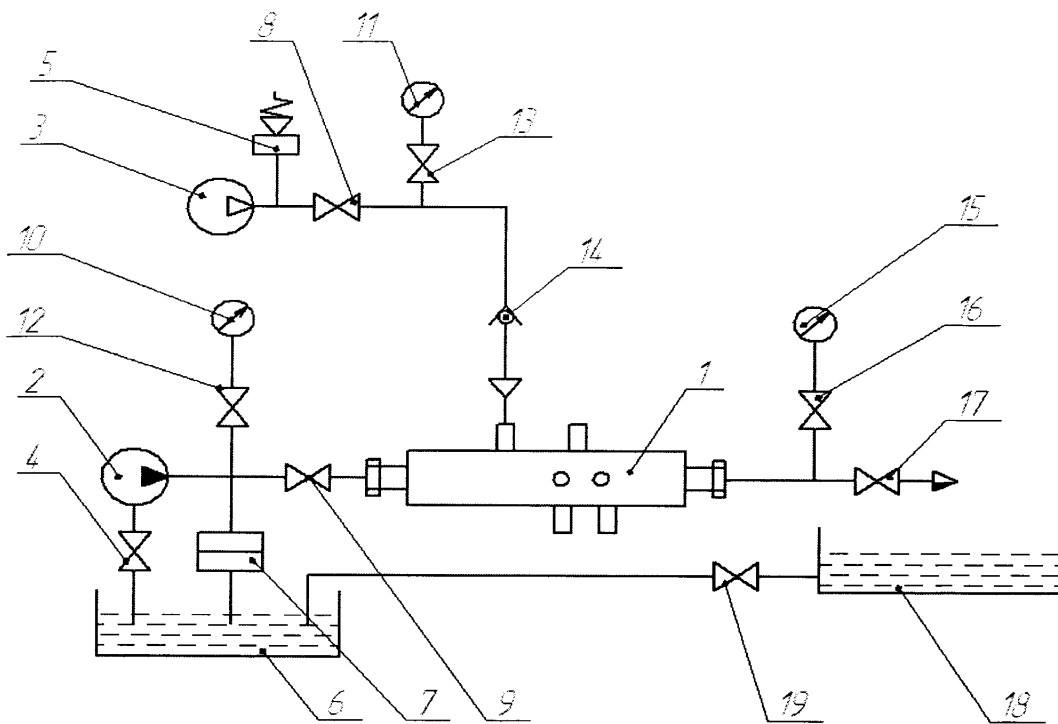


Рисунок 4.7 – Схема експериментальної установки для дослідження піногенеруючого пристрою в лабораторних умовах:

1 – піногенеруючий пристрій; 2 – насос; 3 – компресор; 4 – запірний елемент всмоктувальної лінії; 5 – запобіжний клапан пневмолінії; 6 – ємність з рідиною; 7 – запобіжний клапан нагнітальної лінії; 8 – запірний елемент пневмолінії; 9, 17, 19 – запірна арматура; 10, 11, 15 – манометри; 12, 13, 16 – крани манометрів; 14 – зворотний клапан; 18 – ємність для накопичення піни

4.3.6 Прилади та устаткування

Вибір обладнання для експериментальних випробувань здійснювався з врахуванням можливості регулювання ступені аерації рідини в широких межах за допомогою зміни подачі повітря компресором. Із таких міркувань підібраний насос РН 3,8 А та компресор КТ-15.

Технічна характеристика насоса РН 3,8 А:

- максимальна продуктивність, м³/год.....3,9
- межі плаваючого регулювання подачі, м³/год.....2,0-4,0
- максимальний тиск рідини, МПа.....5

- діаметр проточного поршня, мм.....	100
- діаметр штока проточного поршня, мм.....	70
- хід поршня, мм.....	90
- частота обертання вала електродвигуна, хв ⁻¹	1460
- потужність електродвигуна, кВт.....	7,5
- габаритні розміри, мм.....	420x620x1280
- маса без масла й розчинопроводів, кг.....	260

Технічна характеристика компресора КТ-15:

- потужність електродвигуна, кВт.....	1,5
- максимальний тиск повітря, МПа.....	0,2
- максимальна продуктивність, м ³ /с.....	0,083
- допустима сила струму, А.....	7,5
- маса, кг.....	25

4.3.7 Процедура і послідовність досліджень

Монтаж і встановлення піногенеруючого пристрою проводиться згідно схеми (рис. 4.8). Після завершення монтажу проводиться короткочасна подача повітря і рідини на протязі не більше 5 хв. Після зупинки подачі повітря і рідини перевіряються всі складові частини і місця з'єднання ділянки піногенеруючого пристрою на герметичність.

Контроль за параметрами і роботою піногенеруючого пристрою в подальшому процесі експериментальних досліджень проводить представник розробника. Дослідження проводяться при кількох режимах роботи піногенеруючого пристрою, при різних тисках і подачах рідини та газу (повітря). Після завершення досліджень піногенеруючий пристрій демонтується, очищається від бруду і перевіряється його стан.

4.3.8 Обробка і оформлення результатів досліджень

Всі проведені досліди та отримані результати вимірювань записуються в журнал експериментальних досліджень. За результатами проведених експериментальних досліджень будуються графіки.

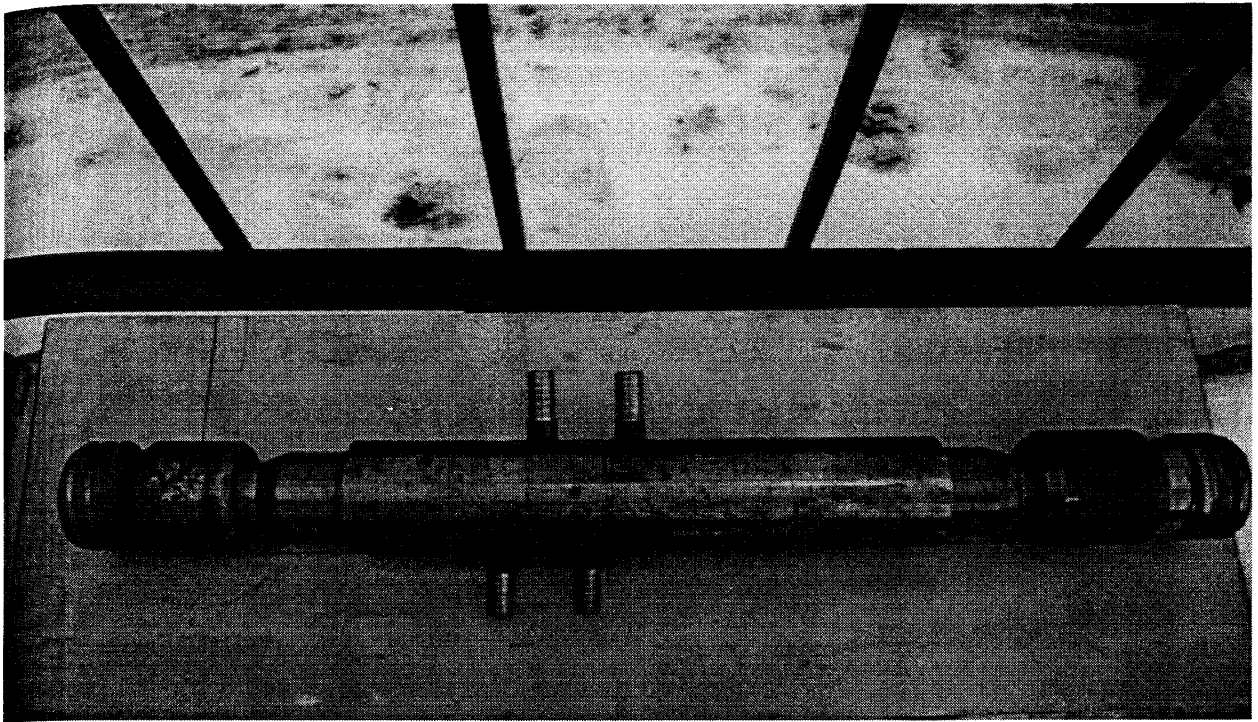
4.4 Експериментальні дослідження та їх результати

В ході проведення експериментальних досліджень основними параметрами, що визначались, були тиск і подача газу та рідини на вході у піногенеруючий пристрій та тиск і подача піни на виході із пристрою.

Експериментальні дослідження проводились на експериментальній установці (рис. 4.7) при використанні камери змішування без дифузорних дисків, із 1-м, 2-ма або 3-ма дифузорними дисками. Для кожної конструкції піногенеруючого пристрою дослідження проводились при зміні діаметра сопел (2, 3, 5, 6 і 8 мм), зміні подачі і тиску рідини та повітря, зміні вмісту поверхнево-активних речовин у рідині.

Рецептуру піноутворюючого розчину вибирають у відповідності із умовами буріння, при цьому враховуються властивості порід, що розбурюються і гідрогеологічні умови в свердловині. Залежно від конкретних умов концентрація піноутворювача в розчині підтримується на рівні 0,2 – 0,6 %. В інтенсивно поглинаючих зонах і нестійких породах рекомендується виготовляти піну при концентрації піноутворювача 0,5 – 1,0 % [59]. Враховуючи дані рекомендації, для виготовлення якісної піни в лабораторну ємність об'ємом $0,08\text{м}^3$ необхідно добавляти 0,16...0,8л поверхнево-активної речовини. При дослідженнях на однаковому режимі роботи змінювалась кількість ПАР (0,6л, 0,54л (зменшення на 10%), 0,48л (зменшення на 20%), 0,42л (зменшення на 30%)). Отримані результати експериментальних досліджень при різній кількості ПАР вказують на те, що якість піни при цьому суттєво не змінюється.

Піногенеруючий пристрій, який призначений для експериментальних досліджень, показаний на рис. 4.8. Прилади та пристосування, призначені для експериментальних досліджень піногенеруючого пристрою, показані на рис. 4.9...4.12.



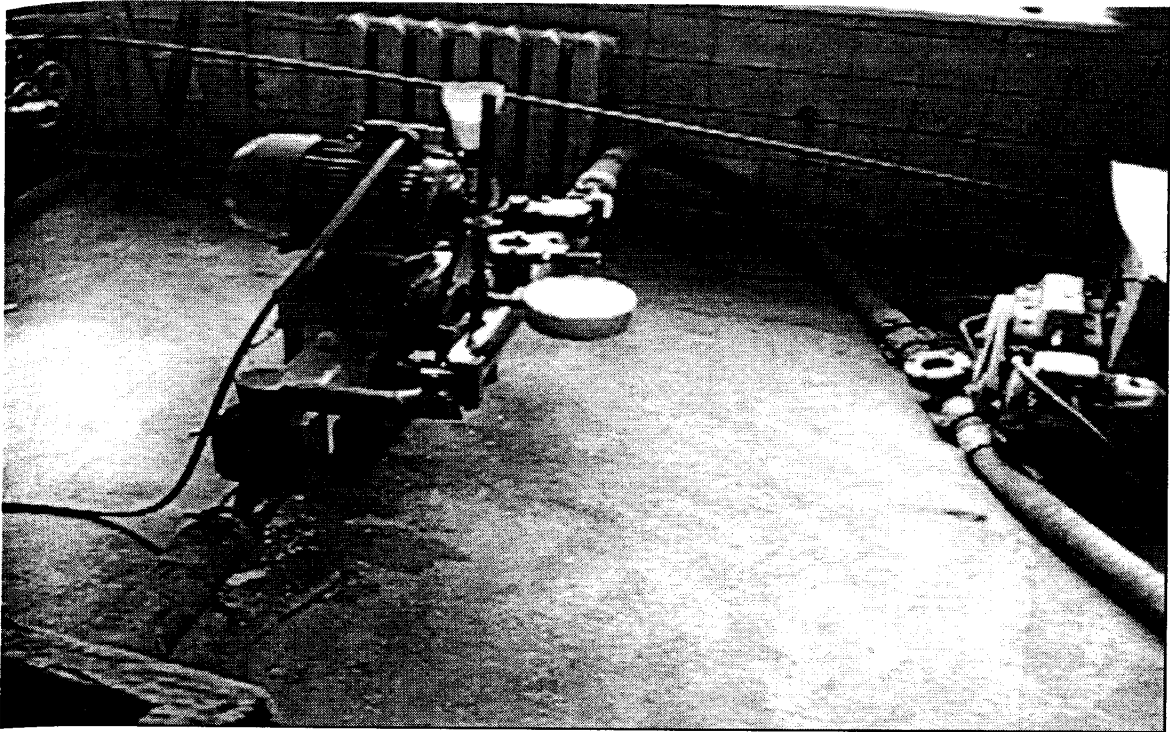
а)



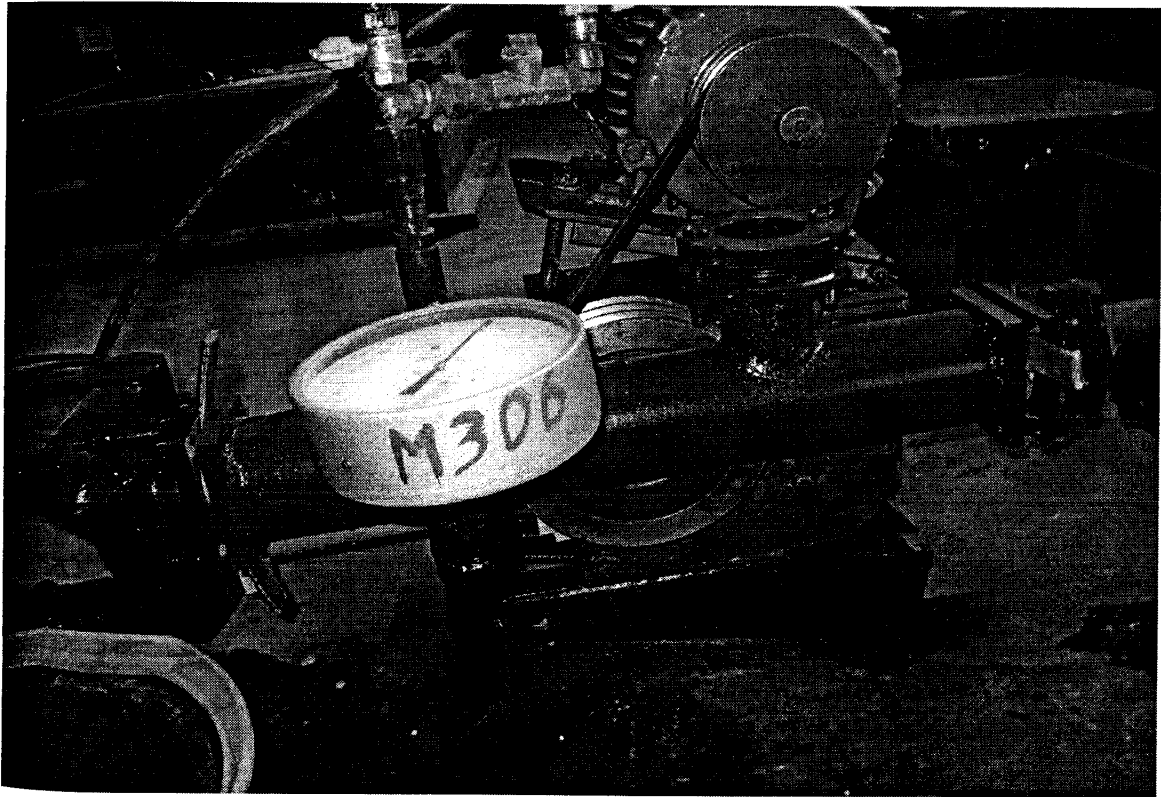
б)

а – пристрій в зібраному вигляді; б – складові частини пристрою

Рисунок 4.8 – Піногенеруючий пристрій, підготовлений до експериментальних досліджень



а)



б)

а – загальний вигляд насосної установки;

б – насосна установка з встановленим манометром

Рисунок 4.9 – Насос експериментальної лабораторної установки

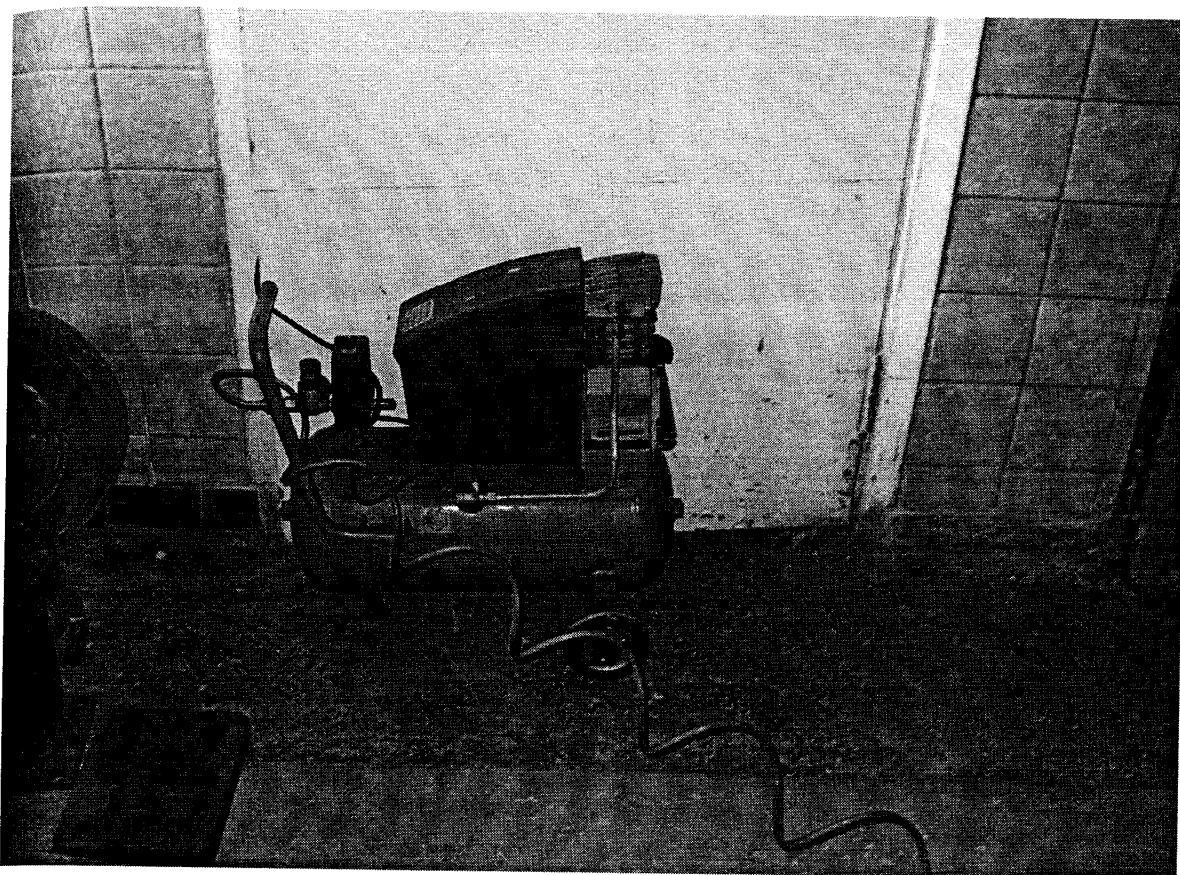


Рисунок 4.10 – Компресор експериментальної лабораторної установки

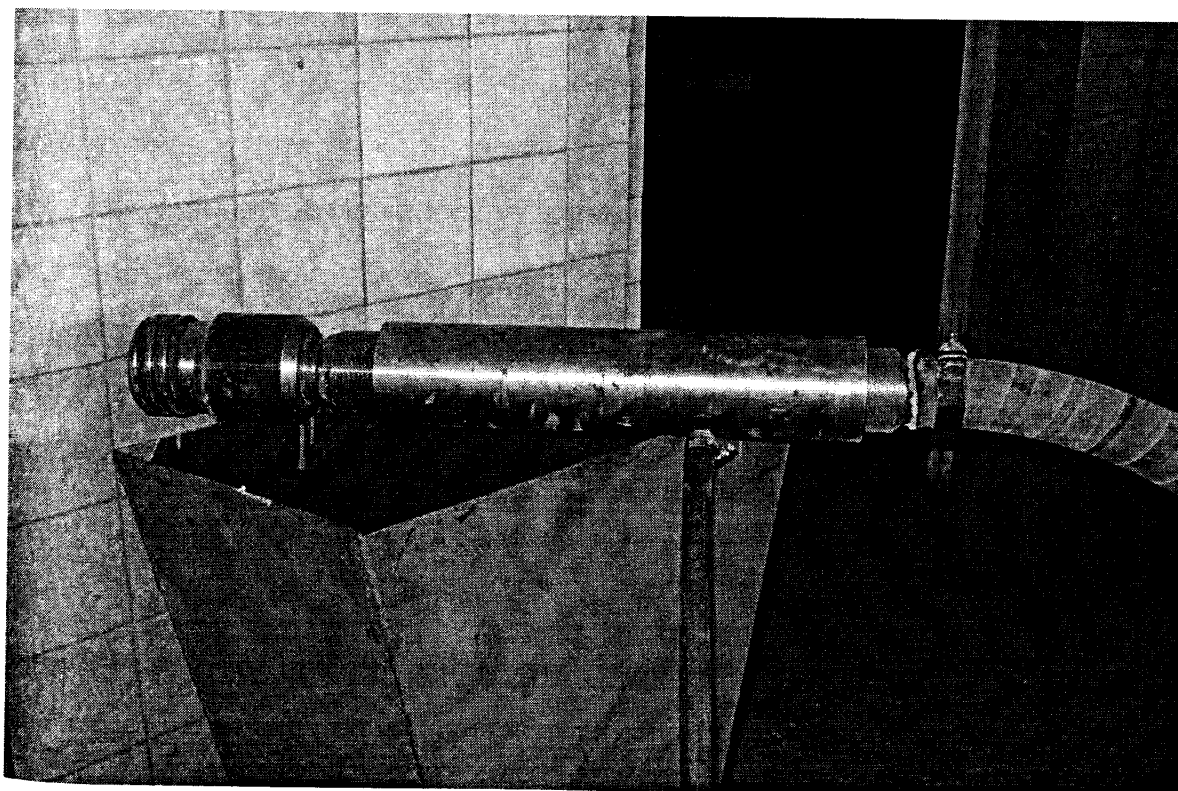


Рисунок 4.11 – Піногенеруючий пристрій, підготовлений до експериментальних досліджень

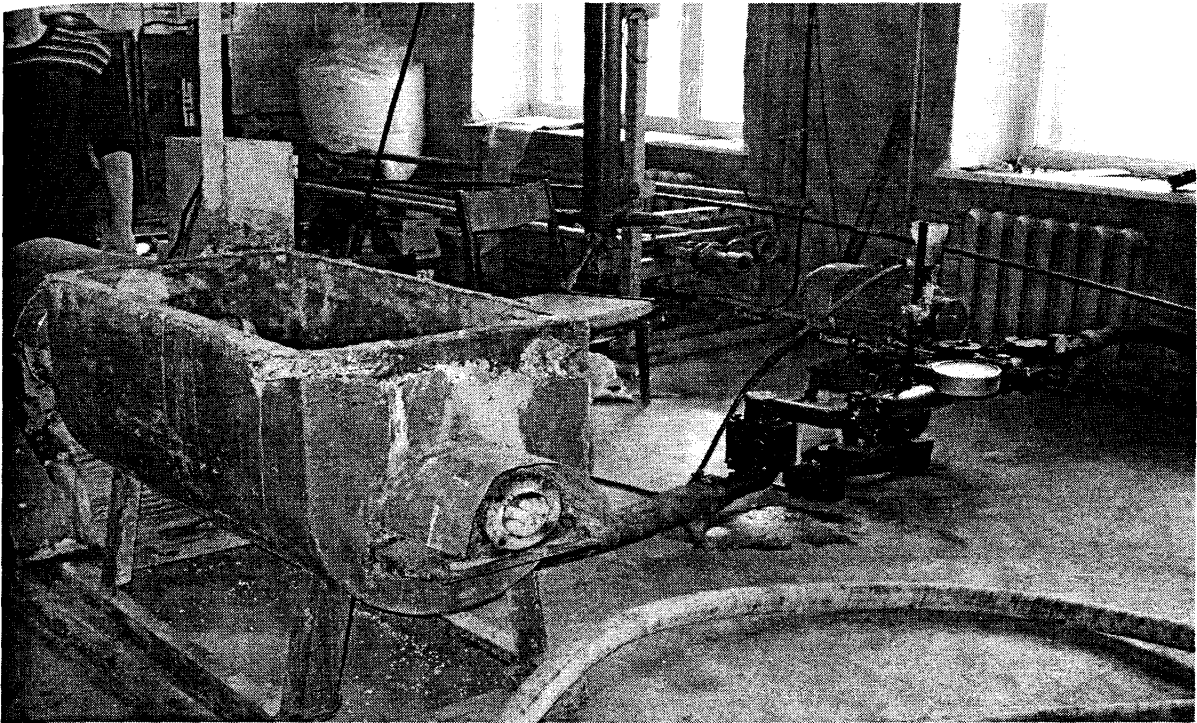


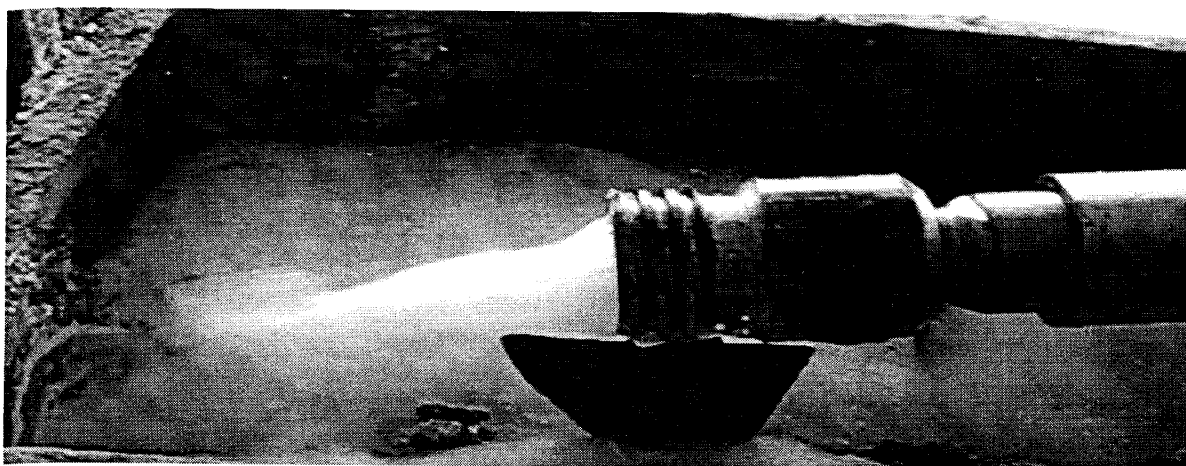
Рисунок 4.12 – Експериментальна установка з ємністю для піни

При дослідженні піногенеруючого пристрою із діаметрами сопел 2 і 3 мм утворення піни проходить досить якісно, але в лабораторній установці створюються значні гідравлічні опори і в реальних умовах практично неможливо буде їх використовувати, тому що навіть попадання механічної частини у сопло може перекрити подачу рідини. При діаметрі сопел 4 мм утворюється високоякісна піна і спостерігались нормальні умови роботи піногенеруючого пристрою.

При дослідженні піногенеруючого пристрою із діаметрами сопел 8 мм на лабораторно-експериментальній установці при всіх режимах роботи утворюється крупнодисперсна піна.

На рис. 4.13 показаний процес утворення піни піногенеруючим пристроєм піни при різних режимах дослідження.

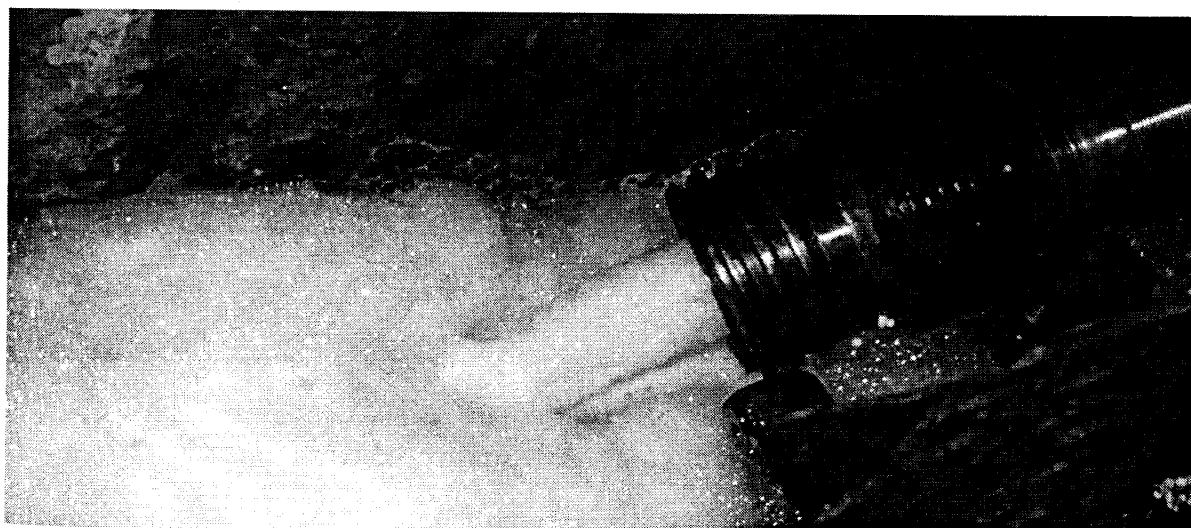
Експериментальні дослідження на лабораторній установці з трисопловою (діаметри сопел 10 і 15 мм) та двосопловою (діаметри сопел 20мм) вставками вирішено провести в промислових умовах, де можна забезпечити достатню швидкість руху рідини і повітря.



а)



б)

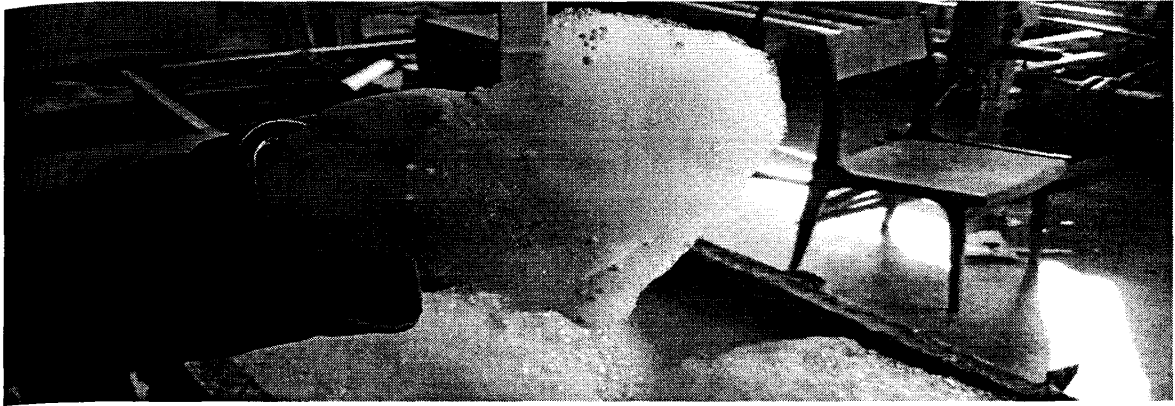


в)

а – при діаметрі сопел 4 мм; б – в зануреному вигляді з діаметром сопел
8 мм; в – при діаметрі сопел 8 мм

Рисунок 4.13 – Процес утворення піни піногенеруючим пристроєм

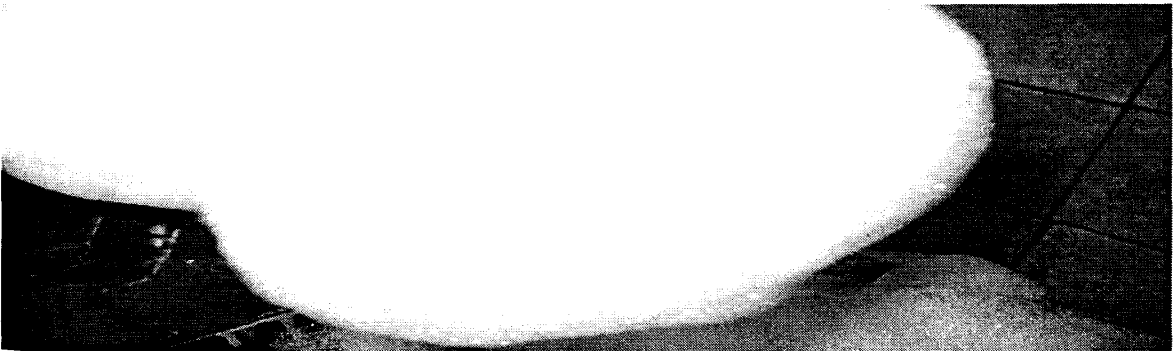
Піна досліджувалась на стійкість, тиксотропність та однорідність (рис. 4.14).



а)



б)



в)

Рисунок 4.14 – Дослідження властивостей піни:
а – на стійкість; б – на тиксотропність; в – на однорідність

Для оцінки якості піноутворюючих розчинів і приготовлених із них пін користувалися різними критеріями:

- стійкість піни – це показник, який характеризує тривалість існування всього початкового об'єму піни: період існування піни має бути не менше часу, необхідного для підйому шламу від вибою свердловини на поверхню (рис. 4.14,а);

- здатність ефективно виносити із свердловини шлам вибуреної породи. В зваженому стані отримана піна (рис. 4.14,б) має високу якість утримання піщинок та частинок скам'янілого розчину;

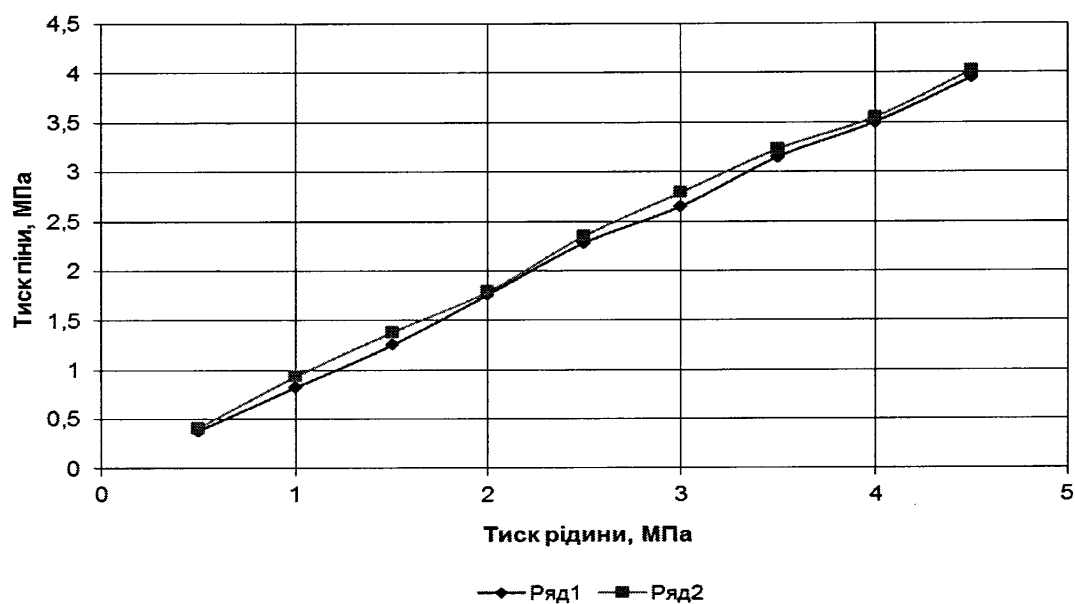
- дисперсність піни впливає на її стійкість: чим менший розмір бульбашок, тим вище її стійкість (рис. 4.14,в). При всіх експериментальних дослідженнях отримувалась піна дисперсністю, як показано на рис. 1.1.

4.5 Аналіз результатів експериментальних досліджень

При проведенні експериментальних досліджень вимірювався тиск на виході з піногенеруючого пристрою при різних режимах його роботи, при різних його конструкціях. Дослідження проводились при зміні подачі рідини в межах $0,00056 - 0,0011 \text{ м}^3/\text{с}$ та тиску повітря в межах $0,11 - 0,2 \text{ МПа}$. Результати дослідження п'ятисоплового піногенеруючого пристрою із камерою змішування з 3-ма дифузорними дисками та діаметром сопел 6 мм при тиску повітря на вході $0,2 \text{ МПа}$ наведені в таблиці 4.1. Кожна точка, наведена в таблиці, є усереднена за результатами декількох (5 – 10) експериментальних досліджень. Якщо при проведенні перших п'яти експериментів виходила хоча би одна точка з відхиленням більше 10 %, експерименти проводились до 10 раз. Під час проведення експериментальних досліджень було всього 5 таких випадків. На основі таблиці 4.1 побудовані графічні залежності (рис. 4.15) прогнозованого тиску піни на виході при різних подачах рідини та тиску повітря на вході у піногенеруючий пристрій.

Таблиця 4.1 – Залежність прогнозованого тиску піни на виході із піногенеруючого пристрою від подачі рідини на вході при тиску повітря на вході 0,2 МПа

Тиск рідини P_p , МПа	Подача рідини Q_p , м ³ /с	
	0,00056	0,0011
0,5	0,38	0,41
1	0,82	0,93
1,5	1,25	1,38
2	1,76	1,79
2,5	2,28	2,35
3	2,65	2,79
3,5	3,15	3,23
4	3,5	3,55
4,5	3,95	4,02

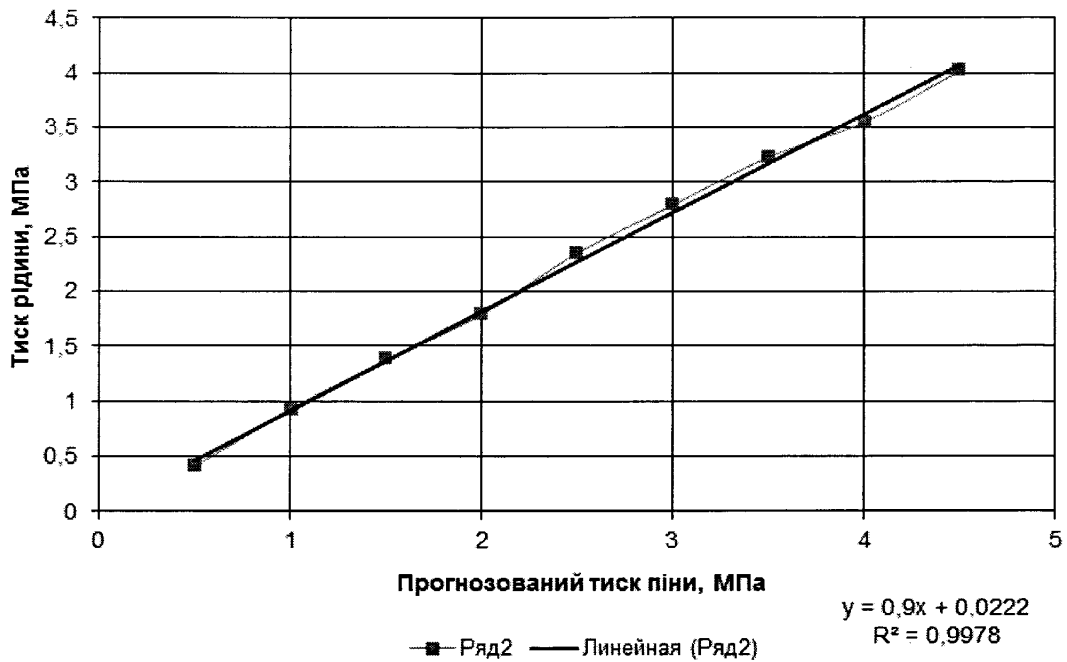


Ряд 1 – при подачі рідини 0,0011 м³/с; Ряд 2 – при подачі рідини 0,00056 м³/с

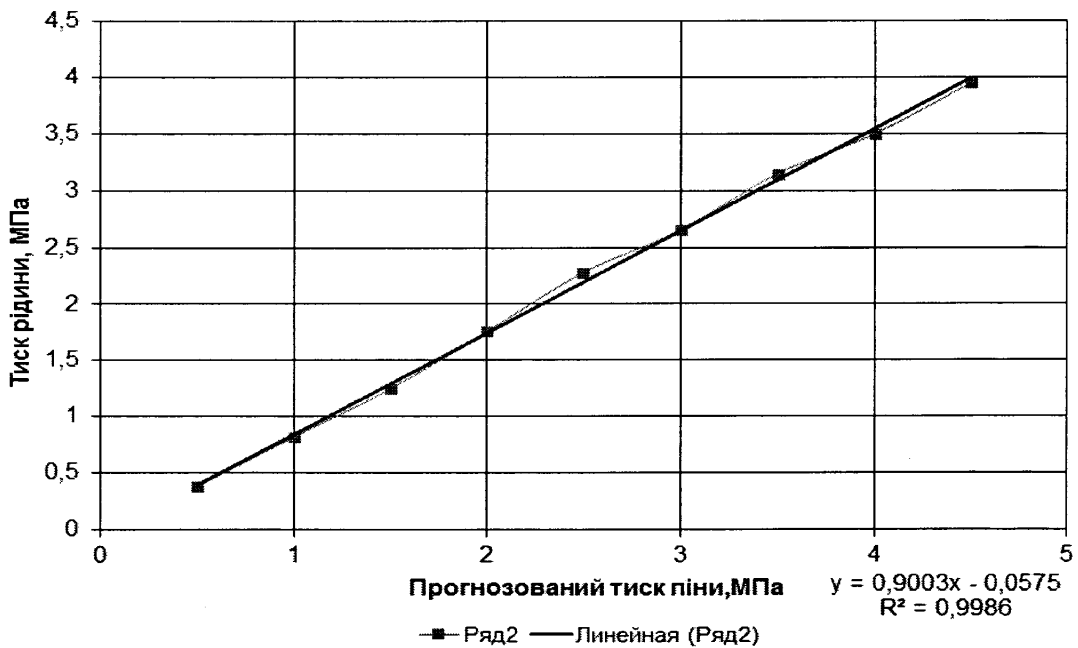
Рисунок 4.15 – Залежність прогнозованого тиску піни на виході із піногенеруючого пристрою від тиску рідини на вході при тиску повітря на вході 0,2 МПа

На основі отриманих результатів експериментальних досліджень побудовані регресійні моделі (рис. 4.16). При цьому, досліджуючи піногенеруючий пристрій з подачею рідини на вході 0,0011 м³/с, отримане

рівняння регресії $y = 0,9x + 0,0222$ і коефіцієнт кореляції $R^2 = 0,9978$, а при подачі рідини на вході $0,00056 \text{ м}^3/\text{с}$ – рівняння регресії $y = 0,9003x + 0,0575$ і коефіцієнт кореляції $R^2 = 0,9986$.



а)



б)

а – при подачі рідини $0,0011 \text{ м}^3/\text{с}$; б – при подачі рідини $0,00056 \text{ м}^3/\text{с}$

Рисунок 4.16 – Регресійна модель результатів експериментальних досліджень

На основі проведених теоретичних і експериментальних досліджень побудовані графічні залежності співставлення експериментальних даних із теоретичними кривими (рис. 4.17, 4.18), які вказують на співпадання у високій мірі проведених досліджень із встановлення оптимальних параметрів і режимів роботи обладнання для промивання нафтогазових свердловин пінистими розчинами. Достатньо добре співпадання теоретичних і експериментальних досліджень вказує на можливість використання розробленого піногенеруючого пристрою для виготовлення стійкої дрібнодисперсної піни.

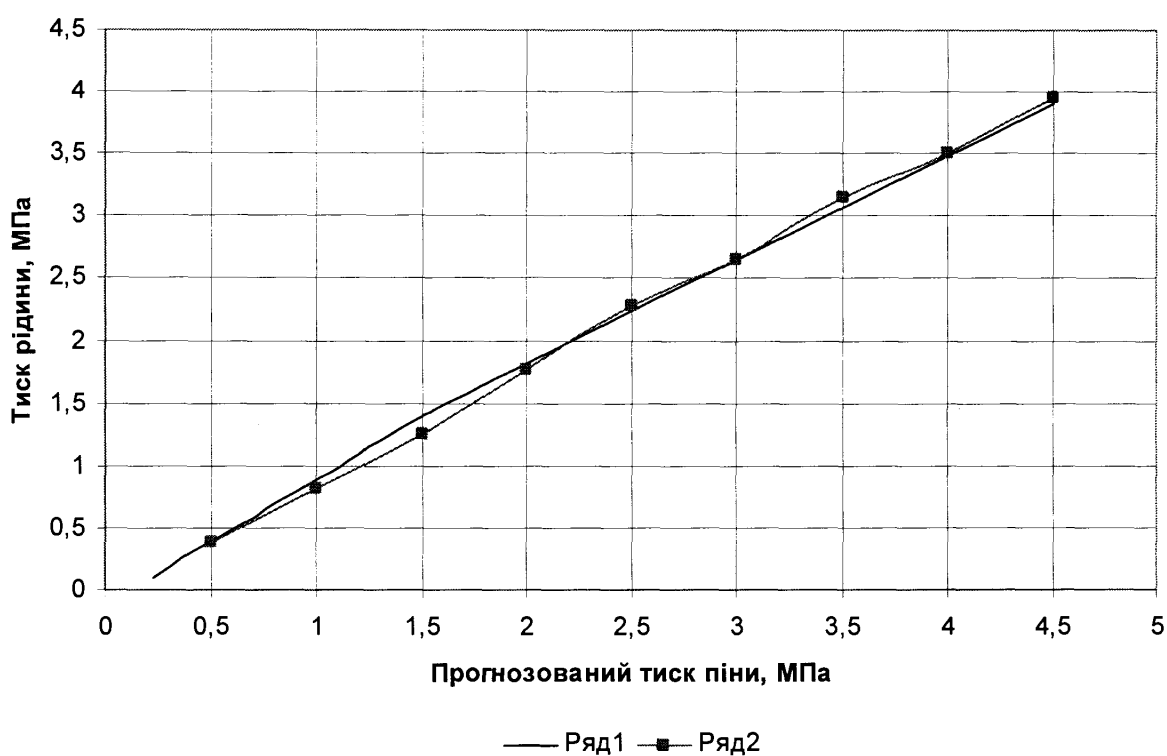


Рисунок 4.17 – Залежність прогнозованого тиску піни на виході із піногенеруючого пристрою від тиску рідини на вході при тиску повітря на вході 0,2 МПа та подачі рідини 0,00056 м³/с:

Ряд 1 – теоретичне дослідження;

Ряд 2 – експериментальне дослідження

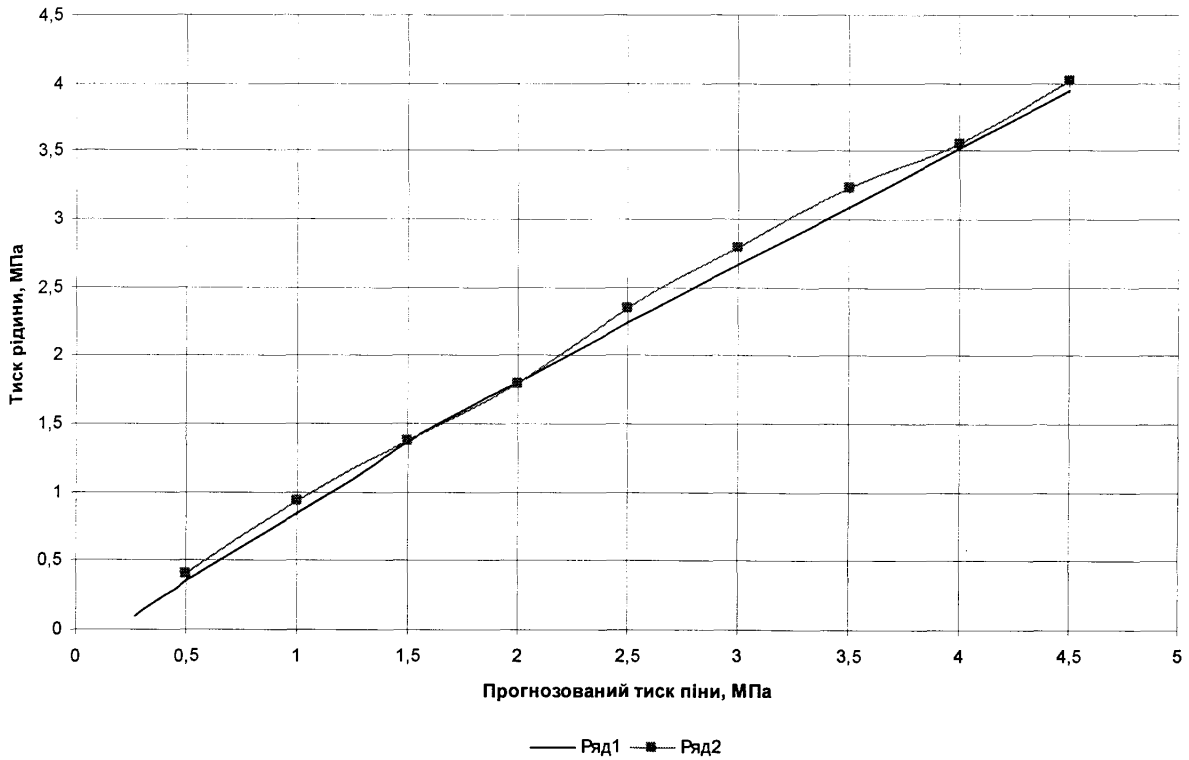


Рисунок 4.18 – Залежність прогнозованого тиску піни на виході із піногенеруючого пристрою від тиску рідини на вході при тиску повітря на вході 0,2 МПа та подачі рідини 0,0011 м³/с:

Ряд 1 – теоретичне дослідження;

Ряд 2 – експериментальне дослідження

Висновки до розділу

1. Розроблено та виготовлено лабораторно-експериментально-промисловий взірець піногенеруючого пристрою та експериментальну установку для його дослідження в лабораторних умовах, що дозволяє відтворити основні технологічні параметри роботи піногенеруючого обладнання.

2. Проведені лабораторно-експериментальні дослідження запропонованої конструкції піногенеруючого пристрою дозволили встановити вплив конфігурації основних конструктивних елементів на ефективність піноутворення.

3. На основі проведення лабораторно-експериментальних досліджень визначено залежність тиску пінистого розчину на виході та продуктивності піногенеруючого пристрою від тиску і подачі рідини та повітря на вході для основних конструктивних елементів піногенеруючого пристрою.

4. В результаті експериментальних досліджень ще раз підтвержені отримані результати комп'ютерних досліджень, що піногенеруючі багатосоплові (в даному випадку п'ятисоплові) пристрої із змінними соплами з діаметрами в межах 4...8 мм є найбільш ефективними для створення дрібнодисперсної піни.

РОЗДІЛ 5

ПРОМИСЛОВІ ВИПРОБУВАННЯ УСТАТКУВАННЯ ДЛЯ ПРОМИВАННЯ СВЕРДЛОВИНИ ПІНИСТИМИ РОЗЧИНАМИ

5.1 Програма і методика промислових випробувань

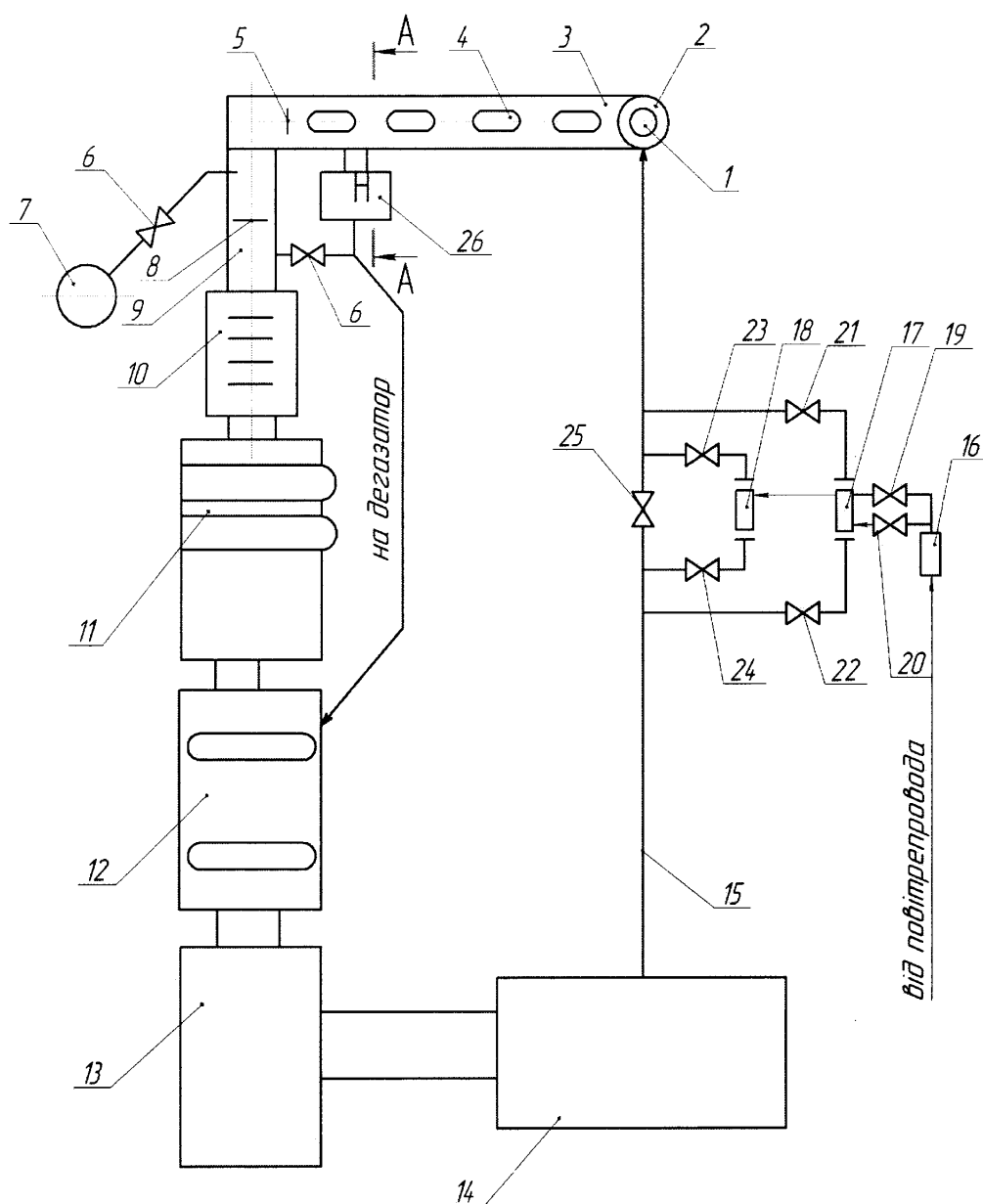
Для проведення промислових випробувань розроблена програма і методика, яка погоджена із відповідними відділами та затверджена головним інженером Полтавського відділення бурових робіт ДП “Укрбургаз. В повному обсязі програма і методика промислових випробувань представлена в додатку В.

Для проведення промислових випробувань підібраний насос 4Р-700 із максимальним тиском нагнітання рідини 70 МПа та продуктивністю від 0,0063 до 0,01278 м³/с, буровий насос УНБ-600 із максимальним тиском нагнітання рідини 25 МПа та продуктивністю від 0,0189 до 0,0509 м³/с та компресор КС-250 із максимальним тиском на виході 25 МПа та максимальною продуктивністю до 0,5 м³/с.

5.2 Підготовка устаткування до промислових випробувань

Для можливості найбільш раціонального використання піногенеруючого устаткування передбачена схема обв’язки циркуляційної системи [12] при бурінні з промиванням свердловини піною (рисунок 5.1).

Над свердловиною 1 встановлюється герметизатор гирла свердловини 2, який призначений для герметизації простору між ведучою трубою і роз’ємною воронкою, що встановлюється над противикидним обладнанням з метою відсікання піни. Жолобна система бурової установки складається з початкової ділянки – закритого жолоба 3 з відкидними люками 4 для очищення жолоба від шламу та кінцевої ділянки – відкритого жолоба 9.



- 1 – свердловина; 2 – герметизатор устя; 3 – закритий жолоб; 4 – люк;
 5 – шибер; 6, 19-25 – засувка; 7 – доливна ємність; 8 – поворотна заслінка;
 9 – відкритий жолоб; 10 – бункер-шламовловлювач; 11 – блок очищення;
 12 – дегазатор; 13 – приймальний резервуар; 14 – насосний агрегат;
 15 – маніфольд; 16 – компресор; 17, 18 – піногенеруючий пристрій;
 26 – вакуумний насос

Рисунок 5.1 – Схема обв'язки циркуляційної системи при бурінні з промиванням свердловини піною

Вкінці закритого жолоба 3 встановлюються регулювальний шибер 5 та вакуумний насос 26, який передбачає відбір повітря з пінної системи і можливо частину промивальної рідини з подальшим транспортуванням у відкритий жолоб або на дегазатор 12 при наявності розчиненого газу. У випадку осідання піни після вакуумного насоса рідина поступає у відкритий жолоб, а при відсутності осідання піни рідина може подаватись на дегазатор. На ділянці відкритого жолоба передбачається встановлення поворотної заслінки 8, яка забезпечить доливання свердловини з доливної ємності 7 через засувку 6 в процесі спуско-піднімальних операції, а також бункера-шламовловлювача 10, який здійснює очищення промивальної рідини та осаджування піни, що надійшла у відкритий жолоб.

У подальшому промивальна рідина надходить на блок очищення 11, на якому встановлене обладнання для очищення – вібросита та гідроциклон. Після дегазатора 12 рідина надходить у приймальний резервуар 13, а потім насосний агрегат 14 через маніфольд 15 нагнітає промивальну рідину в свердловину. Вакуумний насос з'єднаний з верхньою ділянкою закритого жолоба, а по його центру розміщується сітчаста перегородка для розділення рідини та піни. Передбачається також очищення сітчастої перегородки у випадку її зашламування через регулювальний шибер 5 та люк 4. Довжина сітчастої перегородки, яку пропонується встановити вкінці закритого жолоба посередині його горизонтального перерізу, повинна становити 1,5 – 2 м.

Реалізацію промивання свердловини за допомогою піни забезпечують два піногенеруючих пристрої 17 і 18, які монтуються в ділянці байпасу з засувками. Якщо необхідно здійснити циркуляцію рідиною, то закриваються засувки 21, 22, 23, 24 та відкривається засувка 25. Для забезпечення аерації розчину циркуляція здійснюється відкриттям засувок 21, 22, 23, 24 та закриттям засувки 25. Повітря до піногенеруючих пристроїв подається за допомогою компресора 16. Регулювання потоку повітря здійснюється за допомогою засувок 19 і 20.

5.3 Промислові дослідження і випробування устаткування для промивання свердловин пінистими розчинами

Для встановлення піногенеруючого пристрою в циркуляційній системі на свердловині необхідно виконати прив'язку згідно принципової схеми ділянки під'єднання піногенеруючого пристрою для випробування в промислових умовах, наведеної на рис. 1 (додаток В).

Перед монтажем піногенеруючого пристрою проводиться узгодження всіх його приєднувальних розмірів. Розміри приєднувальних швидкорозбірних різьбових з'єднань на байпасі повинні відповідати наявним на кінцях піногенеруючого пристрою.

Перевіряється наявність всіх складових частин, показаних на схемі (рис. 1 додатка В), а також проводиться перевірка легкості закривання і відкривання всіх запірних елементів.

Перевіряється відповідність технічної характеристики насоса і компресора технічним параметрам піногенеруючого пристрою.

Виконуються всі настанови програми і методики промислових випробувань.

Промислові випробування піногенеруючого пристрою на свердловині № 201

Гадяцької площі

Призначення свердловини – оціночно-експлуатаційна: оцінка поточних пластових тисків в продуктивних пластах В-16, В-17-20; оцінка остаточних запасів газу і експлуатація горизонтів В-17-20.

Геологічні умови – ускладнені.

Проектний горизонт – верхньовізейський під'ярус нижнього карбону.

Проектна глибина – 4900 м.

Бурова установка – Уралмаш 3Д-76 (НБО-Д).

Конструкція свердловини:

кондуктор діаметром 426 мм – 360 м;
 перша проміжна колона діаметром 324 мм – 0...2720 м;
 друга проміжна колона діаметром 245 мм – 0...4580 м;
 експлуатаційна колона: діаметром 168 мм – 0...4500 м;
 діаметром 140 мм – 4500...4900 м.

Проектний геологічний розріз свердловини характеризується ускладненими гірничо-геологічними умовами буріння. При бурінні розкривалися відклади від антропогену до верхньовізейського під'ярусу нижнього карбону, в яких можливі осипання та обвали порід, часткові поглинання промивальної рідини, утворення сальників, каверн, жолобів і виступів, звуження і викривлення ствола свердловини та газопроявлення.

Покрівля нафтогазоносних горизонтів на глибині 4040 м. Пластові тиски до проектної глибини близькі до гідростатичних з градієнтами від 0,00955 до 0,01080 МПа/м.

Пластові тиски в покрівлі газоносних горизонтів складають:

42,74 МПа на глибині 4040 м;
 42,63 МПа на глибині 4120 м;
 43,92 МПа на глибині 4150 м;
 48,04 МПа на глибині 4450 м;
 48,82 МПа на глибині 4530 м;
 44,12 МПа на глибині 4600 м;
 45,10 МПа на глибині 4690 м;
 46,08 МПа на глибині 4750 м;
 47,06 МПа на глибині 4820 м.

При бурінні свердловини використовувався гуматно-акриловий і гуматно-акрило-калієвий буровий розчин густиною 1120 – 1170 кг/м³.

Буріння в інтервалі 0 – 360 м під кондуктор діаметром 426 мм здійснювалось 3-х шарошковими долотами діаметром 393,7 мм в комплекті з

розширником РШ-550 для запобігання розмиву гирла свердловини при подачі насосів $Q = 40 - 45$ л/с.

Буріння в інтервалі 360 – 2720 м під проміжну колону діаметром 324 мм здійснювалось 3-х шарошковими долотами діаметром 393,7 мм при подачі насосів $Q = 39 - 53$ л/с.

Буріння в інтервалі 2720 – 4580 м під проміжну колону діаметром 245 мм здійснювалось 3-х шарошковими долотами діаметром 295,3 мм з режимом промивання при подачі насосів $Q = 32 - 38$ л/с.

Буріння в інтервалі 4580 – 4900 м під експлуатаційну колону діаметром 168/140 мм здійснювалось 3-х шарошковими долотами діаметром 215,9 мм з режимом промивання при подачі насосів $Q = 22 - 26$ л/с.

При бурінні під проміжну колону діаметром 324 мм встановлювалось противикидне обладнання ОП2-350x35 із опресовкою після установки на гирлі 24,5 МПа.

При бурінні під проміжну колону діаметром 254 мм встановлювалось противикидне обладнання ОП2-350x70 із опресовкою після установки на гирлі 37,7 МПа.

При бурінні під експлуатаційну колону діаметром 168/140 мм встановлювалось противикидне обладнання ОП2-350x70 із опресовкою після установки на гирлі 37,8 МПа.

На свердловині встановлена колонна головка ОКК3-70-168x245x324x426 із опресовкою після установки на гирлі свердловини відповідно 6,5/24,5/37,7/37,8 МПа.

Після спорудження свердловини на гирлі заплановано встановити фонтанну арматуру АФ6-65x700К1 із опресовкою після установки на тиск 37,8 МПа.

Випробування піногенеруючого пристрою ППП-100x25-5 проводились 20 – 22 вересня 2011 року з використанням насосного агрегату

4АН-700, в склад якого входить триплунжерний насос 4Р-700 із наступною технічною характеристикою:

- потужність корисна, кВт	452
- хід поршня, мм	200
- тиск на вході, МПа	0,5
- тиск нагнітання, МПа	до 70
- продуктивність, л/с	від 6,3 до 12,78
- габаритні розміри, мм	2440x1085x1100
- маса, кг	4700

Під час промислових досліджень при високих тисках рідини використовувався компресор КС-250 із максимальним тиском на виході 25 МПа та максимальною продуктивністю до 30 м³/хв.

Випробовування проводились при спуску бурильної колони на різні глибини: 500 і 1000 м. Піногенеруючий пристрій, підготовлений до промислових досліджень, показаний на рис. 5.2.



Рисунок 5.2 – Піногенеруючий пристрій, підготовлений до промислових досліджень

Промислові дослідження проводились з використанням води та промивальної рідини (рис. 5.3). Пінистий розчин, утворений на основі промивальної рідини, є більш стійким за рахунок твердих частинок, які є стабілізаторами піни.



а)



б)

а – піна на основі води; б – піна на промивальній рідині

Рисунок 5.3 – Випробування піногенеруючого пристрою із 3-ма соплами

Для подачі рідини використовувався насосний агрегат 4АН-700. подача стиснутого повітря здійснювалась з використанням компресорної установки бурової установки. При збільшенні тиску рідини для подачі повітря використовувався компресор КС-250. Після піногенеруючого пристрою пінистий розчин подавався у свердловину і робота продовжувалась до виходу піни на поверхню.

Під час промислових досліджень проводилось переналаштування піногенеруючого пристрою на різну кількість сопел (2, 3, 4 або 5), на різну довжину камери змішування (без дифузорних дисків, із 1-м, 2-ма або 3-ма дифузорними дисками), із різним діаметром сопел (4, 5, 6, 8, 10, 15 і 20 мм). Якість піни, отриманої із 5-ти сопловою вставкою з діаметрами сопел 4, 5, 6 і 8 мм, не поступається піні, отриманій при невеликих тисках під час проведення експериментальних досліджень в лабораторних умовах (рис. 5.4). Більш якісна піна отримана при діаметрі сопел 6 і 8 мм, так як в промислових умовах досягається велика подача рідини і повітря, а також можна збільшувати ступінь аерації піни, порівняно із дослідженнями в лабораторних умовах.

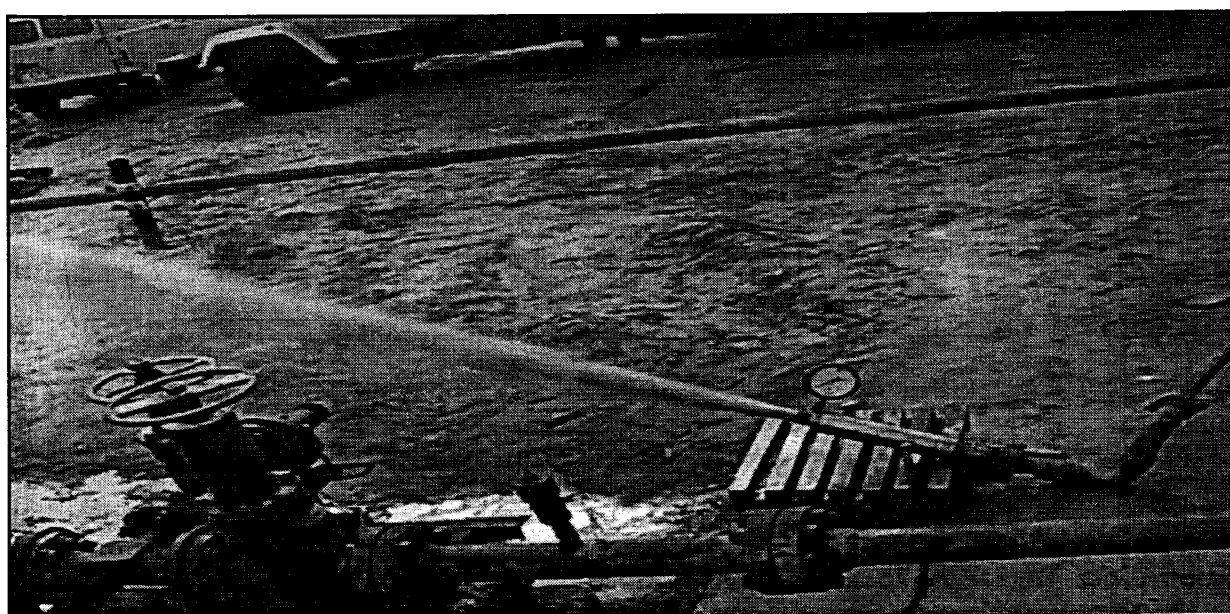


Рисунок 5.4 – Випробування піногенеруючого пристрою із 5-ма соплами піною на основі промивальної рідини

Експериментальні промислові дослідження піногенеруючого пристрою з трисопловою (діаметри сопел 10 і 15 мм) та двосопловою (діаметри сопел 20мм) вставками показали, що при забезпеченні достатньої швидкості руху рідини і повітря, при всіх режимах роботи утворюється крупнодисперсна піна.

*Промислові випробування піногенеруючого пристрою на свердловині
№ 172 Котелевської площі*

Призначення свердловини – оціночно-експлуатаційна: розробка покладів вуглеводнів горизонту С-5 верхньосерпухівського під'ярусу нижнього карбону.

Геологічні умови – ускладнені.

Проектний горизонт – верхньосерпухівський під'ярус нижнього карбону (С₁ s₂).

Проектна глибина – 4700 м.

Бурова установка – Уралмаш 4Е-76.

Конструкція свердловини:

кондуктор діаметром 426 мм – 0...300 м;

перша проміжна колона діаметром 324 мм – 0...2330 м;

друга проміжна колона діаметром 245 мм – 0...3600 м;

експлуатаційна колона: діаметром 168 мм – 0...4350 м;

діаметром 140 мм – 4350...4700 м.

Проектний геологічний розріз свердловини характеризується ускладненими гірничо-геологічними умовами буріння. При бурінні розкривалися відклади антропогену, неогену, палеогену, крейди, юри, тріасу, нижньої пермі, верхнього, середнього та нижнього карбону, в яких можливі осипання та обвали порід, часткові поглинання промивальної рідини, звуження та викривлення ствола свердловини, утворення сальників, каверн, жолобів і виступів, а також газопроявлення з глибини 4450 м.

Покрівля газоносних горизонтів на глибині 4450 м. Пластові тиски до глибини 4450 м близькі до гідростатичних з градієнтами від 0,0083 до 0,01070 МПа/м.

Пластові тиски в покрівлі продуктивних горизонтів складають:

39,22 МПа на глибині 4450 м;

25,49 МПа на глибині 4590 м.

При бурінні свердловини використовувався гуматно-акриловий і гуматно-акрило-калієвий буровий розчин густиною 1120 – 1280 кг/м³.

Буріння в інтервалі 0 – 300 м під кондуктор діаметром 426 мм здійснювалось 3-х шарошковими долотами діаметром 393,7 мм в комплекті з розширником РШ-550 при подачі насосів $Q = 42 - 60$ л/с.

Буріння в інтервалі 300 – 2330 м під проміжну колону діаметром 324 мм здійснювалось 3-х шарошковими долотами діаметром 393,7 мм при подачі насосів $Q = 38 - 45$ л/с.

Буріння в інтервалі 2330 – 3600 м під проміжну колону діаметром 245 мм здійснювалось 3-х шарошковими долотами діаметром 295,3 мм з режимом промивання при подачі насосів $Q = 32 - 39$ л/с.

Буріння в інтервалі 3600 – 4700 м під експлуатаційну колону діаметром 168/140 мм здійснювалось 3-х шарошковими долотами діаметром 215,9 мм з режимом промивання при подачі насосів $Q = 19,3$ л/с.

При бурінні під проміжну колону діаметром 324 мм встановлювалось противикидне обладнання ОП5-350/80x21 із опресовкою після установки на гирлі 18,7 МПа.

При бурінні під проміжну колону діаметром 254 мм встановлювалось противикидне обладнання ОП5-230/80x35К1 із опресовкою після установки на гирлі 26,36 МПа.

При бурінні під експлуатаційну колону діаметром 168/140 мм встановлювалось противикидне обладнання ОП5-230/80x70 із опресовкою після установки на гирлі 36,04 МПа.

На свердловині встановлена колонна головка ОККЗ-70-168x245x324x426К1 із опресовкою після установки на гирлі свердловини відповідно 6,5/18,7/26,36/36,04 МПа.

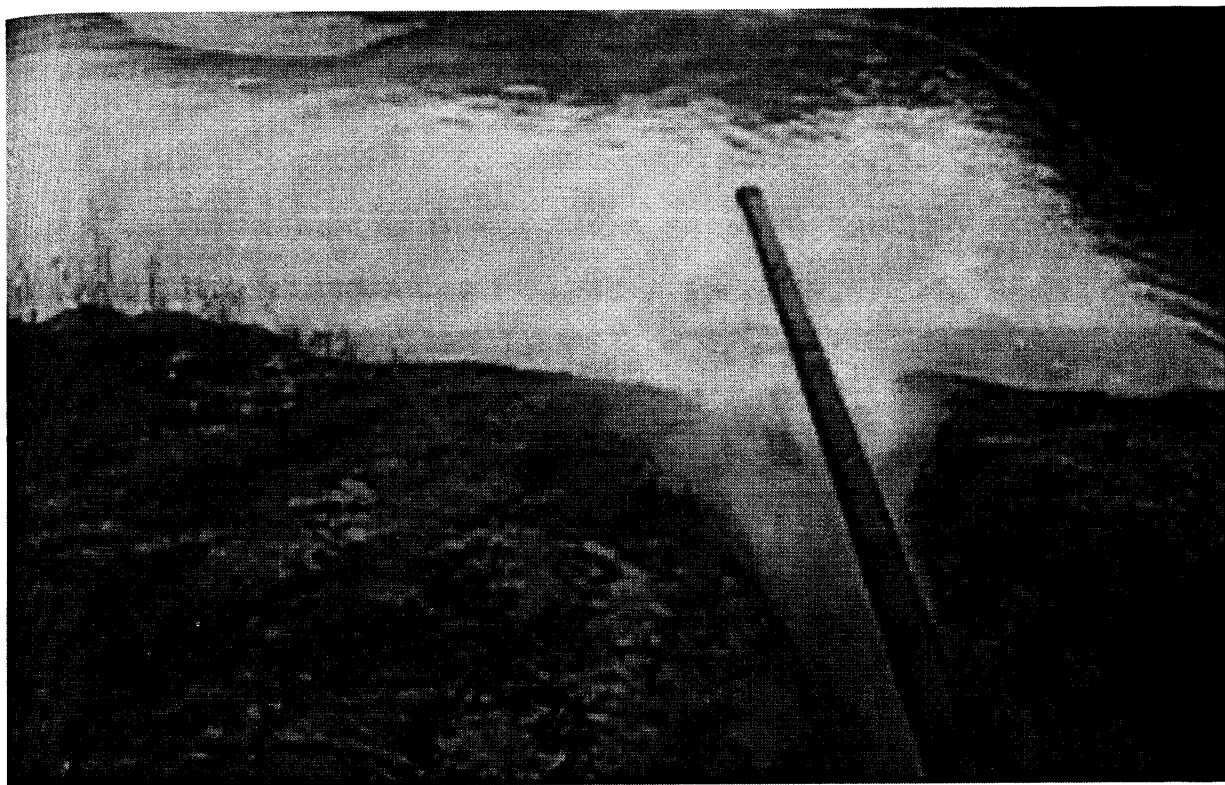
Після спорудження свердловини на гирлі планується установка фонтанної арматури АФ6-80/50x70К1 із опресовкою після установки на тиск 36,04 МПа.

Випробовування піногенеруючого пристрою на свердловині проводились в процесі освоєння свердловини за ініціативою Полтавського ВБР у зв'язку з виробничою необхідністю 22 – 24 грудня 2011 року. Свердловина пробурена до проектної глибини 4700 м.

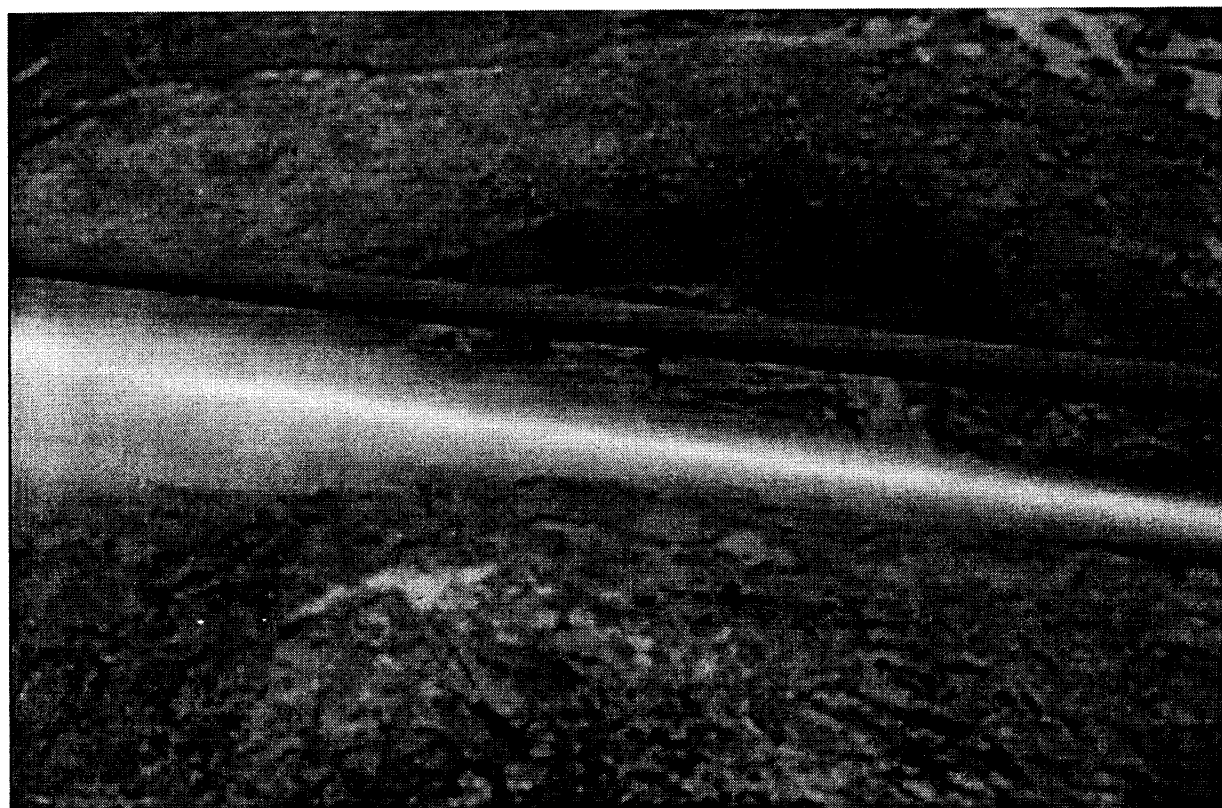
Для створення пінистого розчину і закачування його в свердловину на бурову доставлено агрегат 4АН-700, а для подавання стиснутого повітря – компресорну станцію КС-250. Піногенеруючий пристрій в обв'язку циркуляційної системи був змонтований з використанням швидкорозбірних з'єднань та трубопроводів, якими оснащений агрегат. Для створення пінистого розчину використовувалась поверхнево-активна речовина – сульфанол, концентрація якого змінювалась в процесі дослідження.

На лінії від компресорної станції встановлювався зворотній клапан для запобігання проникненню рідини до компресора. В процесі підготовки до промислових досліджень було проведено опресовку піногенеруючого пристрою і усунено виявлені неполадки (розгерметизація з'єднань). Випробовування проводились при різних параметрах і режимах роботи піногенеруючого пристрою при спуску колони насосно-компресорних труб на глибину 4590 м. Спущена в свердловину колона НКТ двохступінчаста із діаметрами труб 73 і 60 мм.

На початковій стадії промислових досліджень амбар заповнений водою із невеликою кількістю піни (рис. 5.5,а). Піна викидувалась із свердловини під високим тиском і великим об'ємом (рис. 5.5,б).



а



б

Рисунок 5.5 – Процес викиду піни із свердловини

Так як дослідження проводились в зимовий період, то немає потреби використання піногасячих хімічних речовин та спеціального технічного устаткування для підготування розчину для повторної подачі у свердловину у зв'язку з можливістю використання значного перепаду температур для ліквідації піни, що спостерігається на рис. 5.6.

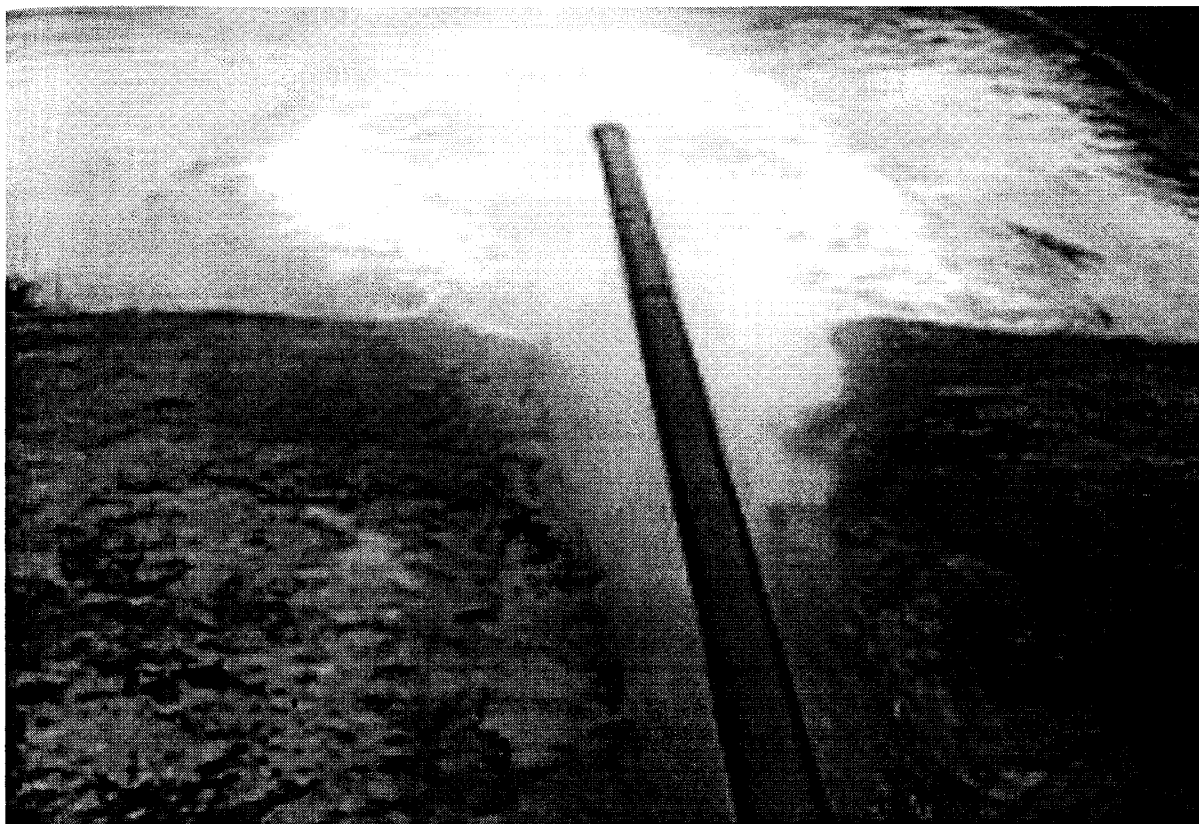


Рисунок 5.6 – Викид піни із свердловини в амбар та її гасіння

Для визначення основних параметрів використовувались манометри, якими оснащений агрегат та компресор. Під час досліджень велись спостереження за манометрами при подачі піни у свердловину. На рис. 5.7 манометр показує тиск піни на виході із піногенеруючого пристрою 12 МПа. Дані дослідження проводились пристроєм із діаметром сопла 6 мм камерою із 2-ма дифузорними дисками при подачі рідини з ПАР 0,01 м³/с насосним агрегатом 4АН-700 під тиском 17 МПа, одночасно за допомогою компресорної станції КС-250 нагніталось повітря під тиском 10 МПа через вхідний патрубок пристрою.

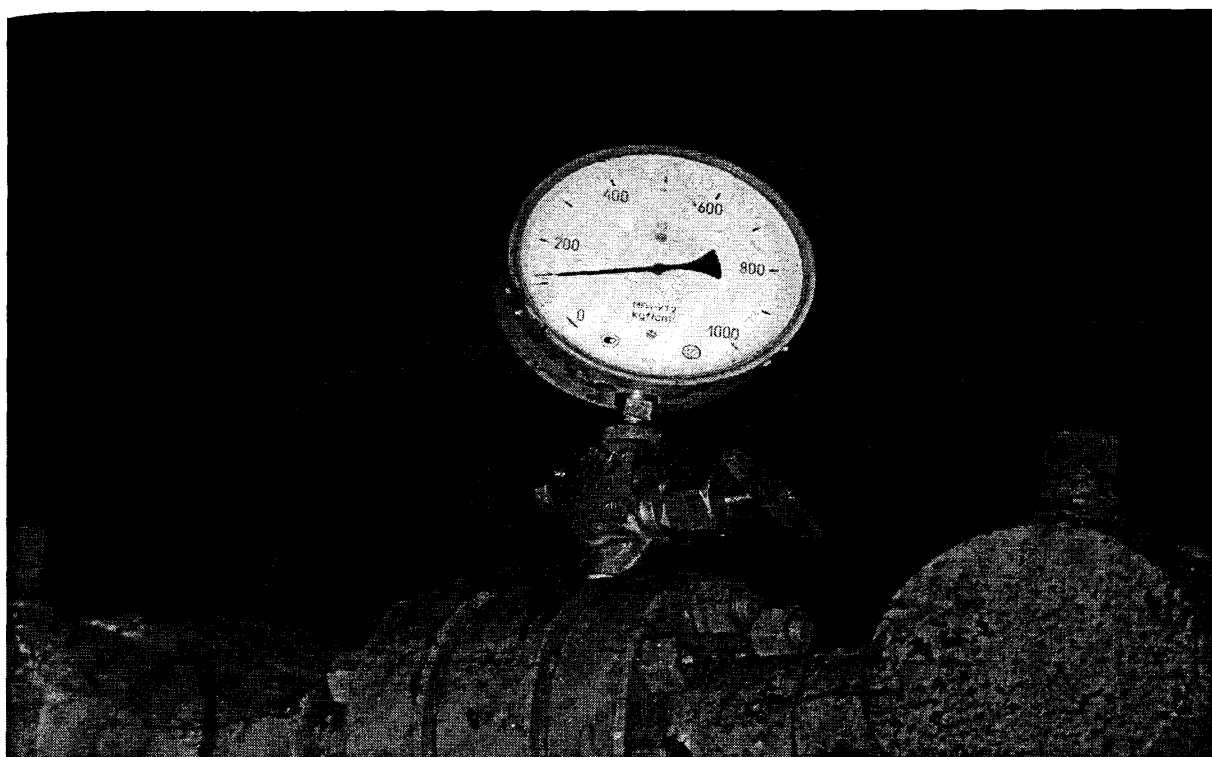


Рисунок 5.7 – Покази манометра при подачі піни у свердловину

5.4 Аналіз результатів промислових випробувань та рекомендації щодо використання піногенеруючого пристрою

В ході виконання дисертаційної роботи були проведені теоретичні, експериментальні дослідження та комп'ютерні моделювання обраної конструкції багатосоплового ежекційного типу піногенеруючого пристрою.

Отримані математичні моделі та результати експериментальних досліджень враховані при розробці конструктивного вирішення піногенеруючого пристрою. На основі отриманих даних розроблена конструкція піногенеруючого пристрою із наступною технічною характеристикою.

Технічна характеристика піногенеруючого пристрою:

- тип конструкції п'ятисопловий ПГП-100x25-5
- максимальний тиск рідини на вході, МПа 25
- максимальна сумарна площа отворів сопел, мм²

діаметр 8 мм	251
діаметр 6 мм	141
діаметр 5 мм	98
діаметр 4 мм	63
- робоча швидкість потоку суміші перед стрибком ущільнення, м/с	30 – 60
- площа отвору для поступання повітря, мм ²	300
- ступінь аерації	60 – 300
- тип та розміри приєднувальних різьб	3 - 97
- габаритні розміри, мм	
довжина	750
діаметр	100
- маса, кг	45

Для проведення промислових випробувань на двох свердловинах (№201 Гадяцької площі та №172 Котелевської площі Полтавського ВБР), піногенеруючий пристрій встановлювався за допомогою швидкокорозбінного різьбового з'єднання в існуючу насосно-циркуляційну систему або додаткову обв'язку через “байпас” із засувками, що дає можливість проводити промивання свердловини як за допомогою промивальної рідини, так і при необхідності за допомогою піни.

Основною метою проведення промислових випробувань є підтвердження ефективності роботи піногенеруючого пристрою ПГП-100х25-5 про приготуванню пінистого розчину. Для цього розроблені програма і методика промислових випробувань піногенеруючого пристрою ПГП-100х25-5.

Проведення промислових випробувань піногенеруючого пристрою ПГП-100х25-5 відбувалось за участю фахівців та з використанням методики, узгодженої з Полтавським відділенням бурових робіт ДП “Укрбургаз”.

В ході випробувань проводились заміри подачі і тиску рідини та повітря на вході й піни на виході із піногенеруючого пристрою. Зміна ступені аерації піни проводилась за допомогою зменшення або збільшення подачі рідини насосним агрегатом 4АН-700 або газу компресором КС-250. Зменшення до 25% вмісту поверхнево-активної речовини (сульфанола) не впливало на якість утворюваної піни. Для розширення режимів роботи піногенеруючого пристрою є можливість зміни діаметрів сопел, довжини камери змішування, в т.ч. довжини дифузора, а також, при необхідності, виводити з дії (заглушуванням) одне або декілька сопел. У зв'язку з можливістю використання значного перепаду температур в зимовий період для ліквідації піни немає потреби використання піногасячих хімічних речовин та спеціального технічного устаткування. Створена піногенеруючим пристроєм піна зберігає необхідні властивості на шляху від пристрою до виходу зі свердловини глибиною до 4700 м. Результати промислових випробувань піногенеруючого пристрою ППП-100x25-5 викладені в актах промислових випробувань на свердловинах №201 Гадяцької площі та №172 Котелевської площі.

В результаті проведення промислових випробувань підтверджено високу ефективність роботи піногенеруючого пристрою ППП-100x25-5. Наслідком промислових випробувань став протокол науково-виробничої наради в ТОВ "Техкомплектсервіс", де дана рекомендація налагодити випуск піногенеруючих пристроїв ППП-100x25-5 та впровадити їх на бурових підприємствах нафтогазової галузі.

Розроблений багатосопловий піногенеруючий пристрій є ефективним для створення високоякісної піни необхідної структури і дисперсності. Для того, щоб використання пристрою давало позитивні результати, необхідно дотримуватись наступних рекомендацій.

1. Врахувавши втрати тиску при русі пінистого розчину під час циркуляції від піногенеруючого пристрою до вибою свердловини [114, 115],

визначаємо необхідний тиск піни на виході із пристрою. Після цього на основі графічних залежностей (рис. 3.40 та рис. 2 – 4 додатку Б) вибираємо необхідні тиски рідини і повітря на вході у піногенеруючий пристрій.

2. Потрібну густину піни вибираємо з врахуванням пластового тиску і глибини свердловини та необхідності створення депресії чи репресії на пласт (згідно технології буріння). Використовуючи рівняння (2.8) визначаємо об'ємну газомісткість потоку.

3. Згідно графічної залежності (рис.2.9) вибираємо ступінь аерації піни при певному значенні тиску в приймальній камері (рис. 3.32, 3.34, 3.37 та рис. 17, 20, 23, 26 додатку А).

4. Необхідну подачу пінистого розчину вибираємо з врахуванням швидкості його руху, яка повинна бути забезпечена в міжтрубному просторі для виносу вибуреної породи із свердловини. Враховуючи геометричні розміри перерізу піногенеруючого пристрою, визначаємо швидкість піни на виході.

5. Із формули (2.21) визначаємо необхідні межі швидкості суміші перед стрибком ущільнення, при яких число Маха $M_l = 1,0 - 1,2$.

6. За отриманими значеннями швидкості піни на виході із піногенеруючого пристрою та швидкості суміші перед стрибком ущільнення, використовуючи результати комп'ютерних досліджень (рис. 3.31, 3.33, 3.36 та рис. 16, 19, 22, 25 додатку А) вибираємо необхідну швидкість руху рідини в перерізі циліндричної частини сопла. За отриманим значенням швидкості для різного діаметра сопла (4 – 8 мм) вибираємо необхідну подачу насосного агрегата.

7. Використовуючи графічні залежності (рис. 2.17) вибираємо оптимальний діаметр сопла і відповідно довжину камери змішування згідно розд. 4.5. Витрату повітря компресором вибираємо з врахуванням забезпечення ступені аерації піни.

Висновки до розділу

В процесі проведення промислових досліджень і випробувань піногенеруючого пристрою на свердловинах №201 Гадяцької площі та №172 Котелевської площі Полтавського ВБР встановлено, що:

- запропоновані схеми обв'язки циркуляційної системи при бурінні з промиванням свердловин піною є практичними і раціональними;

- розроблений піногенеруючий пристрій є зручний при встановленні його в існуючу насосно-циркуляційну систему або в додаткову обв'язку для промивання свердловини агрегатами, за рахунок використання швидкозбірної різьбової з'єднання;

- розроблений багатосопловий піногенеруючий пристрій дає можливість змінювати ступінь аерації піни за рахунок можливості регулювання подачі рідини і повітря;

- у випробуваному піногенеруючому пристрої є можливість зміни діаметрів сопел, довжини камери змішування, а також, при необхідності, виводити з дії (заглушуванням) одне або декілька сопел;

- використання піногенеруючого пристрою ПГП-100x25-5 дає можливість зменшення використання ПАР на 15...25%;

- піна, створена піногенеруючим пристроєм ПГП-100x25-5, зберігає необхідні властивості на шляху від піногенеруючого пристрою до виходу зі свердловини глибиною до 4700 м;

- в зимовий період немає потреби використання піногасячих хімічних речовин та спеціального технічного устаткування у зв'язку з можливістю використання значного перепаду температур для ліквідації піни;

- розроблений багатосопловий піногенеруючий пристрій є високоефективний і безпечний при експлуатації в промислових умовах;

- після випробувань і досліджень в піногенеруючому пристрої дефектів та пошкоджень не виявлено і він може використовуватись в подальшому на свердловинах, які промиваються пінами.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

В результаті проведених досліджень вирішено важливу наукову задачу, яка полягає у встановленні закономірностей приготування пінистого розчину для промивання нафтогазових свердловин в процесі буріння, що дозволило розробити високоефективний піногенеруючий пристрій та рекомендації до його використання під час впровадження на виробництві, а саме:

1 На основі аналізу механізму піноутворення та експлуатаційних характеристик піногенеруючого пристрою ежекційного типу встановлено, що геометричні форми, розміри його складових частин, а також режими і параметри є визначальними в ефективності його роботи.

2 Удосконалено математичні моделі руху потоків рідини, повітря, їх суміші та піни через конструктивні елементи піногенеруючого пристрою. Встановлено, що необхідною умовою створення стійкої дрібнодисперсної піни є перевищення швидкості руху газорідинної суміші перед стрибком ущільнення в камері змішування швидкості звуку в ній, яка складає 40 – 60 м/с. При цьому визначаються межі найвищих значень коефіцієнта ефективності для різних факторів, а саме тиск та витрата рідини і газу, ступінь аерації піни та інші.

3 Теоретично та експериментально обґрунтовано аналітичні залежності руху потоків рідини, повітря, їх суміші, в т.ч. і піни, та ефективності роботи піногенеруючих пристроїв від їх конструктивних особливостей, що дало можливість визначити оптимальне конструктивне виконання елементів піногенеруючого пристрою. Позитивним чинником є зменшення використання поверхнево-активних речовин на 15...25%, а також збереження піною необхідних властивостей при промиванні свердловин великої глибини (більше 4000 м).

4 Результати досліджень і випробувань піногенеруючого пристрою на свердловинах Полтавського ВБР бурового управління «Укрбургаз» показали високу ефективність пропозиції та адекватність результатів параметрам

прогнозу, в т.ч. і запропонованих схем обв'язки циркуляційної системи. При руйнуванні піни, що виходила зі свердловини, якщо не використовувались хімічні піногасники, то при повторних створеннях піни економія поверхнево-активних речовин становить більше 50 %, оскільки немає потреби в нейтралізації дії хімічних елементів, що входять в їх склад. Крім позитивного економічного ефекту, зменшення кількості використовуваних поверхнево-активних речовин дозволить покращити екологічний стан на території бурової.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Амиян, В.А. Вскрытие и освоение нефтегазовых пластов / В.А. Амиян, Н.П. Васильева – М.: Недра, 1972 – 336 с.
2. Войтенко В.С. Выбор типа промывочной жидкости, обеспечивающей наибольшую устойчивость пород на стенках скважины / В.С. Войтенко, Е.Г. Леонов, Б.С. Филатов // Бурение газовых и газоконденсатных скважин – М.: ВНИИЭГазпром, 1974. – Вып. 2 – С.12 – 21.
3. Булатов А.И. Освоение скважин: справочное пособие /А.И. Булатов, Ю.Д. Качмар, П.П. Макаренко, Р.С. Яремийчук – М.: Недра-Бизнесцентр, 1999 – 472 с.
4. 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.
5. Коваленко В.И. Бурение скважин с промывкой пеной / В.И. Коваленко, В.Я. Климов, А.А. Яковлев // Техн. и технол. геол.-развед. работ: орг-ция пр-ва – М.: ВИЭМС, 1986 – 43 с.
6. Мурадян И.М. Совершенствование технологии бурения скважин с очисткой забоя пеной. / И.М. Мурадян, В.Т. Левкин, А.А. Козлов // Бурение – М.: ВНИИОЭНГ, 1975. – № 12. – С. 23 – 25.
7. Пат. 2047488 С1 Российской Федерации, МПК 6В28С5/38. Пеногенератор / Пылаев А.Я.; заявл. 20.08.1992; опубл. 10.11.1995, Бюл. 17–4 с.
8. Пат. 2054312 С1 Российской Федерации, МПК 6В01F5/04. Пеногенератор / Толокнов И.И., Коломиец А.М., Прокшиц В.И., Певзнер В.П., Максаков В.И.; заявл. 24.03.1989; опубл. 20.02.1996, Бюл. 7 – 5 с.
9. Пат. № 55531 України, С2 7В01F 3/04. Е02В 8/08. Пристрій для насичення рідини газом / Романцов В.П., Доброногов В.Г., Булгаков О.Б., Булгаков Б.Б., заявл. 24.10.2000. опубл. 15.04.2003. Бюл. 4 – 8 с.

10. Яковлев А.М. Бурение скважин с пеной на твердые полезные ископаемые / А.М. Яковлев, В.И. Коваленко – Ленинград: Недра, 1987 – 128 с.

11. Нестеренко Н.П. Влияние рабочих параметров пеногенерирующих устройств на сохранение коллекторских свойств продуктивных пластов / Н.П. Нестеренко, В.М. Савик, М.М. Лях // PRACE Instytutu Nafty i Gazu : материалы конференции GEOPETROL 2008, [Закопане], 15-18 вересня 2008р. – Краков, 2008.– № 150. – С. 693 – 698.

12. Пат. 42464 України, МПК (2009) F04F 1/00. Схема обв'язки циркуляційної системи при бурінні з промиванням свердловини піною / Савик В.М., Лях М.М., Тимошенко В.М., Лужаниця О.В., Педенко Ю.О., Серий В.О.; заявл. 30.12.2008; опубл. 10.07.2009. Бюл. № 13 – 6 с.

13. Тимошенко В.М. Використання багатосоплових піногенеруючих пристроїв для виготовлення пінистих розчинів при розкриванні продуктивних пластів з низькими пластовими тисками / В.М. Тимошенко, В.М. Савик, В.П. Троцький, М.М. Лях // Питання розвитку газової промисловості України : збірник наукових праць – Харків : УкрНДІгаз, 2010. – Вип. 38. – С. 60 – 63.

14. 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 НАН України– Київ, 2012. – Вип. 62. – С. 54 – 59.

15. Савик В.М. Циркуляційна система бурової установки з дослідженням роботи блока очищення БМ-ОБР / В.М. Савик, Д.С. Крамарь // Міжнародна науково-практична конференція «Проблеми та перспективи розвитку нафтогазового комплексу»: матеріали конференції – Полтава, 26-28 вересня 2012 р. – С. 12.

16. Лях М.М. Підвищення ефективності піногенеруючих пристроїв для первинного розкриття продуктивних горизонтів з аномально-низькими пластовими тисками / М.М. Лях, В.М. Тимошенко, В.М. Савик, Т.М. Яцишин

// Міжнародна науково – технічна конференція «Нафтогазова енергетика: проблеми та перспективи» : матеріали конференції – Івано-Франківськ, 20-23 жовтня 2009 р. – С. 73.

17. Пат. 35717 України, МПК В01F 3/04, Е02В 8/00. Піногенеруючий пристрій / Лях М.М., Савик В.М., Лужаниця О.В., Тимошенко В.М., Фурса Р.П., Вакалюк В.М.; заявл. 10.08.2006; опубл. 10.10.2008, Бюл. 19 – 6с.

18. Лях М.М. Аналіз та вдосконалення конструкції піногенеруючого устатку-вання / М.М. Лях, В.М. Савик, Н.В. Федоляк // Міжнародна науково - технічна конференція «Нафтогазова енергетика-2011 : матеріали конференції – Івано-Франківськ, 10-14 жовтня 2011 р. – С. 73.

19. Аналіз і раціоналізація конструкції піногенеруючого устаткування або пристрою / В.М. Савик, М.М. Лях, В.М. Вакалюк, Я.В. Солоничний // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2012. – №3 (44) – С.63 – 69.

20. Пат. 77955 України, МПК (2012) Е21. Піногенеруючий пристрій багатосопловий / Савик В.М., Лях М.М., Михайлюк В.В.; заявл. 03.05.2012; опубл. 11.03.2012, Бюл. 5/2013 – 6 с.

21. Савик, В.М. Оптимізація параметрів піногенеруючих пристроїв / В.М. Савик, М.М. Лях, В.М. Михайлюк // Геологія. Гірництво. Нафтогазова справа : науковий журнал. – Полтава : ПолтНТУ, 2012. – № 2. – С. 128 – 137.

22. Савик В.М. Дослідження процесу піноутворення в піногенеруючих пристроях ежекторного типу / В.М. Савик, М.М. Лях, В.М. Вакалюк, Н.В. Федоляк // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2012. – №4 (45) – С. 110 – 117.

23. Лях М.М. Аналіз результатів теоретичних та комп'ютерних досліджень піногенеруючого пристрою / М.М. Лях, В.М. Савик // Современные проблемы и пути их решения в науке, транспорте, производстве и образовании'2012 : сборник научных трудов Sworld. – Одесса: КУПРИЕНКО, 2012. – Т. 8, вып. 4. – С. 77 – 87.

24. Лях М.М. Особливості механізму піноутворення в піногенеруючих пристроях ежекторного типу / М.М. Лях, В.М. Савик, Н.В. Федоляк, В.М. Вакалюк, Я.В. Солоничний // Науковий вісник. – Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2013. – №1 (35) – С.110 – 117.

25. Булатов А.И. Техника и технология бурения нефтяных и газовых скважин / А.И. Булатов, Ю.М. Проселков, С.А. Шаманов – М. : Недра, 2003. – 1007 с.

26. 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.

27. Межлумов А.О. Осложнения и аварии при бурении скважин с использованием газообразных агентов / А.О. Межлумов, Н.С. Макурин – М.: Недра, 1970 – 193 с.

28. 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.

29. Буровые технологии / Э.В. Бабаян, В.И. Мищенко, Т.Л. Тамамянц и др. – Краснодар: Советская Кубань, 2009. – 896 с.

30. Boyun G. Petroleum Production Engineering / Boyun Guo, William C. Lyons, Ali Ghalambor // Gulf Professional Publishing, 2007. – P. 312.

31. Рязанов Я.А. Энциклопедия по буровым растворам / Я.А. Рязанов – Оренбург : Летопись, 2005. – 651 с.

32. Межлумов А.О. Особенности бурения скважин и вскрытия продуктивных пластов с использованием газообразных агентов : справочник инженера по бурению / А.О. Межлумов – М. : Недра, 1973 – 264 с.

33. Межлумов А.О. Использование азрированных жидкостей при проводке скважин / А.О. Межлумов – М. : Недра, 1976 – 231 с.

34. 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.

35. Тагиров К.М. Определение коэффициента аэрации при глушении газовых скважин / К.М. Тагиров, В.В. Корчагин, Ю.Ш. Нежин – Газовая промышленность – 1980. – №6 – С. 26 – 27.

36. Бурение с промывкой пеной по герметизированной системе циркуляции / К.М. Тагиров, А.Н. Гноевых, В.И. Нифонтов и др. // Газовая промышленность – 1991. – № 8. – С. 32 – 34.

37. Бурение при пониженном давлении в стволе скважины / Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море – М. : ВНИИОЭНГ, 1997. – Вып. 1 – С. 1 – 29.

38. Вулисанов Н.С. Пены и их использование в бурении / Н.С. Вулисанов, А.И. Кирсанов, Г.А. Крылов // Техн. и технол. геол.-развед. работ: орг-ция пр-ва – М. : ВИЭМС, 1980 – 60 с.

39. Горшков Л.К. Особенности технологии алмазного бурения с пеной / Л.К. Горшков, А.И. Кирсанов // Разработка и применение новых технических средств при геологоразведочном бурении – М.: Союзгеотехника, 1984 – С. 85 – 90.

40. Детков В.П. Аэрированные суспензии для цементирования скважин / А.П. Детков – М. : Недра, 1991 – 175 с.

41. Касьянов Н.М. Прогнозирование качества вскрытия пластов по результатам лабораторных исследований / Н.М. Касьянов, Р.К. Рахматуллин, В.Ф. Штырлин – М. : ВНИИОЭНТГ, РНТС Бурение – 1980 – Вып. 6 – С. 11.

42. Мислюк М.А. Буріння свердловин : довідник : в 5 т. / М.А. Мислюк, І.А. Рибчич, Р.С. Яремійчук. – Київ: Інтерпрес ЛТД, 2002.

Т. 2 : Промивання свердловин. Відробка доліт – 2002. – 303 с.

43. Ризванов Н.М. Технология вскрытия продуктивных пластов с аномально-низким пластовым давлением / Н.М. Ризванов, З.М. Шахмаев,

П.С. Баландин, В.П. Мазур – М.: ВНИИОЭНТГ, РНТС Бурение – 1982. – Вып. 5 – С. 15.

44. Роменский Л.П. Пена как средство борьбы с пылью / Л.П. Роменский – Киев : Наукова думка, 1976. – 158 с.

45. Серeda Н.Г. Бурение нефтяных и газовых скважин / Н.Г. Серeda, Е.М. Соловьев – М. : Недра, 1974. – 456 с.

46. Тагиров К.М. Разработка методов вскрытия пластов с аномальными давлениями : авторефер. дис. на здобуття наук. ступеня д-ра техн.. наук : спец. 05.05.10 – М.: изд. ВНИИГаз, 1987 – 38 с.

47. Тагиров К.М. Вскрытие продуктивных нефтегазовых пластов с аномальными давлениями / К.М. Тагиров, А.Н. Гноевых, А.Н. Лобкин – М.: Недра, 1996 – 183 с.

48. Туренко Г.Г. Опыт бурения скважин с применением ГЖС в Чернышевской ГРЭ / Г.Г. Туренко, В.А. Федоренко // Современные технические средства и технология бурения геологоразведочных скважин с применением ГЖС – Ленинград : ВИТР, 1990 – С. 25 – 32.

49. Увеличение числа скважин, пробуренных при пониженном гидростатическом давлении / Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море – М.: ВНИИОЭНГ, 1997. – Вып. 5. – С. 21 – 28.

50. Челпанов П.И. Некоторые результаты опытно-промышленного применения пен / П.И. Челпанов, В.Н. Шаров // Нефтепромысловое дело – М.: ВНИИОЭНГ, 1970. – №8. – С. 18.

51. Чорный М.И. Оценка качества вскрытия продуктивных пластов во время осложнений при бурении скважин в Предкарпатье / – М.: ВНИИОЭНТГ, РНТС Бурение – 1983. – Вып. 9. – С. 10.

52. Шмельков В.Е. Глушение газовых скважин пеной / В.Е. Шмельков, К.М. Тагиров, Н.Р. Акопян // Газовая промышленность – 1974. – №10. – С. 12 – 14.

53. Bennion D.B. Underbalanced operations offer pluses and minuses / D.B. Bennion // Oil and Gas J. – 1996, 1 – Vol. 94, № 1 – P. 33 – 40.

54. . Golin B. Murch Underbalanced: An integrated approach / B. Golin // *Drilling Contractor*, 1998 – juli / august. – P. 52 – 55.

55. Walker, M. Hopemann Underbalanced completion improve well softy and productivity / M. Walker // *World Oil* – 1995 – Vol. 216 – № 11.

56. Амиян В.А. Повышение качества вскрытия пласта / В.А. Амиян, А.В. Амиян // *Обзорная информация. Сер. бурение.* – М.: ВНИИОЭНГ, 1985 – 50 с.

57. Мислюк М.А. До оцінки первинного розкриття горизонтів на родовищах України / М.А. Мислюк та ін. – *Нафтова і газова промисловість* – 2005 р. – №6.

58. Амиян А.В. Экспериментальные исследования плотности двухфазной пены / А.В. Амиян // *Сб. науч. тр. Всесоюзн. нефтегаз. НИИ* – вып. 51. – М. : 1974.

59. Амиян А.В. Применение пен для повышения эффективности разработки газовых и газоконденсатных месторождений / А.В. Амиян, В.Х. Васильев, Г.М. Чепиков – *Газовая промышленность* – № 12 – 1974.

60. Гаврилкевич Н.В. Возможность использования пен для ограничения притоков воды в нефтяные скважины / Н.В. Гаврилкевич, И.С. Коринец // *Труды научно-исследовательского и проектного института нефтяной промышленности* – 1978. – №21.

61. Интяшин А.Д. Кислые пены на основе водорастворимых нефтяных сульфокислот для нефтедобычи / А.Д. Интяшин // *Тр. Гос. ин-та по проект. и исслед. работам в нефтяной промышленности* – Гипрвостокнефть – 1978 – № 32.

62. Лопатин Ю.С. Перспективы применения газообразных агентов при бурении скважин в процессе строительства подземных хранилищ газа / Ю.С. Лопатин, И.П. Елманов // *РНТС. Бурение, ВНИИОЭНГ* – 1980. – №2. – С. 3 – 61.

63. Махмутов Н.Р. Использование двухфазных пен для ограничения притока воды в нефтяные скважины / Н.Р. Махмутов, М.Н. Галлянов,

Ф.Н. Гаринов и др. – РНТС: нефтепромысловое дело – ВНИИОЭНГ – 1975 – №2.

64. Акульшин А.И. Прогнозирование разработки нефтяных месторождений / А.И. Акульшин. – М. : Недра, 1988 – 240 с.

65. Башкатов Д.Н. Прогрессивная технология бурения гидрогеологических скважин / Д.Н. Башкатов, А.В. Панков, А.М. Коломиец – М.: Недра, 1992 – 231 с.

66. Булатов, А.И. Буровые промывочные и тампонажные растворы: Учебное пособие для вузов / А.И. Булатов, П.П. Макаренко, Ю.М. Проселков – М. : Недра, 1999 – 424 с.

67. Горшков Л.К. Оценка особенностей процесса алмазного бурения с промывкой пеной (в стендовых условиях) / Л.К. Горшков, В.Я. Климов, А.А. Яковлев // Известия ВУЗов : геология и разведка – М.: 1986 – № 3 – С. 32 – 43.

68. Ивачев Л. М. Промывка и тампонирование геологоразведочных скважин: справочное пособие / Л. М. Ивачев. – М. : Недра, 1989. – 247 с.

69. Касьянов Н.М. Исследование влияния инвертных эмульсионных растворов на качество вскрытия продуктивного пласта / Н.М. Касьянов, Р.К. Рахматуллин – М. : ВНИИОЭНТГ, РНТС Бурение – 1981 – Вып. 6 – С. 17.

70. Мациевский В.П. О комплексном воздействии некоторых свойств промывочной жидкости на механическую скорость проходки / В.П. Мациевский // Труды ВНИИБТ – 1971. – Вып. 28. – С. 188 – 198.

71. Подгорнов В.М. Безглинистые буровые растворы с конденсированной твердой фазой / В.М. Подгорнов // Бурение – 1976. – № 10. – С. 37 – 38.

72. Стреленя Л.С. Упруго-вязкопластичные свойства пены / Л.С. Стреленя, Н.И. Слюсарев // Коллоидный журнал. – 1991. – Т. 53. – С. 52 – 157.

73. Тагиров К.М. Технология углубления скважин в условиях АВПД на депрессии с целью повышения эффективности геологоразведочных работ / К.М. Тагиров, В.И. Нифонтов, А.Н. Гноевых, А.А. Рябоконь // Тр. ОАО НПО Бурение – 2000. – № 4. – С. 46 – 65.

74. Шандина В.М. Влияние циркулирующего агента на буримость / В.М. Шандина – Бурение – 1973. – Вып. 8. – С. 10 – 12.

75. Шахмаев З. М. Влияние обработки промывочной жидкости ПАВ и ее аэрации на работу долот / З.М. Шахмаев, Ш.С. Ассадулин – Бурение – 1971. – Вып. 11. – С. 7 – 9.

76. Anderson G. W. Stable foam circulation cuts surface hole costs / G.W. Anderson // World Oil. – 1971. – № 4. – Vol. 173.

77. Garavini O. Foam aids drilling in Iran's Zagros Mountain area / O. Garavini, G. Radenti, A. Sala // Oil and Gas J. – 1971. – Vol. 69.

78. Бирюкова Н.В. Разработка составов и исследование инвертно-эмульсионных буровых растворов для вскрытия продуктивных пластов / Н.В. Бирюкова, А.Е. Козлова – М. : ВНИИОЭНТГ, РНТС Бурение – 1982 – Вып. 9 – С. 35.

79. Пат. 2268985 С2 Российской Федерации, МПК E21B 21/14. Установка для бурения скважин с очисткой забоя пеной / Мартынов В.Н.; заявл. 11.03.2004; опубл. 27.01.2006. – 7 с.

80. Кузьменко М.М. Технические средства для приготовления буровых растворов / М.М. Кузьменко // Обзорная информация: сер. техника, технология и организация геологоразведочных работ. – М: ВИЭМС, 1991.

81. Минеев А.В. Использование эжектора-сепаратора для бурения скважин в верхних интервалах / А.В. Минеев, Н.С. Вершинский // Территория НЕФТЕГАЗ – 2006. – № 56. – С. 32-36.

82. Колесников В.Г. Повышение показателей работы гидромониторных долот за счет совершенствования системы промывки / В.Г. Колесников, Э.А. Ахмешин, М.Г. Чудновский и др. // Бурение – 1976 – Вып. 2 – С. 3 – 4.

83. Васильев Ю.Н. Экспериментальное исследование вакуумного водовоздушного эжектора с многоствольным соплом / Ю.Н. Васильев, Е.П. Гладков – Лопаточные машины и струйные аппараты – М.: Машиностроение, 1971. – Вып. 5 – С. 262 – 306.

84. Иззатдуст Э.С. Исследование работы многосоплового жидкостно-газового эжектора / Э.С. Иззатдуст // Нефтяная и газовая промышленность – 1987 – №1 – С. 40 – 41.

85. Назимко Е.И. Исследование кинетики взаимодействия мелких частиц с пузырьками воздуха в процессе флотации / Е.И. Назимко, И.Н. Друц // Обогащение полезных ископаемых – Днепропетровск, 2003. – Вып. 18 (59). – С. 95 – 102.

86. Назимко Е.И. Исследование кинетики взаимодействия фаз в динамической среде при обогащении минералов / Е.И. Назимко, И.Н. Друц // Горный информационно-аналитический бюллетень МГГУ. – 2004. – №1. – С. 336 – 339.

87. Тараканов О.Г. О структурообразовании в пленках неводных пен как факторе их стабилизации / О.Г. Тараканов, А.И. Демина, Е.Г. Дубяга // ДАН СССР. – 1965. – №3. – С. 684 – 685.

88. Сухин Н.В. Экспериментальное исследование вязкости двухфазных пен / Н.В. Сухин, Е.И. Зозуля // Обогащение полезных ископаемых – Киев: Техніка – 1978. – Вып. 23. – С. 67 – 71.

89. Розробка та впровадження комплексу технологічних заходів для закінчування свердловин в умовах гранулярних колекторів з АНПТ в Західному регіоні та Криму. / Заключний звіт про науково-дослідну роботу за договором №16/03 з НАК "Надра України" – Полтава, 2003. – 175 с.

90. Тихомиров В.К. Пены. Теория и практика их получения и разрушения / В.К. Тихомиров – М. : Химия – 1983. – 264 с.

91. Гершуни Г.З. Устойчивость конвективных течений / Г.З. Гершуни, Е.М. Жуховицкий, А.А. Непомнящий // Наука, 1989 – 320 с.

92. Намиот А.Ю. Растворимость газов в воде: справочное пособие / А.Ю. Намиот – М. : Недра, 1991. – 177 с.

93. Чернухин В. А. Экспериментальные исследования жидкостно-газовых струйных аппаратов / В.А. Чернухин и др. // Известия вузов : Машиностроение. — 1980. — №3. —С. 48 – 52.

94. Барекян А.Ш. Расчет жидкостно-газового эжектора / А.Ш. Барекян, А.В. Беляков // Известия вузов. Машиностроение. – 1981. – №8. – С. 55 – 59.

95. Васильев Ю.Н. Теория двухфазного газожидкостного эжектора с цилиндрической камерой смешения / Ю.Н. Васильев // Лопаточные машины и струйные аппараты – М. : Машиностроение, 1971. – Вып. 5 – С. 175 – 261.

96. Берман Л.Д. Влияние длины камеры смешения на режимы работы и экономичность водоструйного эжектора / Л.Д. Берман, Г.И. Ефимочкин // Теплоэнергетика – 1978. – № 12. – С. 66 – 71.

97. Берман Л.Д. О расчете водоструйных эжекторов конденсационных установок / Л.Д. Берман, Г.И. Ефимочкин – Теплоэнергетика – 1983. – № 7. – С. 57 – 58.

98. Ефимочкин Г.И. Конструкции и расчет водоструйных эжекторов с удлиненной камерой смешения / Г.И. Ефимочкин // Теплоэнергетика – 1982. – № 2. – С. 48 – 51.

99. Паневник О.В. Теоретичні основи побудови узагальнених гідравлічних моделей свердловинних струминних насосів : дис. ... д-ра техн. наук: 05.05.12: / Паневник Олександр Васильович. – Івано-Франківськ, 1999. – 359 с.

100. Путилов М.И. Расчет оптимального расстояния сопла от камеры смешения в струйных аппаратах / М.И. Путилов // Теплоэнергетика – 1967. – № 7 – С. 70 – 74.

101. Гарбуз А.А. Исследование характеристик низконапорного газового эжектора / А.А. Гарбуз, Ю.Л. Тонконогий // Изв. Вузов – 1978 – №2 – С. 75 – 80.

102. Анализ эффективности работы однокомпонентного конденсационного инжектора с малым размером горла диффузора / С.И. Гандельсман, С.И. Ванштейн, В.А. Рябцев и др. / Теплоэнергетика – 1976. – №5. – С. 62 – 70.

103. Дунчевский Г.М. Определение потерь в камере смешения струйных насосов различного типа / Г.М. Дунчевский, О.Н. Цаблев, В.С. Соломин // Известия ВУЗов: Машиностроение – 1987. – № 5. – С. 29 – 32.

104. Зингер Н.М. Исследование гидравлических характеристик струйного насоса (элеватора) с переменным сечением сопла / Н.М. Зингер, А.И. Белевич // Теплоэнергетика – 1984. – № 1. – С. 7 – 11.

105. Соколов Е.Я. Струйные аппараты / Е.Я. Соколов, Н.М. Зингер – М.: Энергоатомиздат, 1989 – 352 с.

106. Чернухин В. А. О расчете жидкостно-газовых струйных аппаратов / В.А. Чернухин, В.Г. Цегельский, С.Н. Глубоковский // Известия вузов. Машиностроение. – 1977. – №8. – С. 81 – 86.

107. Гумеров А.Г. Центробежные насосы в системах сбора, подготовки и магистрального транспорта нефти / А.Г. Гумеров, Л.Г. Колпаков, С.Г. Бажайкин, М.Г. Векштейн – М. : Недра – 1999 – 296с.

108. Лышевский А. С. К определению длины нераздробленного участка жидкой струи / А.С. Лышевский // Известия вузов. Нефть и газ. – 1965. – №6. – С. 67 – 71.

109. Miguel J. Pyrodynamics / J. Miguel — 1965. – Vol. 4. – P. 198.

110. Уоллис Г. Одномерные двухфазные течения / Г. Уоллис – М.: Мир, 1972. – 440 с.

111. Гукасов Н.А. Гидравлика газожидкостных смесей в бурении и добыче нефти / Н.А. Гукасов – М. : Недра, 1988 – 236 с.

112. Есьман Б.И. Термогидравлические процессы при бурении скважин / Б.И.Есьман, Г.Г.Габузов. – М. : Недра, 1991. – 215 с.

113. Вахитов Р.Ж. Влияние добавок ПАВ к аэрированной и технической воде на эффективность процесса бурения / Р.Ж. Вахитов, А.О. Межлумов // Бурение – 1973. – № 5. – С. 5 – 7.

114. Маковой Н. Гидравлика бурения : пер. с рум. / Н. Маковой – М.: Недра – 1986. – 536 с.

115. Бабаян Э.В. Инженерные расчеты при креплении нефтяных и газовых скважин / Э.В. Бабаян, А.В. Черненко, Н.Ю. Мойса. – Краснодар: Советская Кубань, 2012. – 384 с.

116. Рождественский В.В. Кавитация / В.В. Рождественский – Ленинград : Судостроение, 1977. – 248 с.

117. Федоткин И.М. Кавитация. Кавитационные энергетические аппараты и установки / И. М. Федоткин, С. И. Гулый. – К. : Арктур-А, 1998. – 134 с.

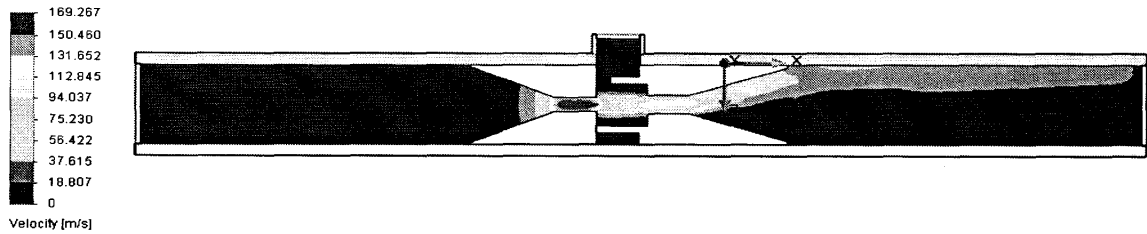
118. Исаев Ю.М. Исследование течений в системе SOLIDWORKS / FLOWWORKS // Успехи современного естествознания : научный журнал. – 2008 – № 4 – С. 36 – 39.

119. Мочернюк Д.Ю. Моделювання фізичних процесів на основі визначальних рівнянь / Д.Ю. Мочернюк – Нафтова і газова промисловість – 2001. – №3. – С. 12 – 14.

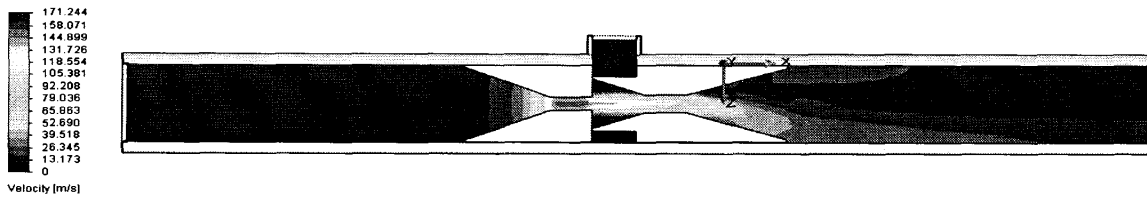
120. Савик В.М. Оцінка впливу геометричних параметрів на ефективність роботи піногенеруючого пристрою / В.М. Савик // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2012. – №2 (43) – С.173 – 188.

Додаток А

Розподіл швидкості, тиску і температури в поздовжньому перерізі піногенеруючого пристрою, отримані в результаті комп'ютерних досліджень (до розділу 3)



а)

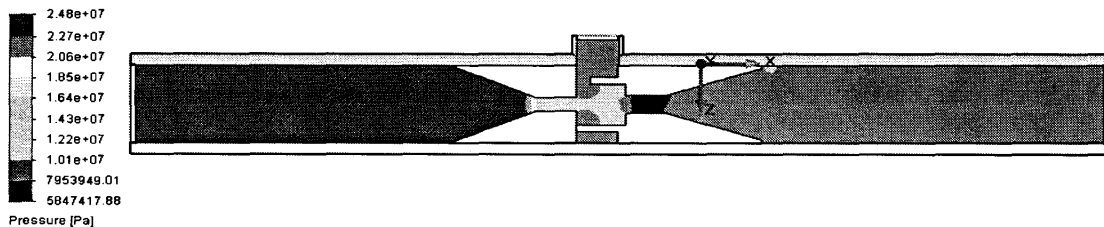


б)

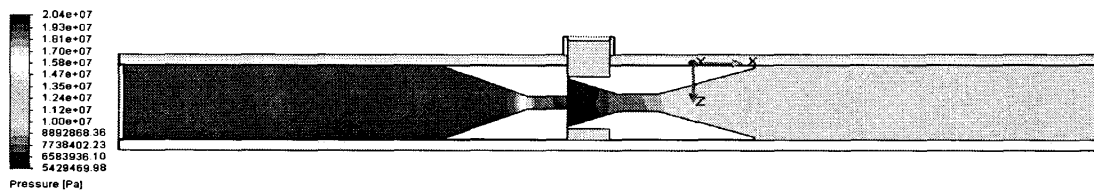
а – камера змішування із циліндричною приймальною частиною;

б – камера змішування із конічною приймальною частиною

Рисунок 1 – Розподіл швидкості в поздовжньому перерізі пристрою



а)

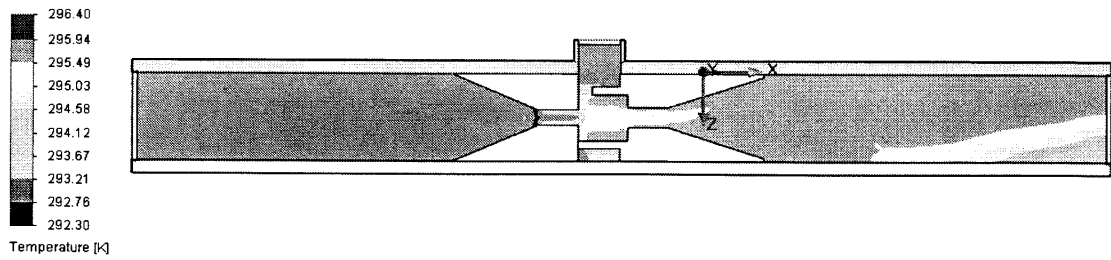


б)

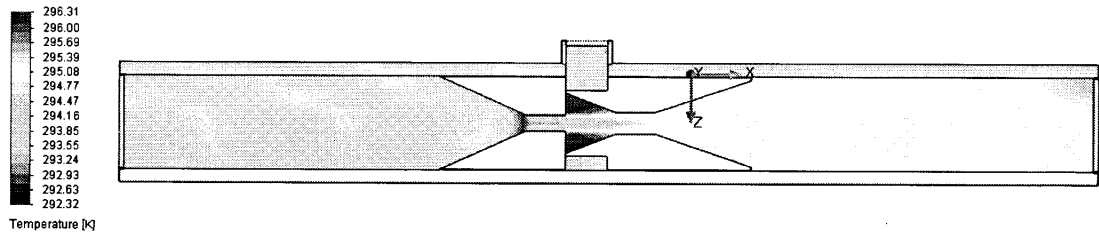
а – камера змішування із циліндричною приймальною частиною;

б – камера змішування із конічною приймальною частиною

Рисунок 2 – Розподіл тиску в поздовжньому перерізі пристрою



а)

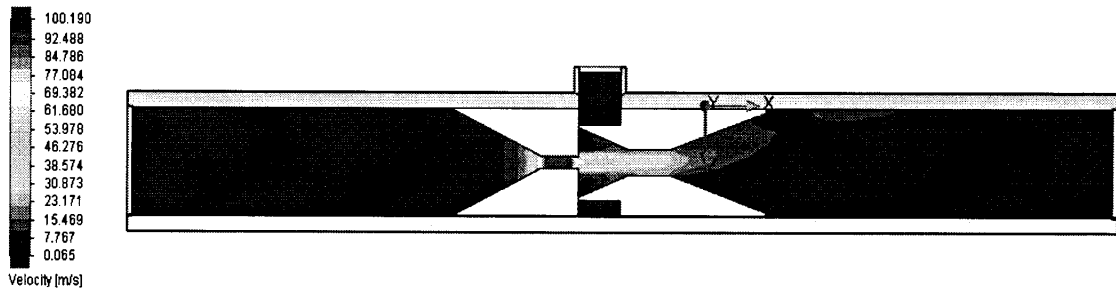


б)

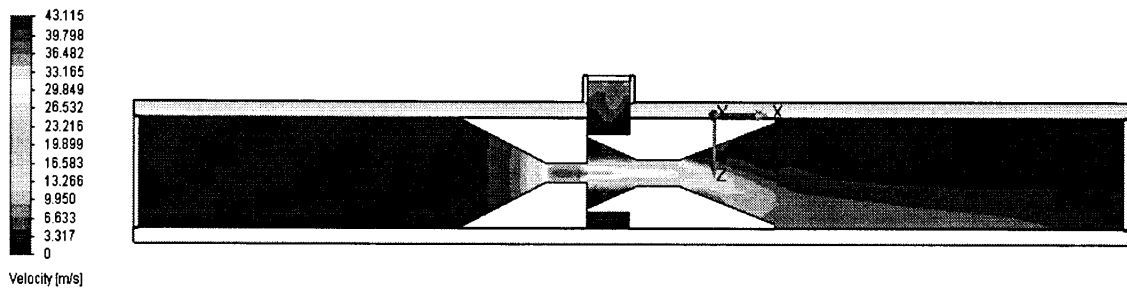
а – камера змішування із циліндричною приймальною частиною;

б – камера змішування із конічною приймальною частиною

Рисунок 3 – Розподіл температури в поздовжньому перерізі пристрою



а)

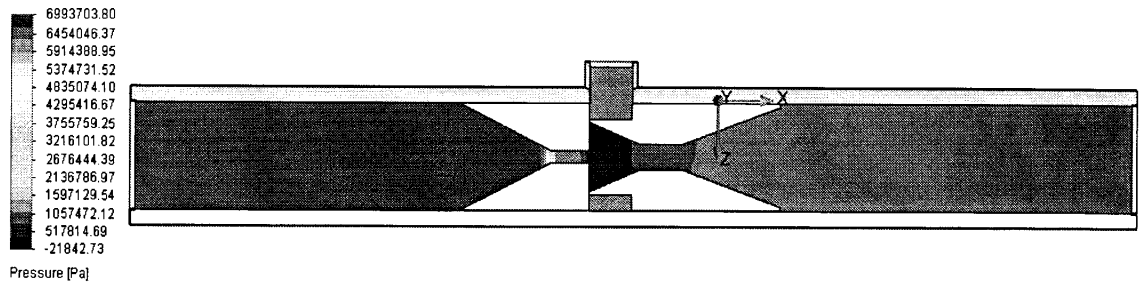


б)

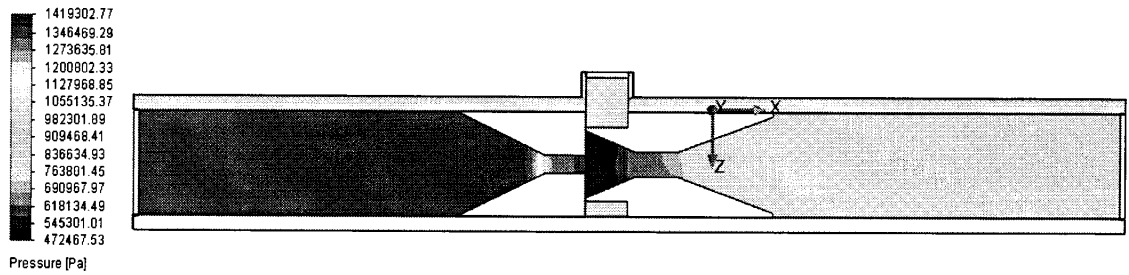
а – за діаметра циліндричної частини сопла 4 мм;

б – за діаметра циліндричної частини сопла 6 мм

Рисунок 4 – Розподіл швидкості в поздовжньому перерізі пристрою



a)

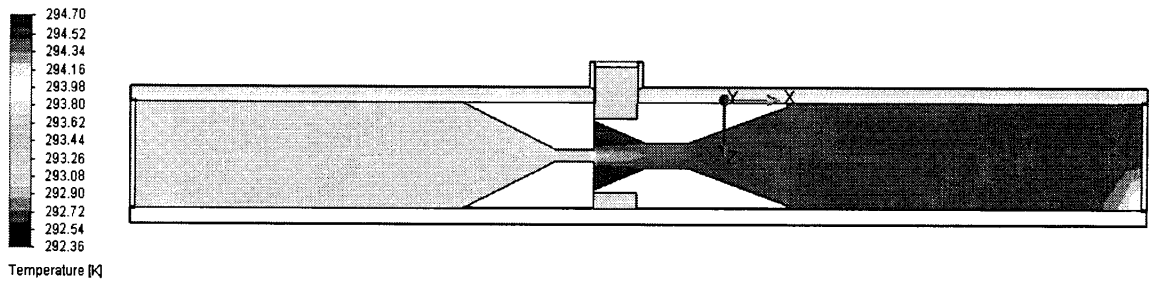


б)

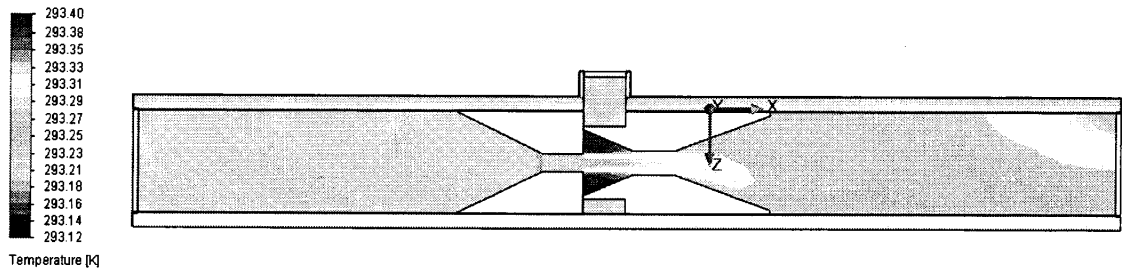
а – за діаметра циліндричної частини сопла 4 мм;

б – за діаметра циліндричної частини сопла 6 мм

Рисунок 5 – Розподіл тиску в поздовжньому перерізі пристрою



a)

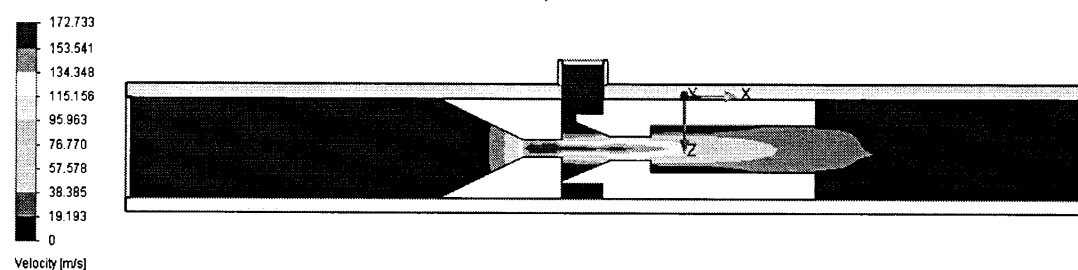
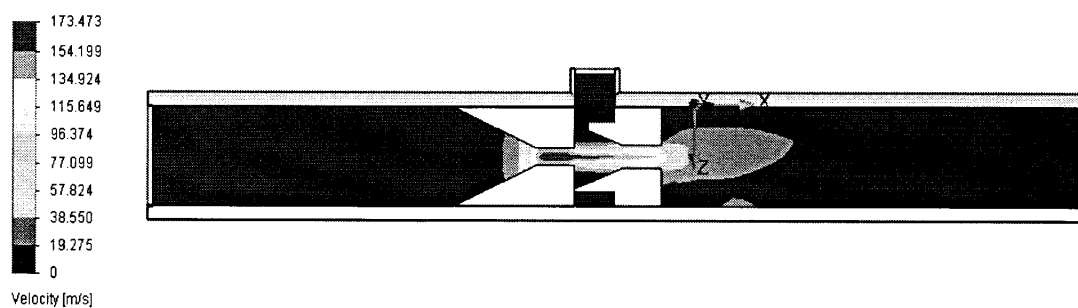


б)

а – за діаметра циліндричної частини сопла 4 мм;

б – за діаметра циліндричної частини сопла 6 мм

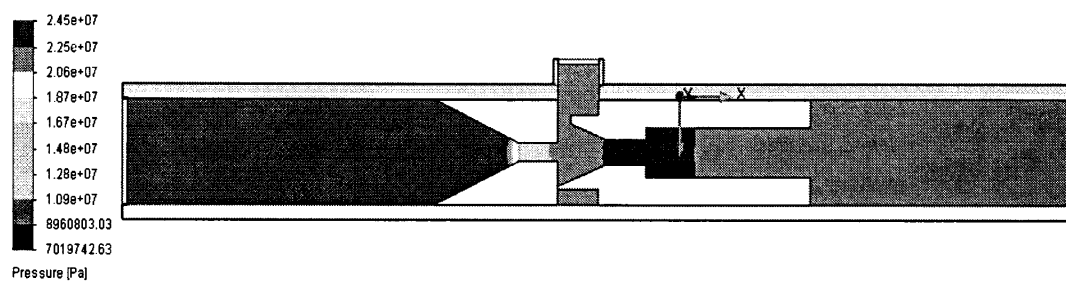
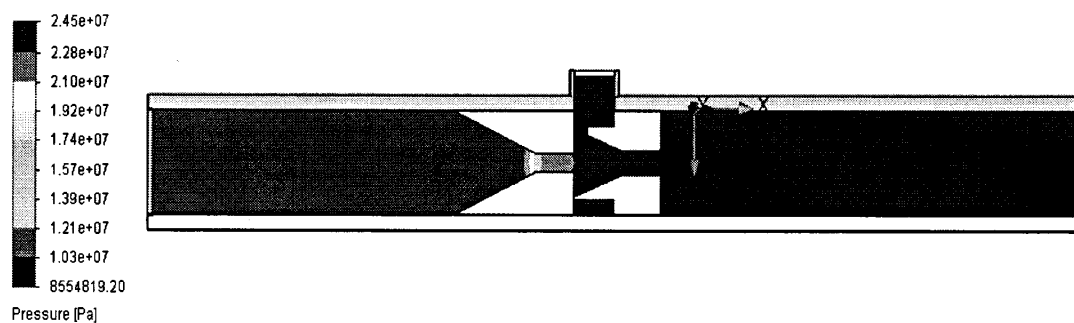
Рисунок 6 – Розподіл температури в поздовжньому перерізі пристрою



а – камера змішування без додаткових кілець;

б – камера змішування з трьома додатковими кільцями

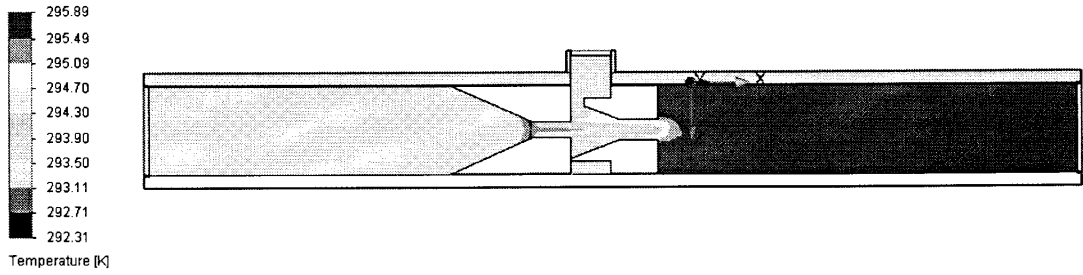
Рисунок 7 – Розподіл швидкості в поздовжньому перерізі пристрою



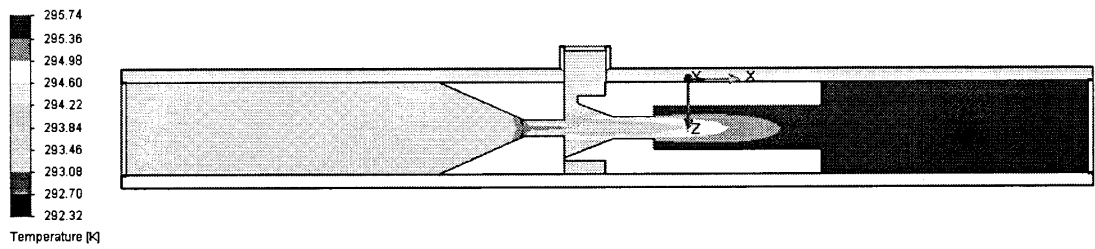
а – камера змішування без додаткових кілець;

б – камера змішування з трьома додатковими кільцями

Рисунок 8 – Розподіл тиску в поздовжньому перерізі пристрою



а)

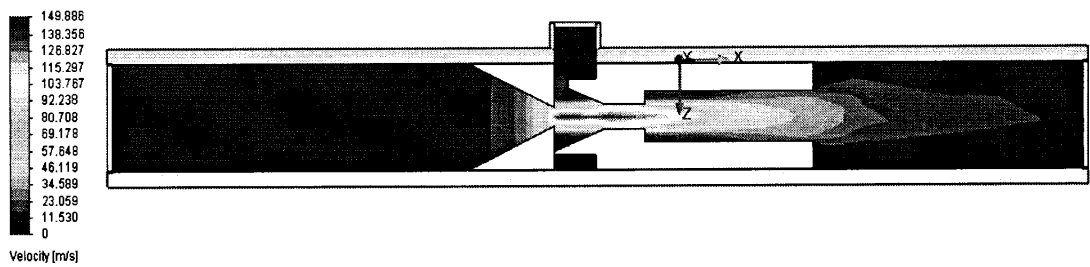


б)

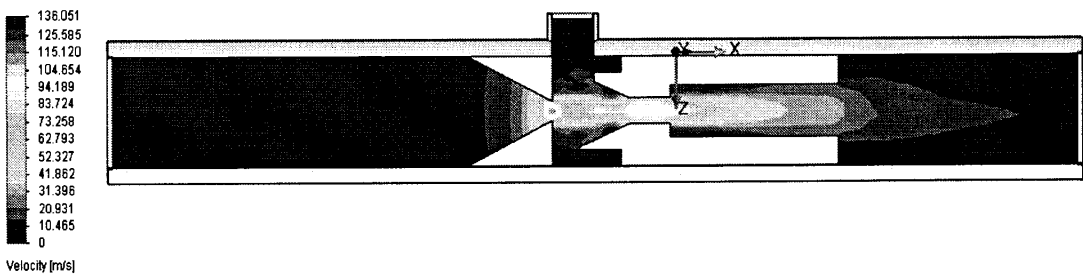
а – камера змішування без додаткових кілець;

б – камера змішування з трьома додатковими кільцями

Рисунок 9 – Розподіл температури в поздовжньому перерізі пристрою



а)

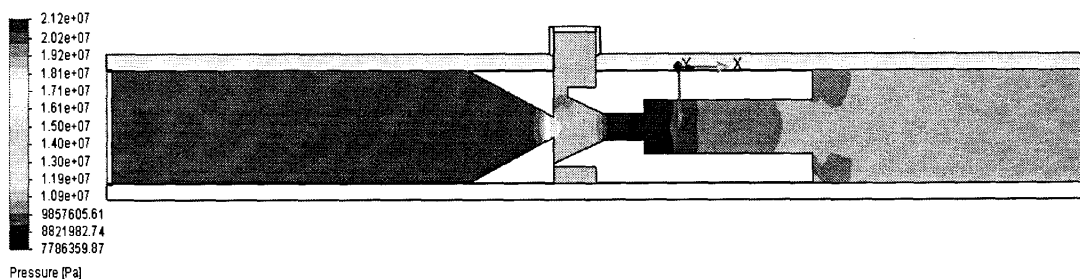


б)

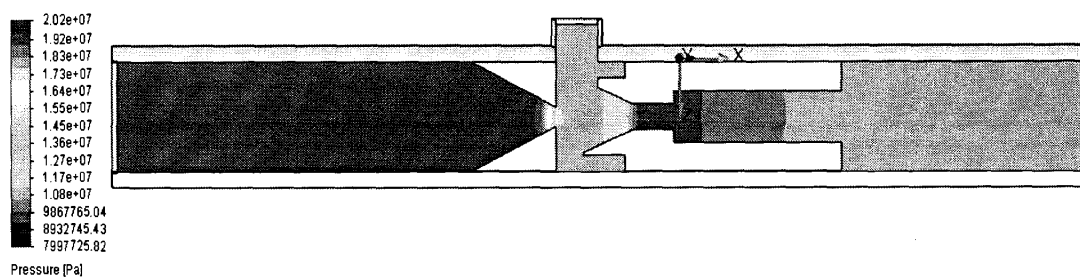
а – при дотиканні сопла і камери змішування;

б – за відстані між соплом і камерою змішування 12 мм

Рисунок 10 – Розподіл швидкості в поздовжньому перерізі пристрою



а)

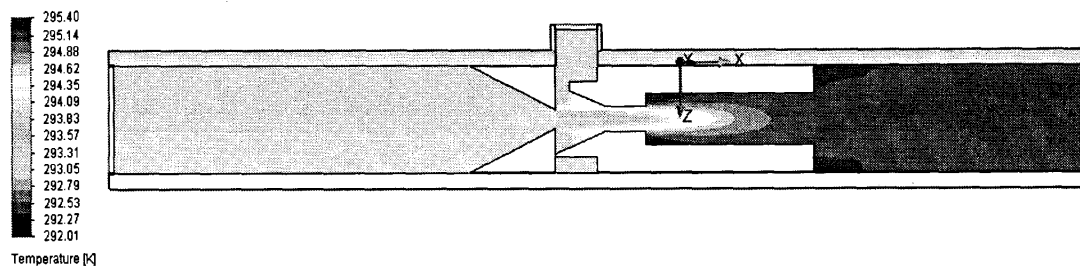


б)

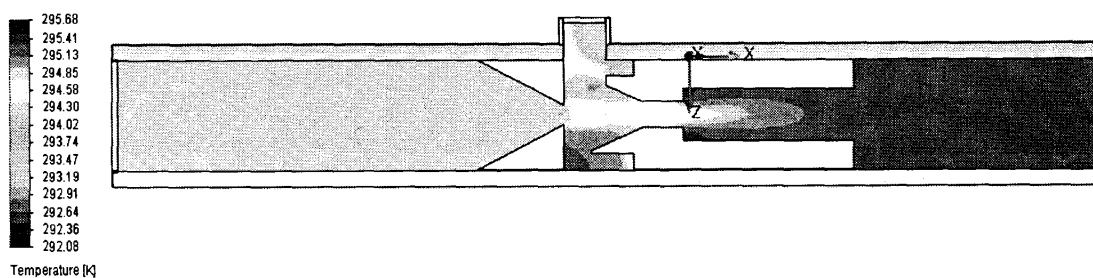
а – при дотиканні сопла і камери змішування;

б – за відстані між соплом і камерою змішування 12 мм

Рисунок 11 – Розподіл тиску в поздовжньому перерізі пристрою



а)

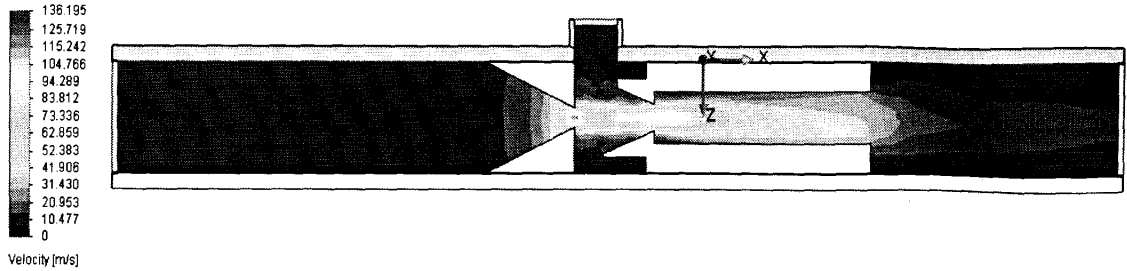


б)

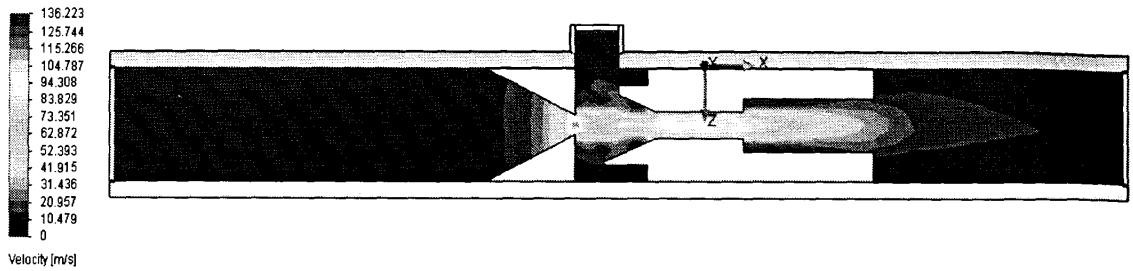
а – при дотиканні сопла і камери змішування;

б – за відстані між соплом і камерою змішування 12 мм

Рисунок 12 – Розподіл температури в поздовжньому перерізі пристрою



a)

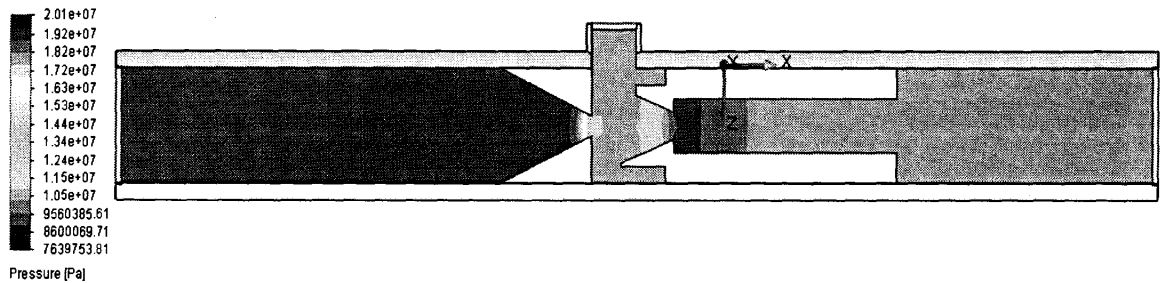


б)

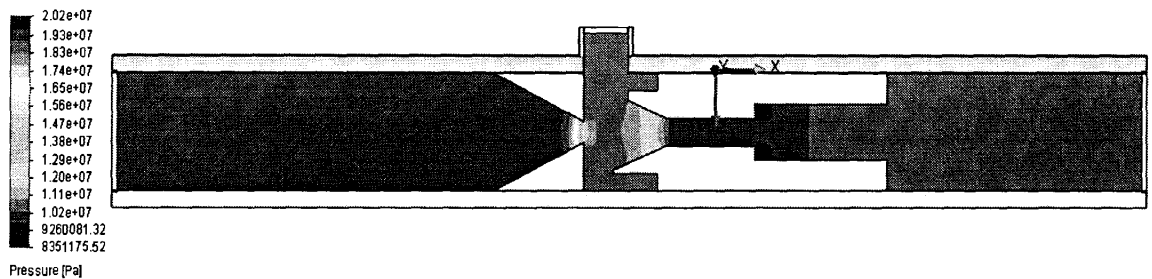
а – камера змішування без циліндричної частини;

б – камера змішування з циліндричною частиною довжиною 30 мм

Рисунок 13 – Розподіл швидкості в поздовжньому перерізі пристрою



a)

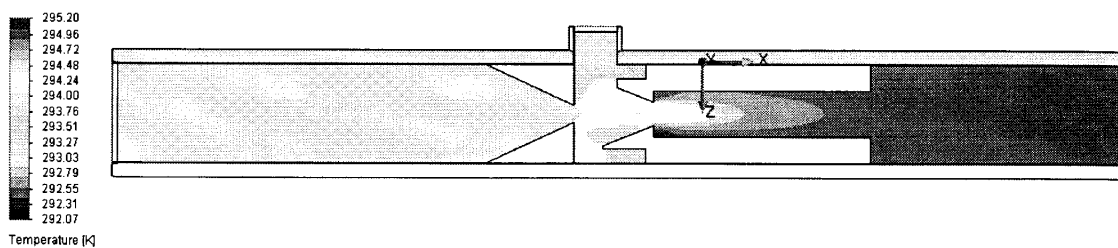


б)

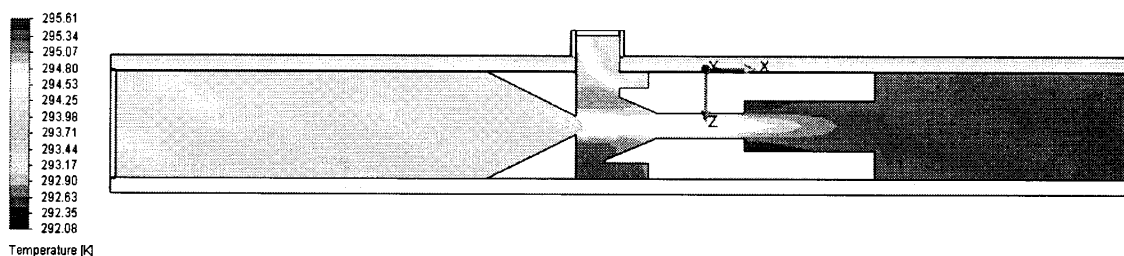
а – камера змішування без циліндричної частини;

б – камера змішування з циліндричною частиною довжиною 30 мм

Рисунок 14 – Розподіл тиску в поздовжньому перерізі пристрою



а)

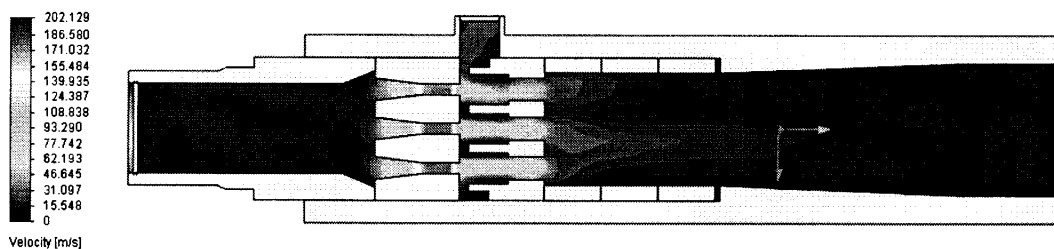


б)

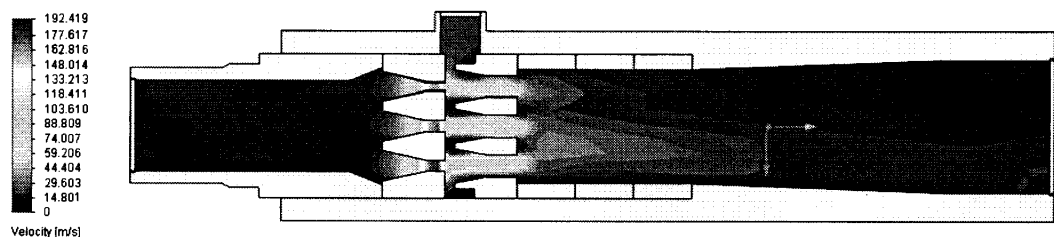
а – камера змішування без циліндричної частини;

б – камера змішування з циліндричною частиною довжиною 30 мм

Рисунок 15 – Розподіл температури в поздовжньому перерізі пристрою



а)

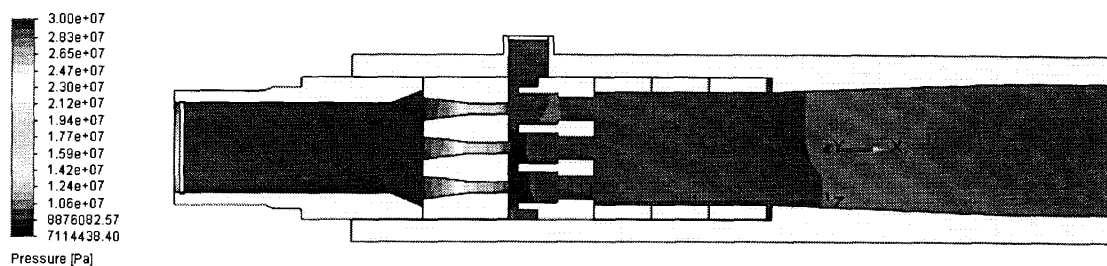


б)

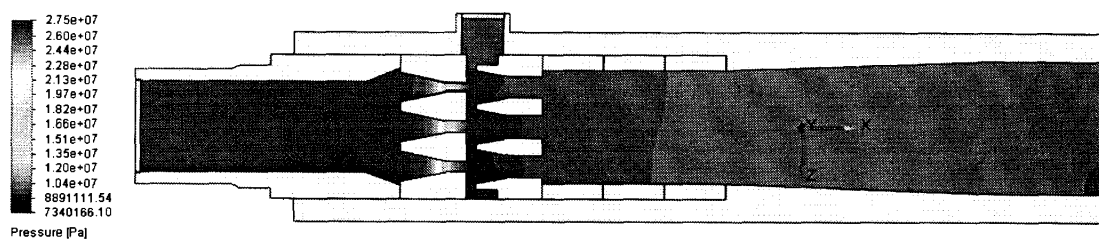
а – камери змішування із циліндричними приймальними частинами;

б – камери змішування із конічними приймальними частинами

Рисунок 16 – Розподіл швидкості в поздовжньому перерізі пристрою



а)

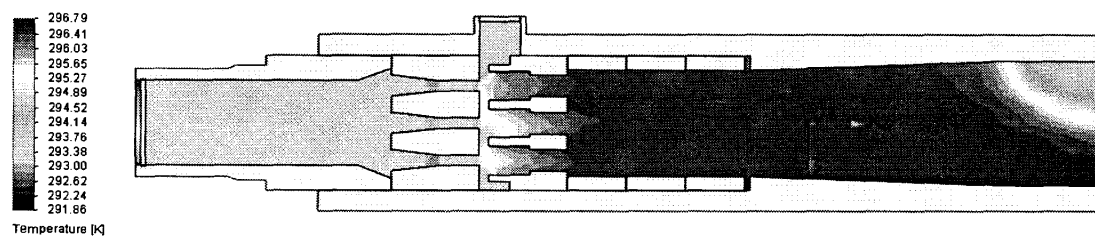


б)

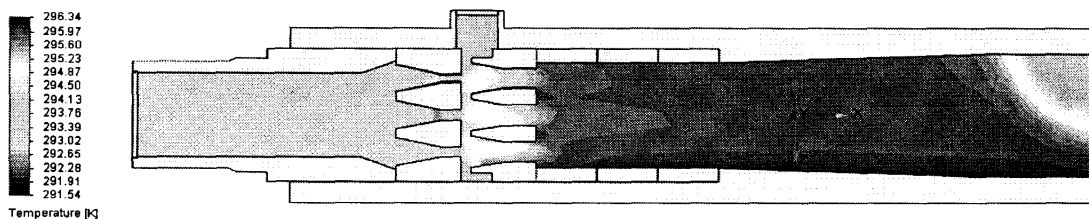
а – камери змішування із циліндричними приймальними частинами;

б – камери змішування із конічними приймальними частинами

Рисунок 17 – Розподіл тиску в поздовжньому перерізі пристрою



а)

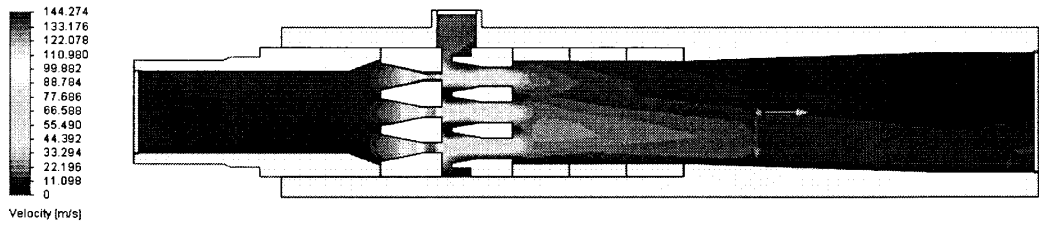


б)

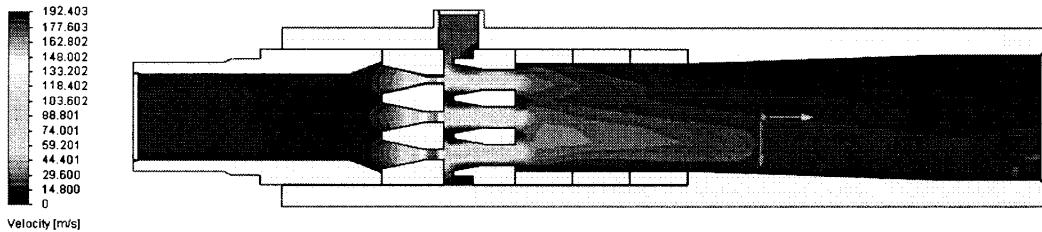
а – камери змішування із циліндричними приймальними частинами;

б – камери змішування із конічними приймальними частинами

Рисунок 18 – Розподіл температури в поздовжньому перерізі пристрою



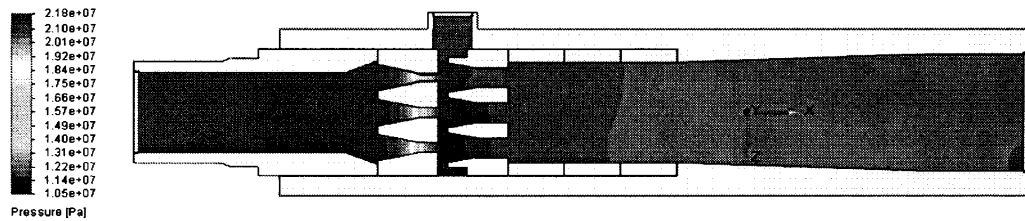
а)



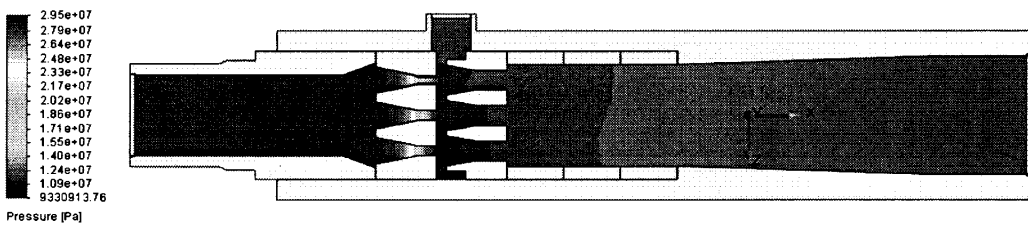
б)

а – при подачі рідини на вході $0,015 \text{ м}^3/\text{с}$;б – при подачі рідини на вході $0,02 \text{ м}^3/\text{с}$

Рисунок 19 – Розподіл швидкості в поздовжньому перерізі пристрою



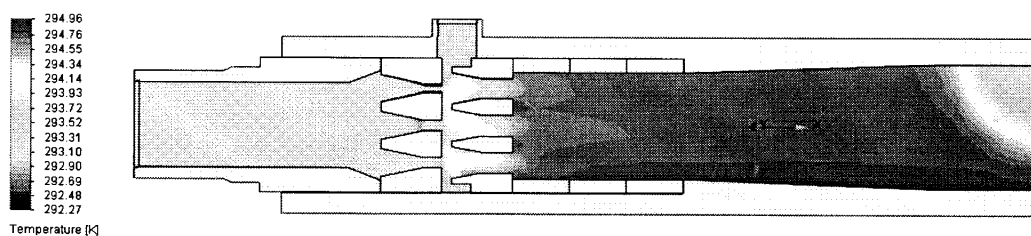
а)



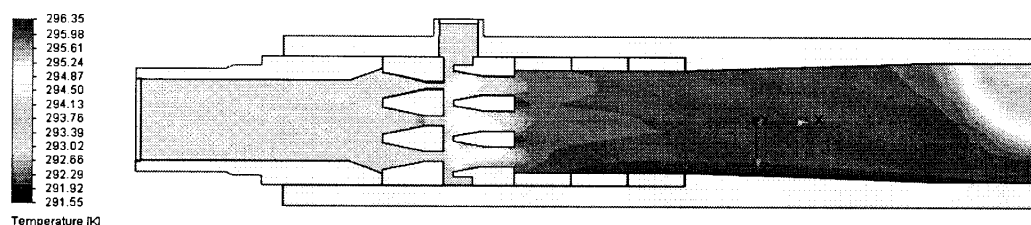
б)

а – при подачі рідини на вході $0,015 \text{ м}^3/\text{с}$;б – при подачі рідини на вході $0,02 \text{ м}^3/\text{с}$

Рисунок 20 – Розподіл тиску в поздовжньому перерізі пристрою



а)

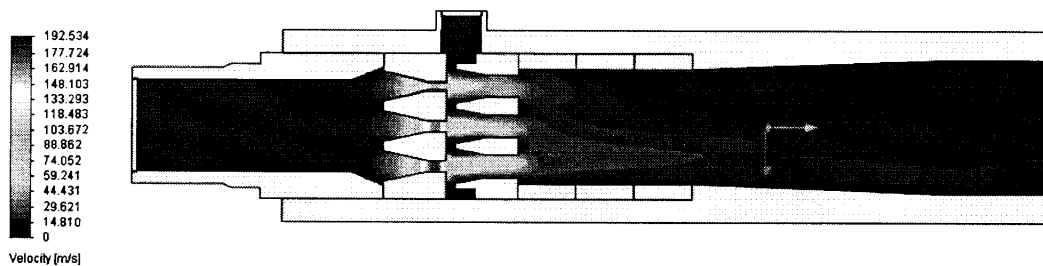


б)

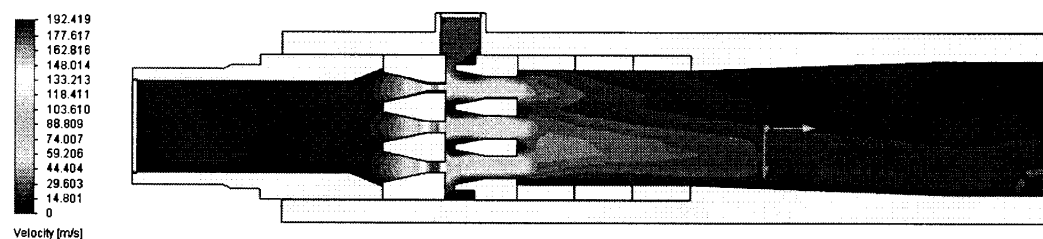
а – при подачі рідини на вході $0,015 \text{ м}^3/\text{с}$;

б – при подачі рідини на вході $0,02 \text{ м}^3/\text{с}$

Рисунок 21 – Розподіл температури в поздовжньому перерізі пристрою



а)

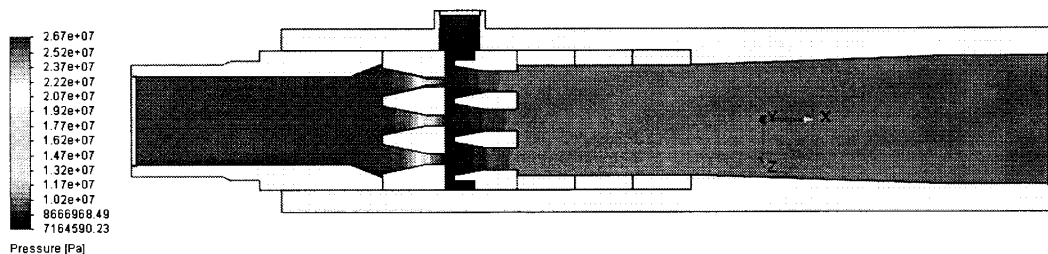


б)

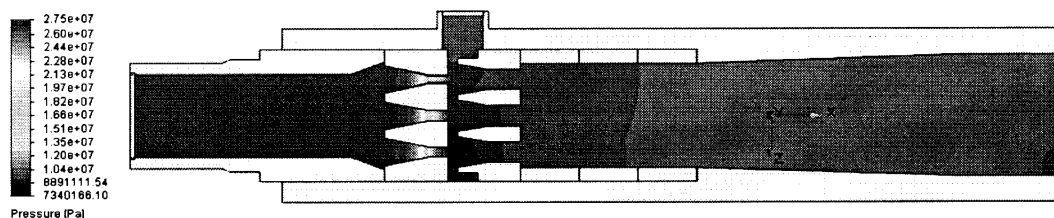
а – при тиску газу на вході у підвідному патрубку $7,5 \text{ МПа}$;

б – при тиску газу на вході у підвідному патрубку 10 МПа

Рисунок 22 – Розподіл швидкості в поздовжньому перерізі пристрою



a)

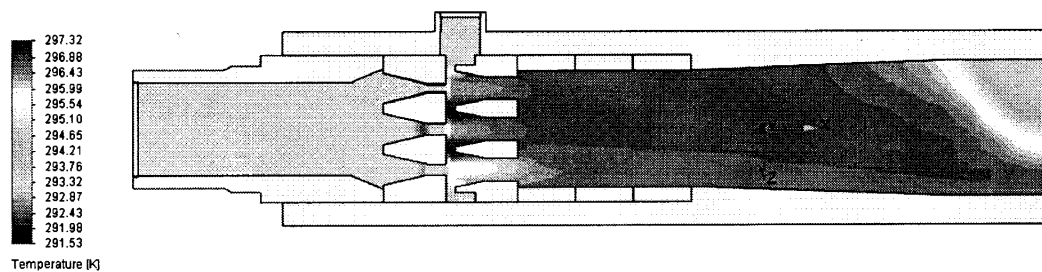


б)

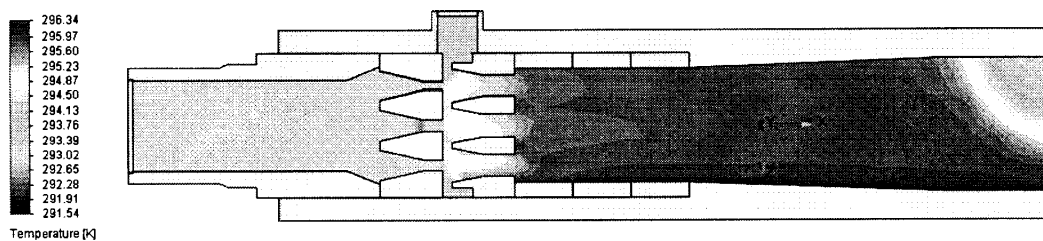
а – при тиску газу на вході у підвідному патрубку 7,5 МПа;

б – при тиску газу на вході у підвідному патрубку 10 МПа

Рисунок 23 – Розподіл тиску в поздовжньому перерізі пристрою



a)

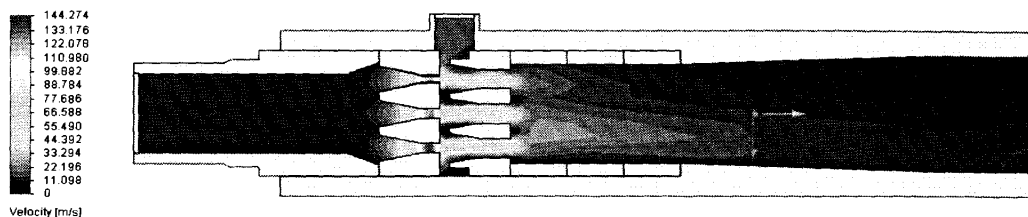


б)

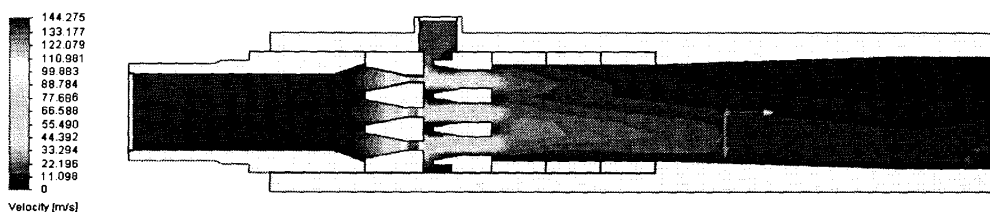
а – при тиску газу на вході у підвідному патрубку 7,5 МПа;

б – при тиску газу на вході у підвідному патрубку 10 МПа

Рисунок 24 – Розподіл температури в поздовжньому перерізі пристрою



а)

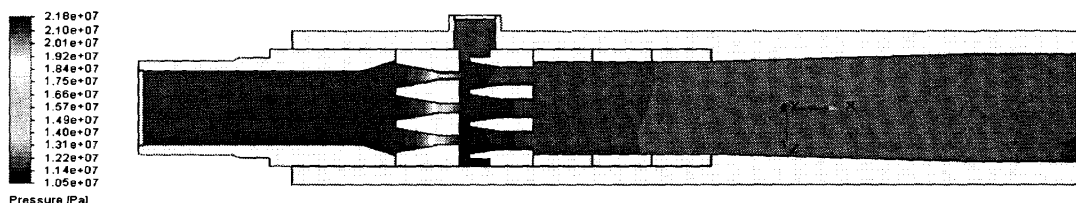


б)

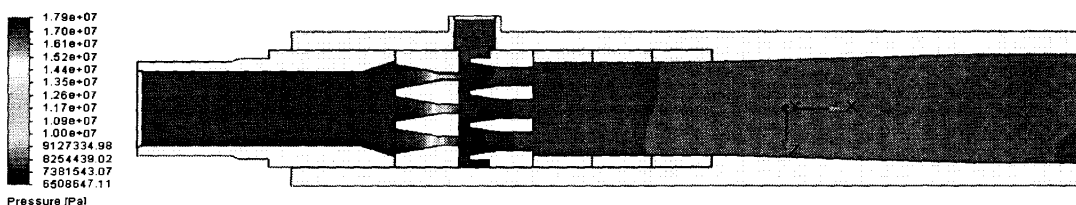
а – при тиску повітря і піни 12 МПа;

б – при тиску повітря і піни 8 МПа

Рисунок 25 – Розподіл швидкості в поздовжньому перерізі пристрою



а)



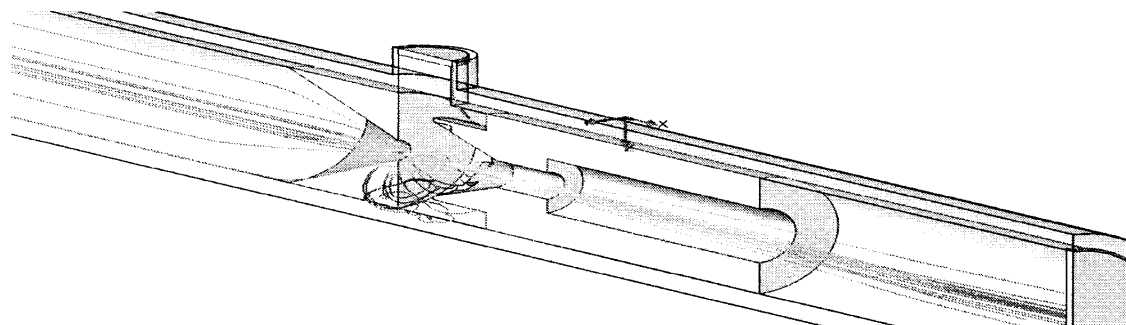
б)

а – при тиску повітря і піни 12 МПа;

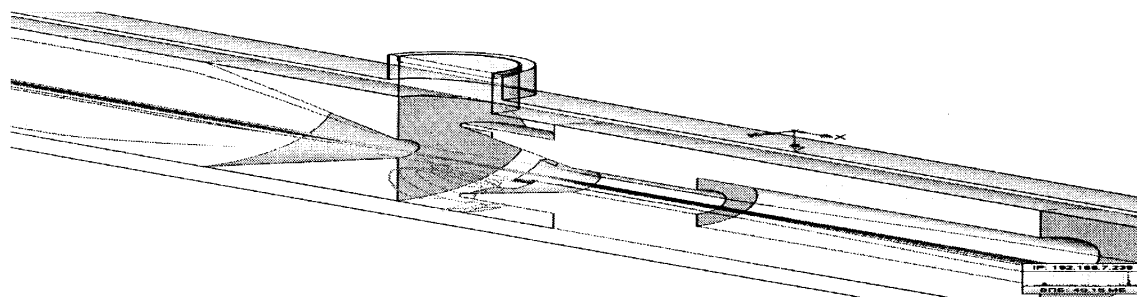
б – при тиску повітря і піни 8 МПа

Рисунок 26 – Розподіл тиску в поздовжньому перерізі пристрою

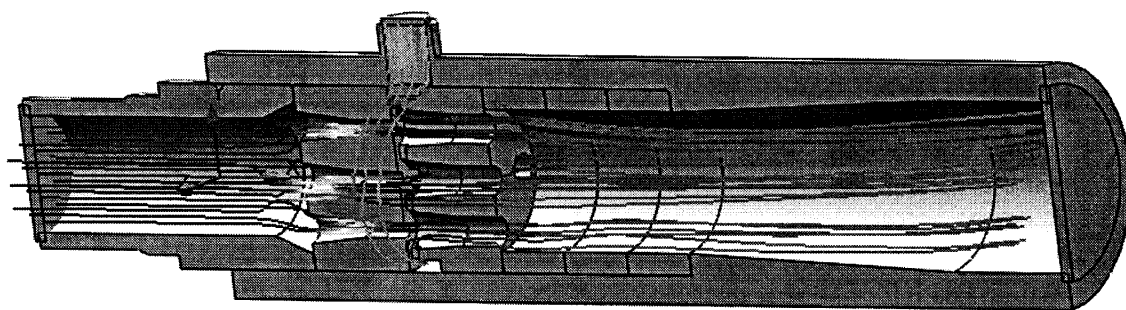
Додаток Б

Результати комп'ютерних досліджень піногенеруючих пристроїв
(до розділу 3)

а)



б)



в)

а – відстань між соплом і камерою змішування 12 мм;

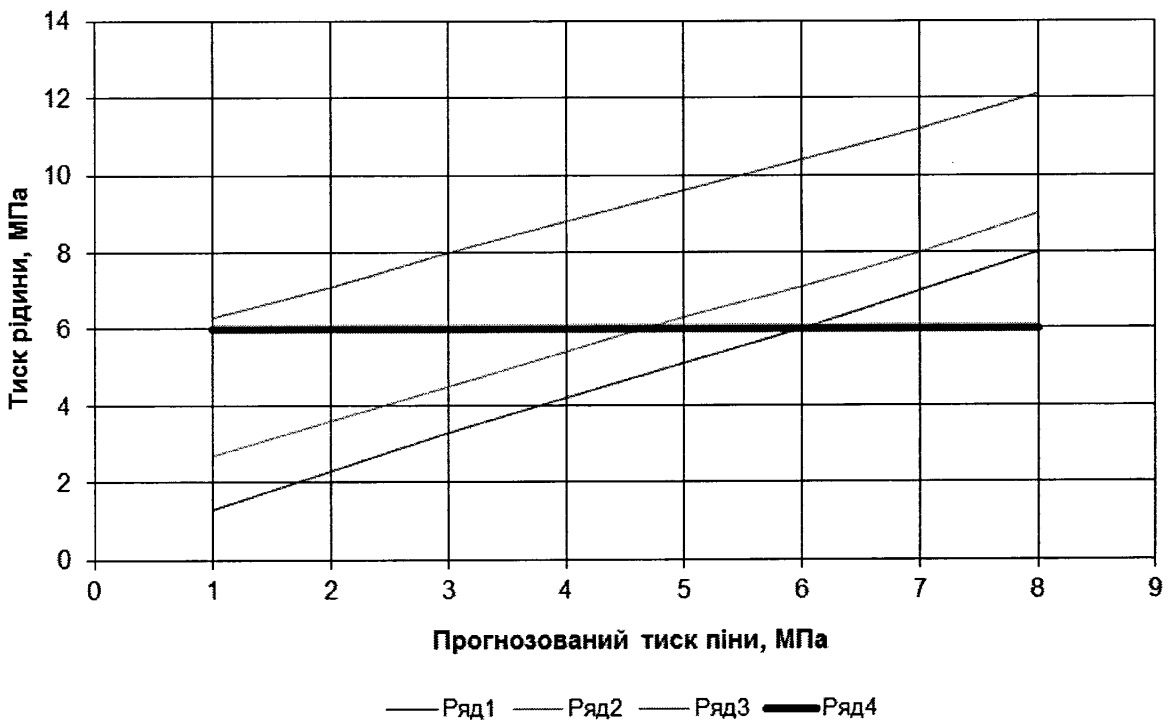
б – камера змішування із довжиною циліндричної частини 30 мм;

в – у п'ятисопловому піногенеруючому пристрої при подачі рідини на вході $0,02 \text{ м}^3/\text{с}$, тиску повітря на вході у підвідному патрубку 7,5 МПа, тиску піни на виході з пристрою 10 МПа

Рисунок 1 – Траєкторії руху потоків рідини, повітря та піни

Таблиця 1 – Залежність необхідного тиску рідини на вході у піногенеруючий пристрій від прогнозованого значення тиску піни на виході та подачі рідини на вході при тиску повітря на вході 6 МПа

Тиск піни P_n , МПа	Подача рідини Q_p , м ³ /с		
	0,001	0,005	0,01
1	1,3	2,7	6,3
2	2,3	3,6	7,1
3	3,3	4,5	8
4	4,2	5,4	8,8
5	5,1	6,3	9,6
6	6	7,1	10,4
7	7	8	11,2
8	8	9	12,1

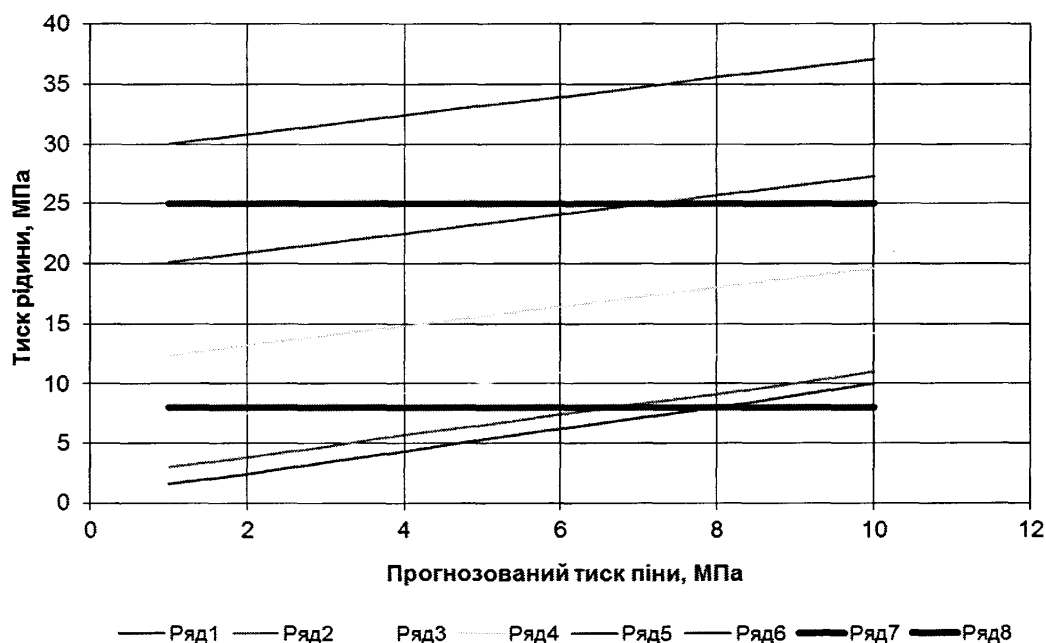


1 – при подачі рідини 0,001 м³/с; 2 – при подачі рідини 0,005 м³/с;
3 – при подачі рідини 0,01 м³/с

Рисунок 2 – Залежність необхідного тиску рідини на вході у піногенеруючий пристрій від прогнозованого значення тиску піни на виході при тиску газу на вході 6 МПа

Таблиця 2 – Залежність необхідного тиску рідини на вході у піногенеруючий пристрій від прогнозованого значення тиску піни на виході та подачі рідини на вході при тиску повітря на вході 8 МПа

Тиск піни P_n , МПа	Подача рідини Q_p , м ³ /с					
	0,001	0,005	0,01	0,015	0,02	0,025
1	1,6	3,0	6,6	12,3	20,1	30,0
2	2,4	3,8	7,5	13,2	20,9	30,8
3	3,4	4,7	8,3	14,0	21,7	31,6
4	4,3	5,7	9,2	14,8	22,5	32,4
5	5,3	6,5	10,0	15,6	23,3	33,2
6	6,2	7,4	10,9	16,4	24,1	33,9
7	7,1	8,3	11,6	17,2	24,9	34,7
8	8,0	9,1	12,4	18,0	25,7	35,6
9	9,0	10,0	13,3	18,8	26,5	36,3
10	10,0	11,0	14,2	19,6	27,3	37,1

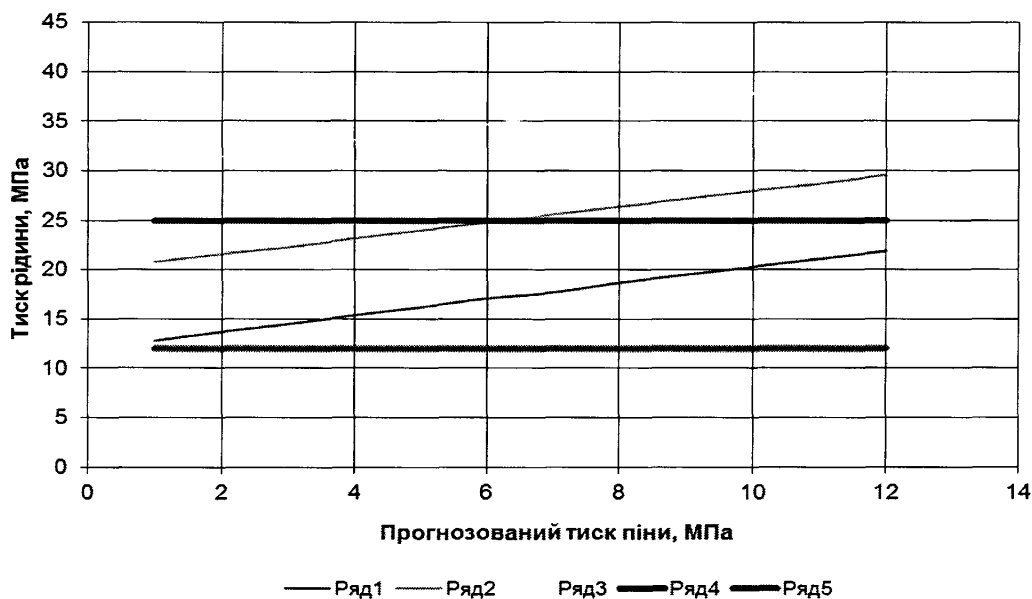


1 – при подачі рідини 0,001 м³/с; 2 – при подачі рідини 0,005 м³/с;
 3 – при подачі рідини 0,01 м³/с; 4 – при подачі рідини 0,015 м³/с;
 5 – при подачі рідини 0,02 м³/с; 6 – при подачі рідини 0,025 м³/с

Рисунок 3 – Залежність необхідного тиску рідини на вході у піногенеруючий пристрій від прогнозованого значення тиску піни на виході при тиску газу на вході 8 МПа

Таблиця 3 – Залежність необхідного тиску рідини на вході у піногенеруючий пристрій від прогнозованого значення тиску піни на виході та подачі рідини на вході при тиску повітря на вході 12 МПа

Тиск піни $P_{п.}$, МПа	Подача рідини $Q_{р.}$, м ³ /с		
	0,015	0,02	0,025
1	12,8	20,8	30,7
2	13,7	21,6	31,5
3	14,5	22,3	32,3
4	15,4	23,2	33,1
5	16,2	24,0	33,9
6	17,1	24,8	34,7
7	17,7	25,6	35,6
8	18,7	26,4	36,3
9	19,5	27,2	37,0
10	20,3	28,0	37,8
11	21,1	28,7	38,6
12	21,9	29,6	39,5



1 – при подачі рідини 0,015 м³/с; 2 – при подачі рідини 0,02 м³/с;
3 – при подачі рідини 0,025 м³/с


Рисунок 4 – Залежність необхідного тиску рідини на вході у піногенеруючий пристрій від прогнозованого значення тиску піни на виході при тиску газу на вході 12 МПа

Додаток В

Програма і методика промислових випробувань піногенеруючого пристрою ПГП-100x25-5

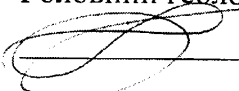
ДП “Укрбургаз”
Полтавське відділення бурових робіт

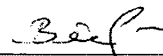
ЗАТВЕРДЖУЮ
Головний інженер ПВБР
В.М. Хівренко
“ 8 ” 09 20 11 р




Програма і методика промислових випробувань піногенеруючого пристрою ПГП-100x25-5

ПГП-100.00.00 ПМ

ПОГОДЖЕНО
Головний геолог ПВБР
 Ю.В. Крисько
“ 6 ” 09 20 11 р.

ПОГОДЖЕНО
Розробник, ст. викладач ПолтНТУ
аспірант ІФНТУНГ
 В.М. Савик
“ 5 ” 09 20 11 р

ПОГОДЖЕНО
Головний механік ПВБР
 І.П. Предчук
“ 6 ” 09 20 11 р.

м. Полтава
2011 рік

Вибрані види промислових випробувань запропонованого піногенеруючого пристрою:

- на стадії життєвого циклу – дослідницькі;
- рівень проведення – промислові;
- умови і місце проведення – натурні на реальній свердловині, яка буриться (або експлуатується);
- тривалість і повнота – скорочені (нормальні);
- в залежності від дії зовнішніх факторів – механічні (тиски);
- в залежності від параметрів, які необхідно отримати – функціональні, на надійність, на безпечність та транспортабельність, на технологічність;
- за результатами дії – неруйнівні.

1 Мета випробування

Встановлення функціональних можливостей багатосоплового ежекційного типу піногенеруючого пристрою за призначенням для промивання свердловин пінами.

2 Місце випробувань

Свердловини №201 Гадяцької площі та №172 Котелевської площі Полтавського відділення бурових робіт (ПВБР).

3. Номенклатура технічних показників, які необхідно визначити в процесі випробувань

Можливість і зручність встановлення піногенеруючого пристрою на реальну насосно-циркуляційну систему або додаткову обв'язку для промивання свердловини піною.

Виконувані функції – піноутворення і гарантоване надійне постачання піни у свердловину.

Технологічні показники:

- параметри свердловини;
- тиски рідини, піни та повітря в піногенеруючому пристрої;
- ступінь аерації та густина піни;
- безпечність піногенеруючого пристрою.

4 Кількість взірців для випробування

Один багатосопловий ежекційного типу піногенеруючий пристрій.

5 Схема і принцип роботи пристрою

Згідно принципової схеми ділянки під'єднання піногенеруючого пристрою для випробування і дослідження в промислових умовах (рис.1) дана ділянка з піногенеруючим пристроєм і контрольно-вимірювальними приладами, працює наступним чином.

1) При необхідності промивання свердловини або для створення циркуляції рідини необхідно відкрити запірний елемент 7 і закрити байпасні запірні елементи 8 і 9. Після цього для створення подачі рідини можна запустити насос 2.

2) Для промивання свердловини піною необхідно відкрити запірні елементи 8, 9 і 12 та закрити запірні елементи 7 і патрубків 19, 20 і 21. Потім запускають насос 2 і компресор 3 та ведеться спостереження за показами манометрів 13, 14 і 15. При цьому крани 16, 17 і 18 повинні бути відкриті.

Рідина і повітря проходить через піногенеруючий пристрій 1, утворюючи піну. За допомогою патрубка 21 з запірним елементом можна здійснити відбір піни і провести її дослідження.

В процесі промивання піною можна змінювати об'ємну подачу рідини та газу (повітря).

Розділювачі 23, 24 і 25 служать для запобігання попадання бруду відповідно в манометри 13, 14 і 15.

При необхідності зміни параметрів піногенеруючого пристрою після зупинки насоса 2 і компресора 3 стравлюють тиски в системі (контроль ведеться за показами манометрів 13, 14, 15). Переконавшись у відсутності тиску в системі, демонтують піногенеруючий пристрій 2.

Розібравши пристрій, можна змінити встановлені сопла на сопла інших діаметрів, або замінити кількість сопел, заглушивши одне або декілька, а також можна змінити по осі довжину камери змішування та дифузора.

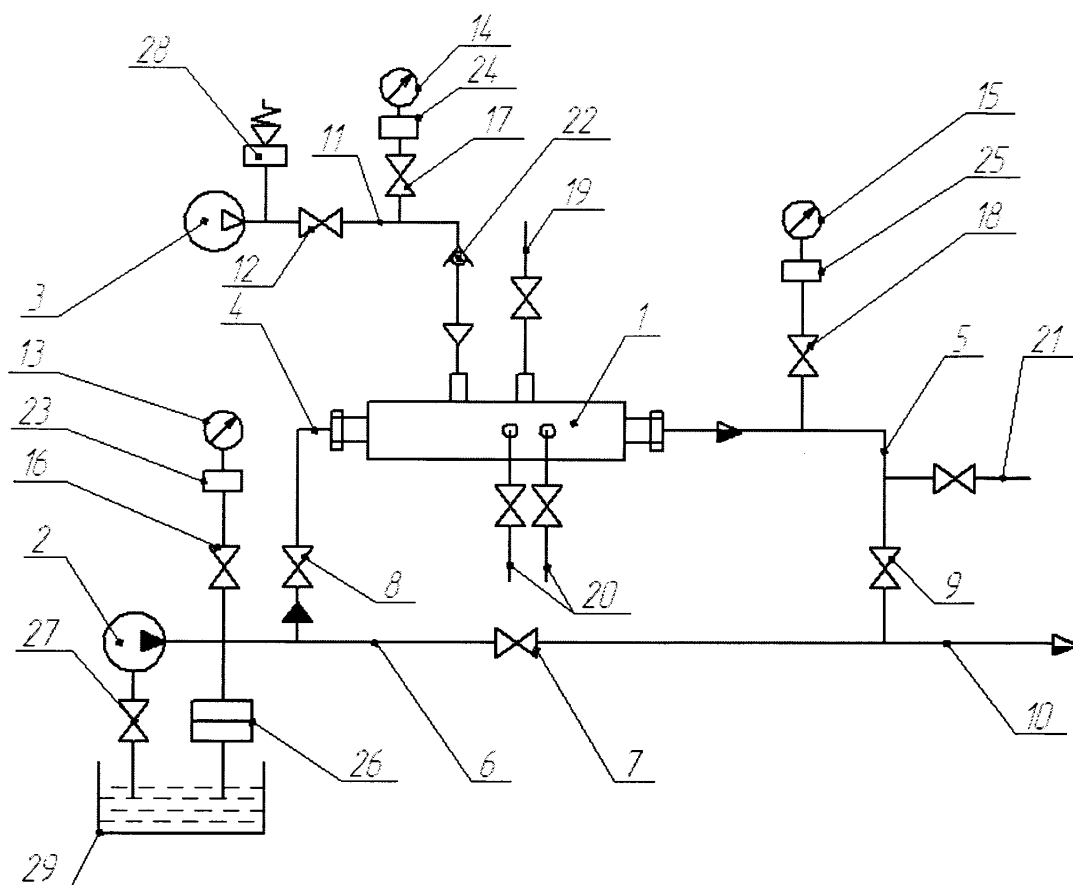


Рисунок 1 – Принципова схема ділянки під'єднання піногенеруючого пристрою для випробування в промислових умовах:

- 1 – піногенеруючий пристрій багатосопловий ежекційного типу; 2 – насос;
 3 – компресор; 4 – байпасна лінія підводу рідини; 5 – байпасна лінія відводу піни; 6 – прямоточна лінія рідини; 7, 8, 9 – запірна арматура; 10 – високо-напірна лінія до свердловини; 11 – пневмолінія; 12 – запірний елемент пневмолінії; 13, 14, 15 – манометри; 16, 17, 18 – крани манометрів;
 19, 20, 21 – патрубки із запірними елементами для під'єднання додаткових контрольно-вимірювальних приладів; 22 – зворотний клапан;
 23, 24, 25 – розділювачі; 26 – запобіжний клапан вихідної лінії насоса;
 28 - запобіжний клапан вихідної лінії компресора; 29 – ємність з рідиною

На рисунку 2 представлена схема піногенеруючого пристрою, який представлений до промислових випробувань і досліджень.

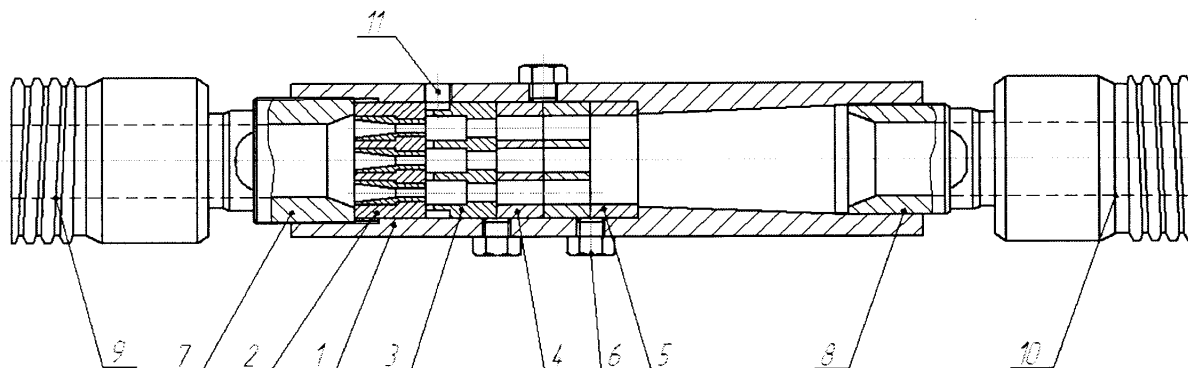


Рисунок 2 – Схема багатосоплового піногенеруючого пристрою:

1 – корпус, 2 – вставка із змінними соплами; 3 – ежекційна вставка;
 4 – дифузорний диск; 5 – розпірне кільце загального дифузора; 6 – заглушка;
 7 – вхідний перевідник; 8 – вихідний перевідник; 9, 10 – швидкороз’ємна
 різьба; 11 – отвір з різьбою для підводу повітря.

Піногенеруючий пристрій працює наступним чином.

1) Пристрій в зібраному вигляді за допомогою швидкороз’ємного різьбового з’єднання встановлюється в байпас циркуляційної системи. Вхід в пристрій за допомогою різьби 9 повинен бути приєднаний до вихідної лінії насоса, а вихід – за допомогою різьби 10 до нагнітальної лінії у свердловину.

2) До отвору 11 в корпусі 1 пристрою за допомогою різьби під’єднується повітропровід. При необхідності в місцях заглушок 6 можуть встановлюватись контрольно-вимірювальні прилади (тиску, швидкості, температури).

3) Вставка 2 (п’ятисоплова, трисоплова або двосоплова) дає можливість проводити заміну сопел з діаметрами 4, 5, 6, 8, 10, 15 та 20 мм, а також встановлювати заглушки при необхідності зменшення пропускної здатності пристрою. За допомогою дифузорних дисків 4 та роздільних кілець 5 можна змінювати довжину дифузорів.

4) Рідина від насоса подається через перевідник 7 до сопел 2, де з великою швидкістю поступає до ежекційної вставки 3. В першій частині ежекційної вставки 3 проходить контакт і захоплення рідиною повітря. У

другій звуженій частині ежекційної вставки 3 проходить процес піноутворення. Процес піноутворення продовжується в циліндричних отворах дифузорних дисків 4. Утворена піна із циліндричних отворів дифузорних дисків 4 поступає в розпірне кільце 5, яке є частиною загального дифузора і через загальний дифузор – на вихід у вихідний перевідник 8.

*6 Прилади контролю параметрів, що визначаються
при випробуванні та матеріали*

Три манометри ОБМ-160 зі шкалою не менше 16 МПа;
 Термометр для визначення температури повітря в межах $-30^{\circ}\text{C} - +80^{\circ}\text{C}$;
 Термометр для визначення температури рідини і піни в межах $0^{\circ}\text{C} - +90^{\circ}\text{C}$;
 Рулетка для вимірювання довжини в межах 0 – 5 метрів;
 Поліетиленові кульки об'ємом до 50 л (дм^3) для забору піни з метою її дослідження.

7 Процедура і послідовність випробувань

Згідно запропонованої принципової схеми ділянки під'єднання піногенеруючого пристрою для випробування в промислових умовах (рис. 1) необхідно провести підготовчі роботи на циркуляційній системі з врахуванням наявності на кінцях піногенеруючого пристрою швидкороз'ємних різьбових з'єднань.

Монтаж і встановлення контрольно-вимірювальних приладів проводиться згідно схеми (рис. 1).

Після завершення монтажу проводиться короткочасна подача повітря і рідини на протязі не більше 5хв. Після зупинки подачі повітря і рідини перевіряються всі складові частини і місця з'єднання ділянки піногенеруючого пристрою на герметичність.

Через патрубок 21 з запірним елементом є можливість провести відбір створеної піни і здійснити її дослідження.

Подальший процес випробування і дослідження піногенеруючого пристрою проводиться за погодженням та розпорядженням відповідальних

осіб від Полтавського відділення бурових робіт.

Контроль за параметрами і роботою проводить представник розробника.

Після завершення випробувань піногенеруючий пристрій демонтується, очищається від бруду і перевіряється його стан.

8 Вимоги до техніки безпеки при випробуванні

Дотримуватись правил безпеки згідно вимог «Правил безпеки у нафтогазовидобувній промисловості України».

Після монтажу піногенеруючого пристрою в циркуляційній системі при запуску та опресуванні необхідно знаходитись на безпечній відстані.

Забороняється проводити усунення негерметичностей під час роботи циркуляційної системи.

Забороняється проводити будь-які роботи з піногенеруючим пристроєм при наявності тиску всередині самого пристрою та в циркуляційній системі.

Всі необхідні роботи дозволяється проводити з піногенеруючим пристроєм тільки при відсутності тиску в циркуляційній системі і в самому піногенеруючому пристрої.

9 Обробка і оформлення результатів випробування

Вся інформація, отримана в процесі випробувань піногенеруючого пристрою, заноситься в журнал випробувань з вказанням дати, часу і прізвища (П.І.П.) особи, яка заносить інформацію в журнал.

На основі зібраної інформації про проведення промислових випробувань піногенеруючого пристрою комісією, створеною з представників Полтавського ВБР і розробника, складається акт про результати випробування і даються рекомендації щодо подальших дій з даною розробкою.

Додаток Д

Матеріали, що підтверджують впровадження розробки


ЗАТВЕРДЖУЮ

Головний інженер ПВБР

В.М. Хівренко

Полтавське
відділення
бурових робіт

"26" 09 2011 р



АКТ промислових випробувань піногенеруючого пристрою ПГП-100x25-5 на свердловині № 201 Гадяцької площі

20-22 вересня 2011 р.

м. Полтава

Комісія в складі:

Предчук І.П. – головний механік Полтавського ВБР, голова комісії;

Крисько Ю.В. – головний геолог Полтавського ВБР;

Корнійко В.І. – начальник бурової;

Савик В.М. – розробник, ст. викладач ПолтНТУ, аспірант ІФНТУНГ.

провела промислові випробовування піногенеруючого пристрою ПГП-100x25-5 на свердловині № 201 Гадяцької площі, оснащених буровою установкою "Уралмаш ЗД-76". Для створення пінистого розчину і закачування його в свердловину на бурову доставлено агрегат 4АН-700. Піногенеруючий пристрій в об'язку циркуляційної системи був змонтований з використанням швидкорозбірних з'єднань та трубопроводів, якими оснащений агрегат. Для визначення основних параметрів використовувались манометри, якими оснащений агрегат та компресор. Для створення пінистого розчину використовувалась поверхнево-активна речовина – сульфанол. Випробовування проводились при спуску бурильної колони на різні глибини.

В процесі проведення промислових досліджень і випробувань піногенеруючого пристрою ППП-100x25-5 комісією встановлено, що:

- запропоновані схеми обв'язки циркуляційної системи при бурінні з промиванням свердловин піною є практичними і раціональними;

- розроблений піногенеруючий пристрій ППП-100x25-5 є зручний при встановленні його в існуючу насосно-циркуляційну систему або в додаткову обв'язку для промивання свердловини агрегатами, за рахунок використання швидкорозбірного різьбового з'єднання;

- розроблений піногенеруючий пристрій дає можливість змінювати ступінь аерації піни за рахунок можливості регулювання подачі рідини і газу (повітря);

- у випробуваному піногенеруючому пристрої є можливість зміни діаметрів сопел, довжини камери змішування, в т.ч. довжини дифузора, а також, при необхідності, виводити з дії (заглушуванням) одне або декілька сопел;

- розроблений піногенеруючий пристрій ППП-100x25-5 є високоефективний і безпечний при експлуатації в промислових умовах;

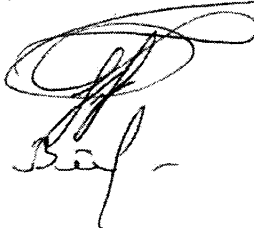
- після випробувань і досліджень в піногенеруючому пристрої дефектів та пошкоджень не виявлено і він може використовуватись в подальшому на свердловинах, які промиваються пінами.

Голова комісії:



І.П. Предчук

Члени комісії:



Ю.В. Крисько

В.І. Корнійко

В.М. Савик

ЗАТВЕРДЖУЮ



Головний інженер ПВБР

В.М. Хівренко

12 2011 р

АКТ

**промислових випробувань
піногенеруючого пристрою ПГП-100x25-5
на свердловині № 172 Котелевської площі**

22-24 грудня 2011 р.

м. Полтава

Комісія в складі:

Предчук І.П. – головний механік Полтавського ВБР, голова комісії;

Крисько Ю.В. – головний геолог Полтавського ВБР;

Бойко М.В. – заступник начальника ЦІТС;

Савик В.М. – розробник, ст. викладач ПолтНТУ, аспірант ІФНТУНГ.

провела промислові випробовування піногенеруючого пристрою ПГП-100x25-5 на свердловині № 172 Котелевської площі, пробуреній до проектної глибини 4700 м., оснащених буровою установкою "Уралмаш 4Е-76". Випробовування піногенеруючого пристрою на свердловині проводились в процесі освоєння свердловини за ініціативою Полтавського ВБР у зв'язку з виробничою необхідністю. Для створення пінистого розчину і закачування його в свердловину на бурову доставлено агрегат 4АН-700, а для подавання стиснутого повітря – компресорну станцію КС-250. Піногенеруючий пристрій в об'язку циркуляційної системи був змонтований з використанням швидкокорозбірних з'єднань та трубопроводів, якими оснащений агрегат. Для створення пінистого розчину використовувалась поверхнево-активна речовина – сульфанол, концентрація якого змінювалась в процесі дослідження. Для визначення основних параметрів використовувались манометри, якими оснащений агрегат та компресор. В процесі підготовки до промислових досліджень було проведено опресовку піногенеруючого пристрою і усунено

виявлені неполадки (розгерметизація з'єднань). Випробовування проводились при різних параметрах і режимах роботи піногенеруючого пристрою при спуску колони насосно-компресорних труб на глибину 4590 м.

В процесі проведення промислових досліджень і випробовувань піногенеруючого пристрою ПГП-100x25-5 комісією встановлено, що:

- у випробуваному піногенеруючому пристрої ПГП-100x25-5 є можливість зміни діаметрів сопел, довжини камери змішування, кількості сопел;

- використання піногенеруючого пристрою ПГП-100x25-5 дає можливість зменшення використання ПАВ на 15...25%;


- піна, створена піногенеруючим пристроєм ПГП-100x25-5, зберігає необхідні властивості на шляху від піногенеруючого пристрою до виходу зі свердловини глибиною до 4700 м;

- в зимовий період немає потреби використання піногасячих хімічних речовин та спеціального технічного устаткування для підготування розчину для повторної подачі у свердловину у зв'язку з можливістю використання значного перепаду температур для ліквідації піни;


- розроблений піногенеруючий пристрій ПГП-100x25-5 є зручний при встановленні його в об'язку для промивання свердловини агрегатами, високоефективний і безпечний при експлуатації в промислових умовах;


- після промислових досліджень в піногенеруючому пристрої дефектів та пошкоджень не виявлено і він може використовуватись в подальшому на свердловинах, які промиваються пінами.

Голова комісії:


І.П. Предчук

Члени комісії:

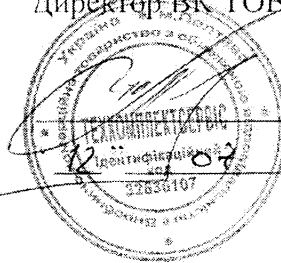

Ю.В. Крисько


М.В. Бойко


В.М. Савик

ЗАТВЕРДЖУЮ

Директор ВК ТОВ «Техкомплектсервіс»



Мохній І.Ю.

20 12 р

ПРОТОКОЛ**науково-виробничої наради**

з розгляду дисертаційної роботи за спеціальністю 05.05.12 – Машини нафтової та газової промисловості аспіранта ІФНТУНГ Савика В.М. на тему: **“Підвищення ефективності піногенеруючих пристроїв насосно-циркуляційних систем бурових установок”**

12 липня 2012 р.

м. Полтава

Роботу розглянули на розширеній науково-виробничій нараді ВК ТОВ «Техкомплектсервіс» в присутності:

технічного директора	Кучеренко Ю.І.
начальника цеху	Мороза В.Ю.
головного конструктора	Обухова О.С.

В дисертаційній роботі зроблений аналіз конструктивних рішень та умов роботи обладнання циркуляційних систем при промиванні нафтогазових свердловин пінистими розчинами, подані переваги і недоліки існуючого обладнання та пристроїв. Основна частина роботи присвячена розробці високоефективних піногенеруючих пристроїв насосно-циркуляційної системи бурових установок.

В розробленому піногенеруючому пристрої ПГП-100x25-5 ефективність піноутворення підвищується за рахунок збільшення ступенів насичення рідини повітрям (газом) та збільшення площі контакту із струменями рідини, внаслідок чого проходить належне перемішування та диспергування суміші. Це досягається шляхом введення в конструкцію багатосоплової вставки, замість одного сопла, поділу камери змішування на декілька ежекційних

камер попереднього змішування, додаткового введення кавітаційної камери проміжного змішування, розміщеної на початку дифузора. та камери турбулентного змішування, розміщеної в дифузорі.

Запропонований піногенеруючий пристрій забезпечує високу ефективність піноутворення за рахунок поєднання декількох видів насичення рідини повітрям або газом – ефект ежекції, кавітації, змішування утвореним турбулентним потоком. Перевагою запропонованого піногенеруючого пристрою є також можливість насичувати повітрям в'язкі розчини із утворенням пінної суміші та можливість регулювання насичення повітрям або газом суміші.

В дисертаційній роботі приведені теоретичні, комп'ютерні, експериментальні та промислові дослідження розробленого піногенеруючого пристрою ППП-100x25-5, які показали, що всі геометричні параметри його науково обґрунтовані, з технічної точки зору виготовлення просте. Унікальність його полягає також в тому, що в процесі експлуатації можна використовувати не всі сопла, виводячи з дії (заглушуванням) одне або декілька з них. Піногенеруючий пристрій можна використовувати на всіх необхідних інтервалах буріння з врахуванням діаметра свердловини, тисків та інших показників.

БК ТОВ “Техкомплектсервіс” рекомендує налагодити серійний випуск піногенеруючих пристроїв ППП-100x25-5 та впровадити їх на бурових підприємствах нафтогазової галузі.

Кучеренко Ю.І.

Мороз В.Ю.

Обухов О.С.

Міжнародний форум



«Інновації та технології вищої якості»



ДИПЛОМ

За участь

**у Міжнародній спеціалізованій виставці
«ВИСОКІ ТЕХНОЛОГІЇ - 2009»**

**та у 2-й Міжнародній спеціалізованій виставці
«НАНОТЕХНОЛОГІЇ - 2009»**

**Полтавський національний
технічний університет
імені Юрія Кондратюка**

**30 вересня - 2 жовтня 2009р.
м. Київ**

Генеральний директор
«LMT Corporation»

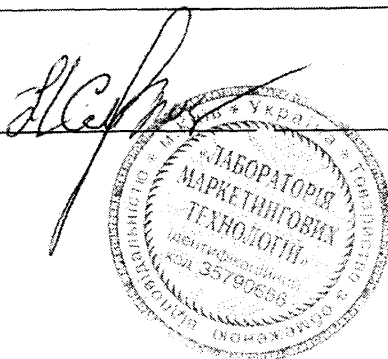
В.Ткаченко

ДОВІДКА

Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка,
кафедра обладнання нафтових і газових промислів, факультет нафти і газу,
старший викладач Савик Василь Миколайович

на Міжнародній спеціалізованій виставці "ВИСОКІ ТЕХНОЛОГІЇ – 2009"
представляв лабораторно-експериментально-промисловий взірець піноге-
неруючого пристрою ПГП-100x25

Директор _____



Н.М. Смульська _____



d490