

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ УСТАТКУВАННЯ ДЛЯ ГІДРОАБРАЗИВНОГО ВІДРІЗАННЯ ОБЛАДНАННЯ З ФОНТАНУЮЧОЇ СВЕРДЛОВИНИ

І.В. Добровольський, М.М. Лях, Н.В. Федоляк, Т.М. Яцишин

*ІФНТУНГ; 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (0342) 727101,
e-mail: no@nupg.edu.ua*

Дослідження технічних показників устаткування для гідроабразивного відрізання обладнання з фонтануючої нафтогазової свердловини виконується з метою можливості проведення надійного, оперативно-го демонтажу пошкодженого гирлового обладнання. Дослідження проводяться на прикладі експлуатаційної нафтогазової свердловини, де виникла аварія – відкритий фонтан. Вибрані методи дослідження – це системний аналіз експлуатаційних параметрів та математичне і комп'ютерне моделювання. Результати даних досліджень є основою для проектування, виготовлення та подальших експериментальних і промислових досліджень устаткування для гідроабразивного відрізання обладнання з фонтануючої свердловини. Створення високоефективного устаткування для демонтажу пошкодженого обладнання забезпечить значне прискорення ліквідації складних техногенних аварій – відкритих нафтогазових фонтанів.

Ключові слова: ліквідація нафтогазових фонтанів, відкритий фонтан, гирлове обладнання, труба головки, гідроабразивна установка, гідроабразивне різання.

Исследование технических показателей оборудования для гидроабразивного отрезания оборудования с фонтанирующей нефтегазовой скважины выполняется с целью возможности проведения надежного, оперативного демонтажа поврежденного устьевого оборудования. Исследования проводятся на примере эксплуатационной нефтегазовой скважины, где произошла авария - открытый фонтан. Избранные методы исследования - это системный анализ эксплуатационных параметров, математическое и компьютерное моделирование. Результаты данных исследований являются основой для проектирования, изготовления и дальнейших экспериментальных и промышленных исследований оборудования для гидроабразивного отрезания оборудования с фонтанирующей скважины. Создание высокоэффективного оборудования для демонтажа поврежденного оборудования обеспечит значительное ускорение ликвидации сложных техногенных аварий - открытых нефтегазовых фонтанов.

Ключевые слова: ликвидация нефтегазовых фонтанов, открытый фонтан, устьевое оборудование, трубная головка, гидроабразивная установка, гидроабразивное резание.

The research of the equipment technical characteristics for a tool hydroabrasive cutting-off from a flowing well is aimed at conducting a safe and effective teardown of the defected well head equipment. The research is carried out in terms of the working oil and gas well, where there has been an accident – an open flow. The choice of the research methods is a systemic analysis of performance parameters, the mathematical and computer modeling. The research results are the basis for engineering, production and further research of equipment for a tool hydroabrasive cutting-off from a flowing well. The development of highly efficient equipment for a teardown of the defected tools provides for fast liquidation of accidents, i.e. open flows.

Key words: liquidation of a flowing well, open flow, well head equipment, casing head, hydroabrasive equipment, hydroabrasive cutting-off.

Вступ. Під час будівництва, експлуатації та капітального ремонту свердловини внаслідок різних чинників трапляються складні техногенні аварії – відкриті нафтогазові фонтани, які потребують для ліквідації великих матеріальних витрат, надлюдських зусиль, що ускладнюють діяльність бурових, газовидобувних підприємств, а також промислових, сільськогосподарських господарств, населених пунктів, які розташовані поблизу аварії.

Процес ліквідації відкритого фонтану можна поділити на етапи:

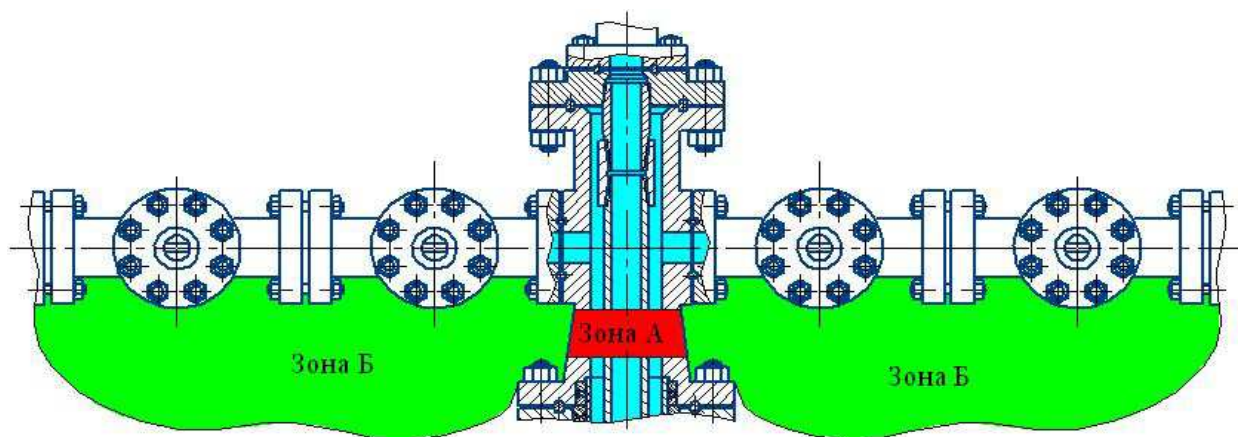
- локалізація відкритого полум'я;
- забирання зруйнованого обладнання з гирла фонтануючої свердловини;
- демонтаж пошкодженого гирлового обладнання для створення компактного струменю фонтанування;
- наведення нового спеціального гирлового обладнання;

- глушіння свердловини.

Локалізація відкритого полум'я – роботи по локалізації фонтану як пожежі, для зберігання флори та фауни (лісів, лісопосадок, полів з різними культурними рослинами). Для проведення даного етапу ліквідації фонтану проводять оброблення місця аварії, постійне зрошення водою обладнання, яке знаходиться в полум'ї, та зораного ґрунту.

Забирання зруйнованого обладнання з гирла фонтануючої свердловини – роботи, які проводять для очищення гирла фонтануючої свердловини від залишків обладнання, що було зруйновано внаслідок дії відкритого полум'я та дії тиску з свердловини.

Демонтаж пошкодженого гирлового обладнання для створення компактного струменю фонтанування – роботи які можна віднести до робіт підвищеної складності, оскільки даний вид робіт в основному проводиться в умовах



зона А – місце відрізання трубної головки;
зона Б – простір для розміщення ріжучого інструменту

Рисунок 1 – Місце відрізання трубної головки

відкритого полум'я, або в умовах вибухонебезпечного середовища. Для створення компактною струмені необхідно зруйнувати гирлове обладнання у визначеному місці, з метою виключення розпилювання полум'я на гирлі свердловини, та для отримання можливості проведення подальших робіт на гирлі фонтануючої свердловини.

Наведення нового спеціального гирлового обладнання – проводиться на базу існуючого гирлового обладнання за умов його цілісності, або на штучно створену базу.

Глушіння свердловини – комплекс операцій для заповнення свердловини технологічною рідиною, густина якої створює гідростатичний тиск на вибій у свердловині і перевищує тиск газу в продуктивному пласті, тим самим перешкоджає виділенню газу з пласта у свердловину.

Постановка задачі та вибір методів дослідження. Кожен з етапів ліквідації фонтану є невід'ємною і досить відповідальною стадією ліквідації аварії в цілому, але найбільш складним, визначальним, небезпечним етапом є демонтаж пошкодженого гирлового обладнання для створення компактною струмені фонтанування. Тому в даній статті наводяться основні дослідження технічних показників устаткування для гідроабразивного відрізання пошкодженого обладнання з фонтануючої свердловини.

Дослідження проводяться на прикладі експлуатаційної нафтогазової свердловини, де виникла аварія – відкритий фонтан. Вибрані методи дослідження – це системний аналіз експлуатаційних параметрів та математичне і комп'ютерне моделювання.

Для ліквідації аварії необхідно демонтувати всі засувки фонтанної арматури, які знаходяться у відкритому полум'я, або демонтувати трубну головку [1, 2].

Всі роботи з демонтажу пошкодженого обладнання необхідно проводити таким чином, щоб забезпечити цілісність базового фланця, на який буде встановлено аварійне гирлове обладнання [3-7].

Відгвинчування будь-яких гайок на гирлі фонтануючої свердловини абсолютно неможливе, тобто необхідно дистанційно, без присутності людини виконати відрізання трубної головки.

Місце відрізання трубної головки вибирається таким чином, щоб відразу відсікти фонтанування по трубному і затрубному просторах, тобто під боковими відводами трубної головки (зона А), як показано на рис. 1.

Для збільшення простору для розміщення ріжучого інструменту (рис. 1, зона Б) штурвали засувок на трубній головці демонтують механічним зриванням [8].

Для подачі виконавчого органу ріжучого пристрою до гирла розпиленої фонтануючої свердловини, без присутності працівників на гирлі, можливо виділити наступне обладнання [9-12]:

- дистанційна стріла для подачі до гирла виконавчого органу;
- ріжучий пристрій для відрізання гирлового обладнання;
- навісне обладнання для розтягування зруйнованого обладнання.

Дистанційна стріла. З метою безпечної подачі виконавчого органу на безпечній відстані до аварійної свердловини існують різні конструкції дистанційних стріл:

Консольна дистанційна стріла Boot&Coots Servises використовується для подачі різноманітного навісного обладнання (різак, гак, лопата) до гирла аварійної свердловини з метою відрізання, відривання та відтягування зруйнованих елементів гирлового обладнання.

Комбінована стріла до КП-25, яка складається з двох окремих стріл: консольної стріли для подачі виконавчого органу (гака) для відриву штурвалів та розтягування зруйнованого гирлового обладнання; стріла з упором на гирлове обладнання використовується для подачі ріжучого пристрою в зону різання.

Конструкція стріли Boot&Coots Servises має деяку універсалізацію, однією стрілою проводиться і демонтаж зруйнованого обладнання,



Рисунок 2 – Класифікація установок різання гирлового обладнання

і подача ріжучого пристрою в зону різання. Дана універсализація досить негативно впливає на якість виконання кожної операції, а саме стріла має призматичний упор, який є нерухомим, тобто для упору стріли в гирлове обладнання необхідно подати всю стрілу вперед, що є досить складною операцією враховуючи значну довжину стріли і опорного лафету і складні умови позиціонування в наслідок відкритого полум'я і постійного зрощення.

Конструкція комбінованої стріли до КП-25 має дві незалежних окремо функціональних стріли: одна для розтягування, інша - для подачі ріжучого пристрою.

З метою створення жорсткої конструкції стріли на КП-25 з призматичним упором, а саме мінімізації вільного переміщення різачка внаслідок реактивних сил від дії гідравлічного струменя, стріла оснащена призматичним упором, який є рухомий в осьовому напрямку і переміщається незалежно від стріли.

Консольна стріла в даній конструкції служить проміжною додатковою опорою, яка за допомогою тяги підтримує дистанційну стрілу з упором у середній частині (в центрі мас), внаслідок чого підвищується точність позиціонування ріжучого пристрою і призматичного упору [12, 20]. Після закінчення позиціонування призматичний упор переміщається до гирлового обладнання, створюючи жорстку конструкцію між аварійним гирлом та тяговим механізмом.

Ріжучий пристрій для відрізання гирлового обладнання. На даний час протифонтанними службами світу розроблені різні конструкції гідроабразивних ріжучих пристроїв, за допомогою яких є можливість провести відрізання гирлового обладнання при ліквідації відкритого фонтану [13-15].

Класифікація ріжучих пристроїв по конструктивному виконанню представлена на рис. 2.

Принципові схеми різання гирлового обладнання наведені на рис. 3.

Елемент гирлового обладнання, який необхідно розрізати з метою отримання компактного фонтанування представляє собою двошарову сендвіч-конструкцію з концентрично розміщених циліндричних деталей (рис. 4, зони 3, 5, 6, 7).

Умовно можливо виділити вісім зон різання даного об'єкта (рис. 4):

- зона 1 – зарізання;
- зона 2 – прорізання максимальної товщини стінки корпусу;
- зона 3 – прорізання стінки шийки (сендвіч-конструкція другого рівня);
- зона 4 – оптимального різання;
- зона 5 – початок різання НКТ (сендвіч-конструкція другого рівня);
- зона 6 – прорізання стінки НКТ (сендвіч-конструкція третього рівня);
- зона 7 – оптимальне різання основного тіла та НКТ (сендвіч-конструкція другого рівня);
- зона 8 – віддалення від зони різання;
- зона 9 – пересічення струменів.

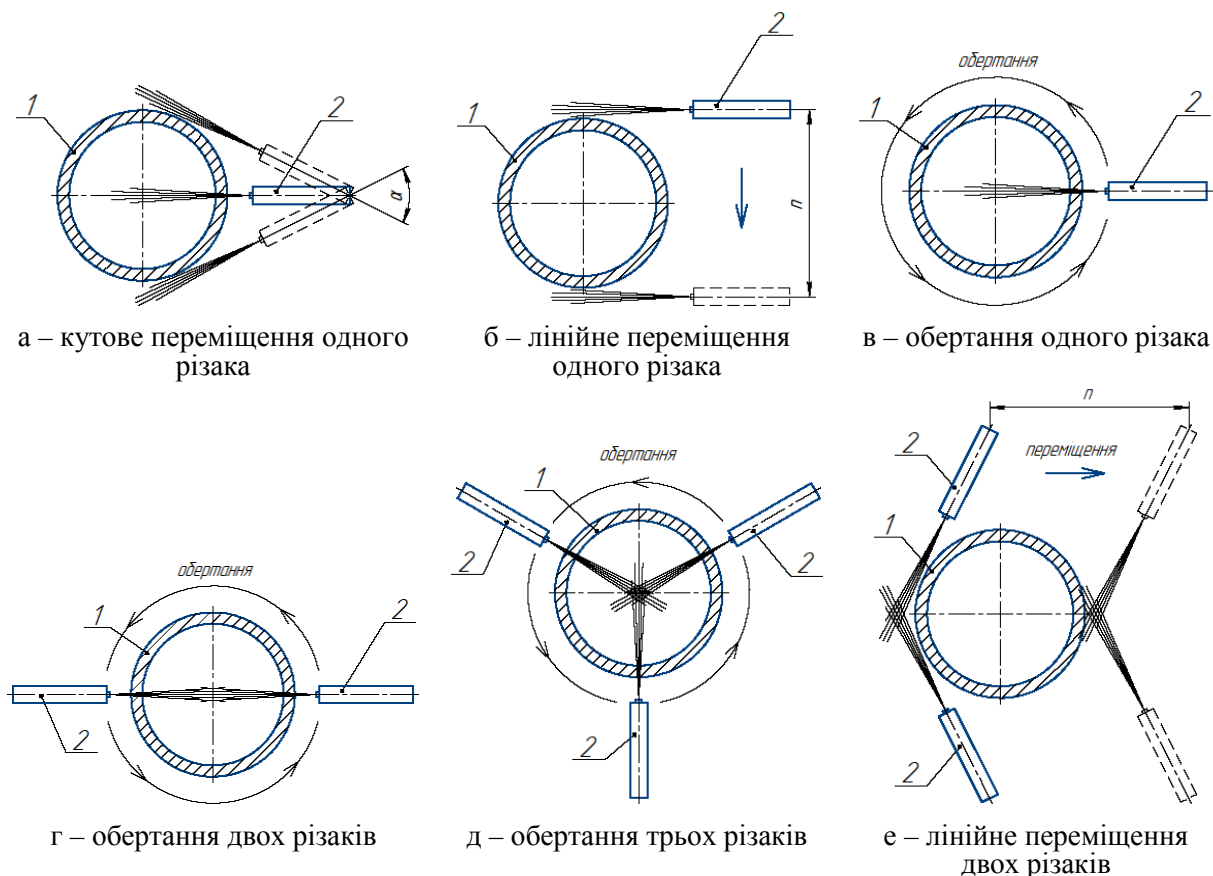


Рисунок 3 – Принципові схеми різання гирлового обладнання

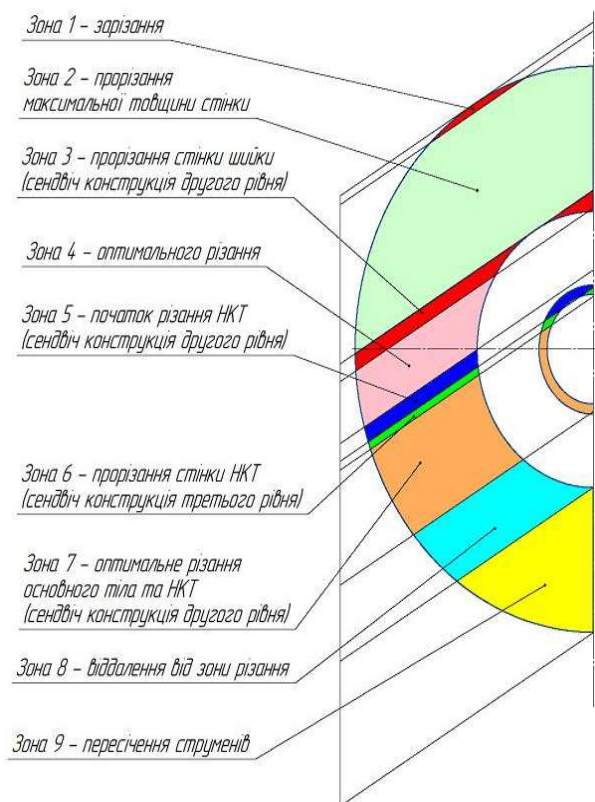


Рисунок 4 – Зони різання гирлового обладнання

Час різання різних зон можливо визначити емпіричним шляхом під час проведення практичних дослідів.

Також необхідно виділити ряд умов різання даної конструкції, які суттєво впливають на процес відрізання конструкції в цілому:

зміна відстані від ріжучої головки до місця різання.

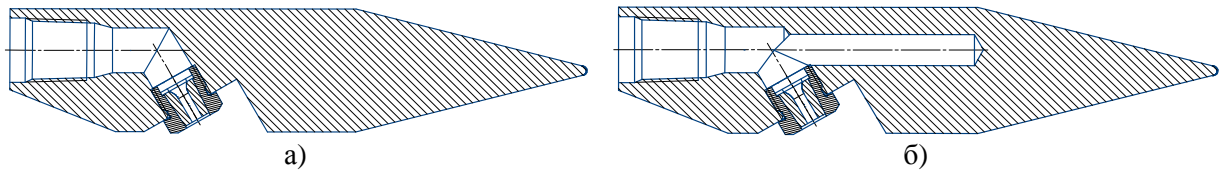
зміна товщини металу, що різеться.

багатошаровість матеріалу (сендвіч-конструкція другого та третього рівня).

Головною задачею відрізання даної складної форми є те, що операція повинна бути проведена за один прохід, і наприклад, якщо не буде відрізана колона НКТ в середині, а тіло колонної головки буде відрізано повністю, то під вагою НКТ усе гирлове обладнання переміститься донизу на величину різів, і все гирлове обладнання залишиться на місці. При цьому ситуація на гирлі буде значно ускладнена внаслідок розпиленого кільцевого виходу газу з утвореної щілини.

При проведенні робіт з відрізання гирлового обладнання можливо застосовувати різні конструкції гідропіскоструминних ріжучих пристроїв, а саме:

- ріжучий пристрій з прямими трубами, який оснащений різаківом гідроабразивним прямим (рис. 5,а) та різаківом гідроабразивним прямим з буферною камерою (рис. 5,б);
- ріжучий пристрій з гнучими трубами (рис. 6).



а) – без буферної камери; б) – з буферною камерою
Рисунок 5 – Різак гідроабразивний прямий

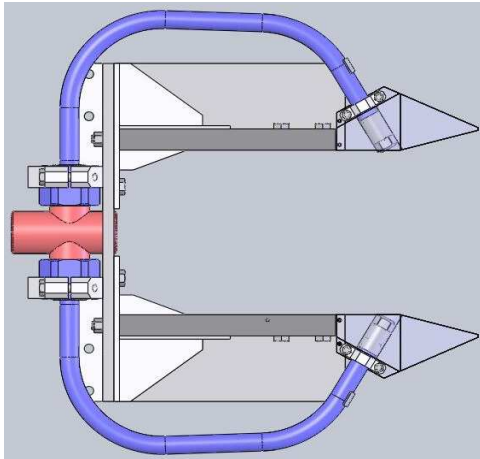
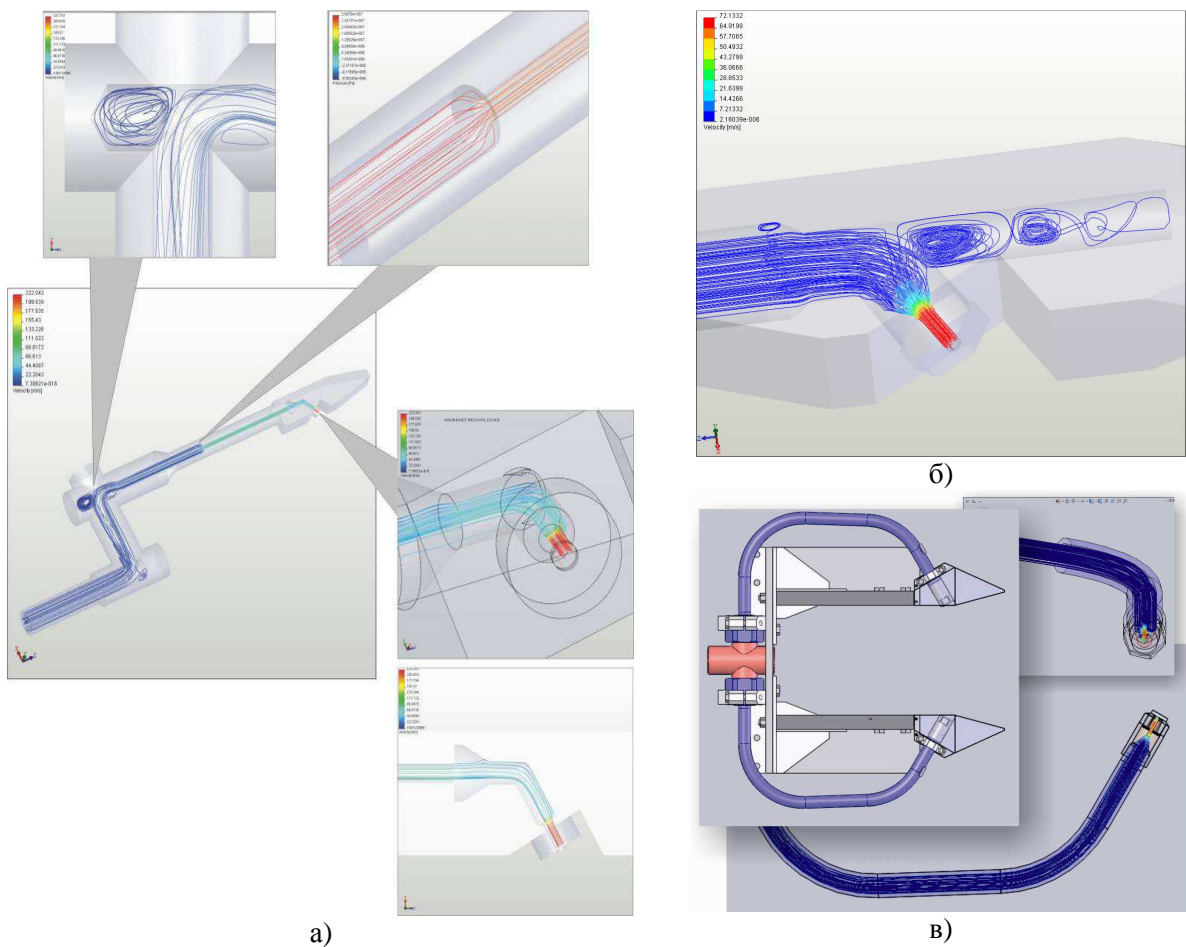


Рисунок 6 – Ріжучий пристрій з гнучими трубами

Основним слабким місцем гідроабразивного ріжучого пристрою є його розмивання, яке переважно проходить в двох зонах:

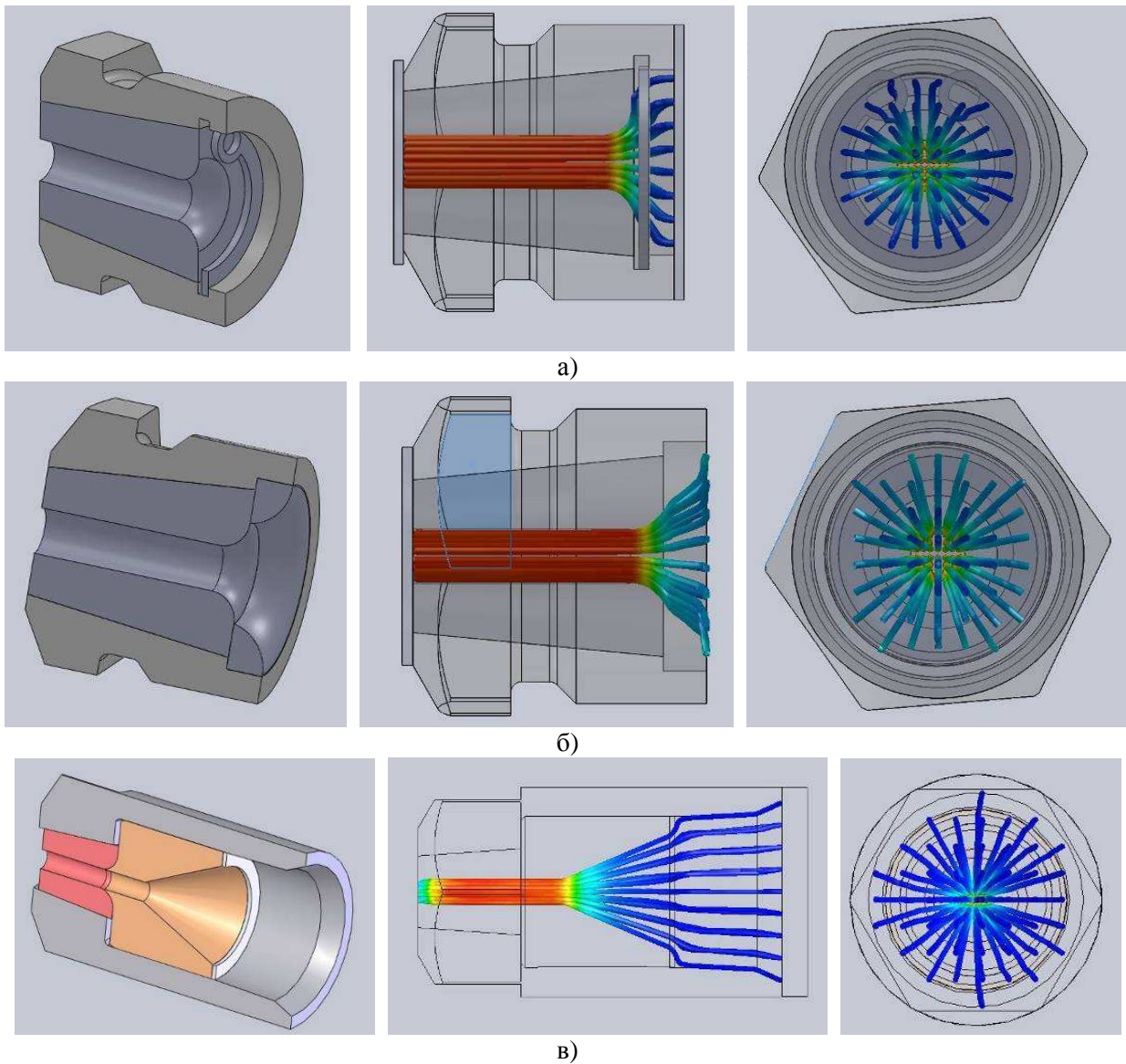
- на різноманітних місцевих гідравлічних опорах (повороти, звуження, розширення);
- на гідромоніторних насадках.

Для аналізу гідроабразивного розмивання внутрішнього каналу ріжучих пристроїв було проведено порівняльний гідродинамічний розрахунок потоку водо-піщаної суміші в вищезначених пристроях з використанням сучасного розрахункового модуля FloXpress системи твердотільного параметричного моделювання SolidWorks. Розрахунки наглядно зображують місця утворення зон завихрення, що під час роботи приведе до гідроабразивного розмивання даної зони. Результати розрахунків наведені на рис. 7.



а) – в ріжучому пристрої з прямими трубами; б) – в гідроабразивному різачу з буферною камерою; в) – у гідроабразивному ріжучому пристрої з гнучими трубами

Рисунок 7 – Гідродинамічний розрахунок потоку рідини в гідроабразивному різачу



а - насадка з стопорним кільцем; б - насадка з коніодальним направляючим кільцем;
в - насадка з направляючим конусом

Рисунок 8 – Схеми конструктивних виконань насадок

Для аналізу гідроабразивного розмивання внутрішнього каналу насадок було проведено порівняльний гідродинамічний розрахунок потоку водо-піщаної суміші в трьох видах насадок:

- з стопорним кільцем (рис. 8, а);
- з коніодальним направляючим кільцем (рис. 8, б);
- з направляючим конусом (рис. 8, в).

Моделювання гідравлічних потоків проводилось також з використанням розрахункового модуля FloXpress системи твердотільного параметричного моделювання SolidWorks.

Розрахунки наглядно відображують місця утворення зон завихрення, що під час роботи приведе до гідроабразивного розмивання даної зони. Результати розрахунків наведені на рис. 8.

Теоретичні дослідження параметрів і режимів роботи різача для отримання максимальної можливої ефективності різання.

Тиск різання. Процес гідрорізання можливий у випадку, коли тиск струменю на одиницю площі поверхні різання перевищує границю міцності матеріалу, що обробляється [16].

При рівних умовах подальше підвищення тиску струменю рідини (за рахунок підвищення її кінетичної енергії) приведе до можливості збільшення товщини матеріалу, що розрізається.

Тиск P_c , а потім і сили P_n , які створюються струменем робочої рідини на поверхні контакту з заготовкою, яка обробляється, можливо визначити за формулами:

$$P_c = (0,5 + e) \times 10^{-6} \times r \times V_c^2, \text{ МПа}, \quad (1)$$

$$P_n = (0,5 + e) \times 10^{-6} \times r \times j \times f_c \times V_c^2, \text{ Н}, \quad (2)$$

де P_c – тиск струмені рідини на поверхні матеріалу, що обробляється;

e – коефіцієнт стиснення струменю, залежить від профілю отвору сопла (при коноїдальному $e \gg 1$);

γ – щільність робочої рідини;

V_c – швидкість струменю робочої рідини, що витікає з сопла;

j – коефіцієнт, що враховує ефект розтікання струменю і зміну швидкості струменю у міру віддалення її від сопла ($j = 0,92 \dots 0,96$);

f_c – площа поперечного січення вихідного отвору сопла.

Швидкість струменю робочої рідини, що витікає з сопла V_c залежить від тиску $V_c = f(p)$.

В [16] для визначення V_c приводиться емпірична формула, яка запропонована Л.Ф. Верещагіним:

$$V_c = 44\sqrt{p}. \quad (3)$$

Вона ґрунтується на даних про стискуваність рідини і за Бриджменом, щільність для всіх точок струменю прийнята незмінною, яка рівна щільності води, а коефіцієнт швидкості рівний одиниці. Там же дані залежності, перша з яких може бути використана для визначення максимального значення сили дії струменю P_{\max} при різних параметрах витікання, яка отримана в результаті математичної обробки експериментальних даних:

$$P_{\max} = 120 \left(\frac{P}{100} \right)^{1,15} \cdot d_c^{1,75}, \quad (4)$$

а друга, отримана в результаті досліджень для визначення впливу різних технологічних параметрів на силу різання P_z :

$$P_z = 162 \left(\frac{P}{100} \right)^{-1,27} \cdot d_c^{2,05} \cdot h^{1,1} \left(\frac{\sigma_p}{100} \right)^{0,5} \cdot S^{0,93}, \quad (5)$$

де d_c – діаметр отвору сопла;

h – товщина металу, що розрізається;

σ_p – границя міцності матеріалу на розтяг;

S – подача гідроабразивної суміші.

Форма і діаметр вихідного отвору сопла впливають на якість водяного струменю і її компактність [17]. Із формули (2) видно, що при рівних умовах роботи збільшення f_c і, отже, діаметра вихідного перерізу сопла приводить до збільшення P_n . Ця обставина дозволяє констатувати, що при заданих умовах роботи за рахунок збільшення діаметра вихідного отвору сопла можливо розрізати і більш товсті матеріали, але в цьому випадку площа контакту струменю з металом збільшиться та буде збільшена сила P_n , що діє на більшу площу, і при цьому тиск на одиницю площі не зміниться. Збільшення діаметра сопла призводить до підвищеної витрати робочої рідини, що, в свою чергу, збільшує енергетичні витрати на формування струменю.

Зменшення діаметру отвору сопла менше 0,5 мм призводить до розпилення струменю.

Високонапірні струмені зменшеного діаметру при зустрічі з контактуючою поверхнею піддані більш швидкому розпаду [18].

Однак ефективність сопел малого діаметру визначається тим, що на формування струмені необхідні значно менші енерговитрати.

Швидкість подачі. Безперервність любого виду різання матеріалів пов'язана з швидкістю відносного переміщення інструменту (струменя робочої рідини) і об'єкта (матеріалу), числове значення якої залежить від властивостей матеріалу, що розрізається.

При рівних умовах роботи зниження швидкості подачі приведе до падіння продуктивності обробки, а її збільшення до скорочення величини енергії що приходить на одиницю поверхні, яка обробляється, і, як наслідок, до зменшення можливої глибини різання.

Якщо врахувати, що високонапірний струмінь має найбільшу кінетичну енергію поблизу зрізу сопла, то віддалення поверхні обробки від сопла (l) може привести до виключення процесу гідрорізання.

В [16] на основі експериментальних даних для визначення відстані від сопла до поверхні різання (l) пропонується залежність

$$l = (33 \dots 67) d_c. \quad (6)$$

При цьому менші значення l відповідають меншим діаметрам сопел і більшим тискам витікання струменю, і навпаки, більше значення l – більшим діаметрам сопел і меншим тискам витікання струменю. В процесі різання водяним струменем з абразивом вода виконує лише функцію носія. Різання здійснюється за рахунок відповідного знімання металу, що викликає ударами твердих частинок.

Під час різання водяний струмінь з абразивом з постійною швидкістю проводиться по металевому об'єкту, при цьому сфокусований струмінь прорізає в об'єкті щілину, поступово формуючи вигнуту фронтальну поверхню різання. Тому гарантовано прорізання всіх складових частин (елементів) об'єкта фонтануючої свердловини.

Висновки

Результати даних досліджень є основою для проектування, виготовлення та подальших експериментальних і промислових досліджень устаткування для гідроабразивного відрізання обладнання з фонтануючої свердловини.

Вплив важливих параметрів на процес різання:

- в міру збільшення тиску проходить збільшення глибини різання в технічно можливому діапазоні;
- збільшення тиску підвищує якість різання;
- підвищення тиску приводить до підвищеного зношування деталей, що підлягають дії тиску;
- зі збільшенням швидкості різання глибини різання зменшується;
- зі зменшенням швидкості різання якість поверхні різання покращується.

Підвищити продуктивність процесу гідрорізання можливо також за рахунок зміни харак-

теру впливу струменя рідини на матеріал, який обробляється, шляхом взаємодії вібрації на зону різання, що досягається за допомогою вібраційного руху матеріалу, а також впливом вібрації на ріжучу головку. В обох випадках підсилюється вплив ударної дії струменя на матеріал, що обробляється, і знижується демпфіруючий вплив «водяних подушок», які утворюються в результаті скупчення рідини в мікропустотах і мікротріщинах зони різання [19].

Суттєво на продуктивність різання впливає кінематичний фактор – кут атаки між струменем і поверхнею, що обробляється.

Створення високоефективного устаткування для демонтажу пошкодженого обладнання забезпечить значне прискорення ліквідації складних техногенних аварій – відкритих нафтогазових фонтанів.

Література

1 Шульга В.Г. Устьевое оборудование нефтяных и газовых скважин / В.Г. Шульга, Е.И. Бухаленко. – М.: Недра, 1978. – 235 с.

2 Радковский В.Р. Оборудование и инструмент для предупреждения и ликвидации фонтанов / В.Р. Радковский, Д.В. Рымчук, Ю.Е. Ленкевич, О.А. Блохин. – М.: Недра, 1996.

3 ГОСТ 12.2.132-93 Оборудование нефтепромысловое добычное устьевое. Общие требования безопасности.

4 СОУ 11.2-30019775-141:2008 Свердловини на нафту ы газ. Вимоги до монтажу і експлуатації колонних головок при бурінні свердловин.

5 ГОСТ 28919-91 Фланцевые соединения устьевого оборудования. Типы, основные параметры и размеры.

6 Спецификация на устьевое и фонтанное оборудование. Спецификация 6А АРІ. Семнадцатое издание. 01.02.96.

7 Гульянц Г.М. Справочное пособие по противовибросовому оборудованию. – М.: Недра, 1983. – 384 с.

8 Інструкція з організування безпечного ведення робіт під час ліквідування газонафтоводопроявлень та відкритих газових і нафтових фонтанів. Затверджено Наказом НАК «Нафтогаз України» №220 від 31.03.2006 р.

9 Патент на корисну модель 3433 Установка для гидропистоструминного різання металоконструкцій. 02.03.2004.

10 Патент на корисну модель 8092 Установка для гидропистоструминного різання металоконструкцій. 17.01.2005.

11 Патент на корисну модель 15700 Установка для гидропистоструминного різання металоконструкцій. 03.01.2006.

12 Патент на корисну модель 17667 Установка для гидропистоструминного різання металоконструкцій. 14.03.2006.

13 <http://urpvh.ru/>

14 <http://www.halliburton.com/en-US/ps/production-solutions/history-of-halliburton.page>

15 Патент на корисну модель 3287 Труборізка гідропистоструминна. 29.12.2003.

16 Верещагин Л. Ф. Твердое тело при высоких давлениях. — М.: Наука, 1987. – 286 с.

17 Зайченко, И.З. Применение высоконапорной струи жидкости для резания металлов // Станки и инструмент. – 1988. – № 4.

18 Абдурагимов И.М. Процессы горения / И.М. Абдурагимов, А.С. Андросов, Л.К. Исаева, Е.В. Крылов. – М.: РИО ВИПТШ МВД СССР, 1976. – 113 с.

19 Саленко А.Ф. Гидроструйной резание: проблемы и перспективы метода / А.Ф. Саленко // Оборудование и инструмент для профессионалов. – 2002. – № 10. – С. 20-23.

20 Добровольський І.В. Результати промислових випробувань устаткування для демонтажу пошкодженого обладнання при ліквідації відкритого нафтогазового фонтану / І.В. Добровольський // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2016. – № 4 (61). – С. 15-24.

*Стаття надійшла до редакційної колегії
01.03.17*

*Рекомендована до друку
професором Федоришиним Д.Д.
(ІФНТУНГ, м. Івано-Франківськ)
канд. техн. наук Тарабаріновим П.В.
(НДПІ ПАТ «Укрнафта», м. Івано-Франківськ)*