

# Проведение многостадийного ГРП с применением колтюбинга и системы жидкости ГРП TriFrac-C™

## Multi-Stage Hydraulic Fracturing Using Coiled Tubing and TriFrac-C™ Fluid System

С.А. ЗАГРАНИЧНЫЙ, технический директор Trican Well Service  
Stanislav ZAGRANICHNY, technical director, Trican Well Service

За последние несколько лет прогресс в сфере услуг проведения ГРП в горизонтальных участках скважин резко шагнул вперед, и компания Trican Well Service внесла свой весомый вклад в развитие и совершенствование данных технологий. Особого внимания заслуживают технологии многостадийного и селективного ГРП, которые позволяют проводить обработку в протяженных горизонтальных участках скважин.

Trican Well Service применяет упорядоченный и научный подход к исследованиям, разработкам, инновационным продуктам и технологическим процессам, при этом обязательно учитываются аспекты техники безопасности, качества и снижения негативного воздействия деятельности компании на окружающую среду. Заказчики компании получают технологии и процессы, нацеленные не только на результативность, эффективность и значительную экономию, но, в первую очередь, на охрану труда, технику безопасности и охрану окружающей среды. Миссия компании Trican Well Service заключается в предоставлении законченного технического решения – от заканчивания, цементирования, гидроразрыва и до использования колтюбинга (гибких НКТ).

В начале прошлого года ассортимент систем заканчивания был расширен, благодаря приобретению норвежской компании, специализирующейся на производстве оборудования для заканчивания и проведении внутрискважинных операций, и к настоящему времени компании Trican удалось создать всеобъемлющий комплекс систем заканчивания, проверенных в полевых условиях. На сегодняшний день, являясь одним из крупнейших поставщиков внутрискважинных операций, Trican предлагает широкий спектр технологий многостадийного заканчивания горизонтальных скважин с использованием гидроразрыва пласта (МГРП). Служба заканчивания состоит из высококвалифицированных и опытных специалистов, работающих над самыми передовыми разработками, что позволяет, в отличие от конкурентов, предлагать универсальные технологии, предоставлять индивидуальные технологические решения, отвечающие требованиям конкретного Заказчика. Технологии заканчивания реализуются посредством систем

For the last few years progress in the area of hydraulic fracturing in horizontal sections of the well has dramatically stepped forward and Trican Well Service contributed significantly to the development and improvement of these technologies. Special attention should be paid to multi-stage and selective fracing techniques which allow performing treatment in extended horizontal sections of the well.

Trican Well Service applies disciplined scientific approach to research, development, innovative products and technological processes and takes due account of safety measures, quality and minimization of adverse environmental impact of its products. The company's customers are supplied with techniques and processes aimed not only at efficiency, effectiveness and considerable saving but first of all at labor protection, safety measures and environmental protection. Trican Well Service's mission is to deliver a integrated technical solution for well completion, cementing, hydraulic fracturing to coiled tubing.

In the beginning of the last year the range of well completion systems was expanded due to the acquisition of a Norwegian company specializing in completion equipment and downhole interventions and to date Trican managed to create a comprehensive package of field-tested completion systems.

At present, being one of the largest providers of downhole interventions Trican offers a wide range of techniques for multi-stage completion of horizontal holes using hydraulic fracturing. The completion service is composed of highly qualified and experienced specialists working on most advanced developments which makes it possible, unlike the competitors who offer universal techniques, to supply customized technical solutions meeting specific customer's requirements. Completion techniques are implemented using multi-stage fracing systems which are mounted both in open and cemented holes and are ball-activated – each system allows completing around 40 stages. Moreover, the company has systems with limited breakthrough which ensures even distribution of the fluid flow among all interval logs and allows activating up to 20 sleeves by dropping just one ball. Besides ball-activated system, the company offers BPS (Burst Port System®), designed to implement multi-

МГРП, устанавливаемых как в открытых, так и в цементируемых стволах скважин, и активируемых при помощи шаров – каждая система позволяет закончить порядка 40 стадий. Также компания располагает системами с ограниченным подходом, обеспечивающим равномерное распределение потока жидкости по всем интервалам обработки и позволяющим активировать до 20 муфт посредством сброса всего лишь одного шара. Помимо систем, активируемых шарами, Trican предлагает оборудование с разрывными портами BPS (Burst Port System)<sup>®</sup>, предназначенное для установки в составе систем МГРП как в открытых, так и цементированных стволах. Данное оборудование используется вместе с двучашечным пакером C2C производства Trican, спускаемым на колтюбинге для проведения ГРП в неограниченном количестве интервалов. Система с разрывными портами BPS<sup>®</sup> также может спускаться в скважину в качестве гидромуфты для инициации ГРП в самом нижнем интервале обработки в составе цементируемых систем, активируемых шарами, а также для проведения обработки по технологии «plug-and-perf».

Технология i-Can предполагает использование механически активируемых муфт с функцией многократного открытия/закрытия, сконструированных специально для операций МГРП в горизонтальных участках скважин. i-Can используется в комбинации с гидравлическим толкателем i-Shift, спускаемым на колтюбинге для селективного открытия, обработки и закрытия муфт. Технология i-Can позволяет беспрепятственно и многократно открывать и закрывать муфты в условиях давления до 700 атм. Данная система позволит впоследствии проводить повторные операции ГРП или перекрывать отдельный интервал в случае обводнения. i-Can также обеспечивает дополнительную гибкость при проведении операций МГРП посредством колтюбинга с использованием пакера или без него. Обработка ГРП проводится по ГНКТ или затрубному пространству.

Помимо своих, уже ставших традиционными, технологий гидроразрыва, компания Trican Well Service продолжает разработку и предлагает своим заказчикам целый ряд решений трудноизвлекаемых ресурсов, в том числе в отношении технологических процессов для соответствия требованиям отрасли. С ростом объемов горизонтального бурения и заканчивания скважин компания видит перспективы и необходимость комплексного подхода в предоставлении своих решений по различным процессам гидроразрыва в сложных условиях.

В феврале 2014 года компания Trican Well Service провела операцию 27-стадийного ГРП на скважине с установленной системой заканчивания типоразмером 114 мм со сдвижными многоходовыми муфтами i-Can, активируемыми при помощи колтюбинга, для компании – оператора в Северной Америке. Все стадии были завершены в течение 24 часов.

Для проведения операций была применена труба колтюбинга типоразмером 2 3/8" (марка GT-100, толщина стенки от 0.175" до 0.224", тип SMARTaper) и длиной 4000 м. КНБК состояла из инструмента-

stage fracturing system assemblies both in open and cemented holes. This equipment is used along with Trican's selective fracturing cup tool (C2C) lowered into the hole using coiled tubing to perform hydraulic fracturing for an unlimited number of intervals. Burst Port System<sup>®</sup> can also be lowered into the well as a hydraulic sleeve to initiate fracturing for the lowest log interval as part of ball-activated cementing systems and to perform "plug-and-perf" treatment.

The i-Can technology uses mechanically activated multi open/close sleeves designed specifically for multi-stage fracturing in horizontal holes. i-Can is used in combination with the hydraulic pusher i-Shift lowered into the hole using coiled tubing for selective opening, treatment and closing of the sleeves. The i-Can technology ensures unobstructed and multiple opening and closing of the sleeves at a pressure of up to 10 000 psi. This system will allow subsequently performing repeated hydraulic fracturing or shutting off individual intervals in case of water intrusion. i-Can also ensures additional flexibility during multi-stage fracturing using coiled tubing with or without a packer. Fracture treatment is performed through coiled tubing or annulus.

Apart from its conventional fracturing technologies Trican Well Service continues developing and offers its customers a whole range of systems for extracting difficult resources including those related to the technological process to comply with the industry requirements. Due to increased horizontal drilling and completion the company finds it promising and necessary to use a comprehensive approach to delivering its solutions for various fracturing processes under difficult conditions.

In February 2014 Trican Well Service implemented 27 stages of fracturing at a well with a mounted 114-mm completion system with sliding multiple-use sleeves i-Can, activated through coiled tubing, for an operator in North America. All stages were completed within 24 hours.

For interventions a 2 3/8" 4000-m long coiled tubing was used (GT-100, WT of 0.175" to 0.224", SMARTaper). The bottom hole assembly consisted of an i-Shift pusher, a retrievable bridge plug and a hydraulic jet perforator in case of impossibility to open one of the sliding sleeves. The i-Shift tool is a selective hydraulic pusher for opening and closing sliding sleeves. The pusher is actuated by the flow at the required depth for multiple opening and closing of the sleeves during one round-trip of coiled tubing. i-Shift can be completed with inserts for operations with sliding sleeves of various sizes and can be used as a tool for low, upper or double action depending on the configuration of the completion system.

Technologically opening of sliding sleeves was performed according to the following procedure. After the coiled tubing reached the predetermined depth and the i-Shift profile was connected to the connector of the sliding sleeve, the hole was bridged isolating the lower part of the wellbore. Under the weight of the coiled tubing and the applied pressure the sleeve activated into the open position. Fracturing

толкателя i-Shift, мостовой пробки многократного использования и гидрорескоструйного перфоратора на случай невозможности открытия одной из сдвижных муфт. Инструмент i-Shift представляет собой селективный гидравлический толкатель для операций по открытию и закрытию сдвижных муфт. Толкатель активируется потоком на необходимой глубине для многократного открытия и закрытия муфт в течение одного спуско-подъема колтюбинга. i-Shift может комплектоваться вставками для операций со сдвижными муфтами различных типоразмеров, а также может использоваться как инструмент для нижнего, верхнего или двойного действия в зависимости от конфигурации системы заканчивания.

Технологически операция по открытию сдвижных муфт проводилась следующим образом. Когда колтюбинг достиг заданной глубины и профиль толкателя i-Shift был присоединен к стыковочному разъему сдвижной муфты, внутри муфты устанавливалась мостовая пробка, тем самым изолируя нижнюю часть ствола скважины. Под действием веса колтюбинга и приложенного давления муфта активировалась в открытое положение. ГРП проводился по затрубному пространству колтюбинга, а после обработки, посредством натяжения колтюбинга, открывался уравнительный клапан КНК, возвращая в транспортное положение мостовую пробку. КНКБ перемещалась на уровень следующей муфты, и операция проводилась повторно.

В качестве системы жидкости ГРП использовалась новая разработка компании под маркой TriFrac-C. В настоящее время применение жидкостей ГРП на основе гуара является наиболее распространенным в отрасли. Однако в геологических условиях плотных коллекторов возникают осложнения, связанные с нарушением эксплуатационных характеристик продуктивного пласта вследствие закачки систем ГРП на основе гуаровых/боратных жидкостей. Именно с такой ситуацией столкнулась компания-оператор, когда в результате проводимых ГРП не достигались планируемые дебиты по скважинам.

Инженеры Trican провели исследование причин возникшей проблемы и предложили решение с альтернативной системой ГРП для сохранения эксплуатационных характеристик пласта. Trican была предложена система жидкости ГРП TriFrac-C, состоящая из циркониевого (zirconate) сшивателя и загеливателя на основе карбоксиметилцеллюлозы (СМС).

Система TriFrac-C имеет улучшенные химические свойства, практически не оставляет нерастворимого осадка в трещине, тем самым минимально повреждая продуктивный пласт. Размер твердых частиц, образующихся в результате распада системы TriFrac-C, минимум в 10 раз меньше размера частиц,

*Рисунок 1 – Проведение ГРП при помощи колтюбинга в Северной Америке*

*Figure 1 – C-T-assisted hydraulic fracturing in North America*



was performed through the annular space of the coiled tubing and after the treatment was done tensioning of the coiled tubing caused the equalizing valve of the bottom hole assembly to open returning the bridge plug into the run-in position. The bottom hole assembly was then moved to the level of the next sleeve and the operation was repeated.

The company has recently developed TriFrac-C to be used as a fluid system for hydraulic fracturing. At present guar-based fracing fluids are most common in the industry. However, under the geological conditions of tight reservoirs difficulties arise related to the failure to observe the operational characteristics of the productive formation as a result of injection of guar/borate-based fracing fluids. It was that exact situation that the operator found itself in when hydraulic fracturing did not produce the expected flow rates. Trican's engineers studied the reasons behind the problem and came up with a solution – an alternative fracing fluid system to preserve the operational characteristics of the formation. Trican offered TriFrac-C system consisting of a zirconate crosslinker and carboxymethyl cellulose-based gelifier.

TriFrac-C system has improved chemical characteristics and leaves practically no insoluble sediments in the fracture minimizing the damage to the productive formation. The size of solid particles resulting from the degradation of TriFrac-C system is at least 10 times smaller than the particles resulting from the degradation of guar-based fluids. This system is also effective within a wide range of temperatures (from 30 °C to 120 °C). TriFrac-C system employs a unique combination of instant and delayed crosslinkers the concentration and proportion of which can be changed according to the customer's requirements and the existing formation conditions by selecting viscosity factor separately for each operation. Before starting fracing operations TriFrac-C system was demonstrated to the customer at Trican Well Service's research center located in Houston to agree on the fluid stability factor and its impact on the retained conductivity. The outcome fully satisfied and even surpassed the customer's requirements and expectations.



образующихся после распада жидкостей, основанных на гуаре. Также данная система эффективна в широком диапазоне температур (от 30 °C до 120 °C).

В системе жидкости TriFrac-C задействована уникальная комбинация сшивателей мгновенного и замедленного действия, концентрацию и соотношение которых можно изменять согласно требованиям Заказчика и имеющимся пластовым условиям, подбирая показатели вязкости индивидуально для каждой работы. До начала операций ГРП система TriFrac-C была представлена компании-заказчику в научно-исследовательском центре Trican Well Service, расположенном в Хьюстоне, для согласования показателей стабильности жидкости и ее влияния на остаточную проводимость трещины ГРП. Результаты полностью удовлетворили и даже превзошли требования и ожидания Заказчика.

Закачка жидкости ГРП проводилась по затрубю колтюбинга, через компоновку подвижных муфт, которые открывались при помощи забойного инструмента колтюбинга согласно алгоритму, описанному выше. Изначальный дизайн операции предполагал закачку 18 тонн песка фракции 100 и пропанта размером 40/70 с загрузкой 480 кг/м<sup>3</sup> на стадию.

По мере заканчивания стадий обработки представители инженерной группы Заказчика постоянно оптимизировали дизайн, основываясь на показателях эффективности закачиваемой жидкости и ФЕС пласта. В процессе закачки изменения проводились непосредственно в процессе ГРП на основании показателей давления на забое скважины на начальных, промежуточных и последних стадиях обработки. Где-то в середине горизонтального участка на стадии загрузки 770 кг/м<sup>3</sup> Trican получили СТОП; однако, поскольку труба колтюбинга находилась в скважине, промывка забоя скважины от жидкости и пропанта была проведена без потерь времени, и следующая муфта была открыта без каких-либо проблем.

Компания Trican Well Service продемонстрировала в данном случае способность предлагать инновационные решения для индивидуальных специфических потребностей Заказчика, применяя комплексный подход к технологическим процессам, а также оперативно работать совместно с Заказчиком для достижения оптимальных результатов и показателей эффективности. Таким образом, Trican Well Service позиционирует себя не только как поставщика оборудования и готовых продуктов, а также как компанию, предлагающую высокотехнологичные комплексные решения.

Мы также считаем, что наш индивидуальный подход к Заказчикам, устойчивый уровень инвестиций в научно-исследовательские и опытно-конструкторские разработки, опыт работы по всему миру, знания и умения позволят нам предоставлять адаптированные технические решения для российских проектов разработки сложных месторождений, а также оказывать услуги самого высокого качества. ☉



**Рисунок 2 – Сшитая жидкость на основе гуара**

**Figure 2 – Guar-based cross-linked fluid**

The fracturing fluid was injected through the coiled tubing annulus using an assembly of sliding sleeves which opened with the bottom-hole tool of the coiled tubing following the above algorithm. The initial design foresaw the injection of 18 tons of size-100 sand and 40/70 proppant at 480 kg/m<sup>3</sup> per stage.

As the treatment stages were completed the representatives of the customer's engineering group continuously optimized the design based on the performance of the injected fluid and porosity and permeability. During injection, changes were introduced during hydraulic fracturing itself based on



**Рисунок 3 – Сшитая жидкость ГРП TriFrac-C**

**Figure 3 – Cross-linked fracturing fluid TriFrac-C**

the pressure indicators in the bottom-hole at the initial, intermediate and final treatment stages. Somewhere in the middle of the horizontal section at 770 kg/m<sup>3</sup> Trican received STOP; however, since the coiled tubing was in the hole, bottom-hole flushing of the fluid and proppant was performed without time losses and the next sleeve was opened without any problems.

In this case Trican Well Service demonstrated its capability to offer innovative solutions to meet customer's individual specific needs by using a comprehensive approach to the technological processes and to work in a timely manner together with the customer to achieve best results and performance. Therefore, Trican Well Service positions itself not only as a supplier of equipment and ready products but also as a company which offers high-tech integrated solutions.

We also believe that our continuous focus on meeting our customers' needs, our consistent investing in research and development, world-wide working experience, and our expertise will allow us to supply customized technical solutions to Russian difficult development projects by providing high-quality services. ☉