



УДК 622.245.52

USE OF A DEVICE FOR AERATING LIQUID AT THE FINAL STAGE OF WELL REPAIR

ВИКОРИСТАННЯ ПРИСТРОЮ ДЛЯ АЕРАЦІЇ РІДИНИ НА ЗАВЕРШАЛЬНОМУ ЕТАПІ РЕМОНТУ СВЕРДЛОВИН

Yakymchko Y.Y. / Якимечко Я.Я.

с.т.с., as.prof. / к.т.н., доц.

ORCID: 0000-0002-4406-0094

Oveckiy S.O. / Овецький С.О.

с.т.с., as.prof. / к.т.н., доц.

ORCID: 0000-0002-3804-8638

Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas,

Ivano-Frankivsk, Karpatska 15, 76019

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,

м. Івано-Франківськ, Карпатська 15, 76019

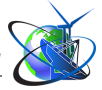
Анотація. В роботі розглядається спосіб запуску свердловини в експлуатацію на завершальній стадії проведення підземного чи капітального ремонту. Це є важливим і відповідальним етапом, від якого залежить досягнення проектної продуктивності та подальша ефективна експлуатація свердловин. Найбільш прогресивним способом є заміна рідини у свердловині на аеровану рідину (піну). Суть цього методу полягає у поступовому зменшенні густини суміші рідини і газу в підіймальних трубах під час одночасного нагнітання у свердловину води (нафти) та стиснутого газу (повітря). Нами запропоновано пристрій для аерації рідини з використанням багатоотвірного сопла з отворами, розташованими концентрично до центрального отвору під кутом $\alpha \approx 5^\circ \dots 7^\circ$, які встановлені таким чином, що струмені-потoki сходяться на вході в камеру змішування, частково накладаючись один на одного, що у свою чергу призводить до збільшення коефіцієнта ежекції і відповідно аерації рідини. Те, що струмені сходяться біля входу в камеру змішування, дає можливість суттєво зменшити діаметри камери та дифузора і відповідно зменшити їх довжину і довжину самого пристрою.

Ключові слова: ремонт свердловин; завершальний етап; багатоотвірне сопло; збільшення коефіцієнта ежекції; удосконалений аератор

Вступ.

Швидке відновлення і пуск нафтових і газових свердловин у роботу після проведення підземного чи капітального ремонту є важливим і відповідальним етапом, від якого залежить досягнення проектної продуктивності та подальша ефективна експлуатація свердловин.

На сьогоднішній день відомо близько двадцяти технологічних процесів виклику припливу рідини і газу з пласта. Методи виклику припливу з пласта в свердловину, які застосовуються у промисловій практиці, базуються на таких основних способах: шляхом заміщення рідини в колоні з більшою густиною на



рідину з меншою густиною, за допомогою повітряної „подушки”, з використанням пускових клапанів, за допомогою струминних апаратів. Всі ці способи потребують значних затрат часу і техніки. Найбільш прогресивним способом є заміна рідини у свердловині на аеровану рідину (піну). Для цього в ємності розрахованого об’єму розчиняють піноутворювач (поверхнево-активну речовину, в подальшому ПАР) і через спеціальний водоповітряний ежекторний пристрій подають у свердловину з допомогою насосного агрегату і компресора. Суть цього методу полягає у поступовому зменшенні густини суміші рідини і газу в підймальних трубах під час одночасного нагнітання у свердловину води (нафти) та стиснутого газу (повітря).

Викликають приплив рідини і газу з пласта після ремонтних робіт за умов, коли пластовий тиск є вищим гідростатичного, рівний гідростатичному або нижче гідростатичного. Якщо пластовий тиск є вищим гідростатичного, то ремонтні роботи здійснюють за наявності у свердловині рідини високої густини. Таку рідину замінюють поступово: спочатку в затрубний простір між експлуатаційною колоною і насосно-компресорними трубами закачують рідину на $300-400 \text{ кг/м}^3$ менше від початкової. Свердловинна рідина повністю замінюється водою тоді, коли різниця в густинах між ними доводиться до $300-400 \text{ кг/м}^3$ [1].

Якщо і після повної заміни свердловинної рідини приплив нафти і газу з пласта не спостерігається, то густину рідини у свердловині зменшують шляхом закачування піни.

Розроблення пристрою для аерації рідини. Нами пропонується спосіб виклику припливу флюїду з пласта за допомогою аерованої рідини, яка створюється пристроєм, в якому рідина і повітря (газ) подаються різними каналами розташованими концентрично і під кутом до осі. Струмені рідини і повітря (газу), які виходять з сопла, сходяться на вході в камеру змішування, де проходить процес аерації. Для стабілізації аерованої рідини використовується піноутворювач, який всмоктується автоматично за рахунок депресії, створюваної аерованими потоками в об’ємі між виходом з сопла і входом в



камеру змішування.

При проектуванні обладнання для виклику припливу з пласта, нами за основу була взята конструкція пристрою ПЕОС – 1 із вставним ежекторним насосом [2], пристрою для аерації рідини [3], а також теоретичні і практичні напрацювання з водоповітряними ежекторами з багатоотвірним соплом [3].

Найбільш близьким технічним рішенням, вибраним нами в якості прототипу є пристрій для аерації рідини [3], який складається з корпусу, до якого радіально прикріплені фільтри-пробки, а в корпус вставляється ежекторна вставка з багатоотвірним соплом, камерою змішування і дифузором. У цьому пристрої рідина подається за допомогою насосного агрегату на багатоотвірне сопло, а повітря всмоктується через фільтри-пробки. При такому технологічному процесі також потрібно попередньо готувати у ємності розчин з піноутворювачем (ПАР) і, як показали випробовування цього пристрою на свердловині, тільки всмоктування повітря недостатньо для утворення стійкої піни.

Виходячи з цього, нами запропоновано пристрій для аерації рідини [4] з використанням багатоотвірного сопла (рис. 1) з отворами, розташованими концентрично до центрального отвору під кутом $\alpha \approx 5^\circ \dots 7^\circ$, які встановлені таким чином, що струмені-потоки сходяться на вході в камеру змішування, частково накладаючись один на одного, що у свою чергу призводить до збільшення коефіцієнта ежекції і відповідно аерації рідини. Те, що струмені сходяться біля входу в камеру змішування, дає можливість суттєво зменшити діаметри камери та дифузора і відповідно зменшити їх довжину і довжину самого пристрою.

Саме багатоотвірне сопло (рис. 1) відрізняється тим, що для подачі рідини служать отвори 1, які розташовані концентрично до центрального отвору. Для подачі повітря (газу) служать не наскрізний центральний отвір, а отвір 2 виконаний тільки до половини сопла і з'єднаний радіальними отворами 3 з виточкою на зовнішній конусній поверхні 4 корпусу сопла, а також пази 5, розташовані на передній зовнішній поверхні сопла із зміщенням в радіальній площині по відношенню до концентричних отворів.

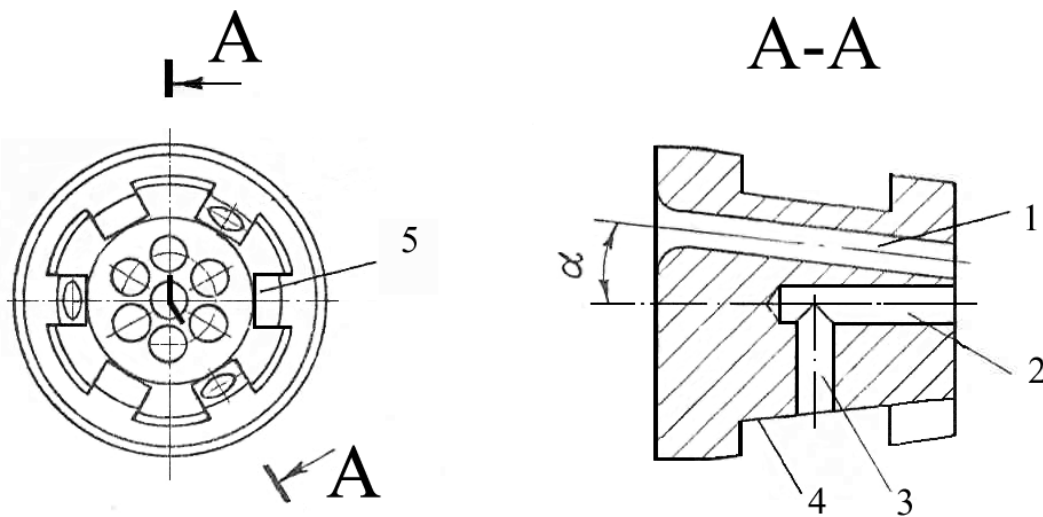
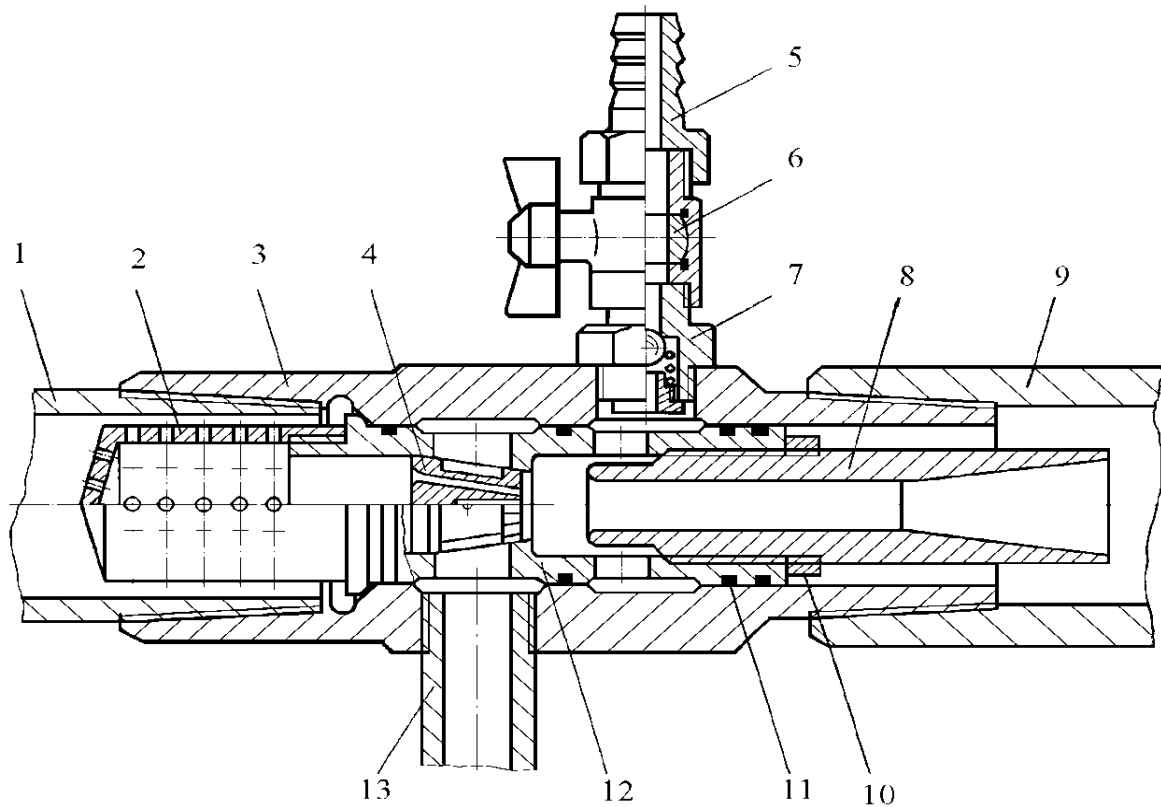
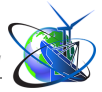


Рисунок 1 – Багатоотвірне сопло

Авторська розробка

Пристрій складається з таких основних частин (рис. 2): корпуса 3, до якого радіально прикріплені зворотний клапан 7 з регулюючим краном 6 і ніпелем 5. В корпус 3 вставляється модульно виконаний аератор, який в свою чергу складається з корпуса аератора 12 з герметизуючими елементами 11, закріпленого в корпусі 12 багатоотвірного сопла 4 і камери змішування з дифузоровим 8. На вході в аератор розташовано фільтр 2. Камера змішування з дифузоровим 8 приєднані до корпуса аератора 12 за допомогою різьби, що дає можливість регулювати віддаль між соплом 4 та камерою змішування 8 і фіксувати останню контргайкою 10. Пристрій приєднаний до лінії подачі рідини 1, лінії подачі повітря 13 та лінії подачі аерованої рідини у свердловину 9. При необхідності до ніпеля 5 можна приєднати гнучкий шланг і за його допомогою під'єднатись до ємності з піноутворювачем або ПАР.

Пристрій працює так. Компресором по вхідній лінії 13 під тиском подається повітря (газ) на багатоотвірне сопло 4. Одночасно насосним агрегатом робоча рідина (технічна вода або легка нафта) подається під тиском по лінії 1 через фільтр 2 на багатоотвірне сопло 4. Сопло виконане таким чином, що два потоки – рідини та повітря (газу), проходять через нього різними каналами і тільки на виході з сопла отримують велику швидкість і активно змішуючись у камері змішування 8 формується аерована рідина, яка далі подається по лінії 9 у свердловину.



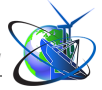
1 – лінія подачі рідини; 2 – фільтр; 3 – корпус пристрою; 4 – сопло багатоотвірне; 5 – ніпель; 6 – кран регулюючий; 7 – зворотний клапан; 8 – камера змішування з дифузоров, 9 – лінія подачі аерованої рідини; 10 – контргайка, 11 – герметизуючий елемент; 12 – корпус аератора; 13 – лінія подачі повітря (газу).

Рисунок 2 – Пристрій для аерації рідини

Авторська розробка

В об'ємі між виходом з сопла і входом у камеру змішування створюється депресія за рахунок великої швидкості потоків, і відповідно, пониженого тиску в цій зоні. При цьому відкривається зворотний клапан 7 і всмоктується піноутворювач або ПАР з відповідної ємності за допомогою шлангу приєднаного до ніпеля 5. Кількість всмоктуваного піноутворювача регулюється за допомогою крану 6.

Для проведення робіт з інтенсифікації виклику припливу флюїду за допомогою аерованої рідини використовується таке підземне та наземне обладнання (рис. 3): фільтр-хвостовик або розтруб 1, колона НКТ 2, фонтанна арматура 4, зворотний клапан 5, пристрій для аерації рідини 7, насосний агрегат



12, компресор 14, лінії подачі рідини 10, лінії подачі повітря (газу) 13 і лінії подачі аерованої рідини 6 ємності з технічною рідиною або легкою нафтою 11. При необхідності можна використовувати піноутворювач або ПАР з ємності 9 за допомогою гнучкого шлангу 8.

Перед початком виклику припливу в свердловину потрібно спустити колону НКТ, кінцевик якої повинен бути встановлений на 5 – 10 м вище верхніх отворів перфорації обсадної колони. На верхній робочій струні фонтанної арматури встановлюється штуцер з оптимальним розміром каналу для попередження надмірної депресії на пласт або надлишкового протитиску в період роботи [5; 6].

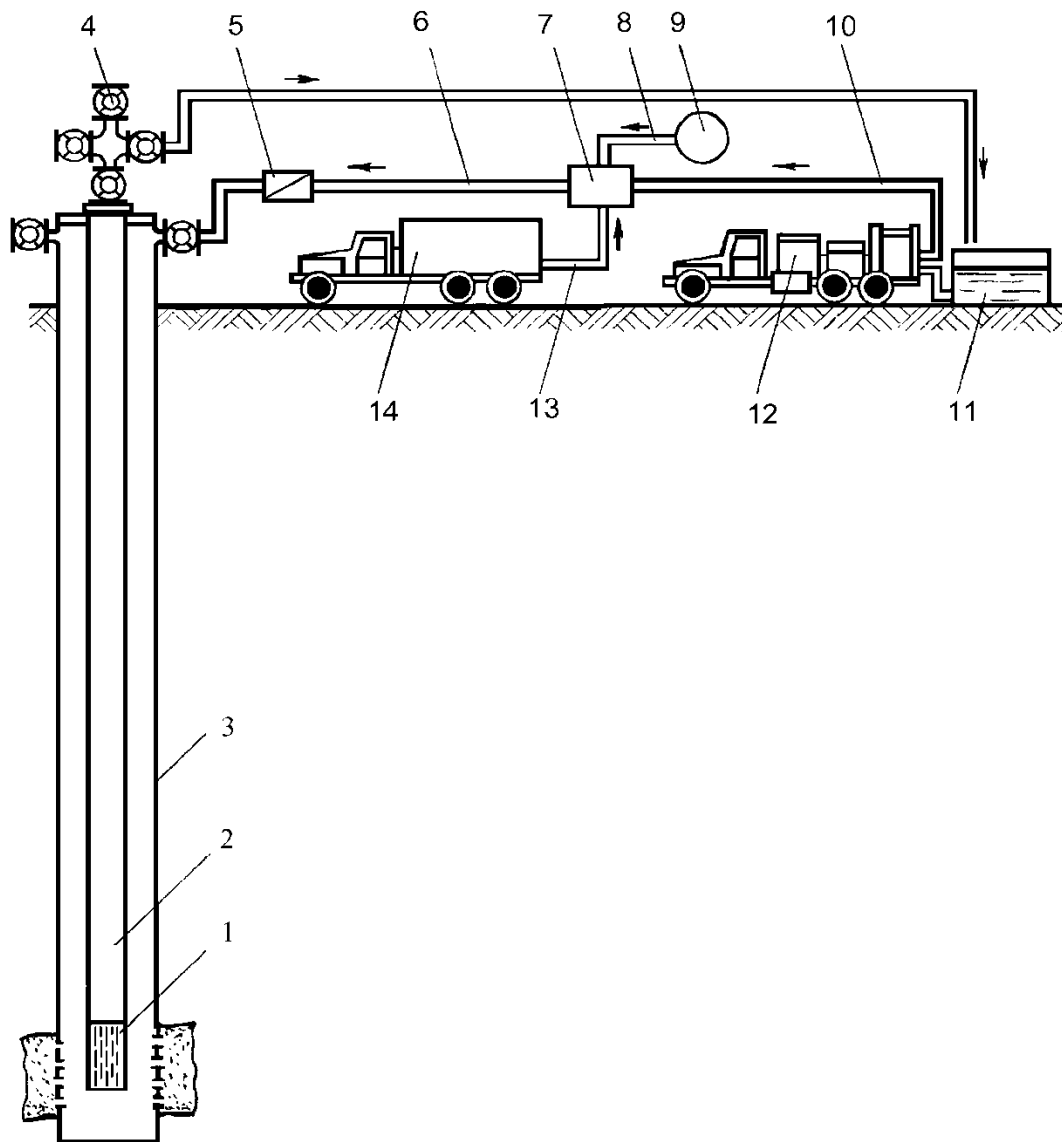
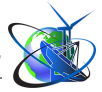
Далі проводиться обв'язка гирла свердловини з насосним агрегатом, компресором, пристроєм для аерації рідини, зворотним клапаном і ємністю з технічною водою із забезпеченням кругової циркуляції рідини, як показано на рис. 3, а також можливість здійснення самовиливу аерованої рідини з міжтрубного і трубного просторів.

При низькому пластовому тиску свердловини і малому газовому факторі пластового флюїду допускається проводити кругову циркуляцію рідини безпосередньо із замірної ємності агрегату. Але при перших ознаках появи газу обов'язково переходити на типову схему циркуляції із забезпеченням всіх правил техніки безпеки.

Для більш безпечного проведення робіт замість повітря можна використовувати газ (безпосередньо з колектора) або якийсь нейтральний газ, наприклад, азот.

Допустиму величину депресії на пласт при виклику припливу пластового флюїду вибирають з урахуванням таких умов:

- міцності обсадної колони;
- міцності цементної оболонки у кільцевому просторі;
- стійкості колектора за умови, що змикання тріщин для тріщинуватих колекторів можна уникнути.



1 – фільтр-хвостовик; 2 – колона НКТ; 3 – обсадна колона; 4 – фонтанна арматура; 5 – зворотний клапан; 6 – лінія подачі аерованої рідини; 7 – пристрій для аерації рідини; 8 – гнучкий шланг; 9 – ємність з піноутворювачем (ПАР); 10 – лінія подачі рідини; 11 – ємність з технічною водою; 12 – насосний агрегат; 13 – лінія подачі повітря (газу); 14 – компресор

Рисунок 3 – Схема компоновки обладнання для інтенсифікації виклику припливу флюїду з допомогою аерованої рідини

Авторська розробка

Перепад тиску в обсадній колоні залежить від змінальних тисків, закладених у проекті спорудження свердловини і практично перевіряється за даними про конструкцію експлуатаційної колоні.

Об'єм аерованої рідини, якою необхідно заповнити свердловину, щоб значення тисків на вибої зрівнялись, визначають за формулою [7]:



$$V_{a.p} = S \cdot H + S_{нкт} \left[\frac{\frac{P_{nl} - \Delta P_{з.н} - \Delta P_{\kappa}}{g} - h_{nl} \cdot \rho_{в.р}}{\rho_{a.p} - \rho_{в.р}} \right], \quad (1)$$

де S – площа внутрішнього перерізу колони, м^2 ;

H – довжина колони НКТ, м ;

$S_{нкт}$ – площа перерізу внутрішньої порожнини НКТ, м^2 .

P_{nl} – тиск у продуктивному пласті, МПа ;

$\Delta P_{з.н}, \Delta P_{\kappa}$ – втрати тиску, відповідно, в затрубному просторі та в колоні труб (НКТ), Па ;

g – прискорення вільного падіння, м/с^2 ;

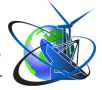
h_{nl} – глибина розташування експлуатаційного горизонту, на якій тиск дорівнює пластовому, м .

$\rho_{в.р}, \rho_{a.p}$ – густина, відповідно, важкої (свердловинної) та аерованої рідини, кг/м^3 .

Якщо об'єм аерованої рідини, якою заповнюють затрубний простір, буде більшим від об'єму, визначеного за формулою 1, тоді виникає депресія на пласт, що може спричинити приплив пластового флюїду. Нагнітання аерованої рідини в свердловину припиняють, якщо швидкість виходу рідини з НКТ на гирлі зростає, а тиск у міжколонному просторі на гирлі зменшується, тобто починається приплив пластового флюїду з продуктивного пласта.

Для успішного здійснення процесу аерації підбирають таке співвідношення між кількістю рідини і стиснутого повітря (газу), які подаються в одиницю часу щоб забезпечити рух бульбашок до „башмака” НКТ без утворення „повітряної подушки”.

При подачі технічної води необхідно, щоб швидкість низхідного потоку суміші була більшою, ніж швидкість спливання бульбашок повітря. Остання приймається в межах $0,15\text{--}0,30$ м/с . Якщо ця умова не дотримується, то повітряні бульбашки будуть впливати, утворюючи „повітряну подушку” в затрубному просторі, що приведе до зриву процесу аерації.



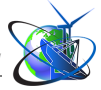
Крім того, необхідно спостерігати, щоб тиск на переборення гідравлічних втрат в трубах і різниці густини рідини (суміші) в НКТ і затрубному просторі в сумі не перевищував максимального тиску, який створюється компресором.

Таку технологію нами було застосовано при випробуванні дослідного зразка пристрою згідно затвердженої програми і методики промислових випробувань ПВП–1.00.000 ПМ-2 відбулися на свердловині № 134 Велико-Бубнівського родовища. Випробування проводилися з метою визначення: дефектів виготовлення і недоліків конструкції; відповідності дослідного зразка пристрою технічним вимогам конструкторської документації; густини аерованої рідини; часу заміни рідини в свердловині на аеровану рідину; працездатності пристрою в промислових умовах; напрацювання на відмову пристрою.

Для проведення робіт у свердловину було спушено НКТ діаметром 73 мм від гирла свердловини до глибини 2840 м. Гирло свердловини обладнали фонтанною арматурою, провели обв'язку гирла з насосним агрегатом АЧ-400, з пристроєм, зі зворотним клапаном і замірною ємністю із забезпечення кругової циркуляції рідини згідно схеми компоновки обладнання (рис 3). Також приєднали до пристрою компресор СД-9/101. Опресували нагнітальну та зворотну лінії тиском 29,4 МПа (300 атм). Далі насосним агрегатом створювали тиск в нагнітальній лінії 9,0 – 9,5 МПа, одночасно компресором створювали тиск 8,0 МПа і підтримували такий режим 50 хвилин. Потім насосним агрегатом через кожні 30 хвилин піднімали тиск у нагнітальній лінії на 0,5 МПа. Через дві години роботи на агрегаті тиск почав падати, а це означало, що рідина в НКТ також частково замінена на аеровану і на викиді пішла спінена нафто-газова суміш. Роботу насосного агрегату було зупинено, відкрили засувку викидної лінії на „амбар” і продовжили компресором ще працювати 20 хвилин.

Коли на викиді пішла під більшим тиском водо-нафто-газова суміш, роботу компресора зупинили і свердловина вийшла на режим переливання.

За час роботи з пристроєм (3 години 10 хвилин) у свердловину було запомповано приблизно 14 м³ технічної води і 1620 м³ повітря, чого було достатньо для заміни об'єму рідини в свердловині (приблизно 45 м³) на аеровану.



Так як ми проводили випробування на нагнітальній свердловині з очищення вибою, і вона почала переливати, то можна використовувати пристрій на таких свердловинах і без застосування ПАР.

Висновки.

Випробовування пройшли успішно і за їх результатами був складений акт, яким визнано роботоздатність пристрою для аерації рідини з багатоотвірним соплом.

Розроблена конструкція аератора, а саме те, що струмені сходяться біля входу в камеру змішування, дає можливість суттєво зменшити діаметри камери та дифузора і відповідно зменшити їх довжину і довжину самого пристрою. Габаритні розміри пристрою дозволяють переміщати його у футлярі однією людиною і забезпечують його високу мобільність.

Конструкція пристрою для аерації дозволяє швидко проводити його монтаж і демонтаж у технологічну схему обв'язки виклику припливу флюїду у свердловині. Він створює оптимальний темп нагнітання аерованої рідини в експлуатаційній колоні і досягнення проектної продуктивності та подальша ефективної експлуатації свердловин.

Література:

1. Бойко В.С. Підземний ремонт свердловин [Текст] / В.С. Бойко – Івано-Франківськ: Факел, У 4-х частинах. Частина I, 2002. – 465 с.
2. Пат. 42393А Україна, МПК 7 E21B43/27. Пристрій для аерації рідини/ Яремійчук Р.С., Лилак М.М, Возний В.Р., Шандровський Т.Р., Якимечко Я.Я. – Опубл. 15.10.2001, Бюл. № 9.
3. Якимечко Я.Я. Методика визначення технологічних параметрів удосконаленої струминної свердловинної установки [Текст] / Я. Я. Якимечко, Л. Б. Мороз, С. О. Овецький, Я. М. Фем'як // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. - 2021. - № 3(80). - С. 26-35.
4. Пат. 62239А Україна, МПК 7 E21B43/27. Пристрій для аерації рідини / Лилак М.М, Возний В.Р., Шандровський Т.Р., Якимечко Я.Я., Витязь О.Ю. –



Опубл. 15.12.2003, Бюл. № 12.

5. Качмар Ю.Д. Інтенсифікація припливу вуглеводнів у свердловину [Текст] / Ю.Д. Качмар [та ін]. – Львів: Центр Європи, 2004. 352 стор. 87 рис. Наукове видання, книга перша. ISBN 966-7022-40.

6. Качмар Ю.Д. Інтенсифікація припливу вуглеводнів у свердловину [Текст] / Ю.Д. Качмар [та ін]. – Львів: Центр Європи, 2005. 414 стор. 134 рис. Наукове видання, книга друга. ISBN 966-7022-40.

7. Світлицький В.М. Поточний та капітальний ремонт свердловин [Текст] / В. М. Світлицький [та ін]. - К. : Логос, 2001. - 344 с. - ISBN 966-581-245-9.

References.

1. Boiko V.S. Pidzemnyi remont sverdlovyn [Tekst] / V.S. Boiko – Ivano-Frankivsk: Fakel, U 4-kh chastynakh. Chastyna I, 2002. – 465 s.
2. Pat. 42393A Ukraina, MPK 7 E21V43/27. Prystirii dlia aeratsii ridyny/ Yaremiichuk R.S., Lylak M.M, Voznyi V.R., Shandrovskiy T.R., Yakymchko Ya.Ya. – Opubl. 15.10.2001, Biul. № 9.
3. Yakymchko Ya.Ya. Metodyka vyznachennia tekhnolohichnykh parametriv udoskonalenoї strumynnoi sverdlovynnoi ustanovky [Tekst] / Ya. Ya. Yakymchko, L. B. Moroz, S. O. Ovetskyi, Ya. M. Femiak // Rozvidka ta rozrobka naftovykh i hazovykh rodovysch. - 2021. - № 3(80). - S. 26-35.
4. Pat. 62239A Ukraina, MPK 7 E21V43/27. Prystirii dlia aeratsii ridyny / Lylak M.M, Voznyi V.R., Shandrovskiy T.R., Yakymchko Ya.Ya., Vytiaz O.Yu. – Opubl. 15.12.2003, Biul. № 12.
5. Kachmar Yu.D. Intensyfikatsiia pryplyvu vuhlevodniv u sverdlovynu [Tekst] / Yu.D. Kachmar [ta in]. – Lviv: Tsentr Yevropy, 2004. 352 stor. 87 rys. Naukove vydannia, knyha persha. ISBN 966-7022-40.
6. Kachmar Yu.D. Intensyfikatsiia pryplyvu vuhlevodniv u sverdlovynu [Tekst] / Yu.D. Kachmar [ta in]. – Lviv: Tsentr Yevropy, 2005. 414 stor. 134 rys. Naukove vydannia, knyha druha. ISBN 966-7022-40.
7. Svitlytskyi V.M. Potochnyi ta kapitalnyi remont sverdlovyn [Tekst] / V. M. Svitlytskyi [ta in]. - K. : Lohos, 2001. - 344 s. - ISBN 966-581-245-9.

Absrtact. The paper considers a method of launching a well into operation at the final stage of underground or major repairs. This is an important and responsible stage on which the achievement of design productivity and further effective operation of wells depend. The most progressive method is to replace the liquid in the well with an aerated liquid (foam). The essence of this method is to gradually reduce the density of the liquid-gas mixture in the risers during the simultaneous injection of water (oil) and compressed gas (air) into the well. We have proposed a device for aerating the liquid using a multi-hole nozzle with holes located concentrically to the central hole at an angle of $\square$ $\square$ 5 $\square$...7 $\square$, which are installed in such a way that the jets-flows converge at the entrance to the mixing chamber, partially overlapping each other, which in turn leads to an increase in the ejection coefficient and, accordingly, aeration of the liquid. The fact that the jets converge at the entrance to the mixing chamber makes it possible to significantly reduce the diameters of the chamber and diffuser and, accordingly, reduce their length and the length of the device itself.

Key words: well repair; final stage; multi-hole nozzle; increased ejection coefficient; improved aerator