

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

Добровольський Ігор Володимирович



УДК 622.691

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ
СПЕЦІАЛІЗОВАНОГО ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ДЕМОНТАЖУ
ТРУБНОЇ ГОЛОВКИ ПРИ ЛІКВІДАЦІЇ ВІДКРИТОГО
НАФТОГАЗОВОГО ФОНТАНУ**

Спеціальність 05.05.12 – машини нафтової та газової промисловості

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Івано-Франківськ – 2019

Дисертацією є рукопис.

Роботу виконано в Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник:

доктор технічних наук, професор

Малько Богдан Дмитрович

кандидат технічних наук,

Лях Михайло Михайлович,

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, професор кафедри нафтогазових машин та обладнання.

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук,

Яким Роман Степанович,

Дрогобицький державний педагогічний університет імені Івана Франка, м. Дрогобич, професор кафедри машинознавства та основ технологій;

доктор технічних наук,

Ляпощенко Олександр Олександрович,

Сумський державний університет, м. Суми, доцент кафедри процесів та обладнання хімічних і нафтопереробних виробництв.

Захист відбудеться « 12 » березня 2019 року о 13:00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 20.052.04 в Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу за адресою: 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15.

Автореферат розісланий « 5 » лютого 2019 року.

Вчений секретар

Спеціалізованої вченої ради Д 20.052.04

Кандидат технічних наук, доцент



Л.Д. Пилипів

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Під час будівництва, експлуатації та капітального ремонту свердловини під дією різних чинників трапляються складні техногенні аварії – відкриті нафтогазові фонтани, для ліквідації яких необхідне залучення великих коштів, надлюдських зусиль. Наслідки аварії ускладнюють діяльність бурових, газонафтовидобувних підприємств, а також негативно впливають на стан промислових, сільськогосподарських угідь, населених пунктів, які розташовані неподалік виникнення аварії.

Процес ліквідації відкритого фонтану можна поділити на декілька етапів:

- локалізуванню відкритого полум'я;
- вилучення зруйнованого обладнання з гирла фонтануючої свердловини;
- демонтаж пошкодженого гирлового обладнання з метою створення компактного струменю фонтанування;
- монтаж нового гирлового обладнання;
- глушіння свердловини.

Кожен з етапів ліквідації фонтану є невід'ємною і вкрай відповідальною стадією ліквідації аварії загалом, однак визначальною стадією для подальших робіт є етап демонтажу пошкодженого гирлового обладнання для створення компактного струменю фонтанування, оскільки дані роботи потребують особливо ретельної підготовки, чітких та послідовних дій, та, найважливіше, неякісне виконання робіт даного етапу може призвести до тяжких ускладнень у подальшій ліквідації аварії.

Найбільш поширений метод демонтажу пошкодженого обладнання з гирла фонтануючої свердловини є застосування артилерійської техніки (в тому числі танків) для відстрілювання (механічного відбивання) гирлового обладнання.

Основним недоліком демонтажу пошкодженого гирлового обладнання відстрілюванням є імовірність ушкодження інших частин гирлового обладнання (наприклад, колонної головки), що може суттєво ускладнити процес проведення ліквідації аварії загалом, оскільки процес руйнування абсолютно неконтрольований.

Дана робота направлена на розробку спеціалізованого обладнання для оперативного, надійного, у визначеному місці демонтажу гирлового обладнання, та встановлення раціональних параметрів і режимів його роботи., що дозволить у найкоротші терміни провести безпечні та контрольовані роботи з демонтажу пошкодженого гирлового обладнання з гирла фонтануючої свердловини.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота має науково-прикладний характер, виконана в рамках Енергетичної стратегії України на період до 2030 р., схваленої розпорядженням Кабінету Міністрів України від 15.03.2006 р. № 145-р та є складовою частиною науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт з розроблення гідро-абразивної установки з дистанційним керуванням

ДП «ЛІКВО» (далі – установка гідро-абразивна) в 2004-2011 роках. У результаті виконання роботи було розроблено конструкторську документацію, виготовлено гідро-абразивну установку та створено методичку відрізання нею трубної головки фонтанної арматури.

Мета і завдання дослідження. Метою даної роботи є підвищення ефективності спеціалізованого обладнання для демонтажу трубної головки при ліквідації відкритого нафтогазового фонтану та встановлення раціональних параметрів і режимів його роботи.

Поставлена мета досягається через реалізацію наступних задач:

- проведення синтезу, аналізу і селективного відбору теоретичних та експериментальних результатів для визначення резервів і перспектив підвищення ефективності обладнання для демонтажу фонтанної арматури;
- виконання теоретичних досліджень із визначення дії найбільш впливових чинників та вибору оптимальних геометричних параметрів і режимів роботи різального пристрою, які б гарантовано забезпечили демонтаж трубної головки з аварійного фонтануючого гирла свердловини;
- проведення експериментальних досліджень різального гідро-абразивного пристрою для встановлення раціональних режимів різання металу за гранично низького тиску;
- вдосконалення конструкції спеціального обладнання шляхом визначення і обґрунтування раціональних параметрів і режимів роботи різального пристрою для відповідних умов його експлуатації;
- розроблення технології демонтажу пошкодженого гирлового обладнання гідро-абразивним різальним пристроєм.

Об'єкт дослідження. Спеціалізоване обладнання для демонтажу пошкодженого гирлового обладнання під час ліквідації відкритих нафтогазових фонтанів.

Предмет дослідження. Ефективність і надійність спеціалізованого обладнання для демонтажу трубної головки шляхом встановлення раціональних параметрів і режимів його роботи.

Методи досліджень. У роботі застосовано комплекс методів, який містить:

- синтез і аналіз умов та досвіду експлуатації різних конструктивних виконань нестандартного обладнання для ліквідації відкритих нафтогазових фонтанів;
- статистичний аналіз даних, математичний аналіз даних, графічний аналіз даних;
- комп'ютерне моделювання гідродинамічних потоків в різальних пристроях із використанням розрахункового модуля FloXpress системи твердотільного параметричного моделювання SolidWorks;
- експериментальні визначення та вибір основних параметрів і режимів роботи гідро-абразивного різального пристрою з врахуванням умов його

експлуатації;

- промислові випробування, які проводились з метою підтвердження роботоздатності і ефективності запропонованого обладнання для демонтажу устаткування з аварійного гирла фонтануючої свердловини.

Положення, що виносяться на захист.

1. Встановлення закономірностей гідро-абразивного різання з метою підвищення ефективності спеціалізованого обладнання для демонтажу гирлового обладнання при ліквідації відкритого нафтогазового фонтану шляхом вибору раціональних параметрів і режимів його роботи.

2. Теоретичні закономірності гідро-газо-абразивного різання металу за гранично низького тиску нагнітання.

Наукова новизна результатів досліджень.

Шляхом проведення теоретичних та експериментальних досліджень отримано такі основні наукові результати:

- вперше обґрунтовано вибір напрямків підвищення енергоефективності спеціалізованого обладнання для демонтажу трубної головки з аварійного гирла фонтануючої свердловини за результатами синтезу і аналізу різних його конструктивних виконань;
- науково обґрунтовано оптимальні конструктивні форми і геометричні параметри гідро-абразивного різального пристрою для демонтажу устаткування з гирла фонтануючої свердловини;
- вперше науково обґрунтовано отримання позитивного ефекту від використання гідро-газо-абразивного різання гранично низьким тиском;
- вперше визначено втрати ефективності гідро-абразивного різання багатошарових конструкцій нафтогазового устаткування;
- запропоновано метод зонального аналізу гирлового обладнання для визначення оптимальної швидкості переміщення різального пристрою.

Практичне значення одержаних результатів. На основі проведених теоретичних та експериментальних досліджень одержано такі практичні результати:

- виготовлено і оснащено аварійно-рятувальну службу ДП «ЛКВО» спеціалізованим обладнанням «Установка гідро-абразивна»;
- проведено аварійно-рятувальні роботи з використанням «Установки гідро-абразивної» з відрізання і демонтажу трубної головки під час ліквідації відкритого фонтану на свердловині №111 Куличихінського НГКР ГПУ «Полтавагазвидобування» (травень 2004 р);
- розроблено методика проведення робіт із відрізання гирлового обладнання в умовах відкритого палаючого фонтану (СОУ 11.2-32869691-006:2011. Аварійно-рятувальні роботи. Відрізання металоконструкцій в умовах відкритого фонтану з використанням установки з дистанційним управлінням до крана КП-25;
- розроблено СОУ 11.2-30019775-103:2006. Свердловини на газ та нафту. Абразивно - струминний розрив пласта. Порядок.

- проведено аналіз впливу різних чинників на процес гідро-абразивного різання, зокрема: відстані від насадки до об'єкту різання, тиску нагнітання, об'ємної концентрації вмісту піску в гідро-абразивній суміші, фракції піску;
- досліджено вплив швидкості гідро-абразивного різання від фізико-механічних властивостей матеріалу, що піддається різанню.

Особистий внесок здобувача. Визначальні наукові положення та результати, покладені в основу дисертаційної роботи, отримані автором самостійно. У публікаціях, написаних у співавторстві, здобувачеві належить: [1, 6 - 9, 11, 16, 18, 19] – аналіз актуальності проблеми процесу ліквідації відкритого нафтогазового фонтану, а саме: демонтажу пошкодженого гирлового обладнання для створення компактного струменя фонтанування та встановлення напрямків їх вирішення; [10, 12 - 14, 17, 20] – наукові ідеї щодо формування закономірностей взаємозв'язку ефективності процесу гідро-абразивного різання від конструкції та геометричних параметрів гідро-абразивного різального пристрою в умовах відкритого фонтанування; [2, 3, 5] – теоретичні дослідження та вибір раціональних параметрів і режимів роботи спеціалізованого обладнання з застосуванням гідро-абразивного різання за гранично низького тиску; [4, 15] - результати промислових випробувань устаткування для демонтажу пошкодженого обладнання при ліквідації відкритого нафтогазового фонтану.

Апробація роботи. Основні положення роботи доповідались та обговорювались на:

- IV Міжнародній науково-технічній конференції молодих учених 26-30.09.2011 р. (м. Трускавець, Україна);
- V Міжнародній науково-технічній конференції молодих учених та студентів 17-18.11.2016 р. (м. Івано-Франківськ, Україна);
- Міжнародній науково-технічній конференції та виставці «Машини, обладнання і матеріали для нарощування вітчизняного видобутку та диверсифікації постачання нафти і газу» ПМ–2016, (м. Івано-Франківськ, Україна).
- VI Міжнародній науково-технічній конференції 15-19.05.2017 р, (м. Івано-Франківськ, Україна);

Публікації. За темою дисертації опубліковано 20 наукових праць, з яких 7 статей у фахових виданнях (у тому числі одна одноосібна), одна зарубіжна стаття, одна у виданні, що входить до наукометричної бази «SCOPUS», 4 у матеріалах конференцій, розроблено два Стандарти організації України, отримано 5 патентів України на корисну модель.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, загальних висновків, списку використаних джерел із 117 найменувань, 7 додатків. Основна частина дисертаційної роботи викладена на 117 сторінках і містить 83 рисунки та 12 таблиць. Загальний обсяг дисертації становить 137 сторінок.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність, сформульовано мету і основні завдання дисертаційної роботи, висвітлено наукову новизну і практичне значення отриманих результатів, вказано на особистий внесок здобувача, розглянуто апробацію роботи, описано її структуру і обсяг.

У першому розділі висвітлено проблему ліквідації відкритого нафтогазового фонтану та актуальність проблеми; проаналізовано умови ліквідації відкритого фонтану; здійснено аналітичний огляд методів та конструктивних рішень нестандартного устаткування для демонтажу пошкодженого гирлового обладнання; проведено аналіз праць, пов'язаних із дослідженням устаткування та процесу гідро-абразивного різання, а також сформульовано мету і задачі дослідження.

Відкритий фонтан - це некероване і неконтрольоване витікання із свердловини пластового флюїду через відсутність, втрату герметичності або руйнування противикидного обладнання, а також в наслідок грифоутворення.

Причини виникнення нафтогазових фонтанів можуть бути різні - геологічні, технічні, технологічні. Але всі вони призводять до одного наслідку – виникнення складної техногенної аварії.

Процес ліквідації відкритого фонтану умовно поділяється на 5 етапів: локалізація відкритого полум'я як пожежі, вилучення зруйнованого обладнання з гирла, демонтаж (розчленування, відрізання) гирлового обладнання з метою створення компактного струменю фонтанування, наведення нового гирлового обладнання, глушіння свердловини.

Проаналізовано методи демонтажу пошкодженого гирлового обладнання для створення компактного струменю фонтанування і обґрунтовано, що гідро-абразивне різання є аналогом не лише механічного, але і лазерного, плазмового різання, і в окремих випадках залишається єдиною можливістю для даних умов.

У другому розділі проведено теоретичні дослідження устаткування для демонтажу пошкодженого гирлового обладнання при ліквідації відкритого фонтану. Обґрунтовано місце відрізання пошкодженого обладнання. Описано основний небезпечний фактор - підвищений рівень теплового випромінювання.

Проаналізовано конструктивні особливості гирлового обладнання і визначено, що єдине можливе місце його відрізання з метою створення компактного струменю фонтанування розташоване над нижнім фланцем трубної головки.

Аналіз зон різання (рис. 1) показав, що для гарантованого руйнування складної багатошарової конструкції слід проводити різання із врахуванням нелінійності швидкості переміщення різального пристрою.

Принципові схеми гідро-абразивних ріжучих пристроїв прокласифіковано за їх конструктивним виконанням.

Проведено теоретичні дослідження руху відокремленої частинки у висхідному потоці струменю пластового флюїду для забезпечення гарантованого відрізання багатшарових конструкцій гирлового обладнання.

Отримано формулу для вертикального відхилення піщинки у потоці газу або рідини, яке є функцією від відстані x , яку вона проходить у горизонтальному напрямку

$$y(x) = \frac{d}{c} \cdot \frac{\rho_{\text{п}}}{\rho} \cdot \left(\frac{V_1}{V_0}\right)^2 \cdot \left(e^{\frac{\rho c}{2\rho_{\text{п}} d} x} - 1\right)^2. \quad (1)$$

де d - діаметр піщинки; C - коефіцієнт опору; $\rho_{\text{п}}$ - густина піщинки; ρ - густина потоку газу; V_1 - швидкість газу; V_0 - початкова швидкість піщинки.

Формула (1) дозволяє наближено розрахувати тиск нагнітання гідро-абразивної суміші і середній розмір зернистості піску для різних значень швидкості і густини потоку фонтануючого із свердловини пластового флюїду, які б забезпечували достатню кучність піщинок на потрібних відстанях у різальному гідро-абразивному струмені.

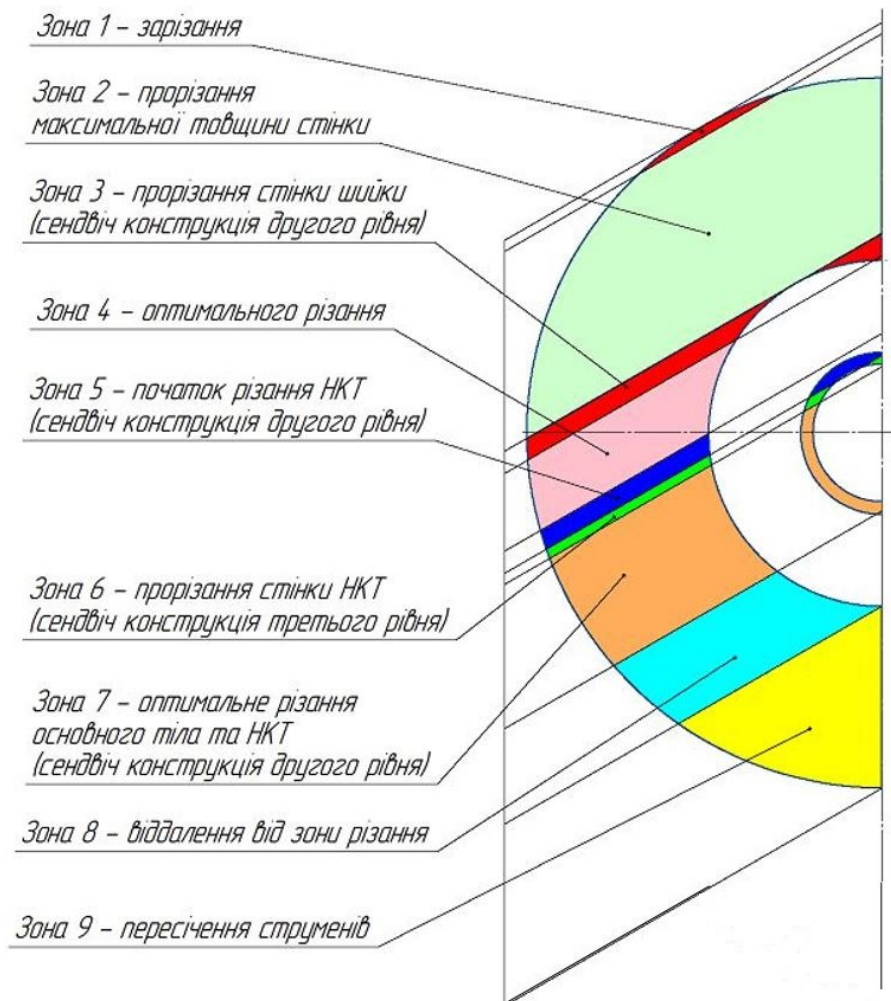


Рисунок 1 - Зони різання гирлового обладнання

Як приклад, на рис. 2 і рис. 3 подані залежності $y(x)$ за різних значень діаметра піщинки і за різних значень густини фонтануючого потоку для заданої горизонтальної відстані x їх проходження в потоці ($\rho_{\text{п}} = 2500 \text{ кг/м}^3$; $V_0 = 200 \text{ м/с}$; $V_1 = 40 \text{ м/с}$).

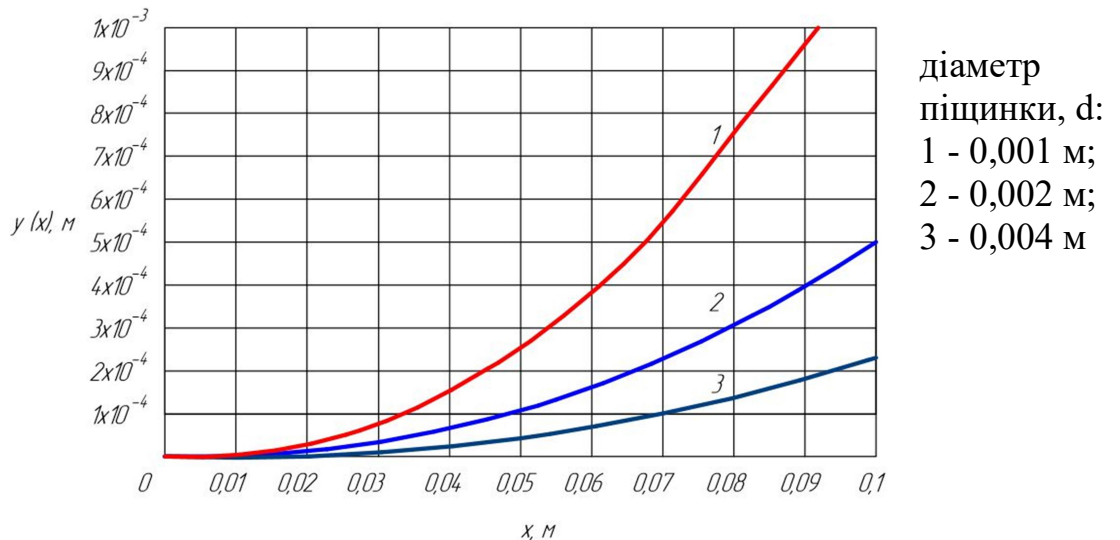


Рисунок 2 - Залежність відхилення піщинки від горизонтального напрямку $y(x)$ для різних значень діаметрів піщинки

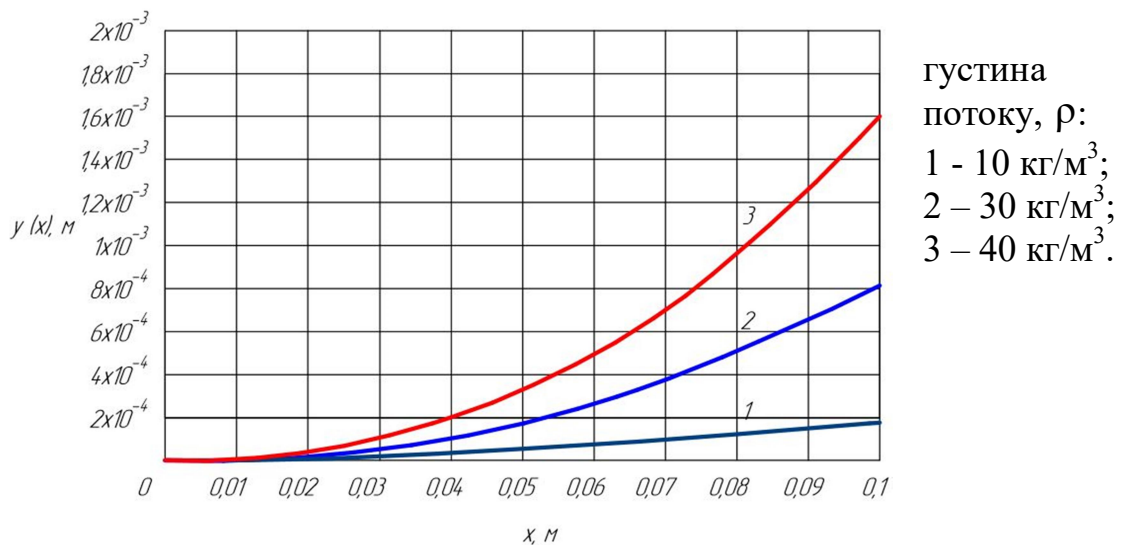


Рисунок 3 - Залежність відхилення піщинки від горизонтального напрямку $y(x)$ для різних значень густини потоку

Проведено теоретичні дослідження потужності та швидкості струменю гідро-газо-абразивної суміші і встановлено, що всі основні технічні показники різання гідро-газо-абразивним струменем значно кращі, ніж у гідро-абразивним.

Кінетичну потужність водо-піщаної компоненти суміші, що витікає із отвору, розрахуємо за формулою

$$N_{\text{ВП}} = \frac{1}{2} (1 + k_{\text{п}}) Q_{\text{в}} V_{\text{ВП}}^2. \quad (2)$$

де $k_{\text{п}} = m_{\text{п}}/m_{\text{в}}$ — відношення маси піску до маси води в суміші; $Q_{\text{в}}$ — витрата води; $V_{\text{ВП}}$ — швидкість витікання водо-піщаної суміші.

Кінетична потужність водо-газо-піщаної суміші буде рівною сумі кінетичних потужностей її компонентів

$$N = N_{ВП} + N_{Г}. \quad (3)$$

Також цю кінетичну потужність можна розрахувати за формулою

$$N = \frac{1}{2} (1 + k_{п} + k_{г}) Q_{В} V^2, \quad (4)$$

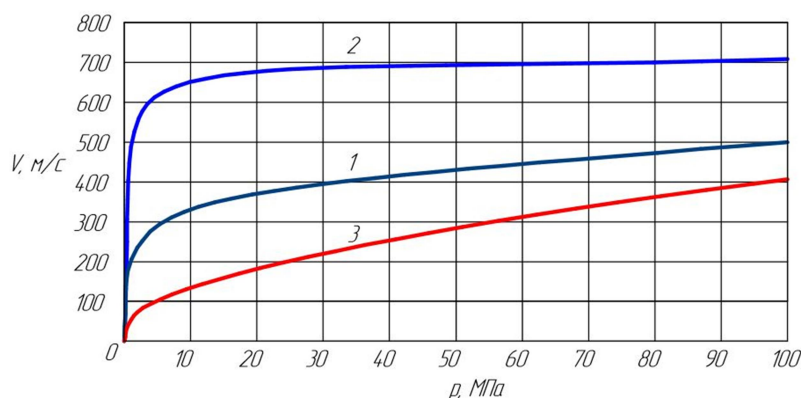
де V – швидкість витікання із отвору водо-газо-піщаної суміші; $k_{г} = m_{г}/m_{В}$ – відношення маси повітря до маси води в суміші.

Отримано формулу для розрахунку швидкості витоку із отвору водо-газо-піщаної суміші.

$$V = \sqrt{\frac{k_{г} V_{г}^2 + (1 + k_{п}) V_{ВП}^2}{1 + k_{п} + k_{г}}}. \quad (5)$$

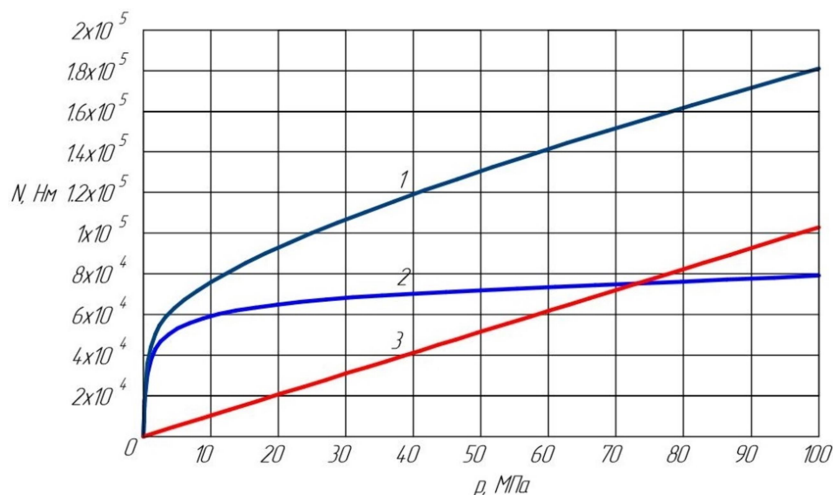
На рисунку 4 представлені криві залежності швидкості від тиску в камері для гідро-газо-абразивної суміші, її повітряної, та водо-піщаної компоненти. Як видно з наведених графічних залежностей, наявність повітряної компоненти досить суттєво збільшує швидкість суміші.

На рисунку 5 представлені криві залежності кінетичної потужності від тиску в камері для гідро-газо-абразивної суміші.



1 - для водо-газо-піщаної суміші;
2 - для газової компоненти;
3 - для водо-піщаної компоненти.

Рисунок 4 - Залежність швидкості струменю від тиску нагнітання



1 - для водо-газо-піщаної суміші;
2 - для газової компоненти;
3 - для водо-піщаної компоненти.

Рисунок 5 - Залежність кінетичної потужності струменю від тиску нагнітання

Дані графічні залежності показують, що наявність повітряної компоненти в суміші дозволяє досягти необхідної для різання кінетичної потужності струменю при набагато менших тисках в камері, ніж це можна зробити, використовуючи тільки водо-піщану суміш.

У третьому розділі шляхом експериментальних досліджень на стенді «Струмінь» (рис. 6, 7) вибрано технологію різання металу – гідро-абразивним різальним пристроєм за гранично низького тиску і встановлено раціональні режими його проведення (рис. 8):

- визначення раціонального режиму різання;
- визначення впливу фракції піску на процес різання;
- визначення впливу відстані до еталонної пластини на процес різання;
- визначення впливу фізико-механічних властивостей металу на процес різки.

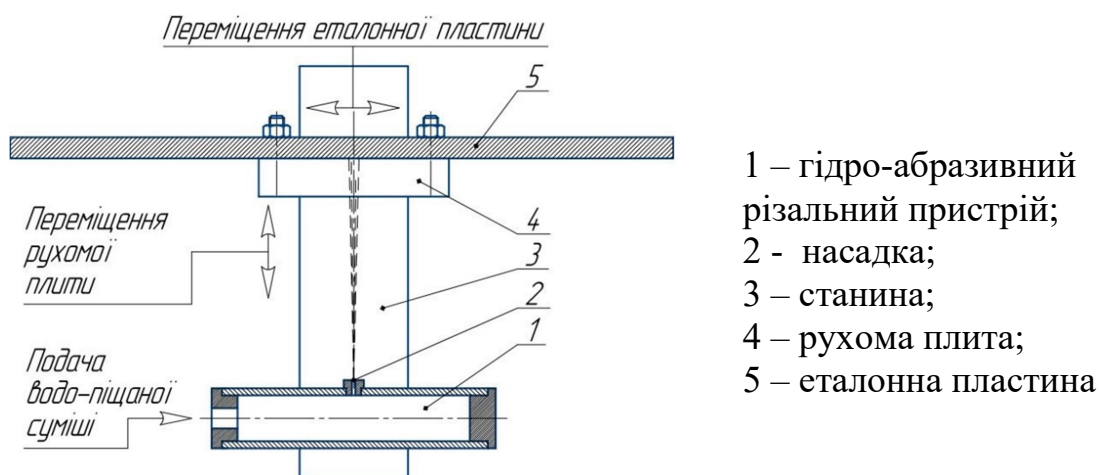


Рисунок 6 - Принципова схема стенду «Струмінь»



Рисунок 7 - Прорізана еталонна плита

Для визначення раціонального режиму різання було проведено експериментальні дослідження впливу кількості піску на одиницю об'єму розчину та робочого тиску нагнітання водо-піщаної суміші в нагнітальній лінії.

Після проведення першого етапу випробувань приймаємо ефективний тиск різання 30 МПа, так як підвищення тиску нагнітання суттєво не впливає на процес різання (рис. 8), але в свою чергу значно підвищує навантаження на насосну нагнітальну техніку. Всі подальші дослідження будуть проводитись за ефективного тиску нагнітання 30 МПа.

Щодо вмісту піску в водо-піщаній суміші, то досліди першого етапу показали, що оптимальною концентрації піску у водо-піщаній суміші можливо умовно наближено прийняти 100 кг/м³ і використовувати дану концентрацію для подальших дослідів.

На стенді «Струмінь» (рис. 6) визначено вплив відстані до еталонної пластини на процес різання, для чого еталонна пластина 5 поетапно розміщувалась, завдяки переміщенню рухомої плити 4, і статично фіксувалась на відстані 40 мм, 150 мм, 300 мм. від насадки 2.

Результати експерименту наведені на рисунку 9.

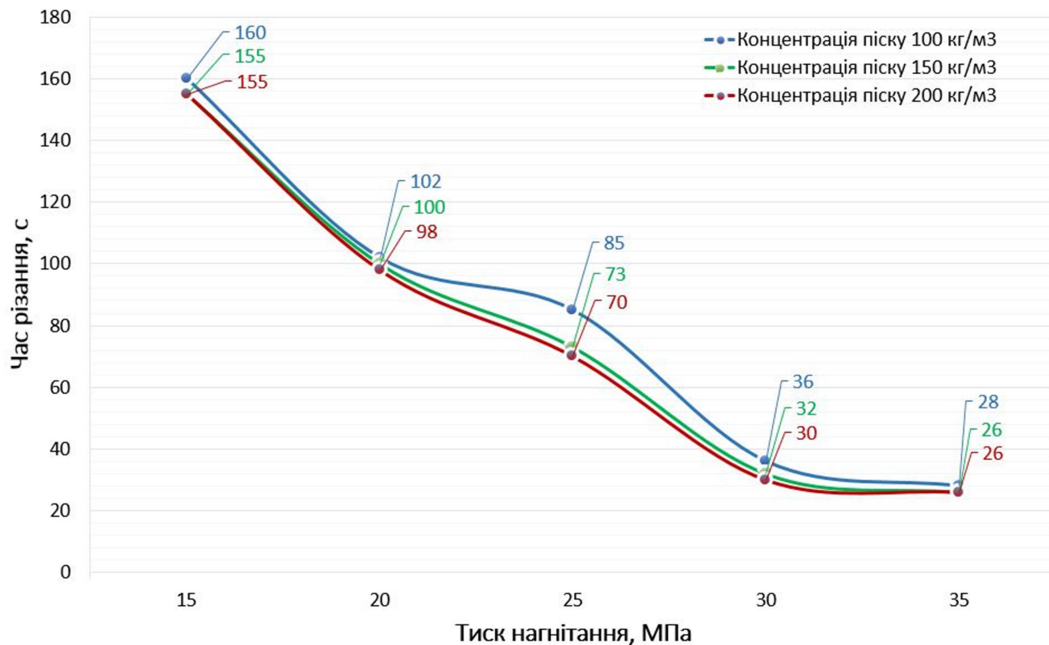


Рисунок 8 - Залежність часу різання від тиску нагнітання

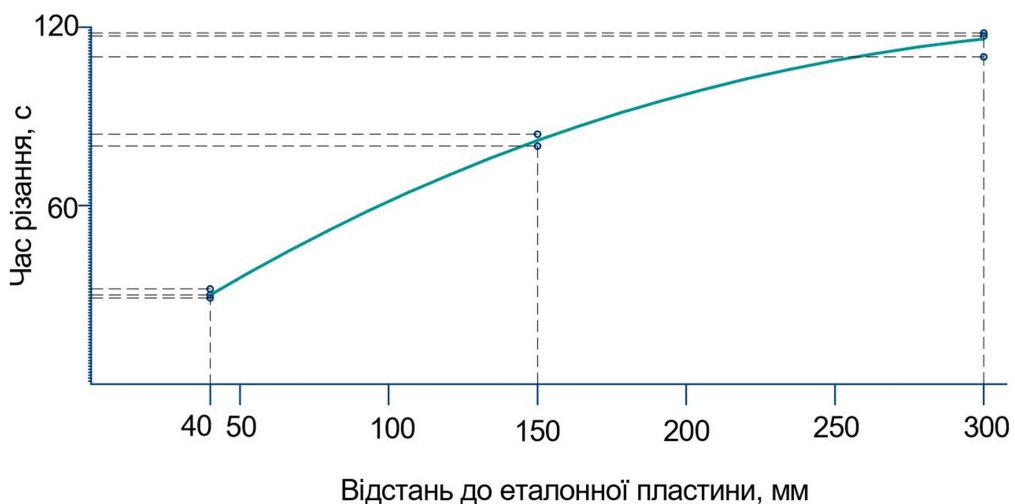


Рисунок 9 - Залежність часу різання від відстані до об'єкта різання

Проведено експерименти з визначення впливу фізико-механічних властивостей матеріалу об'єкта на процес різання (рис. 10), для чого було

застосовувались еталонні пластини з різних марок сталей, та різних твердостей за HRC₃ (після об'ємного гартування).

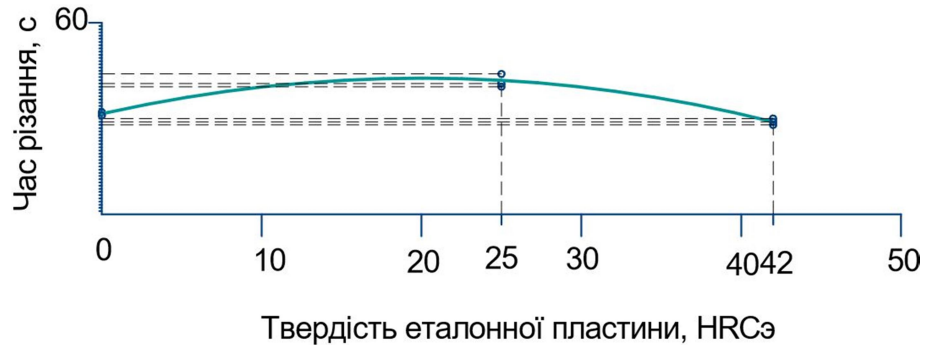


Рисунок 10 - Залежність часу різання від твердості матеріалу різання

На стенді «Свердловина - 1» (рис. 11) визначено втрати ефективності гідро-абразивного струменю при різанні багатошарових конструкцій. Результати дослідження наведені на рисунку 12.

На даному стенді проводились роботи з визначення часу руйнування обсадних колон 324 мм, 245 мм та 168 мм, які концентрично розміщені одна в одній з метою визначення втрат енергоефективності гідро-абразивного струменю.

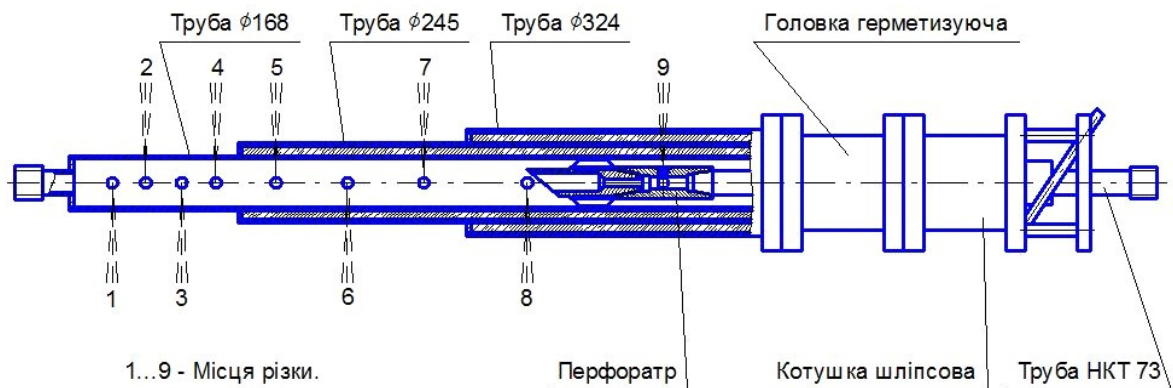


Рисунок 11 - Принципова схема стенду «Свердловина – 1»

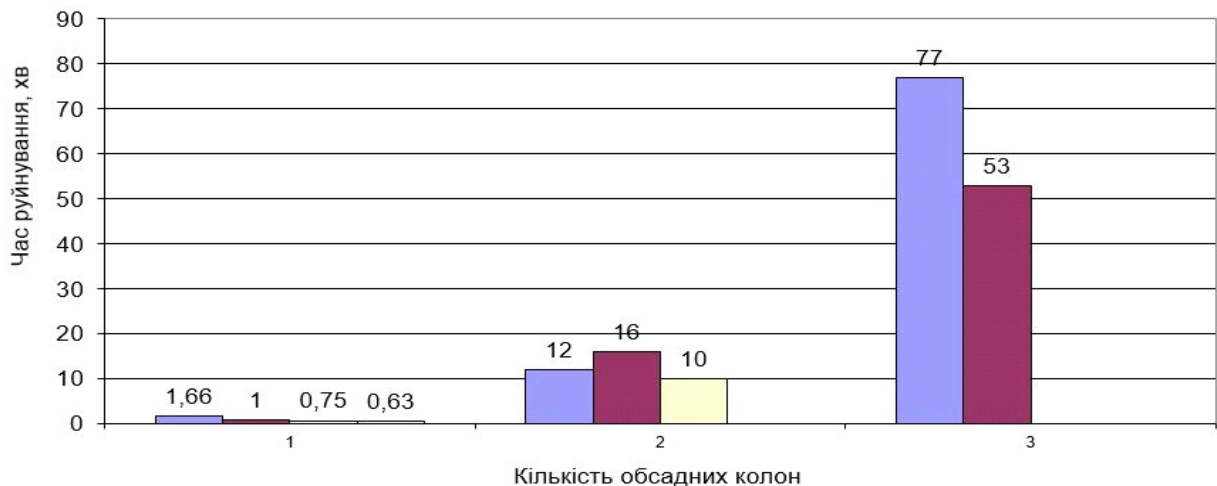
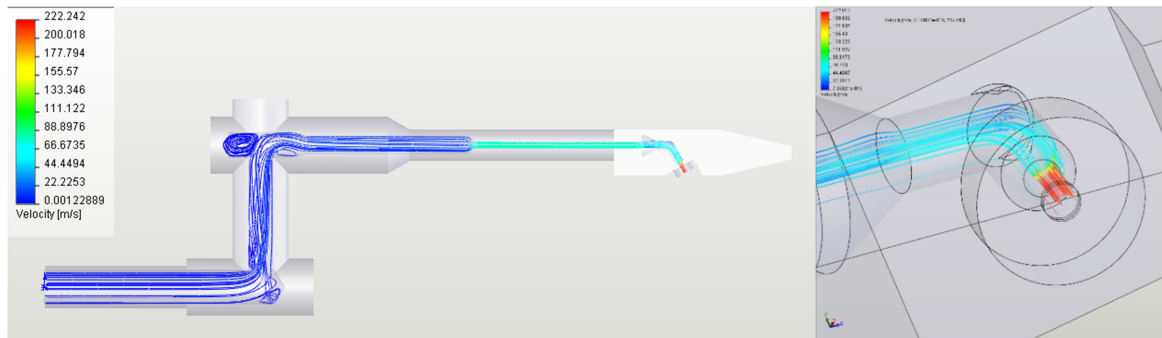


Рисунок 12 - Час руйнування обсадних колон на стенді «Свердловина-1»

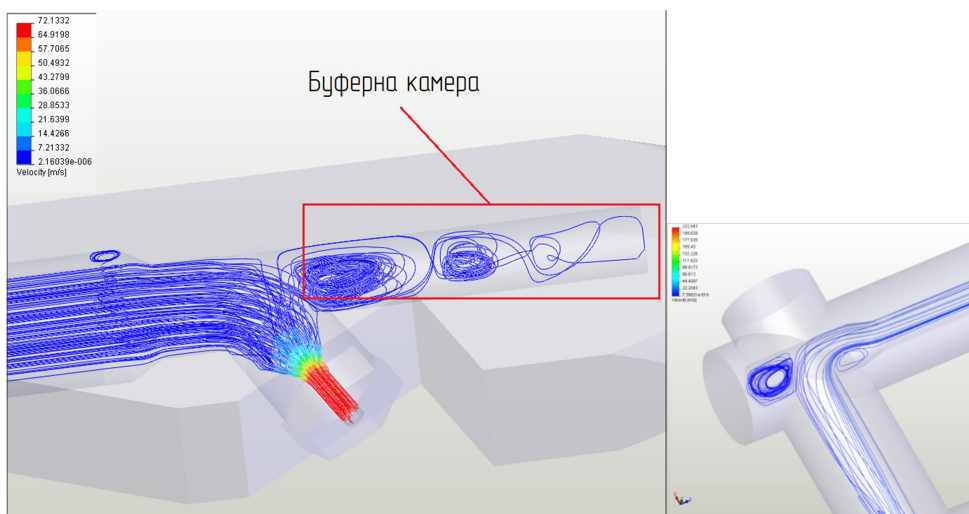
Проведено комп'ютерне моделювання гідравлічних потоків у різних конструкціях різальних пристроїв (рис. 13) та насадок (рис. 14) з метою проведення аналізу гідроабразивного розмивання.

Розрахунки наглядно зображують місця утворення зон завихрення, що під час роботи призведе до гідро-абразивного розмивання даної зони.

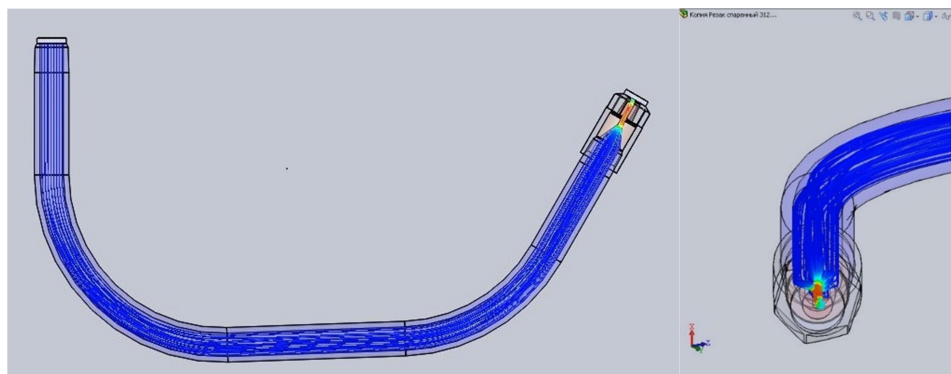
Результат моделювання насадки з направляючим конусом (рис. 14 В) наглядно зображує про рівномірні і досить плавні переходи по усьому шляху формування високонапірного струменя.



А – різальний пристрій прямий

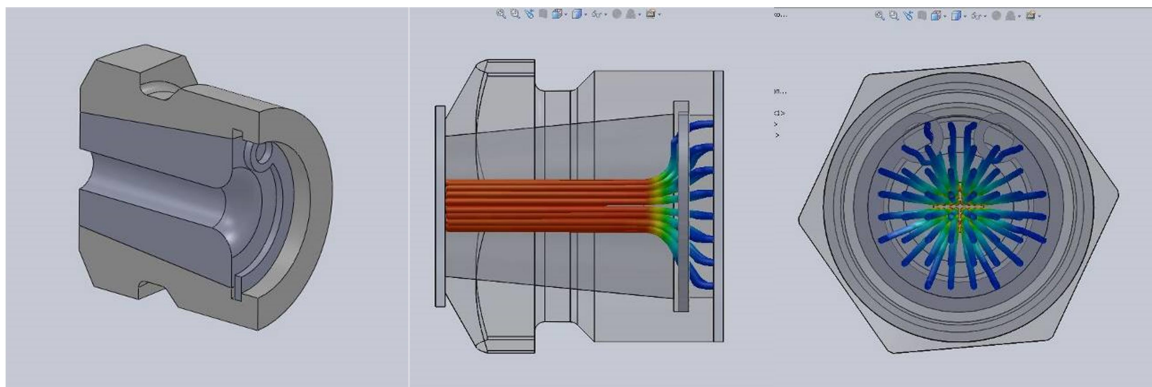


Б – різальний пристрій з буферною камерою

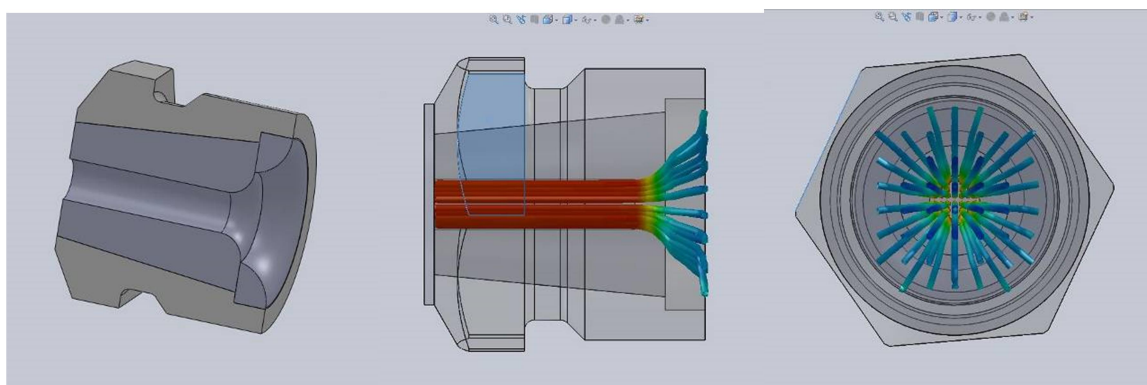


В – різальний пристрій з гнучкими трубами

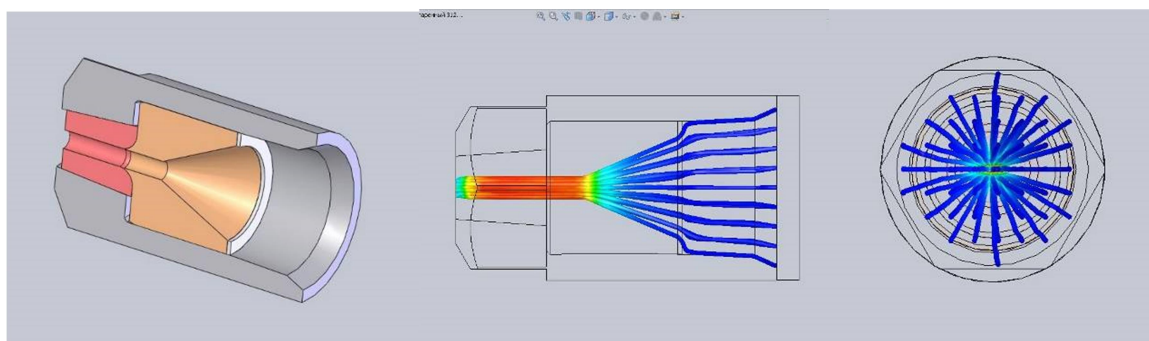
Рисунок 13 - Моделювання гідравлічних потоків в ріжучих пристроях



А - Насадка з стопорним кільцем



Б - Насадка з коноідальним направляючим кільцем



В – насадка з направляючим конусом

Рисунок 14 – Моделювання гідравлічних потоків в насадках

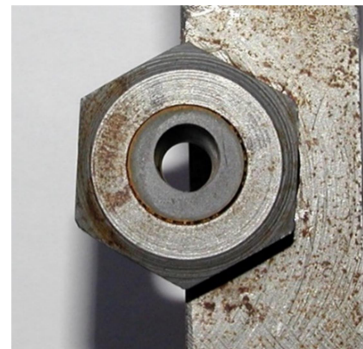
Результати комп'ютерного моделювання гідравлічних потоків у різних конструкціях різальних пристроїв та насадок стали підставою для вибору конструкції обладнання з мінімальним гідро-абразивним розмиванням.

У четвертому розділі наведено результати відпрацювання технології гідро-абразивного відрізання гирлового обладнання на трубних головках трьох типорозмірів (якими обладнано більшість гирлового обладнання в Україні - 180×350-280×350, 180×700-280×700, 156×320-280×350).

Незважаючи на те, що у різних типорозмірах трубних головок геометричні розміри суттєво відрізняються, місце різання трубної головки визначено над нижнім фланцем.

Дане місце різання дозволяє демонтувати усе гирлове обладнання, яке розміщене вище трубної головки, а саме аварійну фонтанну арматуру. Також є можливість перерізати колону НКТ, яка буде знаходитись в середині проходу трубної головки.

Під час промислових випробувань визначено стійкість до гідро-абразивного розмивання трьох конструкцій різальних пристроїв та трьох видів насадок. Результати гідро-абразивного розмивання насадки наведено на рисунку 15. Найкращі показники показав різальний пристрій з гнучими трубами та насадка з направляючим конусом.



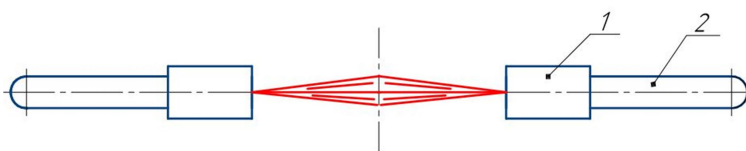
А – розмивання по фіксуючому кільцю за рахунок зони завихрення

Б – розмивання по внутрішньому діаметру насадки за рахунок відхилення струменю

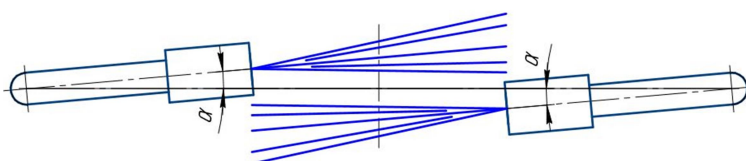
Рисунок 15 – Гідро-абразивне розмивання насадок

Обґрунтовано поворот насадок на кут α відносно горизонтальної осі для неперетинання струменів, з метою ефективності використання різання кожного струменя окремо (рис. 16) на що отримано патент України на корисну модель №110572.

А – без повороту насадок



Б – з поворотом насадок



В – фактичне різання з неперетинанням струменів



1 – насадка; 2 – корпус різального пристрою

Рисунок 16 - Розміщення різальних насадок під кутом α

Зроблено висновок про можливість застосування даного методу різання для демонтажу пошкодженого гирлового обладнання під час ліквідації аварій на свердловинах.

Результати промислових випробовувань дають підстави щодо використання даного спеціалізованого обладнання для демонтажу пошкодженого гирлового обладнання під час ліквідації аварій на свердловинах.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

На основі проведених теоретичних та експериментальних досліджень вирішено науково-технічну задачу, яка полягає у забезпеченні надійної і високоефективної працездатності спеціалізованого обладнання для демонтажу пошкодженого гирлового обладнання при ліквідації відкритих нафтогазових фонтанів за шляхом вдосконалення конструкції та визначення і обґрунтування раціональних параметрів і режимів роботи гідро-абразивного різального пристрою.

Основні результати роботи полягають в наступному:

1. За результатами синтезу, аналізу і селективного відбору теоретичних і експериментальних досліджень для визначення резервів і перспектив підвищення ефективності спеціалізованого обладнання для ліквідації фонтанів встановлено, що роботи, пов'язані з демонтажем фонтанної арматури з гирла фонтануючої свердловини, є основою для успішного ліквідування фонтану. Найбільш точним і безпечним способом демонтажу є відрізання гирлового обладнання гідро-абразивним методом. Для цього спеціалізоване обладнання повинно за один захід відрізати трубку головки у визначеному місці.
2. На основі проведених теоретичних досліджень визначено фактори, які суттєво впливають на процес відрізання трубною головкою під час ліквідації відкритого фонтану, а саме: визначення зони різання, вплив теплового випромінювання (температурний фактор), вибухонебезпечність місця проведення робіт, рух водо-піщаного струменя через фонтануючий потік. Встановлено залежність відхилення піщинки при проходженні через фонтануючий потік від діаметру піщинки. Так при проходженні піщинки в потоці на 100 мм її осьове відхилення становить 1 мм для діаметру піщинки 1 мм при її швидкості 200 м/с. Встановлено залежність відхилення піщинки при проходженні через фонтануючий потік в залежності від густини потоку. На відстані 100 мм відхилення становить 0,2 мм, 0,8 мм та 1,6 мм при густині потоку 10 кг/м³, 30 кг/м³, 40 кг/м³ відповідно. Теоретично встановлено, що всі основні технічні показники, необхідні для ефективного різання гирлового обладнання, у гідро-газо-абразивного значно кращі, ніж у гідро-абразивного. Так при тиску нагнітання 30 МПа швидкість гідро-абразивного струменя складає 220 м/с, а гідро-газо-абразивного – 400 м/с.

3. У результаті проведення пофакторних експериментальних досліджень встановлено залежності гідро-абразивного різання від: тиску нагнітання, концентрації піску, відстані до об'єкту різання. Досліджено вплив гідро-абразивного різання в залежності від фізико-механічних властивостей матеріалу, який ріжуть. Досліджено втрати ефективності гідро-абразивного різання багатошарових конструкцій. Раціональним режимом гідро-абразивного різання за гранично низького тиску прийнято: тиск нагнітання 30 – 35 МПа, концентрація піску 100 кг/м³.
4. Результати теоретичних та експериментальних досліджень стали науковим підґрунтям для створення високоефективного, безпечного, надійного устаткування для демонтажу (а саме, повного відрізання за один прохід) трубної головки. Ефективність роботи різального гідро-абразивного пристрою підтверджені в реальних промислових умовах та шляхом полігонних випробувань.
5. На основі отриманих результатів запропоновано технологію проведення робіт з відрізання обладнання в умовах відкритого палаючого фонтану (Проект - СОУ 11.2-32869691-006:2011. Аварійно-рятувальні роботи. Відрізання металоконструкцій в умовах відкритого фонтану).

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Яцишин Т. М., Михайлюк Ю.Д., Лях М. М., Михайлюк І. Р., Савик В.М., Добровольський І.В. Встановлення залежності концентрації поллютантів від умов експлуатації об'єктів нафтогазового комплексу. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. №2/10 (92). С. 56-63. **(Scopus)**.
2. Лях М. М., Добровольський І.В. Выбор оптимальных режимов резания металла. *Экспозиция Нефть и Газ*. 2016. №4 (50). С.32-34. **(Закордонне видання)**.
3. Крижанівський Є.І., Лях М.М., Вакалюк В.М., Добровольський І.В. Дослідження потужності та швидкості струмини водо-повітряно-піщаної суміші. *Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ*. 2017. №4 (65). С. 65-69. **(Наукове фахове видання України)**.
4. Добровольський І.В. Результати промислових випробувань устаткування для демонтажу пошкодженого обладнання при ліквідації відкритого нафтогазового фонтану. *Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ*. 2016. №4 (61). С. 15-24. **(Наукове фахове видання України)**.
5. Лях М. М., Федоляк Н. В., Яцишин Т. М., Добровольський І. В. Дослідження технічних показників устаткування для гідро-абразивного відрізання обладнання з фонтануючої свердловини. *Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ*. 2017, №1 (62). С. 35-42. **(Наукове фахове видання України)**.

6. Римчук Д.В., Добровольський І. В. Досвід експлуатації фонтанних арматур АФ6-80/50×70 та пропозиції щодо їх удосконалення. *Нафтова та газова промисловість*. 2002. №4. С. 29-30. **(Наукове фахове видання України)**.
7. Вайсберг Г.Л., Римчук Д.В., Добровольський І. В. Фонтанні арматури ВЧ «ЛІКВО». *Нафтова та газова промисловість*. 2002. №6. С. 33-35. **(Наукове фахове видання України)**.
8. Вайсберг Г.Л., Римчук Д.В., Ленкевич Ю.Є., Добровольський І.В. Гідропіскоструминна перфорація. Досвід проведення. *Нафтова та газова промисловість*. 2004. №4. С. 29-31. **(Наукове фахове видання України)**.
9. Римчук Д.В., Добровольський І. В. Шляхи підвищення надійності гирлового обладнання та його обв'язки. *Питання розвитку газової промисловості України. Збір. наук. праць*. Харків, 2000. С. 9-10 **(Наукове фахове видання України)**.
10. Пат. 1213 Україна. Фонтанна арматура / Рибчич І.Й., Вайсберг Г.Л., Римчук Д.В., Ленкевич Ю.Є., Добровольський І.В.; №2001074997; заявл. 16.07.2001; опубл. 15.04.2002.
11. Пат. 3351 Україна. Гідравлічна частина грязьового насоса / Рибчич І.Й., Мельник М.П., Вайсберг Г.Л., Римчук Д.В., Ленкевич Ю.Є., Добровольський І.В.; №2004010560; заявл. 26.01.2004; опубл. 15.11.2004.
12. Пат. 15270 Україна. Пристрій до насосної установки для створення захисного екрана від теплового випромінювання / Вайсберг Г.Л., Бондарев В.А., Римчук Д.В., Ленкевич Ю.Є., Добровольський І.В.; №200600056; заявл. 03.01.2006; опубл. 15.06.2006.
13. Пат. 23731 Україна. Пристрій для різання труб в свердловині / Вайсберг Г.Л., Римчук Д.В., Ленкевич Ю.Є., Добровольський І.В.; №200613006 ; заявл. 11.12.2006; опубл. 11.06.2007.
14. Пат. 110572 Україна. Установка для гідропіскоструминного різання металокопункції / Римчук Д.В., Добровольський І.В., Лях М.М.; №201605050; заявл. 06.05.16; опубл. 10.10.2016.
15. СОУ 11.2-30019775-103:2006. Свердловини на нафту і газ. Абразивно-струминний розрив пласта. Порядок. Київ, 2006. 38 с.
16. СОУ 11.2-32869691-006:2011. Аварійно-рятувальні роботи. Відрізання металокопункцій в умовах відкритого фонтану з використанням установки з дистанційним управлінням до крана КП-25 (Проект).
17. Римчук Д. В., Добровольський І. В. Нові технології і механізми для ліквідації відкритих фонтанів. *Проблеми нафтогазової промисловості: збірн. наук. праць 2012. Вип. 10*. С. 260-266.

18. Добровольський І. В., Лях М. М., Саманів Л. В., Яцишин Т. М. Проблеми ліквідації відкритого нафтогазового фонтану. *Збірник тез доповідей V Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів*, (м. Тернопіль). Тернопіль, 2016. С 391- 392.
19. Добровольський І. В., Лях М. М. Аналітичний огляд методів відрізання гирлового обладнання фонтануючої свердловини. *Міжнародна науково-технічна конференція та виставка «Машини, обладнання і матеріали для нарощування вітчизняного видобутку та диверсифікації постачання нафти і газу» ІІМ – 2016*, (м. Івано-Франківськ, 2016). С. 180-183.
20. Лях М. М., Добровольський І. В., Яцишин Т. М. Вибір та удосконалення обладнання для ліквідації відкритих нафтогазових фонтанів. *б - а Міжнародна науково-технічна конференція «Нафтогазова енергетика - 2017»*, (м. Івано-Франківськ, 2016). С. 32-36.

АНОТАЦІЯ

Добровольський І.В. Підвищення ефективності спеціалізованого обладнання для демонтажу трубної головки при ліквідації відкритого нафтогазового фонтану. На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук (доктора філософії) за спеціальністю 05.05.12 – машини нафтової та газової промисловості. Івано–Франківський національний технічний університет нафти і газу, м. Івано-Франківськ, 2019.

У роботі висвітлено проблему ліквідації відкритого нафтогазового фонтану та актуальність проблеми; проаналізовано умови ліквідації відкритого фонтану; здійснено аналітичний огляд методів та конструктивних рішень нестандартного устаткування для демонтажу пошкодженого гирлового обладнання; проведено аналіз праць, пов'язаних із дослідженням устаткування та процесу гідро-абразивного різання.

У результаті проведення пофакторних експериментальних досліджень встановлено взаємозв'язок між геометричними формами, параметрами та тривалістю безвідмовної роботи різального гідро-абразивного пристрою на гранично низьких тисках.

На основі отриманих результатів теоретичних та експериментальних досліджень розроблено конструкцію гідро-абразивного різучого пристрою для різання на гранично низькому тиску та запропоновано методика проведення робіт з відрізання обладнання в умовах відкритого палаючого фонтану.

Ключові слова: відкритий нафтогазовий фонтан, гідро-абразивне різання, гідро-абразивний різальний пристрій, гідро-абразивний струмінь, аварійно-рятувальні роботи.

АННОТАЦИЯ

Добровольский И.В. Повышение эффективности специализированного оборудования для демонтажа трубной головки при ликвидации открытого нефтегазового фонтана. На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.05.12 – машины нефтяной и газовой промышленности. Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа. г. Ивано-Франковск, 2019.

Диссертация посвящена повышению эффективности специализированного оборудования для демонтажа трубной головки при ликвидации открытого нефтегазового фонтана и установления рациональных параметров и режимов его работы.

В работе освещена проблема ликвидации открытого нефтегазового фонтана и актуальность проблемы; проанализированы условия ликвидации открытого фонтана; осуществлен аналитический обзор методов и конструктивных решений нестандартного оборудования для демонтажа поврежденного устьевого оборудования; проведен анализ работ, связанных с исследованием оборудования и процесса гидро-абразивной резки.

Описаны факторы, которые существенно влияют на процесс отрезания трубной головки при ликвидации открытого фонтана, а именно: температурный фактор, взрывоопасность места проведения работ, движение гидро-абразивной струи через фонтанирующий флюид.

Проанализированы конструктивные особенности устьевого оборудования и определено, что единственно возможное место его отрезания, с целью создания компактного струи фонтанирования, расположено над нижним фланцем трубной головки. Анализ зон резки показал, что для гарантированного разрушения сложной многослойной конструкции следует производить резку с учетом нелинейности скорости перемещения резака.

Проведены теоретические исследования движения отдельной частицы в восходящем потоке струи пластового флюида для обеспечения гарантированного отрезания многослойных конструкций устьевого оборудования.

Проведены теоретические исследования мощности и скорости струи гидро-газо-абразивной смеси и установлено, что все основные технические показатели резки данной струей значительно лучше, чем в гидро-абразивной.

В результате проведения пофакторных экспериментальных исследований установлена взаимосвязь между геометрическими формами, параметрами и продолжительностью безотказной работы режущего гидро-абразивного устройства на предельно низких давлениях. Исследовано влияние гидроабразивной резки в зависимости от физико-механических свойств материала, который режут. Определены потери эффективности гидро-абразивной струи при резке многослойных конструкций.

Проведено компьютерное моделирование трех различных конструкции режущих устройств и трех конструкций насадок.

На основе полученных результатов теоретических и экспериментальных исследований разработана конструкция гидро-абразивного режущего устройства для резки на предельно низком давлении и предложена методика проведения работ по отрезанию оборудования в условиях открытого горящего фонтана.

Эффективность работы режущего гидро-абразивного устройства подтверждены в реальных промышленных условиях и путем полигонных испытаний.

Ключевые слова: открытый нефтегазовый фонтан, гидро-абразивное резание, гидро-абразивный резак, гидро-абразивная струя, аварийно-спасательные работы.

ANNOTATION

Dobrovolskyi I. Improvement of the efficiency of specialized equipment for dismantling the tubular head during the elimination of an open oil and gas fountain. On the rights of the manuscript.

Dissertation for obtaining a scientific degree of the candidate of technical sciences in the specialty 05.05.12 - machines of the oil and gas industry. Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas. Ivano-Frankivsk, 2019.

The problem of liquidation of open oil and gas fountain and the urgency of the problem are highlighted in the paper; the conditions of liquidation of an open fountain are analyzed; analytical review of methods and constructive solutions of non-standard equipment for dismantling damaged mouth equipment; The analysis of works connected with research of the equipment and process of hydro-abrasive cutting is carried out.

As a result of conducting of factor experimental studies, the relationship between geometric forms, parameters and durability of the failure-free operation of the cutting hydro-abrasive device at extremely low pressures has been established. The influence of hydroabrasive cutting depending on the physical and mechanical properties of the cut material is studied.

On the basis of the obtained results of theoretical and experimental research the design of the hydro-abrasive cutting device for cutting at the extremely low pressure has been developed and the method of cutting off equipment in the conditions of an open burning fountain is proposed.

Key words: open oil and gas blowout, hydroabrasive cutting, hydroabrasive cutter, water-sand jet, emergency and rescue works.