

Технология кислотоструйного бурения «ФракДжет-Волга» для интенсификации добычи нефти и газа

Well Stimulation with Acid Jet Drilling: FracJet-Volga's Profound Expertise

О.В. ВОИН, руководитель научно-технического центра ООО «ФракДжет-Волга»

Oleg VOIN, Head, Research & Engineering Center, FracJet-Volga LLC

Недропользователи зачастую сталкиваются с проблемами при интенсификации притока из карбонатных коллекторов продуктивных отложений. В первую очередь это связано со строением самого коллектора и системой заканчивания скважин. Нередко используется схема заканчивания скважин с открытым стволом в карбонатном коллекторе. Карбонатный коллектор может длительное время быть необсаженным, при этом не происходит обвал или разрушение сформированного ствола. Особенно это актуально в коллекторах с высоким содержанием сероводорода в продукции. Однако такая схема заканчивания имеет и свои недостатки: продукция из карбонатных коллекторов обычно поступает по микротрещинам и в процессе эксплуатации скважины ее дебит падает.

МЕТОДЫ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПРОДУКТИВНОСТИ СКВАЖИНЫ

Существует несколько способов восстановления продуктивности скважин данного типа. Обычно это кислотная обработка или применение потокоотклоняющих

Well stimulation in carbonate reservoirs often poses various challenges to well operators. This is primarily due to the structure of the reservoir and the well completion systems. It is common for carbonate reservoirs to have an open-hole completion design as it can remain stable for a long time without caving in or hole erosion. This is especially true in reservoirs with high H₂S fluid. However, the open-hole design has certain drawbacks, namely the production fluid usually flows through microcracks, and the flow rate therefore inevitably decreases.

WELL STIMULATION

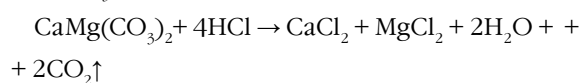
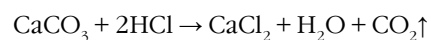
There might be several methods of well stimulation employed in carbonate reservoirs featuring fractured rock. It usually makes little sense to perform hydraulic fracturing in these conditions. Typically, flow diverter technologies are used to redirect the flow by changing the physical properties of the diverter when the pH changes. Acidizing can also be a solution although acid jobs are not always economically viable as it is impossible to perform selective treatments. Therefore, the

составов, которые перераспределяют поток в процессе обработки за счет изменения физических свойств состава при изменении pH. Гидроразрыв пласта (ГРП) в данных условиях обычно провести невозможно. Эффективность кислотных обработок не всегда имеет экономическое обоснование, поскольку невозможно провести селективную обработку. Поэтому к выбору геолого-технологических мероприятий (ГТМ) на карбонатных коллекторах нужно подходить очень тщательно.

Чтобы решить задачу интенсификации притока в открытом необсаженном стволе, «ФракДжет-Волга» предложила заказчику технологию кислотоструйного бурения (КСБ). Компания оказывает услуги по КСБ с 2012 года. Эта технология позволяет создавать дополнительные боковые стволы из основного с применением установки гибких насосно-компрессорных труб (ГНКТ) в необсаженной части продуктивного пласта. Использование колтюбинговой установки дает возможность проводить работы без привлечения бригады КРС, не извлекая спущенное подземное оборудование. Кислотный состав прокачивается через ГНКТ под большим давлением. Компонировка содержит гидроотклонители, которые из-за высокого давления отклоняются на заданный угол, и насадка упирается в открытую часть продуктивного пласта. Последующее разрушение горной породы продуктивного пласта происходит за счет двух факторов. Первый из них – гидромониторный эффект. Жидкость выходит из насадки с большой скоростью. Ее кинетическая энергия позволяет разрушать породу перед собой. ►

careful selection of a well intervention method in carbonate reservoirs is of utmost importance.

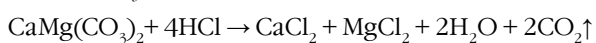
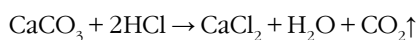
To enhance the production in open holes, FracJet-Volga offered its customer the advantages of acid jet drilling. The company has been successfully implementing the technology since 2012. The method employs a coiled tubing unit to drill additional sidetracks from the main hole in the open part of the pay zone. The use of a coiled tubing unit ensures a remarkable advantage of performing the job without a workover team and without pulling the equipment out of hole. The acid is pumped through the coiled tubing at high pressure. The bottom-hole assembly (BHA) contains a hydraulic kickover knuckle joint that is pressure-deflected at a given angle thus pointing the nozzle at the open part of the formation. There are two factors that contribute to the rock breaking. Firstly, it is the jetting impact that consists in the liquid coming out of the nozzle at high speed and thus producing enough kinetic energy to destroy the rock in front of the nozzle. But jetting alone is not sufficient to move the BHA forward in a carbonate reservoir. Additionally, inhibited hydrochloric acid is used as the working agent to react with the carbonate rock and dissolve it. The chemical reaction of a carbonate reservoir with hydrochloric acid can be expressed as follows:



The reaction produces some water-soluble salts, water and carbon dioxide.

As a result, the newly formed laterals open up additional channels, expand drainage areas, and involve idle layers. ►

Но одного гидромониторного эффекта в карбонатном коллекторе недостаточно для продвижения компоновки низа колонны (КНК) вперед. В связи с этим в качестве рабочего агента используется ингибированная соляная кислота, которая взаимодействует с карбонатным коллектором и растворяет его. Химическую реакцию карбонатного коллектора с соляной кислотой можно отразить следующим образом:



В результате получают растворимые в воде соли, вода и углекислый газ.

Сформированные стволы вскрывают дополнительные каналы и позволяют расширять зоны дренирования и вовлекать неработающие пропластки.

ХОД РАЗРАБОТКИ ТЕХНОЛОГИИ КИСЛОТОСТРУЙНОГО БУРЕНИЯ

Для разработки технологии специалисты «ФракДжет-Волга» изготовили стенды для подбора оптимальных насадок, рабочих давлений и расходов для проведения работ на мраморных блоках с кислотным составом. На рисунке 1 приведены фото испытания работы насадок различной формы. С помощью этого стенда была подобрана оптимальная насадка для получения максимальных скоростей при КСБ. После отработки технологии формирования стволов в поверхностных условиях специалисты «ФракДжет-Волга» приступили к разработке гидроотклонителей. На рисунке 2 – стендовые испытания гидроотклонителя с нагрузкой.

После проведения испытаний КНК на поверхности и переговоров

ACID JET DRILLING TECHNOLOGY

The optimal nozzles, operating pressures and flow rates were selected by exposing marble units to acid attacks at the testing unit designed and made by FracJet-Volga. Figure 1 shows the traces left by the tested nozzles of various shapes. The most efficient nozzles were selected to obtain maximum rates during the acid jet drilling operation. Also, FracJet-Volga R&E team developed a number of hydraulic kickover knuckle joints that have been successfully tested in the lab and then used in the field. Figure 2 illustrates load tests of hydraulic knuckle joints.

After the BHA testing and negotiations with the customer, FracJet-Volga proceeded with operations on the Astrakhan Gas Condensate Field (AGCF). With the vertical depth of the pay zone of about 4000 m (13,000+ ft), the reservoir temperature of +120 °C (248 °F), H₂S up to 32%, and CO₂ up to 18%, it has earned its reputation as one of the most complicated fields in the world. No survey tool was used in the first jobs, and therefore the maximum drilled depth did not exceed 25 m (82 ft), which imposed certain restrictions on the technology. The first operations displayed the improvement potential for the hydraulic kickover knuckle joints. Subsequently, our team modified the knuckle joints to significantly upscale their performance.

ACID JET DRILLING WITH AN AUTONOMOUS SURVEY TOOL

The next stage in the development of the technology was running an autonomous survey tool with the BHA. The tool served as the operator's

с заказчиком приступили к выполнению работ на Астраханском газоконденсатном месторождении (АГКМ). Это одно из самых сложных месторождений в мире: вертикальная глубина залегания продуктивного пласта составляет порядка 4000 м, пластовая температура +120 °С, содержание сероводорода в продукции – до 32%, содержание CO₂ – до 18%. При проведении первых работ на скважине инклинометр не применялся, в связи с чем старались делать стволы протяженностью не более 25 м. Это накладывало определенные ограничения на технологию. В процессе проведения работ были определены возможности для совершенствования работы гидроотклонителей. В дальнейшем гидроотклонители модернизировали для повышения их работоспособности.

ПРИМЕНЕНИЕ АВТОНОМНОГО ИНКЛИНОМЕТРА ДЛЯ ТЕХНОЛОГИИ КСБ

Следующим этапом развития технологии стало применение автономного инклинометра, который был включен в компоновку и стал «глазами» специалистов «ФракДжет-Волга». Несмотря на автономность, он позволил получать информацию о формируемых стволах в процессе проведения работ после подъема КНК на поверхность. На рисунке 3 – вид

“eyes”, and after the BHA was retrieved to the surface, it gave us the required data, namely the inclination and the azimuth. Figure 3 shows a top view of three laterals formed from the main borehole in Well No. 2100, Astrakhan.

Having analyzed the data obtained during the operations, we introduced a number of improvements and upgraded both the BHA and the survey tool design. Even after the survey tool was introduced, the depth of the channels was still limited by two factors. First, it was essential to minimize the risks of equipment failure due to the long exposure of the BHA to the highly corrosive environment. And secondly, there were certain limitations on the amount of acid.

An autonomous logging tool was utilized to record the data and ensure precise BHA positioning. And yet the use of autonomous devices faced multiple challenges.



Рисунок 1 – Фото испытания работы насадок различной формы

Figure 1 – Nozzle testing

сверху трех стволов, сформированных из основного ствола в скважине № 2100 АГКМ. Данные по стволам были получены с помощью автономного инклинометра, который предоставлял информацию по зенитному и азимутальному углам.

Анализируя эти сведения, специалисты приступили к совершенствованию технологии и добились модернизации не только КНК, но и инклинометра. После ввода инклинометра длину каналов продолжали ограничивать по двум факторам. Во-первых, с учетом минимизации рисков выхода оборудования за счет длительного нахождения КНК на забое в агрессивной среде и, во-вторых, принимая во внимание ограниченное количество кислотного состава.

Для более точного позиционирования КНК на забое перед проведением работ выполняли запись автономным прибором. Однако работа с автономными приборами была сопряжена с определенными трудностями.

КИСЛОТОСТРУЙНОЕ БУРЕНИЕ НА ОНГКМ

Получив бесценный опыт по проведению данных работ на АГКМ,



Рисунок 2 – Стендовые испытания гидроотклонителя с нагрузкой

Figure 2 – Hydraulic kickover knuckle joint load testing

FIELD CASE – ORENBURG

The track record of successful drilling in Astrakhan motivated FracJet-Volga to expand the geographical range for the technology. After negotiations with the customer, the Orenburg Oil and Gas Condensate Field was chosen because the reservoirs of this field are also known to be formed by carbonate rock. Hydrogen sulfide and carbon dioxide are significantly lower in Orenburg compared to Astrakhan.

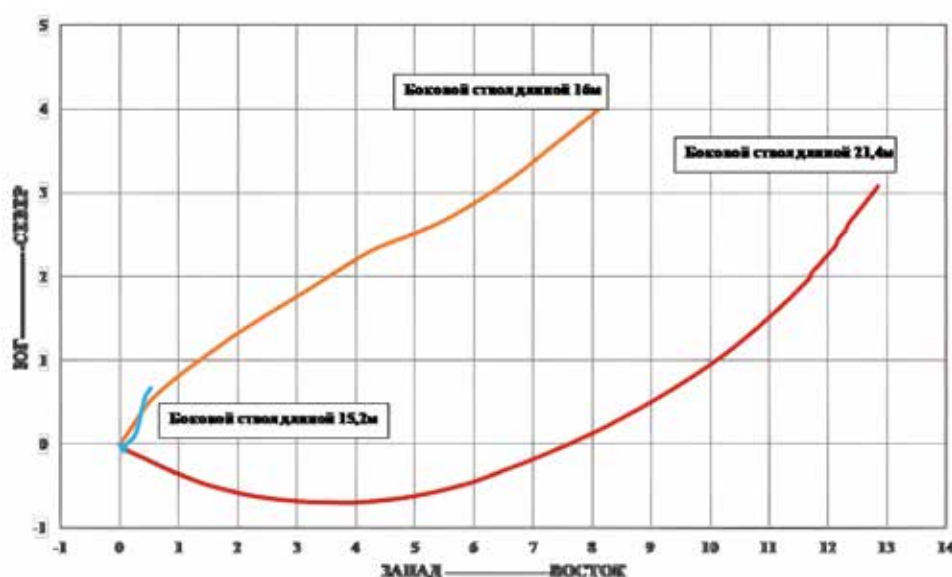


Рисунок 3 – Вид сверху трех стволов, сформированных из основного ствола в скважине № 2100 АГКМ

Figure 3 – Laterals drilled away from the main borehole in Well No. 2100, Astrakhan Gas Condensate Field

«ФракДжет-Волга» решила применять его на других месторождениях. После переговоров с заказчиком для опробования технологии было выбрано Оренбургское нефтегазоконденсатное месторождение (ОНГКМ). Продуктивные пласты этого месторождения также представлены карбонатными коллекторами. Содержание сероводорода и углекислого газа в продукции значительно ниже, чем в Астрахани. В связи с этим планировалось начать создание более протяженных каналов (первоначально до 50 м) с зарезкой из горизонтального ствола.

При проведении работ столкнулись со многими трудностями, в первую очередь с выходом из строя КНК. Основная сложность заключалась в том, что все оборудование должно было быть изготовлено наружным диаметром не более 50–51 мм, при этом выдерживать длительное нахождение в коррозионной среде и значительные нагрузки. Для решения этой проблемы компоновка низа колонны подверглась многократным модификациям. Начиная работать с гидроотклонителями второй и третьей версий, специалисты «ФракДжет-Волга» закончили уже с гидроотклонителями седьмой и восьмой версий. При этом дополнительно был разработан ряд уникальных гидроотклонителей с возможностью стабилизации направления.

СОЗДАНИЕ КАБЕЛЬНОГО ИНКЛИНОМЕТРА

Одной из самых сложных доработок КНК стало создание кабельного инклинометра. На рисунке 4 представлен скриншот программы визуализации данных

Therefore, longer laterals were planned (initially up to 50 m / 165 ft) to be sidetracked from a horizontal borehole.

The first of the challenges the team was to encounter was the failure of the BHA. It was imperative that the equipment featured the maximum outer diameter of 50–51 mm (2.0 in.) while withstanding long exposure to a corrosive environment and significant loads. To address these challenges, several modifications of the BHA design were introduced. While the first jobs were performed with hydraulic kickover knuckle joints versions No. 2 and 3, the last operations utilized the tools of the seventh and eighth versions. As a supplementary measure, FracJet-Volga R&E team also developed unique hydraulic knuckle joints that stabilize the drilling direction.

MWD TOOL

The most enhanced change to the BHA was the addition of measurement while drilling (MWD), namely a directional survey tool run on a wireline. As the MWD tool proved to be effective, it was decided to integrate it into the technology. Figure 4 shows the data visualization program employed during all the operations.

It was the application of the MWD tool that allowed us to drill longer laterals (as shown in Figures 5 and 6). When approaching the oil-water contact, the work would be suspended. The longest sidetrack drilled was 110 m (360 ft) MD, however, there were restrictions on the amount of acid and the weight-on-bit. Table 1 shows the well production before and after the acid jet drilling operations. The increase

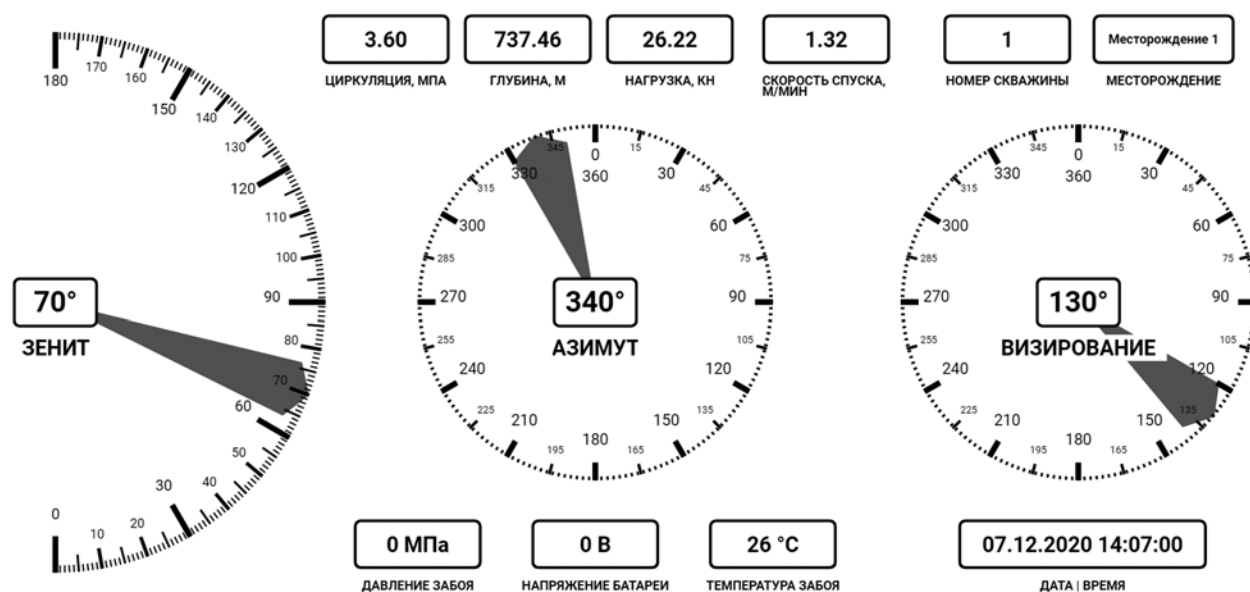


Рисунок 4 – Скриншот программы визуализации данных в процессе проведения работ
Figure 4 – A screenshot of the data visualization program

в процессе проведения работ. Поскольку инклинометр доказал свою эффективность, постепенно перешли на его применение.

Получение данных с инклинометра в режиме реального времени позволило создавать стволы большей протяженности (рис. 5 и 6). При приближении к водонефтяному контакту работы останавливали.

«ФракДжет-Волга» удалось добиться получения стволов до 110 м, однако были ограничения по количеству кислотного состава и доносимой нагрузки. В таблице 1 приведены результаты отработки скважин после КСБ. Увеличение обводненности связано с большим количеством закачанного кислотного состава и последующим выносом продуктов реакции. По другим скважинам данных нет. Все данные по скважинам

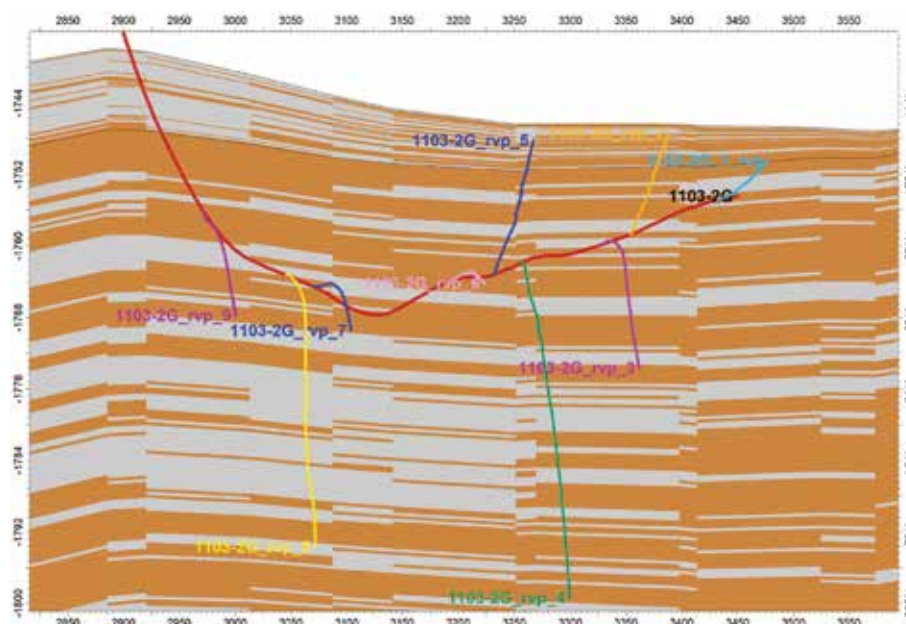


Рисунок 5 – Получение данных с инклинометра в режиме реального времени позволило создавать стволы большей протяженности

Figure 5 – An MWD tool allowed the team to drill longer laterals

in water cut is associated with a large amount of acid injected and the subsequent cleanout of reaction products. There are no data available for other wells. All the data have been taken from open sources.

ACID JET AND JET DRILLING TECHNOLOGIES OUTLOOK

In Orenburg, an experimental project was implemented to drill

взяты из открытых источников.

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИЙ КИСЛОТОСТРУЙНОГО И ГИДРОМОНИТОРНОГО БУРЕНИЯ

На ОНГКМ были проведены экспериментальные работы по созданию каналов с возможностью управления направлением формирования канала. Для этого в КНК включили поворотное устройство

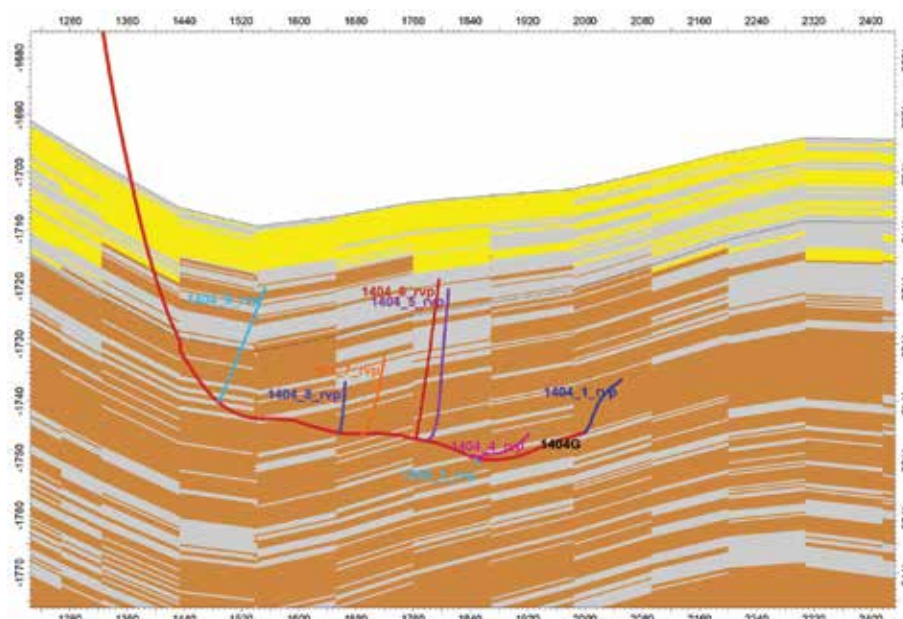


Рисунок 6 – Получение данных с инклинометра в режиме реального времени позволило создавать стволы большей протяженности

Figure 6 – An MWD tool allowed the team to drill longer laterals

Таблица 1 – Результаты отработки скважин после КСБ

Table 1 – Production before and after acid jet drilling

Скважина Well No.	Длительность работ, сут. Elapsed time, days	Остановочные параметры Before Acid Jet Drilling Job						Текущие параметры After Acid Jet Drilling Job				
		Qж, м³/сут. Fluid, cubic meters/day	Qн, т/сут. Oil, tons/day	Обв., % Water Cut, %	Дебит газа, тыс. м³/сут. Gas, thousand cubic meters/day	Газовый фактор, тыс. м³/т Gas Factor, thousand cubic meters/ton	Рзб., атм Bottomhole Pressure, atm	Qж, м³/сут. Fluid, cubic meters/day	Qн, т/сут. Oil, tons/day	Обв., % Water Cut, %	Дебит газа, тыс. Gas, thousand cubic meters/day	Газовый фактор, тыс. м³/т Gas Factor, thousand cubic meters/ton
1404G	50	4,9	4,1	0	2,9	0,60	57,5	8,5	7,1	0	4,9	0,69
1356G	33	13,3	11,4	0	8,2	0,62	54,0	18,0	20,2	0	27,9	1,85
1103-2G	18	7,7	6,4	0,4	3,5	0,46	53,0	54,4	20,5	10	16,5	0,41
1134G	20	5,4	4,5	1	6,4	1,18	61,1	17,8	14,0	6	31,5	2,25
1044-2G	22	4,9	3,8	6	7,2	1,46	59,0	12,6	15,1	22,0	18,5	2,26
1094G	24	5,6	4,7	0	1,2	0,22	52,9	25,3	14,49	14	31,6	1,74
1309G	30	7	5,9	0	2,0	0,28	63,6	24,0	11,53	32	4,5	0,33
1244G	26	15,2	12,3	3,1	5,7	0,38	51,1	51	31,3	24	13,7	0,58

с гидравлическим управлением, которое изменяло направление формирования ствола за счет поворота КНК на определенный

lateral wellbores while controlling the direction of drilling. This was accomplished by utilizing a hydraulic indexing tool, thus changing the direction of drilling by rotating the

угол. Однако на это требовались время и остановки при работе. После подъема КНК было выявлено, что поворотное устройство непригодно для повторной СПО в связи с тем, что в малом габарите КНК не получилось использовать кислотостойкие и сероводородостойкие материалы. Необходимо переработать конструкцию КНК либо увеличивать ее диаметр. Решение этой проблемы позволит создавать стволы протяженностью до 200–300 м.

К сложностям применения технологии можно также отнести большое количество кислотного состава, необходимое для формирования канала. Для решения этой проблемы «ФракДжет-Волга» развивает технологию гидромониторного бурения (ГМБ), при использовании которой формирование ствола получается только за счет энергии жидкости.

Одним из направлений дальнейшего развития технологий КСБ и ГМБ является переход от карбонатных коллекторов к терригенным, что требует решения вопроса с обсадкой сформированного ствола.

Подводя итоги, можно сделать вывод о том, что технология КСБ доказала свою работоспособность и эффективность. «ФракДжет-Волга» готова развивать и внедрять технологии кислотоструйного и гидромониторного бурения у заказчиков и дальше. ©

ЛИТЕРАТУРА

1. Поляков И., Касымов К., Сафаров В., Еникеев Р. Туннелирование на АГКМ // Пульс Аксарайска. – № 20. – 13.05.2016. – С. 5
2. Прокураторов Д. Интенсификация добычи с применением кислотного туннелирования на нефтяных продуктивных отложениях восточного участка оренбургского нефтегазоконденсатного месторождения // Точная наука – 2021. – С. 13–18.

BHA by a given angle. However, this approach was rather time-consuming. After retrieving the BHA out of hole, it was discovered that the indexing tool was not fit for further operation as the small assembly size prevented us from using acid-resistant and H₂S-resistant materials to make the tool. The possible solutions thereto include either modifying the BHA design or increasing its diameter. Once a viable solution is found, boreholes of up to 200–300 m (650–1000 ft) MD can be drilled.

The challenges associated with the acid jet drilling technology also include the large amount of acid required to form a lateral. To address this complexity, FracJet-Volga is developing the technology of jet drilling where the formation of a borehole is achieved by utilizing the energy of the liquid only.

Apart from that, acid jet drilling and jet drilling technologies might be further developed by a transition from carbonate to terrigenous reservoirs, which requires the casing of the drilled borehole.

To recapitulate, it might be concluded that the acid jet drilling technology has proven to be an efficient solution for well stimulation. FracJet-Volga is developing and offering its customers the advantages of acid jet and jet drilling technologies. ©

REFERENCES

1. Polyakov, I., Kasymov, K., Safarov, V., Enikeev, R. (2016). Acid tunneling at the AGKM. Pulse of Aksaray, 20, p. 5
2. Prokuratov, D. (2021) Well stimulation by acid jet drilling in oil deposits of the eastern block of the Orenburg oil and gas condensate field. Exact Science, pp. 13–18.